پژوهشگاه نیرو

NRI-ER-1037-PEPN17-6-01-F

استاندارد ۱-۱۲-۶۱۴۰۰ " بازنگری استاندارد اندازه‌گیری‌های عملکرد توان توربین‌های بادی مولد انرژی الکتریکی "


IEC 61400-12-1

Edition 2.0 2017-03

INTERNATIONAL STANDARD

Wind energy generation systems –
Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines

مدیر پروژه: محمدباقر عسگری

واحد مجری: طرح نیازسنجی، اولویت‌بندی، تدوین و بازنگری و الحاقیه استانداردهای حوزه انرژی

DOI: 10.30503/nripress.2020.223


بسم الله الرحمن الرحيم

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

استاندارد ۱-۱۲-۶۱۴۰۰ " بازنگری استاندارد اندازه‌گیری‌های عملکرد توان توربین‌های بادی مولد انرژی الکتریکی "

مدیر پروژه: محمدباقر عسگری

واحد مجری: طرح نیازسنجی، اولویت‌بندی، تدوین و بازنگری و الحاقیه استانداردهای حوزه انرژی

استاندارد ۱-۱۲-۶۱۴۰۰ " بازنگری استاندارد اندازه‌گیری‌های عملکرد توان توربین-های بادی مولد انرژی الکتریکی "

مدیر پروژه: محمدباقر عسگری

گروه پژوهشی انرژیهای تجدید پذیر

همکاران پروژه:

واحد مجری:

طرح نیازسنجی، اولویت‌بندی، تدوین و بازنگری و الحاقیه استانداردهای حوزه انرژی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

اردیبهشت ۱۴۰۱

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

کد ثبت گزارش: NRI-ER-1037-PEPN17-6-01-F

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. معاونت آبانیرو

استاندارد ۱-۱۲-۶۱۴۰۰ " بازنگری استاندارد اندازه‌گیری‌های عملکرد توان توربین‌های بادی مولد انرژی الکتریکی " مدیر پروژه: عسگری محمدباقر. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۰.

۳۲۳ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. عسگری محمدباقر، همکار پروژه. ۲. معاونت آبانیرو

انتشارات پژوهشگاه نیرو

معاونت آبانیرو

کلیه حقوق معنوی اثر متعلق به پدیدآورندگان، کلیه حقوق مادی متعلق به پژوهشگاه نیرو و نشر مطالب در حدود متعارف، با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: تهران، شهرک‌غرب، انتهای‌بلوارشهیددادمان، پژوهشگاه‌نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

فرم تعهدنامه اصالت اثر

متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب محمدباقر عسگری، مدیر پروژه استاندارد ۱-۱۲-۶۱۴۰۰ " بازنگری استاندارد اندازه‌گیری‌های عملکرد توان توربین‌های بادی مولد انرژی الکتریکی " و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن‌ها استفاده شده است مطابق مقررات، مورد ارجاع قرار گرفته و در فهرست منابع ذکر گردیده است.

■ گزارش حاصل انجام همه مراحل پروژه است.

□ گزارش حاصل انجام ..... مرحله از ..... مرحله پروژه است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

فهرست مطالب

۱-محدوده موضوع ۶
۲-مراجع الزامی ۶
۳-عبارات و مشخصه ها ۷
۴-علائم و واحدها ۱۳
۵-بازبینی روش کلی عملکرد توان ۲۱
۶-آماده سازی برای آزمون عملکرد ۲۶
۶-۱- کلیات ۲۷
۶-۲- توربین بادی و اتصال الکتریکی ۲۷
۶-۳- محل آزمون ۲۷
۶-۳-۱- کلیات ۲۷
۶-۳-۲- موقعیت تجهیزات اندازه‌گیری باد ۲۸
۶-۳-۳- بخش‌های اندازه‌گیری ۲۸
۶-۳-۴- تصحیح فاکتورهای عدم قطعیت ناشی از انحراف جریان باد در اثر توپوگرافی ۲۹
۷-تجهیزات آزمایش ۳۰
۷-۱- توان الکتریکی ۳۰
۷-۲- سرعت باد ۳۰
۷-۲-۱- کلیات ۳۰
۷-۲-۲- ضروریات عمومی برای نصب بادسنج‌ها بر نوک دکل هواشناسی ۳۱
۷-۲-۳- نصب بادسنج‌ها، نوک دکل ۳۲
۷-۲-۴- نصب بادسنج‌ها، کناره دکل ۳۳
۷-۲-۵- وسایل سنجش از راه دور(Remote Sensing Device (RSD)) ۳۳
۷-۲-۶- اندازه‌گیری سرعت باد معادل روتور ۳۴
۷-۲-۷- اندازه‌گیری سرعت باد در ارتفاع هاب ۳۴
۷-۲-۸- اندازه‌گیری برش باد ۳۵
۷-۳- جهت باد ۳۶
۷-۴- چگالی هوا ۳۷
۷-۵- سرعت دورانی و زاویه پیچ ۳۷
۷-۶- شرایط پره ۳۷
۷-۷- سیستم کنترل توربین باد ۳۸
۷-۸- سیستم جمع آوری داده ها ۳۸

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۸-فرآیند اندازه‌گیری ۳۸

۸-۱- کلیات ۳۸

۸-۲- توربین بادی در حال بهره برداری ۳۸

۸-۳- جمع آوری داده ۳۹

۸-۴- عدم پذیرش داده ۳۹

۸-۵- پایگاه داده ۴۰

۹-نتایج مشتق شده ۴۱

۹-۱- نرمال سازی داده‌ها ۴۱

۹-۱-۱- کلیات ۴۱

۹-۱-۲- تصحیح انحراف جریان باد برای بادسنج جانبی دکل ۴۲

۹-۱-۳- تصحیح برش باد (هنگامی که باد معادل روتور در دسترس باشد) ۴۳

۹-۱-۳-۱- کلیات ۴۳

۹-۱-۳-۲- سرعت باد معادل روتور ۴۳

۹-۱-۳-۳- فاکتور تصحیح برش باد ۴۵

۹-۱-۳-۴- تصحیح برش باد برای سرعت باد ۴۶

۹-۱-۴- تصحیح تغییر جهت باد در ارتفاع ۴۶

۹-۱-۵- نرمال سازی چگالی هوا ۴۶

۹-۱-۶- نرمال سازی آشفتگی جریان ۴۸

۹-۲- تعیین منحنی توان اندازه‌گیری شده ۴۸

۹-۳- انرژی تولیدی سالیانه (AEP) ۴۹

۹-۴- ضریب توان ۵۲

۱۰-فرمت گزارش دهی ۵۲

پیوست A: ارزیابی تاثیرات توربین باد و موانع بر بادسنجی در محل آزمون ۶۳

A-1 کلیات ۶۳

A-2 الزامات بر اساس توربینهای باد در همسایگی و در حال کار ۶۳

A-3 در نظر گرفتن الزامات موانع ۶۴

A-4 روش محاسبه مناطقی که از محدوده کار کنار گذاشته می شوند ۶۵

A-5 الزامات خاص برای توزیع موانع ۶۸

پیوستB : ارزیابی زمین محل آزمایش ۶۹

پیوست C: فرآیند کالیبراسیون محل آزمون ۷۲

C-1 کلیات ۷۲

C-2 بررسی اجمالی فرآیند ۷۳

C-3 راه اندازی آزمون ۷۴

C-3-1 نکات مرتبط با انتخاب آزمون توربین بادی و محل دکل آب و هوایی ۷۴

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

C-3-2 تجهیزات آزمون ۷۶
C-4 جمع آوری داده ها و روند عدم پذیرش آنها ۷۷
C-5 آنالیز ۷۸
C-5-1 ارزیابی شرایط برش باد محل آزمون ۷۸
C-5-2 روش اول: سریهای عددی جهت و برش باد ۸۱
C-5-3 روش دوم: روش رگرسیون خطی جاییکه برش باد تاثیر قابل ملاحظه ای ندارد ۸۲
C-5-4 محاسبات اضافی ۸۳
C-6 عدم اطمینان کالیبراسیون محل آزمون ۸۴
C-6-1 عدم اطمینان سری A برای کالیبراسیون محل آزمون ۸۴
C-6-2 عدم اطمینان سری B برای کالیبراسیون محل آزمون ۸۶
C-6-3 عدم اطمینان ترکیبی ۸۷
C-7 بازبینی های کیفیت و عدم قطعیتهای اضافی ۸۷
C-7-1 بازبینی همگرایی ۸۷
C-7-2 بازبینی همبستگی برای رگرسیون خطی (شماره C-5-3 را ببینید) ۸۸
C-7-3 تغییر تصحیح در طبقه بندی بین دو سری عددی جهت باد نقاط کنارهم ۸۸
C-7-4 حذف سنجشگر جهت باد میان کالیبراسیون محل آزمون و عملکرد توانی آزمون ۸۹
C-7-5 اندازه گیری ها در فصول مختلف سال برای کالیبراسیون محل آزمون و عملکرد توانی ۹۰
C-8 بررسی نتایج ۹۰
C-9 مثالهایی از کالیبراسیون محل آزمون ۹۲
C-9-1 مثال A ۹۲
C-9-2 مثال B ۹۸
C-9-3 مثال C ۱۰۶
پیوست D: ارزیابی عدم قطعیت در اندازه گیریها ۱۰۹
پیوست E: مبانی تئوریک برای تعیین عدم قطعیت اندازه گیری ها با بکارگیری روش سری عددی ۱۱۳
E-1 کلیات ۱۱۳
E-2 عدم قطعیت های ترکیبی ۱۱۴
E-2-1 کلیات ۱۱۴
E-2-2 عدم قطعیت توسعه یافته ۱۱۶
E-2-3 مبانی ارزیابی عدم قطعیت ۱۱۶
E-3 عدم قطعیت گروه A ۱۲۰
E-3-1 کلیات ۱۲۰
E-3-2 عدم قطعیت گروه A، توان الکتریکی ۱۲۰
E-3-3 عدم قطعیت گروه A، در کالیبراسیون محل آزمون ۱۲۱
E-4 عدم قطعیت گروه B: مقدمه و سیستم جمع آوری داده ها ۱۲۱
E-4-1 عدم قطعیت گروه B، مقدمه ۱۲۱
E-4-2 عدم قطعیت گروه B: سیستم جمع آوری داده ها ۱۲۲
E-5 عدم قطعیت گروه B: توان خروجی ۱۲۲
E-5-1 کلیات ۱۲۲
E-5-2 عدم قطعیت گروه B: توان خروجی- جریان ترانسفورماتور ۱۲۳

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

E-5-3 عدم قطعیت گروه B: توان خروجی- ولتاژ ترانسفورماتور ۱۲۳
E-5-4 عدم قطعیت گروه B: توان خروجی- ابزارهای اندازه گیری توان ۱۲۴
E-5-5 عدم قطعیت گروه B: توان خروجی- سیستم جمع آوری داده ها ۱۲۴
E-6 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد: مقدمه و حسگرها ۱۲۴
E-6-1 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد- مقدمه ۱۲۴
E-6-2 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – سخت افزار ۱۲۵
E-6-3 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – حسگرهای نصب شده روی دکل هواشناسی ۱۲۵
E-7 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD ۱۲۸
E-7-1 مقدمه ۱۲۸
E-7-2 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – کالیبراسیون ۱۲۸
E-7-3 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – بازبینی درجا ۱۲۸
E-7-4 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – طبقه بندی ۱۲۸
E-7-5 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – نصب ۱۳۰
E-7-6 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – تغییر جریان ۱۳۰
E-7-7 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – پایش آزمون ۱۳۱
E-8 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – REWS ۱۳۲
E-8-1 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – مقدمه ۱۳۲
E-8-2 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد- REWS– اندازه گیری سرعت باد معادل روتور ۱۳۳
E-8-3 عدم قطعیت گروه ب: سرعت باد- REWS – تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع ۱۳۴
E-9 عدم قطعیت گروه ب: سرعت باد – زمین آزمون ۱۳۴
E-9-1 کلیات ۱۳۴
E-9-2 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد- زمین آزمون – پیش کالیبراسیون ۱۳۵
E-9-3 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون – پسا کالیبراسیون ۱۳۵
E-9-4 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون- طبقه بندی ۱۳۶
E-9-5 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد- زمین آزمون – نصب ۱۳۷
E-9-6 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون – ترمینال صاعقه گیر ۱۳۷
E-9-7 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون – جمع آوری داده ها ۱۳۸
E-9-8 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد- زمین آزمون – تغییر تصحیح بین سری مجاور ۱۳۸
E-9-9 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون – حذف حسگر جهت باد ۱۳۸
E-9-10 عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون – تغییرات فصول ۱۳۸
E-10 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا ۱۳۹
E-10-1 کلیات ۱۳۹
E-10-2 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – درجه حرارت – مقدمه ۱۳۹
E-10-3 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – درجه حرارت – کالیبراسیون ۱۴۰
E-10-4 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – درجه حرارت – حفاظت تشعشع ۱۴۰
E-10-5 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – درجه حرارت- نصب ۱۴۱
E-10-6 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا- درجه حرارت – جمع آوری داده ها ۱۴۱
E-10-7 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – فشار – مقدمه ۱۴۱
E-10-8 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – فشار – کالیبراسیون ۱۴۲

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

E-10-9 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – فشار – نصب ۱۴۲
E-10-10 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – فشار – جمع آوری داده ها ۱۴۲
E-10-11 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – رطوبت نسبی – مقدمه ۱۴۳
E-10-12 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – رطوبت نسبی – کالیبراسیون ۱۴۴
E-10-13 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – رطوبت نسبی – نصب ۱۴۴
E-10-14 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – رطوبت نسبی – جمع آوری داده ها ۱۴۴
E-10-15 عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – تصحیح ۱۴۴
E-11 عدم قطعیت گروه B: روش ۱۴۵
E-11-1 عدم قطعیت گروه B: روش – مقدمه ۱۴۵
E-11-2 عدم قطعیت گروه B: روش - شرایط باد ۱۴۵
E-11-3 عدم قطعیت گروه B: روش – تاثیرات فصول ۱۵۲
E-11-4 عدم قطعیت گروه B: روش – نرمال سازی آشفتگی (یا کمبود آنها) ۱۵۲
E-11-5 عدم قطعیت گروه B: روش – آب و هوای سرد ۱۵۳
E-12 عدم قطعیت گروه B: جهت باد ۱۵۴
E-12-1 عدم قطعیت گروه B: مقدمه ۱۵۴
E-12-2 عدم قطعیت گروه B: جهت باد – فنجانی یا صوتی ۱۵۴
E-12-3 عدم قطعیت گروه B: جهت باد – RSD ۱۵۵
E-13 عدم قطعیتهای ترکیبی ۱۵۶
E-13-1 کلیات ۱۵۶
E-13-2 عدم قطعیتهای ترکیبی گروه B در توان الکتریکی ۱۵۷
E-13-3 عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد ۱۵۷
E-13-4 عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد با فنجانی و صوتی ($u_{VS,i}$) ۱۵۷
E-13-5 عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد با RSD ($u_{VR,i}$) ۱۵۸
E-13-6 عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد بر طبق REWS ۱۵۸
E-13-7 عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد بر طبق REWS ۱۵۹
E-13-8 عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد بر طبق REWS برای ارتفاع هاب دکل هواشناسی + RSD برای برش بادی که سرعت باد مطلق را بکار برد ۱۶۲
E-13-9 عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد طبق REWS در ارتفاع هاب دکل هواشناسی و RSD برای برش باد با بکار بردن سرعت نسبی باد ۱۶۴
E-13-10 عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد طبق REWS در اثر انحراف مسیر باد بر روی کل روتور ۱۶۵
E-13-11 عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد با انحراف جریان ناشی از کالیبراسیون محل آزمون ۱۶۹
E-13-12 عدم قطعیتهای ترکیبی برای درجه حرارت اندازه گیری شده ۱۷۰
E-13-13 عدم قطعیتهای ترکیبی برای فشار اندازه گیری شده ۱۷۱
E-13-14 عدم قطعیتهای ترکیبی برای رطوبت اندازه گیری شده ۱۷۲
E-13-15 عدم قطعیتهای ترکیبی در روش مرتبط به اجزاء $u_{M,i}$ ۱۷۲
E-13-16 عدم قطعیتهای ترکیبی در جهت باد اندازه گیری شده با بادسنجهای صوتی و پروانه ای $u_{WV,i}$ ۱۷۳
E-13-17 عدم قطعیتهای ترکیبی در جهت باد اندازه گیری شده با روش RSD $u_{WR,i}$ ۱۷۳
E-13-18 عدم قطعیتهای ترکیبی گروه B ۱۷۴
E-13-19 عدم قطعیتهای ترکیبی – منحنی توان ۱۷۴

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

E-13-20 عدم قطعیتهای ترکیبی – انرژی تولیدی ۱۷۴
E-14 وابستگی عناصر عدم قطعیت تحت شرایط خاص ۱۷۴
E-15 تابلوهای مرجع ۱۷۵
پیوست F :فرآیند کالیبراسیون بادسنج در تونل باد ۱۸۰
F-1 الزامات عمومی ۱۸۰
F-2 الزامات تونل باد ۱۸۰
F-3 الزامات کالیبراسیون و تجهیز ابزارهای مورد لزوم ۱۸۲
F-4 فرآیند کالیبراسیون ۱۸۳
F-4-1 فرآیند عمومی کالیبراسیون بادسنج‌های فنجانی و صوتی ۱۸۳
F-4-2 فرآیند کالیبراسیون بادسنجهای صوتی ۱۸۳
F-4-3 تعیین سرعت باد در محل بادسنج ۱۸۳
F-5 آنالیز داده ها ۱۸۵
F-6 آنالیز عدم قطعیت ۱۸۵
F-7 نحوه گزارش دهی ۱۸۶
F-8 مثال محاسبه عدم قطعیت ۱۸۷
پیوست G: نصب تجهیزات بر روی دکل هواشناسی ۱۹۱
G-1 کلیات ۱۹۱
G-2 باد سنج یکتای بالای دکل ۱۹۱
G-3 بادسنجهای نصب شده کنار به کنار دکل ۱۹۴
G-4 تجهیزات کنار نصبی دکل ۱۹۶
G-4-1 کلیات ۱۹۶
G-4-2 دکل هواشناسی لوله ای ۱۹۷
G-4-3 دکل هواشناسی خرپایی ۱۹۸
G-5 حفاظت صاعقه ۲۰۱
G-6 نصب دیگر ابزارهای هواشناسی بر روی دکل ۲۰۲
پیوستH : آزمون عملکرد توانی توربینهای بادی کوچک ۲۰۳
H-1 کلیات ۲۰۳
H-2 مشخصه ها ۲۰۳
H-3 سیستم توربین باد مشخصه ها و نصب ۲۰۳
H-4 موقعیت دکل آب و هوایی ۲۰۴
H-5 تجهیزات آزمون ۲۰۵
H-6 فرآیند اندازه گیری ۲۰۶
H-7 نتایج مشتق شده ۲۰۷
H-8 گزارش دهی ۲۰۸
H-9 پیوست A – ارزیابی تاثیر توربینهای باد و موانع بر محل آزمون ۲۰۸
H-10 پیوست B – ارزیابی زمین بر محل آزمون ۲۰۸
H-11 پیوست C – فرآیند کالیبراسیون محل آزمون ۲۰۸
پیوست I: طبقه بندی بادسنج فنجانی و صوتی ۲۱۰
I-1 کلیات ۲۱۰

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

I-2 طبقه بندی کلاسها ۲۱۰
I-3 تاثیر دامنه پارامترها ۲۱۱
I-4 طبقه بندی بادسنجهای فنجانی و صوتی ۲۱۱
I-5 پیکربندی گزارش دهی ۲۱۳
پیوست J: ارزیابی بادسنجهای صوتی و فنجانی ۲۱۴
J-1 کلیات ۲۱۴
J-2 اندازه گیری مشخصات بادسنج ۲۱۴
J-2-1 اندازه گیری در تونل باد برای مشخصات پاسخ انحراف زاویه ای یک باد سنج فنجانی ۲۱۴
J-2-2 اندازه گیری در تونل باد برای مشخصات پاسخ جهت یک باد سنج فنجانی ۲۱۶
J-2-3 اندازه گیری در تونل باد برای مشخصات گشتاور محور یک باد سنج فنجانی ۲۱۶
J-2-4 اندازه گیری در تونل باد برای مشخصات پاسخ مرحله ای یک بادسنج فنجانی ۲۱۷
J-2-5 اندازه گیری تاثیر درجه حرارت بر عملکرد یک باد سنج فنجانی ۲۱۸
J-2-6 اندازه گیری در تونل باد برای مشخصات جهت یک باد سنج صوتی ۲۲۰
J-3 روش طبقه بندی بادسنج فنجانی بر مبنای تونل باد و آزمایش لابراتواری و مدلسازی بادسنج فنجانی ۲۲۰
J-3-1 روش ۲۲۰
J-3-2 مثالی از یک باد سنج فنجانی ۲۲۱
J-4 روش طبقه بندی بادسنج صوتی بر مبنای مدلسازی و تونل باد و آزمایش لابراتواری ۲۲۸
J-5 مقایسه میدانی آزاد اندازه گیری ها ۲۲۸
پیوست K: مقایسه بادسنجها درجا(مکان اصلی آزمون) ۲۲۹
K-1 کلیات ۲۲۹
K-2 پیش برآورد ۲۲۹
K-3 روش آنالیز ۲۲۹
K-4 شاخص ارزیابی ۲۳۱
پیوست L: بکارگیری سیستم سنجش از راه دور ۲۳۴
L-1 کلیات ۲۳۴
L-2 طبقه بندی وسایل سنجش از راه دور ۲۳۵
L-2-1 کلیات ۲۳۵
L-2-2 دریافت داده ها ۲۳۶
L-2-3 آماده سازی داده ها ۲۳۷
L-2-4 اصول و الزامات حساسیت آزمون ۲۳۹
L-2-5 ارزیابی متغیرهای محیطی معنادار ۲۴۶
L-2-6 ارزیابی از وابستگی متقابل بین متغیرهای محیطی ۲۴۷
L-2-7 محاسبه کلاس دقت ۲۴۹
L-2-8 نحوه پذیرش و قبولی داده ها ۲۵۲
L-2-9 طبقه بندی RSD ۲۵۲
L-3 بازبینی عملکرد وسایل سنجش از راه دور ۲۵۳
L-4 ارزیابی عدم قطعیت وسایل اندازه گیری از راه دور ۲۵۵
L-4-1 کلیات ۲۵۵
L-4-2 مرجع عدم قطعیت ۲۵۶

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

L-4-3 عدم قطعیت ناشی از کالیبراسیون سنجش از راه دور ۲۵۶
L-4-4 عدم قطعیت ناشی از طبقه بندی وسایل سنجش از راه دور ۲۵۹
L-4-5 عدم قطعیت ناشی از جریان غیرهمگن درون مجموعه اندازه گیری ۲۶۰
L-4-6 عدم قطعیت ناشی از اثرات نصب ۲۶۰
L-4-7 عدم قطعیت ناشی از تغییرات جریان در محل آزمون ۲۶۰
L-5 بازرسیهای اضافی ۲۶۱
L-5-1 پایش عملکرد وسایل سنجش از راه دور در محل آزمون ۲۶۱
L-5-2 شناسایی بد عمل کردن وسایل سنجش از راه دور ۲۶۱
L-5-3 ارزیابی پیوستگی بازرسی در عدم قطعیت سیستماتیک وسایل سنجش از راه دور ۲۶۱
L-5-4 آزمون درجا وسایل سنجش از راه دور ۲۶۲
L-6 دیگر نیازمندیهای خاص برای آزمون منحنی توان ۲۶۲
L-7 گزارش دهی ۲۶۵
L-7-1 گزارش دهی مشترک روی کالیبراسیون، طبقه بندی و پایش وسایل سنجش از راه دور در زمان بکارگیری ۲۶۵
L-7-2 گزارش دهی اضافی بر روی طبقه بندی آزمون ۲۶۵
L-7-3 گزارش دهی اضافی بر روی کالیبراسیون ۲۶۶
L-7-4 گزارش دهی اضافی روی کاربرد ۲۶۶
پیوست M: نرمال سازی داده های منحنی توان بر مبنای شدت آشفتگی ۲۶۷
M-1 کلیات ۲۶۷
M-2 فرآیند نرمال سازی آشفتگی های جریان ۲۶۸
M-3 تعیین منحنی توان با آشفتگی جریان صفر ۲۷۰
M-4 ترتیب تصحیح برش باد و آشفتگی نرمال شده ۲۷۵
M-5 عدم قطعیت نرمال سازی آشفتگی و یا منحنی توان در اثر آشفتگی ۲۷۵
پیوستN : فرآیند کالیبراسیون سنجشگرهای جهت باد در تونل باد ۲۷۷
N-1 کلیات ۲۷۷
N-2 الزامات عمومی ۲۷۷
N-3 الزامات تونل باد ۲۷۷
N-4 الزامات اجرایی ابزارهای سنجش و کالیبراسیون ۲۷۸
N-5 فرآیند کالیبراسیون ۲۸۰
N-6 آنالیز داده ها ۲۸۱
N-7 آنالیز عدم قطعیت ۲۸۱
N-8 پیکربندی گزارش دهی ۲۸۲
N-9 مثالی از روش محاسبه عدم قطعیت ۲۸۳
N-9-1 کلیات ۲۸۳
N-9-2 عدم قطعیت اندازه گیری جهت جریان در تونل باد ۲۸۴
N-9-3 عدم قطعیت مربوط به سنجشگر جهت باد اندازه گیری شده ۲۸۶
N-9-4 نتیجه محاسبه عدم قطعیت ۲۸۷
پیوست O: آزمون عملکرد توانی در آب و هوای سرد ۲۸۹
O-1 کلیات ۲۸۹
O-2 پیشنهادات ۲۸۹

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

O-2-1 کلیات ۲۸۹
O-2-2 بادسنجهای صوتی ۲۸۹
O-2-3 باد سنجهای فنجانی ۲۸۹
O-3 عدم قطعیتها ۲۹۰
O-4 گزارش دهی ۲۹۰
پیوست P: فرآیند نرمال سازی برش باد ۲۹۱
P-1 کلیات ۲۹۱
پیوست Q: تبیین سرعت باد معادل روتور با در نظر گرفتن تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع ۲۹۳
Q-1 کلیات ۲۹۳
Q-2 تبیین سرعت باد معادل روتور با در نظر گرفتن تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع ۲۹۴
Q-3 اندازه گیری تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع ۲۹۴
Q-4 ترکیب نرمال برش باد و تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع ۲۹۴
پیوست R: در نظر گرفتن عدم قطعیت با توجه به وجود چندین توربین باد ۲۹۵
R-1 کلیات ۲۹۵
پیوست S: تصحیح انحراف جریان باد برای دکل خرپایی ۲۹۹
۱۱-مراجع ۳۰۲

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

فهرست اشکال

شکل ۱: نیازمندی‌های بخش‌ها، بصورت فاصله تجهیزات اندازه‌گیری باد و حداکثر فاصله مجاز اندازه‌گیری..... ۲۹
شکل ۲: ارتفاع متناسب برای سنجش برش باد تا بتوانیم REWS را اندازه بگیریم..... ۳۵
شکل ۳: اندازه‌گیری برش باد در ارتفاعهای متفاوت زمانیکه سرعت باد بالاتر از ارتفاع هاب اندازه‌گیری نشود(فقط برای تعیین نمایه برش باد)..... ۳۶
شکل ۴: فرآیند عملیاتی نرمالایز کردنهای مختلف..... ۴۲
شکل ۵: ارائه مثالی از پایگاه داده: ترسیم پراکندگی تست عملکرد توان با نمونه گیری در ۱ هرتز (میانگین مقادیر متوسط گیری شده در مدت ۱۰ دقیقه)..... ۵۸
شکل ۶ : ارائه مثالی از منحنی توان اندازه‌گیری شده..... ۵۹
شکل ۷: ارائه مثالی از منحنی C_P..... ۵۹

شکل A- ۱ : بخش‌هایی که خارج از بادسنجی بدلیل گردابه ناشی از همسایگی توربینهای در حال کار و موانع مهم تحت تاثیر قرار خواهند گرفت..... ۶۶
شکل A- ۲ : یک نمونه از بخش‌هایی که ناشی از گردابه توربین باد تحت تست یک همسایگی و توربین در حال کار و یک مانع مشخص حذف می شوند..... ۶۷

شکل B- ۱ : شرح منطقه مورد ارزیابی، دید از بالا است..... ۷۰
شکل B- ۲: مثالی از تعیین شیب و تغییرات زمین با بهترین صفحه انطباق: "2L to 4L" و بخش اندازه گیری(جدول B-1 سطر دوم)..... ۷۱
شکل B- ۳ : تعیین شیب برای فاصله: "2L to 4L" and "8L to 16L" و حالتی که خارج از بخش اندازه گیری است(جدول سطر سوم و پنجم)..... ۷۱

شکل C- ۱: دیاگرام کالیبراسیون محل آزمون..... ۷۳
شکل C- ۲ : انواع زمین..... ۷۶
شکل C- ۳ : مثالی از بررسی نتایج یک تست..... ۹۲
شکل C- ۴ : نمایه برش باد در برابر زمان روز، مثال A ۹۴
شکل C- ۵ : نمایه های برش باد در موقعیت توربین باد در برابر دکل هواشناسی مرجع، مثال A که که محور رنگی = سرعت باد است..... ۹۴
شکل C- ۶: نسبتهای سرعت باد و تعداد نقاط داده در برابر نمایه برش باد و سری عددی جهت باد – نسبتهای سرعت باد (خطوط پر)، تعداد نقاط داده (خطوط منقطع)..... ۹۵
شکل C- ۷ : همگرایی داده ها برای سری ۱۹۰ درجه است..... ۹۸
شکل C- ۸ : نمایه برش باد در برابر زمان روز است، مثال B..... ۹۹
شکل C- ۹ : نمایه برش باد در محل توربین باد در برابر دکل هواشناسی مرجع، مثال B..... ۱۰۰
شکل C- ۱۰ : رگرسیون خطی سرعتهای باد در موقعیت توربین باد در برابر دکل هواشناسی مرجع در ارتفاع هاب برای سری عددی ۳۳۰ درجه است..... ۱۰۰
شکل C- ۱۱ : نسبتهای سرعت باد در برابر سرعت باد برای سری عددی ۳۳۰ درجه است..... ۱۰۱
شکل C- ۱۲ : نسبتهای سرعت باد در برابر برش باد برای سری عددی ۳۳۰ درجه است..... ۱۰۱

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

شکل C- ۱۳ : نمایه برش باد در موقعیت توربین باد در برابر دکل هواشناسی مرجع با پسا فیلترینگ. ۱۰۲
شکل C- ۱۴ : رگرسیون خطی سرعتهای باد در موقعیت توربین باد در برابر دکل هواشناسی مرجع در ارتفاع هاب برای سری عددی ۳۳۰ درجه پسا فیلترینگ است. ۱۰۳
شکل C- ۱۵: نسبت سرعت برابر در برابر سرعت باد برای یک سری ۳۳۰ درجه پسا فیلترینگ ۱۰۳
شکل C- ۱۶: بررسی همگرایی داده ها در سری عددی ۳۳۰ درجه است. ۱۰۴
شکل C- ۱۷ : برش باد کالیبراسیون محل آزمون در برابر برش باد منحنی توان. ۱۰۵
شکل C- ۱۸ : بازبینی همگرایی برای سری عددی ۲۷۰ درجه. ۱۰۸

شکل F- ۱ : تعریف حجم برای جریان یکنواخت تست- حجم همچنین به اندازه 1,5 x b در عمق (در امتداد جریان) است. ۱۸۱

شکل G- ۱ : مثالی از بادسنج در بالای دکل و الزامات نصب. ۱۹۳
شکل G- ۲ : مثالی از بادسنج اولیه نصب در بالای دکل و بادسنج کنترلی که کنار به کنار قرار کرفته اند و بادسنج پره ای و دیگر ابزارهای روی تیرک مشاهده می گردد. ۱۹۵
شکل G- ۳ : ترسیمه سرعت ایزو از سرعت جریان محلی دور یک دکل هواشناسی استوانه ای. ۱۹۷
شکل G- ۴ : سرعت باد نسبت به خط مرکز بصورت تابعی از فاصله Rd از مرکز دکل هواشناسی لوله ای با قطر دکل d. ۱۹۸
شکل G- ۵ : نمایش دکل هواشناسی خرپایی سه پایه. ۱۹۸
شکل G- ۶ : ترسیمه سرعت ایزو از سرعت جریان محلی در اطراف دکل هواشناسی خرپایی سه پایه با CT ۰,۵ است. ۱۹۹
شکل G- ۷ : سرعت باد نسبت به مرکز بصورت تابعی از فاصله Rd از مرکز مثلث دکل هواشناسی خرپایی که فاصله هر پا Lm برای مقادیر CT متفاوت است. ۱۹۹
شکل G- ۸: انحراف جریان سه بعدی بدست آمده با CFD برای دو جهت باد متفاوت اطراف دکل هواشناسی خرپایی مثلثی (CT = 0.27) – برای جهت جریان فلش قرمز را دنبال کنید. ۲۰۱

شکل H- ۱: تعیین ارتفاع هاب و موقعیت دکل هواشناسی برای توربینهای محور عمودی. ۲۰۵

شکل J- ۱ : پاسخ کج شدگی زاویه ای یک بادسنج فنجانی بصورت تابعی از زاویه α در مقایسه با کسینوس پاسخ. ۲۱۶
شکل J- ۲ : اندازه گیری گشتاور QA - QF در تونل باد بصورت تابعی از ω سرعت زاویه ای روتور بادسنج فنجانی در ۸ متر بر ثانیه. ۲۱۷
شکل J- ۳ : مثالی از گشتاور اصطکاک QF بصورت تابعی از دما برای یک دامنه از ω سرعتهای زاویه ای است. ۲۱۹
شکل J- ۴ : مثالی از ضریب گشتاور روتور CQA بصورت تابعی از λ نسبت سرعت برگرفته از پاسخهای مرحله با Klow معادل ۵,۵- Khigh مساوی ۶,۵- است. ۲۲۳
شکل J- ۵ : انحرافات طبقه بندی بادسنج فنجانی نمونه کلاس A۱,۶۹ (بالا) و کلاس B۶,۵۶ (پایین) را نشان می دهد. ۲۲۶
شکل J- ۶ : انحرافات طبقه بندی بادسنج فنجانی نمونه کلاس 8.01 C (بالا) و کلاس 9.94D (پایین) را نشان می دهد. ۲۲۷

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

شکل K- ۱: مثالی از دکل هواشناسی خرپایی مثلثی. ۲۳۲
شکل K- ۲ : مثالی از دکل هواشناسی لوله ای. ۲۳۳

شکل L- ۱: انحراف در مقابل زاویه جریان به بالا برای یک وسیله سنجش از راه دور نسبت به بادسنج فنجانی در شکل J.1 تعیین شده است. ۲۴۰
شکل L- ۲ : مثالی از آنالیز حساسیت در برابر برش باد. ۲۴۳
شکل L- ۳ : مثالی از برش باد در مقابل شدت آشفتگی. ۲۴۸
شکل L- ۴: مثالی از درصد انحراف وسیله سنجش از راه دور و حسگر اندازه گیری مرجع در برابر شدت آشفتگی. ۲۴۸
شکل L- ۵: مقایسه متوسطهای ۱۰ دقیقه ای مولفه سرعت باد افقی اندازه گیری شده با RSD و بادسنج فنجانی. ۲۵۴
شکل L- ۶: مقایسه مولفه سرعت باد افقی بین اندازه گیری با وسیله سنجش از راه دور و بادسنج فنجانی (bin-wise). ۲۵۵
شکل L- ۷: مثالی از دامنه مجاز موقعیتهای حجم اندازه گیری. ۲۶۳

شکل M- **۱ :** فرآیند برای بدست آوردن منحنی توان برای یک شدت آشفتگی خاص (**$I_{refrence}$**). **۲۶۸**

شکل M- ۲ : فرآیند بدست آوردن پارامترهای منحی توان آشفتگی اولیه صفر از داه های اندازه گیری شده است. ۲۷۱
شکل M- ۳ : رویکرد اولیه برای منحنی توان آشفتگی صفر. ۲۷۱
شکل M- ۴ : فرآیند نظری برای بدست آوردن منحنی توان با آشفتگی صفر از داده های اندازه گیری شده است. ۲۷۳
شکل M- ۵ : مقایسه منحنی توان تنظیم شده با آشفتگی اولیه صفر (سبز) با اولین رویکرد (قرمز). ۲۷۴
شکل M- ۶ : فرآیند بدست آوردن منحنی توان با آشفتگی نهایی صفر از داده‌های اندازه گیری شده. ۲۷۴
شکل M- ۷ : مقایسه منحنی توان آشفتگی اولیه صفر (سبز) با منحنی توان آشفتگی نهایی صفر (سیاه). ۲۷۵

شکل N- ۱ : مثالی از برپایی کالیبراسیون حسگر جهت باد در یک تونل باد. ۲۸۰

شکل Q- ۱ : پروفایل باد اندازه گیری شده با لیدار بر روی زمیت تخت. ۲۹۳

شکل S- ۱: مثالی از انحراف جریان دکل. ۲۹۹
شکل S- ۲: پسماندهای انحراف جریان در برابر جهت باد. ۳۰۱

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

فهرست جداول

جدول ۱: نگاه کلی به شکل بندی‌های اندازه‌گیری باد در این استاندارد که جهت اندازه‌گیری منحنی توان بکار می‌رود. . ۲۵
جدول ۲: شکل بندی‌های اندازه‌گیری سرعت باد (علامت X نشانه قابل قبول بودن شکل بندی است) ۳۱
جدول ۳: مثالی از محاسبات REWS ۴۵
جدول ۴: ارائه مثالی از منحنی توان اندازه‌گیری ۶۰
جدول ۵: ارائه نمونه‌ای از انرژی سالیانه تولیدی بصورت تخمینی ۶۲

جدول A-۱ : الزامات مانع: ارتباط موانع ۶۵
جدول B-۱: الزامات محل آزمون تست: تغییرات توپوگرافی ۷۰
جدول C-۱: تصحیحات جریان کالیبراسیون محل آزمون (نسبت سرعت باد) ۹۶
جدول C-۲: شمارنده داده های کالیبراسیون محل آزمون ۹۷
جدول C-۳: مقادیر r^2 برای هر سری عددی جهت باد ۱۰۵
جدول C-۴: عدم قطعیت ناشی از تغییر در سری های عددی است ۱۰۵
جدول C-۵: عدم قطعیت اضافی ناشی از تغییر در سری های عددی ۱۰۸
جدول D-۱: لیست مولفه های عدم قطعیت ۱۱۰
جدول E-۱: عدم قطعیت‌های توسعه یافته ۱۱۶
جدول E-۲: لیست عدم قطعیتهای گروه A و گروه B ۱۱۸
جدول E-۳: مثالی از عدم قطعیتهای استاندارد ناشی از عدم وجود اندازه گیری برش باد ۱۴۸
جدول E-۴: مثالی از عدم قطعیتهای استاندارد ناشی از عدم وجود اندازه گیری تغییر مسیر باد ۱۵۰
جدول E-۵: مشارکتهای عدم قطعیت ناشی از نبود اطلاعات در مورد جریان به بالا ۱۵۱
جدول E-۶: مشارکت عدم قطعیت ناشی از عدم شناخت شدت آشفتگی ۱۵۲
جدول E-۷: فرضیات پیشنهادی برای همبستگی عدم قطعیت اندازه گیری بین ارتفاعهای اندازه گیری متفاوت[۲۶] ۱۶۱
جدول E-۸: فرضیات پیشنهاد شده همبستگی های برای عدم قطعیتهای اندازه گیری در ارتفاعهای اندازه گیری متفاوت ۱۶۸
جدول E-۹: عدم قطعیتهای ناشی از نرمال سازی چگالی هوا ۱۷۶
جدول E-۱۰: فاکتورهای حساسیت ۱۷۸
جدول E-۱۱: عدم قطعیتهای گروه B ۱۷۹
جدول F-۱: مثالی از ارزیابی عدم قطعیت کالیبراسیون بادسنج ۱۸۸
جدول G-۱: روش تخمین C_T برای انواع متفاوت دکل خرپایی ۲۰۰
جدول H-۱: تنظیمات ولتاژ بانک باطری ۲۰۷
جدول I-۱: دامنه پارامترهای موثر (متوسط‌های ۱۰ دقیقه ای) از کلاسهای A، B، C، D و S ۲۱۳
جدول J-۱: پاسخ انحراف زاویه ای بادسنج فنجانی ۲۲۴
جدول J-۲: ضریب اصطکاک بادسنج فنجانی نمونه ۲۲۵
جدول J-۳: داده های متفرقه مرتبط به طبقه بندی بادسنج فنجانی نمونه ۲۲۵
جدول L-۱: پهنای سری عددی نمونه برای لیستی از متغیرهای محیطی ۲۴۱
جدول L-۲: پارامترهای بدست آمده از آنالیز حساسیت یک وسیله سنجش از راه دور ۲۴۴

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

جدول L-۳: دامنه پارامترهای محیطی برای آنالیز حساسیت..... ۲۴۵
جدول L-۴: مثالی از متغیرهای محیطی که تاثیر معنادار دارند..... ۲۴۷
جدول L-۵: آنالیز حساسیت پارامترهای باقی مانده بعد از آنالیز متغیرهای وابسته متقابل..... ۲۴۹
جدول L-۶: مثالی برای محاسبه تاثیر حداکثر متغیرهای محیطی..... ۲۵۰
جدول L-۷: کلاسهای دقت اولیه وسیله سنجش از راه دور با در نظر گرفتن دو حالت همه متغیرها و فقط متغیرهایی که تاثیر قابل ملاحظه دارند..... ۲۵۱
جدول L-۸: مثالی از کلاس دقت نهایی وسیله سنجش از راه دور..... ۲۵۲
جدول L-۹: مثالی از عدم قطعیت محاسبات ناشی از کالیبراسیون وسیله سنجش از راه دور (RSD) در عبارات عدم قطعیتهای سیستماتیک..... ۲۵۸
جدول N-۱: مشارکت عدم قطعیت در کالیبراسیون حسگر جهت باد..... ۲۸۷
جدول N-۲: مشارکت عدم قطعیت و کل عدم قطعیت استاندارد در کالیبراسیون حسگر جهت باد..... ۲۸۸
جدول R-۱: لیست مولفه های عدم قطعیت مرتبط با هم..... ۲۹۶

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

پیش‌گفتار

استاندارد «سامانه‌های تولید انرژی بادی- قسمت ۱۲-۱: اندازه‌گیری‌های عملکرد توان توربین‌های بادی مولد الکتریسیته» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی شمارهٔ ۵ تهیه و تدوین شده، در ..... اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد انرژی مورخ ..... تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی/منطقه‌ای زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی/منطقه‌ای مزبور است:

IEC 61400-12-1:2017/COR1:2019/COR 2:2020/COR 3:2021, Wind energy generation systems – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیشگفتار استاندارد

۱- کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC) سازمانی جهانی برای استانداردسازی است، که شامل همه کمیته های ملی الکتروتکنیک است (کمیته های ملی IEC). موضوع IEC ترویج همکاری بین المللی بر روی سوالات مرتبط به استانداردسازی در حوزه الکتریک و الکترونیک است. در این ارتباط و علاوه بر فعالیت‌های دیگر، استانداردهای IEC، مشخصات فنی، گزارش‌های تکنیکی، مشخصات عمومی قابل دسترس (PAS) و راهنماها را منتشر می‌کند (پس از این به "انتشارات IEC " رجوع می‌نمایند). آماده‌سازی این مطالب به کمیته‌های تکنیکی سپرده شده است، هر کمیته IEC ملی که علاقه‌مند به موضوعی باشد می تواند در تهیه این کارها همکاری نماید. سازمان‌های دولتی و غیر دولتی در این فرآیندها با IEC همکاری می نمایند. IEC با سازمان استاندارد بین المللی (ISO) بر طبق شرایط مورد توافق بین دو سازمان همکاری می نماید.

۲- تصمیمات یا توافقات اداری IEC بر روی اعلان موضوعات تکنیکی در زمان مورد قبول صورت می‌گیرد، یک اجماع بین‌المللی بر روی موضوعات مرتبط طبق نظر هر کمیته تکنیکی برای همه کمیته‌های درگیر در IEC ارائه می گردد.

۳- انتشارات IEC بصورت پیشنهاد بین المللی کاربرد داشته و پذیرفته شده است، و کمیته های IEC نیز این وظیفه را پذیرفته اند. بطور دائمی تلاش بر این است که مطالب تکنیکی منتشره از طرف IEC دقیق باشد، IEC مسئول در مورد هر برداشت نادرست استفاده کننده نیست.

۴- بمنظور ترویج هماهنگی بین المللی، کمیته های ملی IEC سعی دارند تا مطالب منتشره IEC را بطور واضح تا نهایت ممکن یکسان بودن با اصل مطلب در حوزه ملی و محلی انتشارات حفظ کنند. هر اختلافی بین هر نشریه IEC و منتشره ملی یا محلی باید بطور روشن در نامه متذکر گردد.

۵- IEC بطور مستقل مطابق سازی را فراهم نمی‌نماید. گروه‌های مستقل تایید کننده تطابق و خدمات ارزیابی را ارائه می‌دهند، در بعضی موارد، دسترسی با تطابق مشخص می‌گردد. IEC مسئولیتی در مورد خدمات گروه‌های تایید دهنده مستقل ندارد.

۶- همه استفاده کنندگان توصیه می شود مطمئن شوند که آخرین نسخه منتشره را داشته باشند.

۷- هیچ مسئولیتی IEC و مدیران مرتبط با آن در موارد ذیل را ندارند:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

همکاران، خدمت رسانان یا نمایندگان شامل نخبگان مستقل و اعضاء کمیته‌های تکنیکی و کمیته‌های ملی IEC برای هر خسارت شخصی نیز ندارند، خسارت سرمایه ای یا دیگر خسارات با هر طبیعتی باشد، چه مستقیم یا غیر مستقیم، یا برای هزینه های (شامل هزینه قانونی) و افزایش هزینه کرد انتشار، بکارگیری آن، یا تکیه بر آن، این منتشرات یا هر انتشارات IEC ندارند.

۸- توجه داده می‌شود به مراجع مطابق با استاندارد (الزامی) (normative) که در این استاندارد به آن‌ها استناد می‌شود. بکارگیری انتشارات مرجع برای انتشار صحیح این منتشره الزامی است.

۹- تذکر داده می شود به بعضی از اجزاء منتشره IEC که ممکن است با حق مولف (یا حق اختراع) روبرو باشد. IEC مسئول برای تشخیص یا شناسایی برای حق اختراع نیست.

استاندارد ۱-۱۲-۶۱۴۰۰ بوسیله کمیته ۸۸ مجموعه IEC (International Electrotechnical Commission):
بخش سیستمهای تولید انرژی بادی تهیه شده است.
این نسخه دوم در سال ۲۰۱۷ جایگزین سری اول که در سال ۲۰۰۵ بوده می‌شود و منتشر گردیده است.
نسخه ۲۰۱۷ با تغییرات تکنیکی که بصورت فهرست وار در زیر می‌آید تایید گردیده است:

۱- بیان جدیدی از سرعت باد.
۲- برش باد و تغییر جهت باد تبیین شده‌اند.
۳- تصحیح چگالی هوا.
۴- کالیبراسیون محل آزمون بازبینی گردیده است.
۵- تبیین منحنی توان بازبینی شده است.
۶- میان یابی سری اعداد با روش مرکزی.
۷- بازبینی مدل مانع.
۸- شفاف‌سازی نیازهای توپوگرافی.
۹- پیوست جدید در باره دکل و انحراف جریان القایی.
۱۰- بازبینی طبقه بندی بادسنج‌ها.
۱۱- اضافه نمودن بادسنج ماوراء صوت.
۱۲- در پیوست، آب و هوای سرد اضافه گردید.
۱۳- اطلاعات اساسی پیوست A به اطلاعات اساسی خاص تغییر کرد.
۱۴- بازبینی عدم قطعیت در پیوست انجام شد.
۱۵- اضافه نمودن سنجش از راه دور.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

استاندارد ۲-۱۲-۶۱۴۰۰ به استاندارد ۱-۱۲-۶۱۴۰۰ اضافه گردیده است. کلیه استانداردهای مربوط به انرژی بادی در مجموعه استانداردهای ۶۱۴۰۰ مجموعه IEC قرار می‌گیرند.

IEC 61400-12-2 به IEC 61400-12-1 اضافه شده است.

مدارک این استاندارد بر اساس مطالب مدارک ذیل است:

FDIS	Report on voting
88/610/FDIS	88/617/RVD

برای اطلاعات کامل از رای گیری برای تایید این استاندارد باید به گزارش رای گیری در جدول مدرک بالا رجوع شود.

لیست همه قسمت‌های IEC 61400، انتشارات تحت عنوان کلی سیستم تولید انرژی، در تارنمای IEC قابل دسترسی است. استاندارد های بعدی در این سری در زمان نشر بعدی به روز خواهند شد. این انتشار بر طبق دستورالعمل ISO/IEC قسمت دوم، پیش نویس شده است.

کمیته واقف است که این نسخه تجدید نظر شده منجر به افزایش قابل ملاحظه پیچیدگی و شاید حجیم‌تر شدن مطالب شده است. اگر چه، کمیته تلاش کرده است پاسخگوی توربین‌های بادی بزرگ که در معرض برش باد و در زمینه‌ای پیچیده باشد. کمیته پیشنهاد می‌نماید تکنیک‌های جدید در لابراتوارها برای تایید تست‌ها بکار گرفته شود. کمیته پیشنهاد نمود که یک گزارش بازبینی در سه سال اخیر این گزارش که شامل پیشنهادات باشد ارائه گردد، که ساده سازی و روشنگری متن این استاندارد را بهبود دهد. اگر این نسخه به بازبینی نیاز داشته باشد در پیشنهادات ارائه شده، به ساده سازی و روشنگری منجر خواهد شد.

کمیته تصمیم گرفته است که مطالب این استاندارد تا تاریخ پایداری که در تارنمای IEC "http://webstore.iec.ch" آمده است در ارتباط با داده‌های این انتشار خاص بدون تغییر بماند. در این تاریخ، استاندارد منتشره:

- مورد تایید مجدد قرار می‌گیرد
- پس گرفته می شود
- با نسخه جدید جایگزین می گردد
- اصلاح می‌گردد

مقدمه استاندارد

هدف این قسمت از سری استانداردهای IEC 61400 ایجاد روشی یکسان است، تا اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل عملکرد توان توربین‌های بادی با انسجام، درستی و تجدیدپذیری مطمئن انجام گیرد. این استاندارد با پیش بینی قابلیت کاربرد آن برای موارد زیر تدوین شده است:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

- تولیدکنندگان توربین بادی که برای ارائه تعریف مناسبی از الزامات عملکردی و یا یک سامانه اظهارنامه ای مناسب، در تلاش هستند.
- خریداران توربین بادی برای مشخص کردن الزامات عملکردی.
- متصدیان توربین بادی که احتمالاً نیاز دارند برآورده شدن ویژگیهای عملکرد اظهار شده یا ضروری واحدهای جدید یا بازسازی شده را تایید نمایند.
- برنامه ریزان یا تنظیم کنندگان توربین بادی که باید بتوانند در پاسخ به مقررات زیست محیطی یا الزامات مجاز برای تاسیسات جدید یا اصلاح شده، تعریف درست و واضحی از مشخصات عملکرد توان توربین بادی داشته باشند.

این استاندارد، ارائه دهنده راهنما برای اندازه‌گیری، تجزیه و تحلیل و گزارش‌دهی آزمودن عملکرد توان توربین‌های بادی می‌باشد. این استاندارد برای طرفهای دخیل در تولید، نصب، برنامه‌ریزی و صدور مجوز، کارکرد، بهره برداری، و تنظیم توربین‌های بادی مفید می‌باشد. توصیه می‌شود تا تمامی طرف‌ها، فنون درست اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل پیشنهاد شده در این استاندارد را اعمال کنند تا اطمینان حاصل شود که توسعه و کارکرد مداوم توربین‌های بادی در یک فضای ارتباطی منسجم و درست نسبت به مسائل زیست محیطی صورت بپذیرد. این استاندارد، روش‌های اجرایی اندازه‌گیری و گزارش‌دهی را که انتظار می‌رود نتایج دقیقی ارائه کنند را معرفی می‌کند تا توسط دیگران قابل کپی برداری باشد. در عین حال، توصیه می‌شود کاربر استاندارد از تفاوت‌های ناشی از دگرگونی‌های بزرگ در تغییر جهت و آشفتگی جریان باد، و همچنین معیار استفاده شده برای انتخاب داده‌ها، آگاه باشد. بنابراین توصیه می‌شود تا کاربر، قبل از قبول انجام اندازه‌گیری‌های عملکرد توان، تاثیر چنین تفاوت‌ها و معیار انتخاب داده را در ارتباط با هدف آزمون در نظر بگیرد. یک نکته کلیدی در آزمون عملکرد توانی اندازه‌گیری سرعت باد است. این استاندارد اندازه‌گیری‌های فنجانی یا صوتی یا سیستم سنجش از راه دور (Remote Sensing Device RSD) برای بادسنجی را تجویز می‌نماید، در عین حال بادسنج‌های دیگر را در تکمیل بادسنجی می پذیرد. به هرحال طبیعت کالیبراسیون و یا اعتبارسنجی و طبقه بندی هر یک از این وسایل اندازه‌گیری ممکن است منجر به اجرایی متفاوت گردد. این ابزارها مناسب برای اندازه‌گیری بوده ولی با محدودیت‌هایی در بعضی از زمینه‌ها مواجه هستند.

مشخصا اینکه توربین‌های باد هر روز بزرگ‌تر می‌شوند، به اینکه بگوییم اندازه‌گیری سرعت باد در یک ارتفاع می‌تواند سرعت باد در همه قطر روتور را معرفی کند پذیرفتنی نیست. لذا در این استاندارد تعریف جدیدی از سرعت باد را بیان می‌نماییم. در گذشته سرعت باد را با سرعت باد در ارتفاع هاب بیان می‌نمودند، اما امروزه می‌توان آنرا با سرعت باد معادل تمام قطر روتور (REWS) که از پایین‌ترین نقطه روتور تا بالاترین نقطه را در برمی گیرد، تعریف نمود. پس با یک شبیه سازی ریاضی در تمام ارتفاع در برگیرنده روتور به فواصل مشخص سرعت باد در تمام قطر روتور اندازه‌گیری می‌گردد. منحنی توان بر اساس سرعت باد در ارتفاع هاب و سرعت باد به روش REWS (Rotor Wind Equivalent Speed) با هم متفاوت می‌باشند. در مقایسه توربین‌ها سرعت باد در ارتفاع هاب ملاک است اما منحنی توان با هر دو روش اندازه‌گیری می‌شود، در محاسبه میزان انرژی سالانه (AEP: Annual Energy Production) مقادیر هر دو روش با هم یکسان نخواهند بود، تمام

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

اندازه‌گیری‌ها بر اساس سرعت باد همان روش محاسبه و اعلام می‌گردد. فرآیند طبقه بندی بادسنج‌های فنجانی و فراصوت در پیوست‌های I وJ آمده است. فرآیند وسایل سنجش از راه دور در پیوست L آورده شده است. دقت مضاعف در انتخاب ابزار اندازه‌گیری سرعت باد توصیه می شود بنماییم چون در نتایج بسیار موثر است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۱- محدوده موضوع

این استاندارد از سری IEC ۶۱۴۰۰ است که رویه اندازه‌گیری عملکرد توانی یک توربین باد را معرفی می‌نماید. توربین باد از هر نوع و هر اندازه را که به شبکه برق متصل شود، شامل می‌گردد. در ضمن توربین‌های کوچک طبق استاندارد قبلی (استاندارد IEC ۶۱۴۰۰-۲) از این پس چه به شبکه یا به باطری متصل شوند جزئی از این استاندارد است. این روند اجرایی می تواند برای ارزیابی عملکرد توربین بادی خاص در محل مشخص اجرا شود، اما متناسبا این متدولوژی می تواند در شکل دهی در مقایسه عمومی بین مدلهای توربین‌های بادی مختلف یا قرارگیری متفاوت توربین بادی هنگامی که شرایط خاص محل نصب و داده های فیلتر شده آنها را متاثر می سازند را به حساب آورده و بکار رود.

مشخصات عملکرد توان توربین بادی توسط منحنی توان اندازه‌گیری شده و برآورد انرژی تولیدی سالانه (AEP) تعیین می‌شود. منحنی توان اندازه‌گیری شده، بوسیله رابطه بین سرعت باد و توان خروجی توربین بادی تعیین می‌شود، با جمع‌آوری همزمان اندازه‌گیری‌ها بر روی متغیرهای هواشناسی بعلاوه سرعت باد و همچنین سیگنال‌های توربین بادی (از جمله توان خروجی) در محل آزمون برای یک دوره طولانی به اندازه کافی برای ایجاد یک پایگاه داده قابل توجه آماری در محدوده ای از سرعت باد و تحت شرایط جوی و باد متغیر که اجرا گردیده را مشخی می سازد. محاسبه AEP با استفاده از اندازه‌گیری منحنی توان به توزیع فرکانس سرعت باد مرجع، با فرض ۱۰۰٪ در دسترس بودن بدست می‌آید.

این گزارش روش اندازه‌گیری منحنی توان و انرژی تولیدی را که مورد نیاز است تشریح می نماید و تمام عوامل موثر در عدم قطعیت که ارزیابی را تحت تاثیر قرار می‌دهد در نظر می‌گیرد.

۲- مراجع الزامی

اسناد زیر که در متن این استاندارد به آنها به نوعی بطور بخشی یا کامل ارجاع شده است، الزامات این سند استاندارد را فراهم می‌سازد. برای مراجع تاریخ دار، فقط نسخه‌ای که به آن استناد شده است، مورد نظر است. برای مراجع بدون تاریخ، آخرین نسخه ارجاع داده شده سند (شامل هر اصلاحیه) فراهم گردد:

IEC 60688:2012, *Electrical measuring transducers for converting A.C. and D.C. electrical* quantities *to analogue or digital signals*
IEC 61400-12-2:2013, *Wind turbines – Part 12-2: Power performance of electricity-producing wind turbines based on nacelle anemometry*
IEC 61869-1:2007, *Instrument transformers – Part 1: General requirements*
IEC 61869-2:2012, *Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers*

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

IEC 61869-3:2011, *Instrument transformers – Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers*
ISO/IEC GUIDE 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*
ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*
ISO/IEC 17043:2010, *Conformity assessment – General requirements for proficiency testing*
ISO 2533:1975, *Standard atmosphere*
ISO 3966:2008, *Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity area method using Pitot static tubes*

۳- عبارات و مشخصه ها

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به‌کار می‌رود[۱]:

۳-۱

دقت

accuracy

یعنی نزدیکی و قبولی بین یک مقدار اندازه‌گیری شده و یک مقدار واقعی عنصر اندازه‌گیری شونده.

۳-۲

انرژی تولیدی سالیانه
AEP

annual energy production

تخمین کل انرژی تولیدی یک توربین بادی در یک دوره یک ساله با بکارگیری منحنی توان اندازه‌گیری شده درسرعت‌های باد مرجع مشخص در ارتفاع هاب توربین با فرض اینکه بصورت صد درصد موجود است.

۳-۳

ثبات جوی

atmospheric stability

میزان گرایش باد به اختلاط عمودی در دو حالت حدی که این دو حالت بدین گونه تعریف می شوند:

الف – جو پایدار عبارت است از گرادیان دمایی با ارتفاع زیاد شود، برش باد بالا، امکان تغییر جهت باد با ارتفاع، و امکان آشفتگی پایین است.

[۱]- اصطلاحات و تعاریف به‌کار رفته در استانداردهای ISO و IEC در وبگاه‌های www.iso.org/obp و www.electropedia.org/ قابل‌دسترس است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

ب - جو ناپایدار یا خنثی عبارت است از حالتی که گرادیان دمایی پایین و برش باد کم است.

۴-۳

زمین پیچیده

complex terrain

زمین منطقه محل آزمون دارای توپوگرافی با تغییرات زیاد و موانع متعدد (به ۳-۱۸ مراجعه شود) که عامل انحراف جریان شاید بشود.

۵-۳

سرعت باد برای شروع بکار توربین

cut-in

حداقل سرعت بادی که توربین باد شروع به تولید برق می‌نماید.

۶-۳

سرعت باد توقف توربین

cut-out

سرعت بادی که توربین بادی بعلت سرعت بالای باد از شبکه قطع می‌شود.

۷-۳

مجموعه داده‌ها

data set

نمونه داده های جمع آوری شده در یک دوره پیوسته است.

۸-۳

ثابت مسافت زمانی

distance constant

معرف پاسخ زمانی یک بادسنج است بدین گونه که مشخص می‌کند که بُعد طولی هوای عبور کننده از ابزار سنجش تا ۶۳ درصد مقدار نهایی را نشان دهد که در درجه سیستم سنجش معادل یک واحد سرعت باد ورودی باشد.

۹-۳

منحنی توان برون یابی شده

power curve extrapolated

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

گسترش منحنی توان اندازه‌گیری شده بوسیله تخمین توان خروجی از حداکثر سرعت باد اندازه‌گیری شده تا سرعت باد توقف توربین است.

۱۰-۳

انحراف جریان

flow distortion

تغییر در جریان هوا بر اثر موانع، تغییرات سطوح زمین، یا دیگر توربین‌های بادی که باعث می‌شوند اندازه‌گیری سرعت باد در موقعیت متفاوت از سرعت باد در محل توربین باد بشود.

۱۱-۳

ارتفاع هاب

hub height

ارتفاع مرکز سطح جاروب شده روتور توربین باد نسبت به سطح زمین در راستای برج.

تذکر ۱: در توربین محور عمودی ارتفاع هاب عبارت است از مرکزیت سطح جاروب شده روتور از سطح زمین در امتداد برج.

۱۲-۳

منحنی توان اندازه‌گیری شده

measured power curve

جدول و نموداری که معرفی کننده مقادیر اندازه‌گیری شده، تصحیح شده و نرمالایز شده قدرت خروجی خالص توربین باد بصورت تابعی از سرعت باد اندازه‌گیری شده است، اندازه‌گیری‌ها تحت یک پروسه مشخص صورت گرفته است.

۱۳-۳

دوره اندازه‌گیری

measurement period

دوره زمانی که در طول آن دوره یک پایگاه داده آماری قابل ملاحظه برای آزمون عملکرد توان جمع آوری شده باشد.

۱۴-۳

بخش اندازه‌گیری شده

measurement sector

یک بخش از جهت‌های باد که داده‌ها برای منحنی توان اندازه‌گیری شده انتخاب شده.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۳-۱۵

روش سری عددی

bins

پروسه کاهش داده‌های حاصل از گروه‌های داده‌های آزمون برای یک پارامتر مشخص در بازه زمانی سری اعداد دریافت شده است.

تذکر: برای هر سری عددی، تعدادی از سری داده ها یا نمونه ها جمع آوری می‌شود، و مقدار متوسط پارامتر درون هر سری عددی محاسبه می‌گردد.

۳-۱۶

توان اکتیو الکتریکی خالص

net active electric power

اندازه‌گیری توان الکتریکی خروجی توربین باد که به شبکه برق تحویل می دهد.

۳-۱۷

تعمیرات طبق برنامه

normal maintenance

هر فعالیتی که برطبق قاعده برنامه ریزی تعمیرات اجرا شود، جدا از اینکه تست عملکرد انجام بشود، بطور مثال تعویض روغن، شستشوی پره (اگر ناشی از هر چه باشد، یعنی مستقل از تست عملکرد توانی باشد) و هر فعالیتی که خارج از شرح برنامه تعمیرات باشد (مانند: تعمیر یک قطعه‌ای که خراب شده است) و این عمل وضعیت ماشین را تغییر ندهد.

۳-۱۸

موانع

obstacles

انسدادهایی (مانند یک ساختمان و درختان) که باد را مسدود و انحراف جریان را باعث شوند.

۳-۱۹

زاویه پیچ

pitch angle

زاویه بین خط کورد در یک موقعیت شعاعی پره معلوم (معمولا ۱۰۰٪ از شعاع پره است) و صفحه چرخش پره است.

۳-۲۰

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

ضریب توان

power coefficient

نسبت توان خروجی خالص به توان قابل دسترس جریان آزاد باد در سطح جاروب شده روتور توربین باد است.

۲۱-۳

عملکرد توان

power performance

اندازه‌گیری توان و انرژی الکتریکی تولیدی یک توربین باد است.

۲۲-۳

توان نامی

rated power

مقدار توان معین شده برای یک تجهیز در شرایط مشخص که توسط تولیدکننده آن وسیله ابراز می‌گردد.

۲۳-۳

سرعت باد معادل روتور

rotor equivalent wind speed

سرعت باد متناسب با انرژی جنبشی جریان عبوری از سطح جاروب شده روتور بصورتی که تغییرات سرعت باد با ارتفاع را طبق رابطه ۵ در نظر بگیریم.

۲۴-۳

تعمیرات خاص

special Maintenance

خارج از قاعده برنامه ریزی تعمیرات اجرا شود، و هر فعالیتی که خارج از شرح برنامه معمول تعمیرات باشد، هر فعالیتی که جهت بهبود عملکرد توان در دوره تست باشد، بطور مثال شستشوی پره خارج از جدول برنامه ریزی، هر جایگزینی یک قطعه اصلی باشد.

۲۵-۳

عدم قطعیت استاندارد

standard uncertainty

عدم قطعیت نتیجه یک اندازه‌گیری که بصورت انحراف معیار بیان می‌شود.

۲۶-۳

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

سطح جاروب شده

swept area

برای یک توربین افقی سطح مقابل به روتور در صفحه عمود به محور دوران توربین است.

تذکر: برای توربین‌های بادی دو پره‌ای، سطح تصویر شده توصیه می شود که صفحه عمود به محور روتور سرعت پایین در نظر گرفته شود. برای توربین محور عمودی، سطح تصویر شده روتور متحرک وابسته به صفحه عمودی است.

۲۷-۳

محل آزمون

test site

محل توربین باد تحت آزمون و اطرافش می باشد.

۲۸-۳

عدم قطعیت در اندازه‌گیری

uncertaintity Measurement

پارامتری که به نتیجه اندازه‌گیری مرتبط است، که میزان توزیع مقادیری که به اندازه‌گیری مرتبط است را بصورت قابل قبولی برساند.

۲۹-۳

تجهیزات اندازه‌گیری باد

wind measurement equipment

دکل هواشناسی یا وسایل سنجش از راه دور است.

۳۰-۳

برش باد

wind shear

تغییر سرعت باد با تغییر ارتفاع در امتداد روتور توربین باد.

۳۱-۳

نمایه برش باد

wind shear exponent

تذکر: این پارامتر بعنوان مقدار اندازه‌گیری برش باد برای کالیبراسیون محل آزمون در پیوست C آمده است و ممکن است کلا مفید باشد. معادله قانون قدرت هست:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$$v_{zi} = v_h\left(\frac{z_i}{H}\right)^{\alpha} \quad (۱)$$

بطوریکه:

v_h سرعت باد در ارتفاع هاب است.

H ارتفاع هاب بر حسب متر است.

v_{zi} سرعت باد در ارتفاع z_i است.

α ضریب توان برش باد است.

۳۲-۳

تغییر جهت باد

wind veer

تغییر جهت باد با تغییر ارتفاع در امتداد روتور توربین باد است.

۴- علائم و واحدها

در این استاندارد، نمادها و یکاهای زیر به‌کار می‌رود:

معادل فارسی	معادل انگلیسی	یکاها	نمادها
سطح جاروب شده روتور توربین باد	swept area of the wind turbine rotor	[m^2]	A
مساحت جزء i ام روتور توربین باد	area of the ith wind turbine rotor segment	[m^2]	Ai
فاکتور مقیاس ویبول	Weibull scale factor	[m/s]	Aw
انرژی تولیدی سالیانه	annual energy production	[Wh]	AEP
فشار فشارسنج	barometric pressure	[Pa]	B
متوسط فشار هوای اندازه‌گیری شده در ۱۰ دقیقه	measured air pressure averaged over 10 min	[Pa]	B10min
ضریب سر لوله پیتوت	Pitot tube head coefficient		Ch
ضریب توان در سری عددی	power coefficient in bin		CP,i
ضریب گشتاور آیرودینامیک کلی	generalized aerodynamic torque coefficient		CQA
ضریب نیروی تراست	thrust coefficient		CT

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نمادها	یکاها	معادل انگلیسی	معادل فارسی
c		sensitivity factor of a parameter (the partial differential	فاکتور حساسیت یک پارامتر(مشتق جزئی)
*c*B,*i*	[W/Pa]	sensitivity factor of air pressure in bin *i*	فاکتور حساسیت فشار هوا در سری عددی i
*c*d,*i*		sensitivity factor of data acquisition system in bin *i*	فاکتور حساسیت سیستم جمع آوری داده ها در سری عددی i
*c*index		sensitivity factor of index parameter	فاکتور حساسیت اندیس پارامتر
ck,*i*		sensitivity factor of component *k* in bin *i*	فاکتور حساسیت مولفه k در سری i
*c*T,*i*	[W/K]	sensitivity factor of air temperature in bin *i*	فاکتور حساسیت دمای هوا در سری عددی i
*c*V,*i*	[Ws/m]	sensitivity factor of wind speed in bin *i*	فاکتور حساسیت سرعت باد در سری عددی i
cρ,*i*	[Wm3/kg]	sensitivity factor of air density correction in bin *i*	فاکتور حساسیت چگالی هوا تصحیح شده در سری عددی i
D	[m]	rotor diameter	قطر روتور
*D*e	[m]	equivalent rotor diameter	قطر معادل روتور
Dn	[m]	rotor diameter of neighbouring and operating wind turbine	قطر روتور توربین‌های مجاور و در حال کار
d	[m]	meteorological mast diameter	قطر دکل آب و هوایی
F(*V*)		the Rayleigh cumulative probability distribution function for wind speed	تابع توزیع احتمالی جمعی رایلی برای سرعت باد
fi		the relative occurrence of wind speed in a wind speed interval	اتفاق نسبی سرعت باد در یک فاصله سرعت باد
fr,MM		wind shear correction factor, measured using meteorological mast instruments mounted	فاکتور تصحیح برش باد، اندازه‌گیری شده با ابزار نصب بر روی دکل آب و هوایی
fr,RSD		wind shear correction factor, measured using a remote sensing device	فاکتور تصحیح برش باد، اندازه‌گیری شده با سیستم سنجش از راه دور
H	[m]	hub height of wind turbine	ارتفاع هاب توربین بادی

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نمادها	یکاها	معادل انگلیسی	معادل فارسی
h	[m]	height of obstacle	ارتفاع مانع
I	[kgm2]	inertia of cup anemometer rotor	اینرسی محور بادسنج فنجانی
k		class number	تعداد کلاس
k		Weibull shape factor	فاکتور شکل ویبول
*k*b		blockage correction factor	فاکتور تصحیح انسداد
*k*c		wind tunnel calibration factor	فاکتور کالیبراسیون تونل باد
*k*f		wind tunnel correction factor to other tunnels (only used in uncertainty estimate)	فاکتور ت صحیح تونل باد به دیگر تونلها (فقط در تخمین عدم قطعیت بکار می رود)
*k*ρ		humidity correction to density	تصحیح رطوبت در چگالی
*K*B,t	[N/m2V]	barometer sensitivity	حساسیت فشارسنج
*K*B,s		barometer gain	ضریب بهره فشارسنج
*K*B,d		barometer sampling conversion	تبدیل نمونه برداری فشارسنج
*K*T,t	[K/A]	temperature transducer sensitivity	حساسیت ترانسدیوسر دما
*K*T,s	[A/V]	temperature transducer gain	ضریب بهره ترانسدیوسر دما
*K*T,d		temperature transducer sampling conversion	ضریب تبدیل نمونه برداری ترانسدیوسر دما
*K*p,t		pressure transducer sensitivity	حساسیت ترانسدیوسر فشار
*K*p,s		pressure transducer gain	ضریب بهره ترانسدیوسر فشار
*K*p,d		pressure transducer sampling conversion	ضریب تبدیل نمونه برداری ترانسدیوسر فشار
*L*m	[m]	distance between adjacent legs of lattice meteorological mast	فاصله بین پایه های کنار هم دکل خرپایی
L	[m]	distance between the wind turbine and the wind equipment measurement	فاصله بین توربین باد و تجهیزات اندازه‌گیری باد
*L*e	[m]	distance between the wind turbine or the wind equipment measurement and an obstacle	فاصله بین توربین باد یا تجهیزات اندازه‌گیری باد و یک مانع

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نمادها	یکاها	معادل انگلیسی	معادل فارسی
Ln	[m]	distance between the wind turbine or the wind equipment measurement and a neighbouring and operating wind turbine	فاصله بین توربین باد یا تجهیزات اندازه‌گیری و یک همسایگی با توربین باد در حال کار
lh	[m]	height of obstacle	ارتفاع مانع
lw	[m]	width of obstacle	عرض مانع
M		number of uncertainty components in each bin	تعداد عدم قطعیت در هر سری عددی
MA		number of category A uncertainty components	تعداد عدم قطعیت اجزاء گروه A
MB		number of category B uncertainty components	تعداد عدم قطعیت اجزاء گروه B
N		number of bins	تعداد سری عددی
Nh	[h]	number of hours in one year ≈ 8 760	تعداد ساعت در یک سال
Ni		number of 10 min data sets in wind speed bin	تعداد مجموعه داده های ۱۰دقیقه ای در سری سرعت باد
Nj		number of 10 min data sets in wind direction bin j	تعداد مجموعه داده های ۱۰دقیقه ای در سری جهت باد j
n		number of samples within sampling interval	تعداد نمونه ها درون فاصله نمونه گیری
nh		number of available measurement heights	تعداد ارتفاعهای اندازه‌گیری در دسترس
Po		porosity of obstacle (0: solid, 1: no obstacle)	نفوذ مانع
Pi	[W]	normalized and averaged power output in bin i	توان خروجی متوسط گیری شده و نرمالیزه در سری عددی i
Pn	[W]	normalized power output	توان خروجی نرمالایز شده
Pn,i,j	[W]	normalized power output of data set j in bin i	توان خروجی نرمالایز شـــده درمجموعه داده های j در سری عددی i
P10min	[W]	measured power averaged over 10 min	توان متوسط اندازه گیری شده در ۱۰ دقیقه
Pw	[Pa]	vapour pressure	فشار بخار
QA	[Nm]	aerodynamic torque	گشتاور آیرودینامیکی

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نمادها	یکاها	معادل انگلیسی	معادل فارسی
Qf	[Nm]	friction torque	گشتاور اصطکاکی
R	[m]	rotor radius	شعاع روتور
R0	[J/kgK]	gas constant of dry air (287,05)	ثابت گاز برای هوای خشک
Rd	[m]	distance to meteorological mast centre	فاصله مرکز دکل آب و هوایی
Rw	[J/kgK]	gas constant of water vapour (461,5)	ثابت گاز برای بخار آب
RSD		remote sensing device	وسایل سنجش از راه دور
r		correlation coefficient	ضریب همبستگی
s		category A standard uncertainty component	عدم قطعیت استاندارد گرید A
sA		category A standard uncertainty of tunnel wind speed time series	عدم قطعیت استاندارد گرید A تونل باد سری های زمانی سرعت باد
sk,i		category A standard uncertainty of component k in bin i	عدم قطعیت استاندارد گرید A مولفه k در سری i
si		combined category A uncertainties in bin i	عدم قطعیت ترکیبی گرید A در سری عددی i
sP,i	[W]	category A standard uncertainty of power in bin i	عدم قطعیت استاندارد گرید A توان در سری i
$s$sc	[m/s]	category A standard uncertainty of site calibration	عدم قطعیت استاندارد گرید A کالیبراسیون محل آزمون
sw,i	[Wh]	category A standard uncertainty of climatic variations	عدم قطعیت استاندارد گرید A تغییرات آب و هوایی
$s\alpha$,j		category A standard uncertainty of wind speed ratios in bin j	عدم قطعیت استاندارد گرید A نسبتهای سرعت باد در سری عددی j
S		meteorological mast solidity	صلبیت دکل آب و هوایی
T	[K]	absolute temperature	درجه حرارت مطلق
TI		turbulence intensity	شدت آشفتگی
T10min	[K]	measured absolute air temperature averaged over 10 min	متوسط درجه حرارت مطلق هوای اندازه‌گیری شده در ۱۰ دقیقه
t	[s]	time	زمان

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نمادها	یکاها	معادل انگلیسی	معادل فارسی
U	[m/s]	wind speed	سرعت باد
Ud	[m/s]	centreline wind speed deficit	افت سرعت باد خط مرکز
Ueq	[m/s]	equivalent horizontal wind speed	سرعت معادل باد افقی
U_i	[m/s]	wind speed in bin i	سرعت باد در سری عددی i
Ut	[m/s]	threshold wind speed	آستانه سرعت باد
$\vec{U}$		wind speed vector	بردار سرعت باد
u c		category B standard uncertainty component	مولفه عدم قطعیت استاندارد گروه B
uAEP	[Wh]	combined standard uncertainty in the estimated production annual energy	عدم قطعیت اســـتاندارد ترکیبی در انرژی تولیدی سالیانه تخمین زده شده
$u_{B,i}$	[Pa]	category B standard uncertainty of air pressure in bin i	عدم قطعیت اســتاندارد گروه B فشــار هوا در سری i
$u_{c,i}$	[W]	combined standard uncertainty of the power in bin i	عدم قطعیت ترکیبی استاندارد توان در سری i
u_i		combined category B uncertainties in bin i	عدم قطعیت ترکیبی گروه B در سری i
$u$index		category B standard uncertainty of index parameter	عدم قطعیت اســـتاندارد گروه B از ایندکس پارامتر
$u_{k,i}$		category B standard uncertainty of component k in bin i	عدم قطعیت اســـتاندارد گره B از مولفه k در سری i
$u_{P,i}$	[W]	category B standard uncertainty of power in bin i	عدم قطعیت استاندارد گروه B توان در سری i
$u_{V,i}$	[m/s]	category B standard uncertainty of wind speed in bin i	عدم قطعیت ا ستاندارد گروه B از سرعت باد در سری i
$u_{T,i}$	[K]	category B standard uncertainty of air temperature in bin i	عدم قطعیت ا ستاندارد گروه B درجه حرارت هوا در سری i
$u_{\alpha,i,j}$	[m/s]	combined standard uncertainty of site calibration in wind speed bin i and wind direction bin j	عدم قطعیت ترکیبی ا ستاندارد کالیبرا سیون محل آزمون در ســرعت باد ســری i و ســری جهت باد j

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نمادها	یکاها	معادل انگلیسی	معادل فارسی
$u\rho,i$	[kg/m3]	category B standard uncertainty of air density correction in bin *i*	عدم قطعیت استاندارد B از تصحیح چگالی هوا در سری i
V	[m/s]	wind speed	سرعت باد
Vave	[m/s]	annual average wind speed at hub height	سرعت باد متوسط سالیانه در ارتفاع هاب
Vi	[m/s]	normalized and averaged wind speed in bin *i*	سرعت باد متو سط نرمالایز شده در سری عدد i
Vn	[m/s]	normalized wind speed	سرعت باد نرمالایز شده
Vn,*i*,*j*	[m/s]	normalized wind speed of data set *j* in bin *i*	سرعت باد نرمالایز شده از مجموعه داده های j در سری عددی i
V10min	[m/s]	measured wind speed averaged over 10 min	سرعت باد متو سط اندازه‌گیری شده در ۱۰ دقیقه
v	[m/s]	transversal wind speed component	مولفه جانبی سرعت باد
v	[m/s]	mean flow air speed	سرعت متوسط جریان هوا
$v$eq	[m/s]	measured equivalent wind speed	سرعت باد معادل اندازه‌گیری شده
$v$eq,final	[m/s]	final rotor equivalent wind speed	سرعت باد نهایی معادل روتور
$v$eq,MM	[m/s]	equivalent wind speed based on meteorological mast measurements	سرعت باد معادل برمبنای اندازه گیری روی دکل هواشناسی
$v$eq,RSD	[m/s]	equivalent wind speed based on remote sensing device measurements	سرعت باد معادل بر مبنای وسایل اندازه گیری سنجش از راه دور
vh	[m/s]	hub height wind speed	سرعت باد در ارتفاع هاب
vh,MM	[m/s]	wind speed measured at hub height with meteorological mast	سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع هاب با دکل هواشناسی
$v$hn	[m/s]	hub height wind speed normalised for a specific wind shear profile	سرعت باد در ارتفاع هاب نرمالایز شده برای یک پروفایل برش باد خاص
vh,RSD	[m/s]	wind speed measured at hub height by the remote sensing device	سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع هاب با وسایل سنجش از راه دور
vi	[m/s]	wind speed measured at height *i*	سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع i

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نمادها	یکاها	معادل انگلیسی	معادل فارسی
vzi	[m/s]	wind speed at height z*i*	سرعت باد در ارتفاع zi
WME		wind measurement equipment	تجهیزات اندازه‌گیری باد
w	[m/s]	vertical wind speed component	مولفه عمودی سرعت باد
wi		weighting function to define deviation envelope	تابع وزنی برای تعیین انحراف مجموعه
Xk		parameter averaged over pre-processing time period	پارامترمتوسط گیری شده در یک دوره زمانی پیش پردازش
*X*10min		parameter averaged over 10 min	پارامتر متوسط گیری شده در ۱۰ دقیقه
x	[m]	distance downstream from obstacle to wind equipment or measurement wind turbine	فاصـــله پایین دســـت از مانع تا تجهیزات اندازه‌گیری با توربین باد
z	[m]	height above ground	ارتفاع بالای زمین
zi	[m]	height of the *i*th wind turbine rotor segment	ارتفاع قسمت iام روتور توربین باد
α w	[°]	wind shear exponent from power law	نمایه برش باد از قانون توان
εmax,*i*	[m/s]	maximum deviation for any wind speed bin *i* in the wind speed range	حداکثر انحراف برای هر ســـری عددی i سرعت باد در محدوده سرعت باد
θ	[°]	disturbed sector	بخش توزیع شده
κ		von Karman constant 0,4	ثابت فن کارمن
λ		speed ratio	نسبت سرعت
ρ	[kg/m3]	air density	چگالی هوا
ρ0	[kg/m3]	reference air density	چگالی هوای مرجع
ρ10min	[kg/m3]	derived air density averaged over 10 min	چگالی هوای متوســـط گیری شـــده در ۱۰ دقیقه
σ P,*i*	[W]	standard deviation of the normalized power data in bin *i*	انحراف معیار داده های توان نرمالایز شـــده درسری i
σ10min		standard deviation of parameter averaged over 10 min	انحراف معیار پارامتر متو سط گیری شده در ۱۰ دقیقه

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

معادل فارسی	معادل انگلیسی	یکاها	نمادها
انحراف معیار طولی/عرضی/عمودی سرعتهای باد	standard deviations of longitudinal /transversal/vertical wind speeds		σu/σ v/σw
رطوبت نسبی	relative humidity (range 0 % to 100 %)		Φ r
سرعت زاویه ای	angular velocity (s^{-1})		ω

۵- بازبینی روش کلی عملکرد توان

برش باد و تغییر جهت باد نسبت به ارتفاع بدلیل شرایط ثبوت جوی و همچنین اثرات توپوگرافی محل آزمون، به میزان قابل ملاحظه‌ای با ارتفاع روتور توربین‌های بادی بزرگ تغییر می‌نماید. وقوع شرایط غیر عادی جوی (تغییر در گرادیان دما و برش باد) در محل آزمون یک موضوع خاص است، و اگر در زمان آزمون عملکرد توانی اتفاق بیفتد، منحنی توان با تغییرات قابل ملاحظه ای روبرو خواهد شد.

روش بکار رفته در اندازه‌گیری عملکرد توانی در این استاندارد بر اساس تعریف ارائه شده از منحنی توان است که بیان می‌نماید توان تولید شده به ازای سرعت باد است، که بیان کننده انرژی جنبشی موثر جریان باد عبوری از میان مساحت جاروب شده روتور می‌باشد. انرژی جنبشی جریان (به نقاط مشخصی از زمان یا دوره زمانی برمی‌گردد، نوعا ۱۰ دقیقه، با فرض اینکه سرعت باد در این مدت زمان تغییر نکند[۱]) در امتداد عمودی سطح دریافت کننده که با عبارت ذیل بیان می‌شود:

$$P_{\text{kin}} = \int_A \frac{1}{2}\rho V^3 \, \mathrm{d}A \qquad (۲)$$

در رابطه بالا:

[۱] اگر سرعت باد تغییر نماید (یعنی اگر شدت آشفتگی بزرگتر از صفر باشد) در طول یک دوره زمانی، پس توان جنبشی (متوسط گیری شدهدر طی این دوره زمانی) بالاتر از حالت سرعت باد ثابت است، در حالیکه یک توربین باد امکان محدودی برای تبدیل این انرژی جنبشی به توان الکتریکی اضافی را دارد. این منتشره در اینجا بیشتر از این در نظر نمی گیرد. برای ساده سازی در اینجا معادلات (۲)، (۳) و (۴) معتبر در نظر گرفته می شود، حتی در حالتی که شدت آشفتگی بزرگتر از صفر باشد. تاثیر تغییرات سرعت باد برتوان جنبشی متوسط گیری شده و تاثیرات همراه آن روی منحنی توان توربین باد با در نظر گرفتن رویه نرمال سازی آشفتگی در پیوست بررسی شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

V سرعت باد افقی در محدوده سطح روتور توربین است که در یک بازه زمانی ۱۰ دقیقه‌ای معمولا سنجیده می‌شود[۱].

ρ دانسیته هوا را مشخص می کند. برای توربین‌های بادی بزرگ با تغییر ارتفاع تغییر می‌کند.

A مساحت جاروب شده که قطر روتور توربین بادی را در بر می گیرد مشخص می‌نماید.

P_{kin} توان تولیدی توربین باد بر حسب وات می باشد.

با توجه به رابطه بالا برای توان توربین بادی ما می‌توانیم روابط مشتق شده و کامل‌تری را پیدا کنیم که انرژی تولیدی را بیان نماید. در ادامه به تبیین مطالبی که موضوع را بهتر روشن می‌نماید می‌پردازیم.

سرعت باد افقی بر اساس مقدار متوسط مولفه های بردار لحظه ای سرعت باد تعریف می‌شود، که در برگیرنده مولفه های طولی و جانبی بدون در نظر گرفتن مولفه عمودی بدست میآید. زمانیکه ما یک توربین محور افقی را در نظر بگیریم تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع نیز باید در نظر گرفته شود و بنابراین انرژی جنبشی در ارتفاع هاب بصورت ذیل اصلاح می‌گردد:

$$P_{\mathrm{kin}} = \int_A \frac{1}{2}\rho\left(V\cos\left(\varphi - \varphi_{\mathrm{hub}}\right)\right)^3 \mathrm{d}A \qquad (۳)$$

اینجا ϕ_{hub} جهت باد در ارتفاع هاب است. تغییر جهت باد در امتداد قطر روتور برای توربین‌های محور افقی بزرگ به مقدار قابل ملاحظه‌ای نسبت به تغییر ارتفاع تغییرات دارد. برای شرایط ثبوت جوی و توپوگرافی محل آزمون این تغییرات قابل مشاهده است. در این استاندارد، ما برش باد و تغییرات جهت باد در ارتفاع در صفحه افق را در نظر نمی‌گیریم. بنابراین انرژی معادل سرعت بادی که متناسب با انرژی جنبشی در باد است چنانچه با برداشت از معادله شماره ۳ بخواهیم بنویسیم به فرم زیر در می آید:

$$V_{\mathrm{eq}} = \left(\frac{1}{A}\int_i \left(V_i\cos\left(\varphi_i - \varphi_{\mathrm{hub}}\right)\right)^3 \mathrm{d}A_i\right)^{1/3} \qquad (۴)$$

در رابطه بالا اندیس i به ارتفاع درون سطح روتور بر می‌گردد[۲]. اگر چه سرعت باد افقی بعنوان سرعت باد تاثیرگذار در نظر گرفته می‌شود، در محل آزمون‌های با وجود جریان‌های غیر افقی (جریان باد بالا یا پایین)، یک عدم قطعیت

[۱] توان توربین باد با تعریف سرعت باد افقی همبستگی بهتری نسبت به تعریف بردار سرعت باد در نقطه اندازه گیری ارتفاع هاب دارد.

[۲] اگرچه سرعت باد ذکر شده در گزارش، بطور پیش فرض طبق تعریف به سرعت باد درارتفاع هاب برمی گردد مگر اینکه بطور مشخص گفته شود سرعت باد انرژی معادل است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

دیگر با باد اندازه‌گیری شده در امتداد افقی و پاسخ توربین باد مرتبط می‌گردد. در محل آزمون‌هایی با برش باد و تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع، همگن و ضعیف (و برای توربین‌های با قطر کوچک روتور در زمین با شرایط پیچیده جریان)، سرعت باد در ارتفاع هاب بخوبی میزان انرژی جنبشی قابل جذب روتور را معرفی می نماید. سرعت باد در ارتفاع هاب نمایانگر سرعت بادی است که منحنی توان بطور تاریخی در همه سری‌های این مجموعه استاندارد بر آن بنا شده است. بدین دلیل، سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع هاب پیش فرض پذیرفته سرعت باد خواهد بود و در همه گزارش‌ها این سرعت اندازه‌گیری و گزارش می‌گردد، حتی زمانی‌که که اندازه‌گیری‌های سرعت باد روی همه روتور توربین باد باشد اصطلاحا ما تعبیر سرعت باد در ارتفاع هاب را برای بیان بکار می‌بریم. در محلهای آزمون و فصولی که شرایط جوی دارای حد خاصی در اغلب اوقات پدید آید، در این شرایط پیشنهاد می‌گردد برش باد اندازه‌گیری شود.

اگر برش باد و تغییر جهت باد در ارتفاع، روی کل روتور اندازه‌گیری نگردد، ما با یک عدم قطعیت در سرعت باد معادل روتور روبرو خواهیم بود. این عدم قطعیت را با افزایش تعداد اندازه‌گیری‌ها می‌توان کاهش داد. برای توربین‌های بادی کوچک[1]، نیاز به اندازه‌گیری برش باد و تغییر جهت باد در ارتفاع نداریم، صرفا باد در ارتفاع هاب کفایت می نماید. چنانچه شرایط توربین در موقعیت تست توربین و در موقعیت باد اندازه‌گیری بطور معناداری متفاوت باشند، مانند اینکه توربین مورد آزمون یا وسایل اندازه‌گیری باد در محل گردابه هر توربین باد قرار گیرند، چنین موقعیتی از مجموعه آزمون کنار گذاشته خواهد شد. پارامتر چگالی هوا با تغییر ارتفاع متغیر خواهد بود. اگرچه، این تغییرات کوچک است. برای تمام کارهای تست و اندازه‌گیری عملکرد توانی چگالی در ارتفاع هاب ملاک محاسبات است. منحنی توان نرمالیزه می‌شود با چگالی متوسط در محل آزمون اندازه‌گیری روی دوره ای که چگالی برای آن دوره زمانی است.

باید بدانیم منحنی توان تحت تاثیر آشفتگی جریان هوای محل آزمون قرار می‌گیرد. در این استاندارد آشفتگی جریان برای ارتفاع هاب محاسبه می‌شود. آشفتگی جریان هوا با مقادیر زیاد باعث تغییر منحنی توان در نقطه شروع بکار توربین و در سرعت نامی بگونه‌ای می‌شود که منحنی در این دو نقطه دارای شعاع انحنای بیشتری می‌گردد، در حالیکه در آشفتگی پایین منحنی توان در این نقاط با گوشه های تیزتر روبرو می‌گردد یا به عبارت دیگر توان کاهش جزیی دارد. آشفتگی جریان باد در محل آزمون بعنوان یک پارامتر اضافی در محل آزمون بهتر است اندازه‌گیری شود تا اگر لازم بود برای بحث منحنی توان مورد استفاده قرار گیرد. نرمالیزاسیون بر مبنای پیوست M قابل انجام است.

[1] توربین‌های کوچک به استاندارد ۲-۶۱۴۰۰ مراجعه شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بطور خلاصه، منحنی توان بر مبنای این استاندارد یک منحنی توان خاص یک ناحیه آب و هوایی است، چنانچه شرایط ذیل فراهم باشد:

۱- سرعت باد در نقطه مورد نظر بعنوان سرعت باد در امتداد محور افق باشد.

۲- سرعت باد برای منحنی توان بعنوان سرعت باد در ارتفاع هاب مشخص گردد. این تعریف ممکن است با سرعت باد معادل روتور تکمیل شود، چنانکه در معادله (۴) دیده می‌شود، برش باد در امتداد عمودی و تغییر جهت باد در ارتفاع را نیز بحساب آورده اند[۱]. (برای توربین‌های بادی محور عمودی، در محاسبات از تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع صرف نظر می‌شود).

۳- چگالی هوا در ارتفاع هاب اندازه‌گیری می‌شود و منحنی توان با متوسط چگالی هوای محل آزمون نرمالیزه می‌گردد، برای یک دوره زمانی مشخص با در دست داشتن چگالی هوای مرجع که از قبل تعیین شده است.

۴- آشفتگی در ارتفاع هاب اندازه‌گیری می‌شود و منحنی توان بدون نرمالایز شدن توربولانس معرفی می‌گردد.

۵- منحنی توان می‌تواند نرمالیزه گردد به یک لبه مرزی شرایط آب و هوایی (مانند اینکه برای: چگالی هوای خاص، شدت آشفتگی، برش باد عمودی و تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع) نرمالیزه شود[۲].

در این استاندارد، همه فرآیندهای مورد نیاز برای اندازه‌گیری، کالیبراسیون، کلاس بندی، تصحیح داده‌ها، نرمالایز کردن داده‌ها و تعیین عدم قطعیت ها فراهم است. چنانچه، همه پارامترها به میزان کافی اندازه‌گیری نشود، سپس عدم قطعیت می‌بایست بکار رود جون اندازه‌گیری ناکافی بوده است. بطور نمونه در یک توربین باد بزرگ اگر صرفا اندازه‌گیری سرعت باد در ارتفاع هاب برای منحنی توان صورت گیرد، پس عدم قطعیت باید اجرا شود. در این حالت، یک عدم قطعیت برای تغییرات برش باد و تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع باید صورت گیرد. نتایج مطلوب در یک استاندارد با اندازه‌گیری همه پارامترهای مورد نیاز و اجرای همه فرآیندها بدست می‌آید. اگرچه، این موضوع ممکن نیست، گزینه‌هایی وجود دارد که برای تجهیز اندازه‌گیری و برای فرآیندها بکار رورد. این فرآیندها در جدول ۱ آمده است. گزینه‌هایی که به تجهیزات اندازه‌گیری باد برمی‌گردد، نرمالایزکردن، و دیگر عدم قطعیت ها در این جدول آمده است.

[۱] برای توربین‌های محور عمودی، تغییر جهت باد در ارتفاع لازم نیست و می توان در معادله (۳) از آن صرف‌نظر کرد.

[۲] نرمالایز کردن منحنی توان صرفا برای دامنه های محدودی از شرایط آب و هوایی محل آزمون قابل قبول است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول ۱: نگاه کلی به شکل بندی‌های اندازه‌گیری باد در این استاندارد که جهت اندازه‌گیری منحنی توان بکار می‌رود

شکل بندی اندازه گیری باد	۱- دکل هواشناسی در ارتفاع هاب و سنجش از راه دور درهمه ارتفاعها	۲- دکل هواشناسی زیر ارتفاع هاب و سنجش از راه دور درهمه ارتفاعها	۳- دکل هواشناسی بالای ارتفاع هاب	۴- دکل هواشناسی در ارتفاع هاب

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نوع کار برد	توربینهای بادی بزرگ در زمین تخت (پیوست B را ببینید)	توربینهای بادی بزرگ در زمین تخت (پیوست B را ببینید)	توربینهای بادی بزرگ و کوچک در همه نوع زمین	توربینهای بادی بزرگ و کوچک در همه نوع زمین
حسگرهای اندازه گیری باد	۷,۲,۳ ، ۷,۲,۵	۷,۲,۳ ، ۷,۲,۵	۷,۲,۳ ؛ ۷,۲,۴	۷,۲,۳
روندهای اجرایی نرمال سازی تعیین منحنی توان برای شرایط آب و هوایی خاص	چگالی هوا، برش باد؛ ۹,۱,۵ و ۹,۱,۳,۴	چگالی هوا، برش باد؛ ۹,۱,۵ و ۹,۱,۳,۴	چگالی هوا، برش باد؛ ۹,۱,۵ و ۹,۱,۳,۴	چگالی هوا؛ ۹,۱,۵
عدم قطعیت اضافی ناش از کمبود اندازه گیری برش باد	هیچ عدم قطعیت اضافی وابسته به پوشش ارتفاع اندازه گیری نداریم. E.11.2.2	هیچ عدم قطعیت اضافی وابسته به پوشش ارتفاع اندازه گیری نداریم. E.11.2.2	هیچ عدم قطعیت اضافی وابسته به پوشش ارتفاع اندازه گیری نداریم. E.11.2.2	عدم قطعیت اضافی برای توربینهای بادی بزرگ ناشی از نبود برش باد عمودی. E.11.2.2
روندهای اجرایی نرمال سازی دلبخواه[۲]	آشفتگی، تغییر جهت باد در ارتفاع و زاویه جریان رو به بالا؛ ۹,۱,۶ و ۹,۱,۴	آشفتگی، تغییر جهت باد در ارتفاع و زاویه جریان رو به بالا؛ ۹,۱,۶ و ۹,۱,۴	آشفتگی، تغییر جهت باد در ارتفاع و زاویه جریان رو به بالا؛ ۹,۱,۶ و ۹,۱,۴ انحراف جریان دکل هواشناسی؛ ۹,۱,۲ کالیبراسیون محل آزمون پیوست C	آشفتگی و زاویه جریان رو به بالا؛ ۹,۱,۶ کالیبراسیون محل آزمون پیوست C

۱- ارجاع به استاندارد IEC 61400-2 در مورد تعریف توربینهای بادی کوچک و بزرگ است.

۲- جریان رو به بالا می تواند منحنی توان را تحت تاثیر قرار دهد و با بادسنج صوتی یا جت سنج پره ای اندازه گیری شود. اگر نرمال سازی زاویه جریان رو به بالا اجرا گردید توصیه می شود مستند گردد (عدم قطعیت در جریان رو به بالا در پیوست E آمده است). اگر چه، در این استاندارد هیچ رویه اجرایی خاص برای نرمال سازی زاویه جریان رو به بالا ارائه نشده است.

۶- آماده سازی برای آزمون عملکرد

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۶-۱- کلیات

شرایط خاص مربوط به تست عملکرد توانی در این استاندارد بر طبق بخش ۱۰ این گزارش باید ارائه گردد.

۶-۲- توربین بادی و اتصال الکتریکی

چنانچه در بخش ۱۰ آمده است مطالب مربوط به اتصالات برقی باید کاملا رعایت گردد.

۶-۳- محل آزمون

۶-۳-۱- کلیات

وسایل اندازه‌گیری در محل آزمون باید در نزدیکی محل نصب توربین برای اندازه‌گیری سرعت باد قرار داده شود. برش باد و ثبوت جوی محل تست بر اندازه‌گیری باد و عملکرد توانی توربین باد تاثیر دارند. اغلب یک دوره روزانه ثبوت جوی داریم، با پایدار شدن وضعیت جوی در شب و حالت خنثی یا ناپایدار در روز بعلت گرم شدن زمین در اثر حرارت خورشید، آشفتگی و اختلاط لایه مرزی خواهیم داشت. برش باد، تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع، و آشفتگی جریان هوا همگی تابعی از ثبوت جوی هستند، و بنابراین تحت تاثیر قرار خواهند داد ارتباط بین سرعت باد در ارتفاع هاب و سرعت باد معادل قطر روتور و پروفایل‌های غیرمعمول ممکن است تبدیل انرژی از باد را متاثر سازند. علاوه بر این، انحرافات جریان باد ممکن است سرعت باد در محل اندازه‌گیری سرعت باد و محل توربین باد متفاوت شوند، که در نتیجه باید مقادیر را با متد ریاضی همبسته نماییم. محل آزمون باید برای منابع انحراف جریان باد در موارد زیر ارزیابی گردد:

الف) انتخاب موقعیت تجهیزات اندازه‌گیری باد.

ب) تعیین محل مناسب برای بخش اندازه‌گیری.

ج) تعیین اینکه محل آزمون به کالیبراسیون نیاز دارد یا نه، سپس تعیین تصحیحات لازم برای جریان که بر طبق پیوست C اندازه‌گیری می‌شود.

د) ارزیابی عدم قطعیت ناشی از انحراف جریان باد.

پارامترهای ذیل باید بطور خاص در نظر گرفته شوند:

۱- تغییرات توپوگرافی و ناصافی سطح زمین محل آزمون.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۲- توربین‌های دیگر موجود در محل.

۳- موانع (ساختمانها، درختان، و غیره).

محل محل آزمون برطبق بخش ۱۰ این گزارش باید مستند سازی شود.

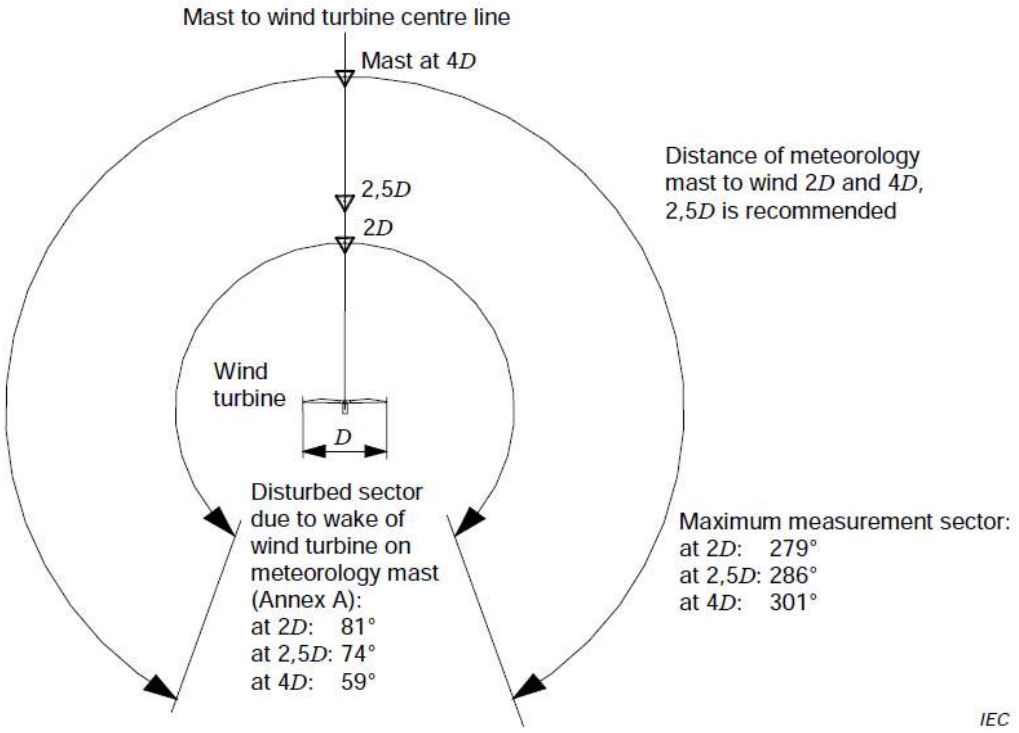
۶-۳-۲- موقعیت تجهیزات اندازه‌گیری باد

دقت لازم در نصب تجهیزات اندازه‌گیری باد در محل محل آزمون باید بکار گرفته شود. تجهیزات اندازه‌گیری باد نباید نزدیک توربین باد نصب شود، زیرا سرعت باد تحت تاثیر توربین باد قرار می‌گیرد. همچنین، نباید بسیار دورتر از توربین باد قرار گیرد، تا اینکه همبستگی بین سرعت باد و توان خروجی کاهش یابد. تجهیزات سنجش سرعت باد باید در فاصله ۲ تا ۴ برابر قطر روتور D توربین باد نصب شود. فاصله ۲٫۵ برابر قطر روتور پیشنهاد می‌گردد. در توربین محور عمودی به پیوست H.4 مراجعه گردد. پیش از اجرای آزمون عملکرد توان و برای کمک به اندازه‌گیری، توصیه می شود که محل نصب تجهیزات اندازه‌گیری بگونه‌ای انتخاب گردد که با جریان باد اخلال‌گر روبرو نشود. در بیشتر حالات، بهترین نقطه نصب برای تجهیزات سنجش باد، بخش بالادست توربین باد و در جهت باد غالب می باشد. در شرایط دیگر، اگرچه، مناسب تر این است که تجهیزات سنجش باد در کنار توربین باد و با همان شرایط مشابه توربین نصب شود، برای نمونه برای توربین باد بر روی تپه همان شرایط فراهم شود.

۶-۳-۳- بخش‌های اندازه‌گیری

در بخش‌های اندازه‌گیری باید جهت هایی که موانع قابل توجه‌ای دارند و یا توربین بادی دیگری قرار دارد از برنامه اندازه‌گیری حذف نماییم. برای همه توربین‌های بادی و موانع که در همسایگی هستند، جهت‌هایی که تحت تاثیر قرار می دهند و پدیده گردابه (wake) دارند باید فرآیند پیوست A اجرا شود. بخش‌های توزیع شده همانطور که در شکل زیر آمده است، در این منطقه بخاطر پدیده گردابه نباید اندازه‌گیری صورت گیرد. دلایل عدم اندازه‌گیری در هر بخش باید مستند سازی گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل ۱: نیازمندی‌های بخش‌ها، بصورت فاصله تجهیزات اندازه‌گیری باد و حداکثر فاصله مجاز اندازه‌گیری

۶-۳-۴- تصحیح فاکتورهای عدم قطعیت ناشی از انحراف جریان باد در اثر توپوگرافی

محل آزمون برای انحراف جریان باد ناشی از تغییرات توپوگرافی باید ارزیابی گردد. پیوست B مشخص می نماید که آیا منحنی توان اندازه‌گیری شده به کالیبراسیون محل آزمون نیاز دارد یا خیر. اگرچه، با فرض عدم نیاز به تصحیح جریان، عدم قطعیت ناشی از انحراف جریان در محل آزمون آزمون برابر ۲ درصد سرعت باد اندازه‌گیری شده است، چنانچه وسایل تست در فاصله ۲ تا ۳ برابری قطر[۱] روتور توربین باد باشد، و عدم قطعیت ۳ درصد یا بیشتر اگر فاصله ۳ تا ۴ برابر قطر روتور باشد، مگر اینکه شواهد دیگری برای عدم قطعیت بیابیم. اگر مبانی مطرح شده در پیوست B برآورده نگردید، یا عدم قطعیت کمتری مورد نظر است، باید به پیوست C رجوع شود. فاکتورهای تصحیح جریان باد برای هر بخش اندازه‌گیری باید بکار رود.

[۱] این عدم قطعیت از برنامه WAsP(آنالیز اطلس باد و برنامه کاربردی، دانشگاه تکنولوژی دانمارک (DTU)) گرفته شده به پیوست B رجوع شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۷- تجهیزات آزمایش

۷-۱- توان الکتریکی

توان الکتریکی خالص توربین بادی بوسیله ابزار اندازه‌گیری توان سنجیده می‌شود، که این ابزار بر اصول اندازه‌گیری جریان و ولتاژ الکتریکی هر فاز برق بنا شده است. ترانسفورماتور جریان برق باید استاندارد IEC 61869-2 را ارضاء نماید، و لتاژ ترانسفورماتور باید بر اساس استاندارد IEC 61869-3 باشد. آنها باید کلاس ۰٫۵ یا بالاتر را بدست آورند. دقت ابزار اندازه‌گیری توان، چنانچه از نوع ترانسدیوسر باشند، توصیه می شود که بر طبق استاندارد IEC 60688 بوده و کلاس ۰٫۵ یا بالاتر را برآورده نمایند. اگر وسایل اندازه‌گیری توان از نوع ترانسدیوسر نباشند، پس باید دقتی در کلاس ۰٫۵ یا معادل آن در ترانسدیوسرهای توان را داشته باشند. بازه عملکردی وسایل اندازه‌گیری توان باید بگونه ای تنظیم شود که مقادیر لحظه ای توان توربین بادی چه منفی یا چه مثبت باشد، را اندازه‌گیری نماید. بطور نمونه برای توربین‌های مگاواتی که دارای کنترل فعال قابل تنظیم هستند، بازه کامل اندازه‌گیری ابزارهای اندازه‌گیر توصیه می شود که در منفی بیست و پنج درصد تا یکصد و بیست و پنج درصد توان نامی توربین باد تنظیم شوند[۱]. تمامی داده ها بصورت دوره ای بازبینی شوند تا اطمینان لازم برای محدوده اندازه‌گیری بدست آید. ترانسدیوسرهای توان باید بر مبنای استانداردها کالیبره گردند و قابل رهگیری باشند. وسایل اندازه‌گیری توان باید بین توربین باد و اتصال به شبکه قرار گیرند تا اطمینان حاصل گردد که فقط توان الکتریکی اکتیو خالص اندازه‌گیری می‌شود. باید مشخص نماییم که اندازه‌گیری در سمت توربین باد است یا در سمت ترانسفورماتور شبکه برق است.

۷-۲- سرعت باد

۷-۲-۱- کلیات

سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع هاب (HH) بعنوان سرعت باد پیش فرض همیشه بکار می‌رود. ممکن است در حالاتی محدود سرعت باد معادل قطر روتور در نظر بگیریم یعنی جاهایی که فقط یک اندازه‌گیری سرعت باد در یک ارتفاع داریم و عدم قطعیت دیگری در اثر برش باد و یا تغییر جهت باد در ارتفاع پیش آید و ما منظور

[۱] در دیگر حالات دامنه بالاتر نیاز است، باید بطور مجزا بررسی گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

ننماییم (بخش پیوست E.11.2.2 را ببینید). پیشنهاد می‌گردد که اندازه‌گیری سرعت باد در ارتفاع هاب با اندازه‌گیری برش باد همراه باشد در نیمه پایینی قطر روتور تا عدم قطعیت ناچیز گردد. اگر بخواهیم عدم قطعیت را از بین ببریم بهتر است سرعت باد در قطر معادل روتر را اندازه‌گیری کنیم (REWS) به پیوست Q و بخش ۹,۱,۳,۲ مراجعه شود که برای محاسبه منحنی توان این سرعت باد بعنوان ورودی محاسبات بکار رود. شکل بندی‌های اندازه‌گیری سرعت باد در جدول شماره ۲ که محدودیت‌های موجود هر تکنولوژی اندازه‌گیری را نسبت به زمین محل آزمون کلاس‌بندی نموده ملاحظه می نمایید. در ادامه گزارش روشهای سنجش از راه دور که برای زمین‌های تخت و غیر پیچیده بکار می‌رود (خصوصا در پیوست L) توضیح داده شده است. در جدول ۲ روش RSD (سنجش از راه دور) آمده است.

جدول ۲: شکل بندی‌های اندازه‌گیری سرعت باد (علامت X نشانه قابل قبول بودن شکل بندی است)

اندازه گیری سرعت باد	HH	HH	REWS	REWS
نوع زمین	غیر پیچیده	پیچیده	غیر پیچیده	پیچیده
دکل هواشناسی به ارتفاع هاب	x	x		
دکل هواشناسی به ارتفاع هاب + RSD	x	x	x	
RSD + دکل هواشناسی نه به ارتفاع هاب	x		x	
دکل هواشناسی بالاتر از ارتفاع هاب + 2/3 R	x	x	x	x

در بخش‌های بعدی گزارش بویژه ۳-۲-۷ تا ۵-۲-۷ و نیز ۶-۲-۷ تا ۸-۲-۷ در مورد روش دکل بادسنجی برای اندازه‌گیری سرعت باد و تاثیر اینکه حسگر در کناره دکل یا نوک دکل نصب شود توضیح داده خواهد شد.

۷-۲-۲- ضروریات عمومی برای نصب بادسنج‌ها بر نوک دکل هواشناسی

مواردی که در بکارگیری بادسنج فنجانی و صوتی باید رعایت گردد در زیر بخشهای۳-۲-۷ تا ۸-۳-۷ شرح داده شده است. حسگرها، ضروریات ذکر شده در پیوست I را برای بادسنج‌های فنجانی و صوتی باید رعایت نمایند. برای اندازه‌گیری عملکرد توان، یک بادسنج با کلاس ۱,۷ A یا C۱,۷ باید بکار رود. بعلاوه، در زمین محل آزمون‌هایی که به کالیبراسیون نیاز دارند، پیشنهاد می‌گردد که کلاسی بالاتر از 2.5 D یا 2.5 B یا 1.7 S بکار رود مطابق با پیوست I و پیوستJ .

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بادسنج قبل از بکارگیری باید کالیبره شود، اگر لازم باشد بعد از هر اندازه‌گیری باید کالیبراسیون صورت گیرد. تمامی این مراحل باید مستند گردد. در پروسه کالیبراسیون برطبق پیوست K باید پیش و پس_کالیبراسیون رعایت گردد. چنانچه پس_کالیبراسیون را انجام دادیم، اختلاف بین خطوط رگرسیون پیش و پس_کالیبراسیون باید در محدوده ۰٫۱ ± متر بر ثانیه در سرعتهای باد ۴ تا ۱۲ متر بر ثانیه باشد. کالیبراسیون فقط قبل از اجرای برنامه اندازه‌گیری برای تست عملکرد باید انجام شود. کالیبراسیون باد سنج باید مطابق فرآیند پیوست F انجام گردد. اگر حداکثر اختلاف بین خطوط رگرسیون کالیبراسیون و پس_کالیبراسیون بیرون از محدوده ۰٫۱ ± متر برثانیه در سرعت ۴ تا ۱۲ باشد، سپس معیار عدم قطعیت کالیبراسیون بادسنج ($u_{VS,precal,i}$) باید زیاد شود (به حداکثر اختلاف، اما نه بیش از۰٫۲± متر بر ثانیه). اگر اختلاف بالاتر از ۰٫۲ ± متر بر ثانیه باشد، سپس مقایسه بادسنج در محل بر طبق پیوست K بکار گرفته می‌شود تا به شناسایی نقطه ای از زمان که انحراف در داده ها اتفاق افتاده و باعث خطا شده است، منجر به عدم پذیرش داده های معیوب گردد. اگر در محل تست نتواند نقطه ای که خطا را سبب شده بیابد سپس اختلاف پس_کالیبراسیون، به عدم قطعیت اضافه می‌شود. بعنوان یک جایگزین، فرآیند کالیبراسیون در محل تست برطبق پیوست K بکار رود تا یکپارچگی دوره های اندازه‌گیری بادسنج وارسی گردد. در پروسه کنترل داده های بادسنج، همواره باید داده‌های بادسنج اولیه بوسیله بادسنج دومی که بهتر است از همان نوع نباشد چک گردد (اگر اولیه فنجانی است باید کنترلی از نوع صوتی باشد یا بالعکس). در محاسبه منحنی توان برای سرعت باد معادل(REWS) برطبق پیوست G عمل گردد، اگر دکل با بادسنج در ارتفاع هاب بصورت جانبی نصب شد، بادسنج کنترل کننده داده های قبلی باید طبق پیوست G باشد. عدم قطعیت در اندازه‌گیری سرعت باد ممکن است بدلایل متفاوتی باشد، چنانچه در جدول D.1 این منابع عدم قطعیت در کالیبراسیون که از پیوست F بر گرفته شده، آمده است. عدم قطعیت ناشی از مشخصه های کاری را با پیوست I بر مبنای کلاس بندی بادسنجها می سنجیم. عدم قطعیت ناشی از مشخصه‌های نصب را با پیوست G برای بادسنج‌ها می سنجیم.

۷-۲-۳- نصب بادسنجها، نوک دکل

برای اندازه‌گیری سرعت باد بوسیله بادسنج که در نوک دکل نصب است، تمام ملزومات ذکر شده در پیوست G باید رعایت گردد. ارتفاع نصب حسگرنسبت به سطح زمین[۱] باید رعایت گردد. روش اندازه‌گیری و عدم قطعیت باید

[۱] بمنظور مشخص کردن سطح زمین، یک تخمین ارتفاع متوسط روی شعاع ۲ m اطراف پایه دکل یا شعاع ۵ m اطراف پایه توربین در نظر بگیریم. عدم قطعیت اندازه گیری حسگر ارتفاع بیرون از عدم قطعیت تخمین سطح زمین است. برای توربین فراساحل سطح زمین متوسط سطح دریا در نظر گرفته می شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

مستند سازی[1] شود. حسگر سرعت باید تلرانس ارتفاع نصب ۰٫۲ متر یا کمتر نسبت به زمین را رعایت نماید. سیستم کنترل بادسنج باید بر طبق پیوست G نصب گردد.

۷-۲-۴- نصب بادسنج‌ها، کناره دکل

نصب بادسنج کناره دکل باید مطابق پیوست G باشد. ارتفاع مورد قبول برای نصب بادسنج روی دکل نسبت به زمین باید ارتفاع مورد تایید استاندارد را ارضاء کند، تلرانس نباید بیشتر از ۰٫۲ متر باشد (روش سنجش ارتفاع از سطح زمین یا برای توربین‌های فراساحل ارتفاع متوسط دریاست، محدوده سنجش سطح زمین در فاصله ۲ متری از پایه دکل یا در شعاع ۵ متری از پایه توربین باد است). تصحیحات بادسنج های کناره دکل نصب شده با انحراف جریان باد در بخش ۲-۱-۹ و پیوست S شرح داده شده است. مبانی تکنیکی این تصحیحات و تاثیر آن باید مستند گردد. پایه‌هایی که بعنوان تکیه گاه، بادسنج بر روی آن نصب می‌شود توصیه می شود که امتداد یکسان داشته باشند تا تشابه انحراف جریان در ارتفاعات مختلف مشابه باشند. وضوح این موضوع در شکل‌های پیوست G که دکل را ترسیم کرده است آمده است، توصیه می شود که در ساخت تیرک افقی (boom) دقت شود که حداکثر ۱٪ در سرعت باد انحراف داشته باشیم. ابعاد مقاطع دکل توصیه می شود که یکپارچگی داشته باشند تا باعث انحراف جریان نشوند، پیشنهادات ارائه شده در پیوست G رعایت شود.

۷-۲-۵- وسایل سنجش از راه دور(Remote Sensing Device (RSD))

وسایل سنجش از راه دور که جریان باد همگن در حجم محدود را اسکن می نمایند و برای زمینهای تخت و غیر پیچیده در تست عملکرد توان بنابر مبانی تعریف شده در پیوست B بکار گرفته می شوند. وسایل سنجش از راه دور باید قبل از اجرای اندازه‌گیری بر اساس بخش پیوست L.3 در محل آزمون بازرسی گردند.
سیستم سنجش از راه دور اندازه‌گیری موارد زیر را ارائه می نماید:

۱- سرعت باد در ارتفاع هاب

۲- پروفایل برش باد

۳- تغییر جهت باد در ارتفاع

۴- اندازه‌گیری سرعت باد معادل روتور توربین باد در بیش از یک ارتفاع(بخش ۸-۲-۷ را ببینید).

[1] اندازه گیری می تواند بوسیله وسایل اندازه گیری که کالیبراسیون قابل رصد دارند انجام گردد، برای نمونه یک تئودولیت قادر به دریافت ارتفاع از اندازه گیری زاویه در یک صفحه عمودی است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

در هر صورت، سیستم سنجش از راه دور باید بطور همزمان با روش بادسنجی بوسیله دکل در ارتفاعی نه کمتر از لبه پایینی روتور توربین باد یا ارتفاع ۴۰ متر همچنانکه در بخش L.1 آمده است، مقایسه گردد. نیازمندیهای بادسنج روی نوک دکل بطور مبسوط در بخش ۳-۲-۷ این گزارش آمده است. مباحث عدم قطعیت در سیستم سنجش از راه دور در پیوست L آمده است.

۷-۲-۶- اندازه‌گیری سرعت باد معادل روتور

اگر سرعت باد در سه ارتفاع متفاوت یا بیشتر اندازه‌گیری شود نسبت به روتور توربین باد چنانچه در ۸-۲-۷ مشخص شده است، پس سرعت باد معادل روتور باید بر طبق ۳-۱-۹ محاسبه گردد. توجه گردد که بیش از سه ارتفاع برای اندازه‌گیری پیشنهاد می‌شود.

سه گزینه برای اندازه‌گیری سرعت باد معادل روتور (REWS) در ذیل می آوریم (باید دقت نماییم که این سه گزینه در جدول ۲ بطور مختصر آمده است):

۱- بادسنج بر روی دکل در ارتفاع هاب نصب است و همراه آن روش RSD بکار گرفته شود.

۲- بادسنج بر روی دکل در ارتفاعی پایین تر از هاب نصب است و همراه آن روش RSD بکار گرفته شود.

۳- بادسنج بر روی دکل در ارتفاع بالاتر از هاب نصب است و همراه آن بادسنج کناری تا ارتفاع روتور نیز نصب شود (این بادسنج جنبی مستقیما باد سرعت باد معادل روتور را می سنجد مطابق با ۳-۱-۹).

۷-۲-۷- اندازه‌گیری سرعت باد در ارتفاع هاب

سه گزینه برای اندازه‌گیری سرعت باد در ارتفاع هاب در ذیل بیان شده است:

۱- با دکل به ارتفاع هاب و بادسنجی برطبق ۳-۲-۷ باشد.

۲- بدون دکل با روش RSD .

۳- با دکل بلندتر از ارتفاع هاب مطابق ۴-۲-۷ است.

برای سرعت بادهایی که در ارتفاع هاب سنجیده می‌شود، جبران عدم سنجش برش باد عمودی یا تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع (wind veer) برای روتور توربین باد با استفاده از عدم قطعیت ذکر شده در پیوست E که یا تخمینی است یا دو پارامتر برش و تغییر جهت در ارتفاع را که اندازه گرفته ایم اصلاح می‌شود. تاثیر پارامترهای برش باد و تغییر جهت باد در ارتفاع باید بصورت آنالیز عدم قطعیت در محاسبات در نظر گرفته شود، در حالت اندازه‌گیری در ارتفاع هاب می تواند تخمینی باشد اما در حالت بالاتر از ارتفاع هاب باید بوسیله روش RSD یا بادسنج کناری دکل این دو اندازه‌گیری شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۷-۲-۸-اندازه‌گیری برش باد

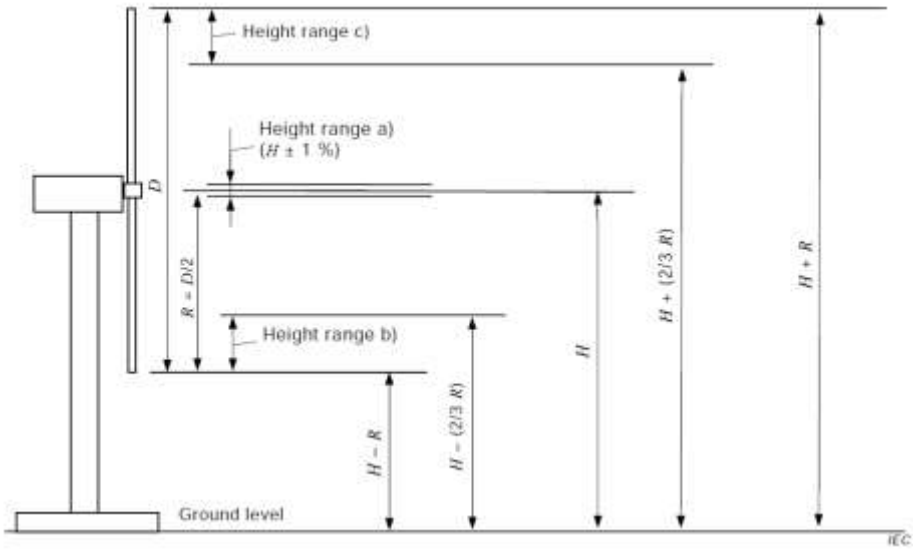
هر جا اندازه‌گیری سرعت باد برای دامنه های مختلف ارتفاع فراهم است، برش باد می بایست برای ارتفاعهای متفاوت اندازه‌گیری شود تا برای سرعت باد معادل روتور یا نمایه برش باد استفاده شود. اندازه‌گیری برش باد باید با بکارگیری بادسنج کناره دکل مطابق ۴-۲-۷ یا بوسیله سنجش از راه دور مطابق ۵-۲-۷ اجرا گردد. توضیحات و مشخصه هایی که باید رعایت شود در پیوست L برای سنجش از راه دور، و برای بادسنج کناره دکل در پیوست G آمده است. اندازه‌گیری سرعت باد برای سرعت باد معادل روتور نیاز به اندازه‌گیری در ارتفاع بالاتر از هاب دارد، بنابراین اگر بخواهیم در اندازه‌گیری ضریب تصحیح برش باد را اثر دهیم، حداقل باید سه اندازه‌گیری توزیع شده بر روی سطح روتور اجرا کنیم. اگرچه، برای به حداقل رساندن عدم قطعیت در اندازه‌گیری سرعت باد، پیشنهاد می‌گردد که تا آنجا که میسر است در ارتفاع‌های متفاوت اندازه‌گیری کنیم. ارتفاع‌های اندازه‌گیری توصیه می شود که بصورت متقارن در ارتفاع متناسب با روتور و بالاتر از ارتفاع هاب اجرا شود.

ارتفاع‌های اندازه‌گیری حداقل باید سه حالت ذیل را دربر بگیرد:

الف) دامنه a مطابق شکل ۲ یعنی ۱٪± ارتفاع هاب

ب) دامنه b مطابق شکل ۲ یعنی در فاصله بین H-R تا H- 2/3R

ج) دامنه c مطابق شکل ۲ یعنی در فاصله بین H+ 2/3R تا H+R



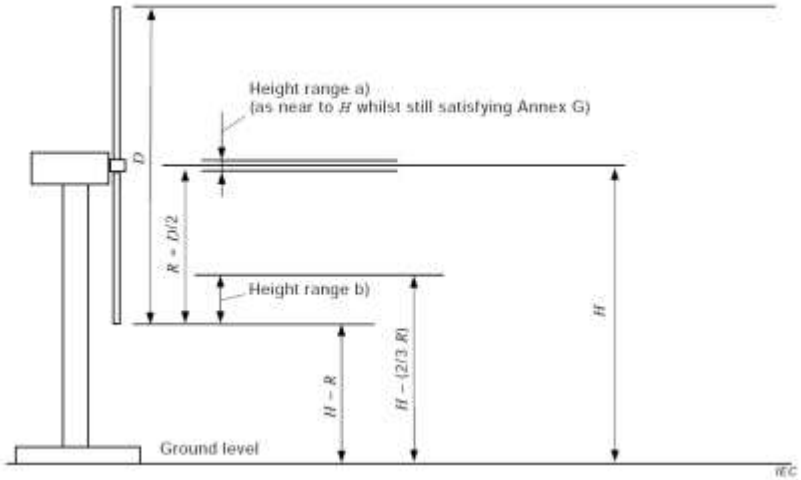
شکل ۲: ارتفاع متناسب برای سنجش برش باد تا بتوانیم REWS را اندازه بگیریم.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

اگر دکل بالاتر از ارتفاع هاب نداریم، بنابر این باید شرایط ذیل برای بادسنج کناره دکل باید فراهم باشد تا اندازه‌گیری برش باد پذیرفته شود:

۱- بادسنج کناره دکل نزدیک به ارتفاع هاب و شرایط مندرج در پیوست G را رعایت نماید، تا جدایش جریان پدید نیاید.

۲- در فاصله بین H-R تا H- 2/3R یعنی در دامنه b مطابق شکل ۳ شرایط مندرج در پیوست G را رعایت نماید.



شکل ۳: اندازه‌گیری برش باد در ارتفاع‌های متفاوت زمانیکه سرعت باد بالاتر از ارتفاع هاب اندازه‌گیری نشود (فقط برای تعیین نمایه برش باد).

۳-۷- جهت باد

اندازه‌گیری جهت باد برای کالیبراسیون محل آزمون بعنوان داده ورودی بکار میرود، در ضمن برای فیلتر کردن یک سری بخشهای اندازه‌گیری مورد قبول جهت سنجی و برای تعیین تغییر جهت باد در ارتفاع لازم است. حسگر جهت سنج یکی از سه ابزارذیل می تواند باشد:

۱- جهت سنج بادی پره ای(wind vane)

۲- بادسنج صوتی دو یا سه بعدی

۳- روش RSD

بادسنج صوتی باید بهمراه یک جهت سنج پره‌ای (wind vane) برای کنترل باشد. توصیه می شود که روش RSD باید مطابق پیوست L بازبینی و بررسی گردد. جهت باد باید بصورت لحظه‌ای سنجیده شود، و برای هر ده دقیقه میانگین‌گیری گردد. متوسط گیری (متوسط مقادیر گرفته شده از سینوس و کسینوس مولفه‌های لحظه‌ای جهت

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

باد را در نظر گرفته و مقادیر آرک تانژانت بین زوایای صفر تا ۳۶۰ درجه را مقیاس می‌نماییم) یک روش برای تعیین متوسط جهت باد است.

روش دیگر این است که جهت باد را برای مقادیر بالاتر از ۳۶۰ درجه در مدت ۱۰ دقیقه، مقیاس کنیم، سپس برای دامنه صفر تا ۳۶۰ درجه مقادیر متوسط را بیابیم. منطقه مرده اندازه‌گیری جهت باد که در نقطه شمال جهت سنج است، می‌بایست در محاسبات کنار گذاشته شود. در این موارد: کالیبراسیون ترکیبی، توربین در حال کار، و عدم قطعیت استاندارد امتداد جهت در سیستم جهت سنج با بازه کمتر از ۵ درجه اندازه گیری شود. طبق پیوست N جهت سنج باید کالیبره شود.

۷-۴- چگالی هوا

چگالی هوا باید از اندازه گیری، دمای هوا، فشار هوا و رطوبت نسبی بدست آیند. بعنوان جایگزین اندازه گیری رطوبت، یک عدد ۵۰٪ رطوبت نسبی می تواند فرض شود اگر رطوبت اندازه گیری نگردد. چگالی هوا طبق معادله شماره ۱۲ محاسبه باید گردد.

حسگر درجه حرارت هوا باید در ارتفاع ۱۰ متری ارتفاع هاب نصب گردد تا معرف دمای هوا در خط مرکز روتور توربین باد باشد. با ارجاع به پیوست G برای الزامات نصب حسگر دما جاییکه دکل هواشناسی کوتاهتر از ارتفاع هاب بکار می رود.

توصیه می شود که حسگر فشار هوا در ارتفاع ۱۰ متری ارتفاع هاب نصب گردد تا معرف فشار فشارسنج در خط مرکز روتور توربین باد باشد. اندازه گیری های فشار هوا باید باید همیشه به ارتفاع مناسب هاب طبق ISO 2533 تصحیح گردد.

حسگر رطوبت توصیه می شود در ارتفاع ۱۰ متری ارتفاع هاب نصب گردد تا معرف رطوبت در خط مرکز روتور توربین باد باشد.

۷-۵- سرعت دورانی و زاویه پیچ

سرعت دورانی و زاویه پیچ چنانچه به آن نیاز داشته باشیم، توصیه می شود در هنگام تست، اندازه‌گیری شود. برای نمونه اگر بخواهیم تست آکوستیک انجام دهیم. اگر اندازه بگیریم، اندازه گیر ها باید مطابق بخش ۱۰ گزارش شود.

۷-۶- شرایط پره

شرایط پره ها ممکن است منحنی توان را تحت تاثیر قرار دهد خصوصا برای توربین‌های باد از نوع استال اینطور است. مفید خواهد بود اگر شرایط پره مانند حالت بارش، یخ زدگی و کثیف بودن پره در مشخصات لحاظ گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۷-۷- سیستم کنترل توربین باد

بر مبنای شناسایی، بررسی و پایش وضعیت سیگنالها مجاز خواهیم بود که فرآیند ذکر شده در بخش ۴-۸ را اجرا نماییم. بدست آوردن پارامترها از داده های کنترلر توربین باد کافی[۱] خواهد بود.
وضعیت هر سیگنال مشخص باید گزارش دهی شود. وضعیت سیگنال از شروع بکار توربین باد تا توقف توربین و قطع اتصال به شبکه در الگوریتم کنترل توربین بررسی گردد.

۷-۸- سیستم جمع آوری داده ها

سیستم جمع آوری داده های دیجیتال دارای یک نرخ نمونه برداری برای هر کانال با سرعت حداقل یک هرتز است تا اندازه‌گیری ها را جمع آوری نموده و با روشهای آماری که در بخش ۳-۸ ذکر گردیده ذخیره شود.
کالیبراسیون و دقت زنجیره سیستم داده ها (انتقال، وضعیت سیگنال و ضبط داده‌ها) باید با تزریق سیگنال مشخص قابل رهگیری بررسی گردد، منبع کالیبره شده در یک ترانسدیوسر با مقایسه با ورودی‌ها حفظ و خوانده شود. برای راهنمایی، عدم قطعیت در سیستم جمع آوری داده‌ها توصیه می گردد که در مقایسه به عدم قطعیت حسگرها قابل صرف نظر کردن باشد.

۸- فرآیند اندازه‌گیری

۸-۱- کلیات

هدف فرآیند اندازه‌گیری عبارت است از جمع آوری داده هایی که یک سری از مشخصه ها را برآورده می نمایند، تا اطمینان لازم در مورد کمیت و کیفیت داده ها برای تعیین مشخصات عملکرد توانی توربین باد را با دقت بدهند. روند اندازه‌گیری باید مستند سازی شود، چنانچه در بخش ۱۰ این گزارش توضیح داده شده است. دقت اندازه‌گیریها باید با عبارات عدم قطعیت استاندارد بیان شوند، همانطور که در پیوست D بیان شده است، بطوریکه هر مرحله رویه اجرایی و شرایط آزمایش می تواند بازبینی و اگر لازم باشد تکرار گردد. در دوره اندازه‌گیری، داده ها توصیه می شود که بصورت دوره ای تایید گردد تا از کیفیت لازم برخوردار گردد. گزارشات آزمایشها باید مستند گردند تا همه وقایع در زمان آزمون عمکرد توان ثبت شوند.

۸-۲- توربین بادی در حال بهره برداری

[۱] یک حالت سیگنال شروع بکار ژنراتور کافی خواهد بود مبتنی بر اینکه الگوریتم کنترل توقف هیسترزیس را بتواند تایید نماید.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

در زمان اندازه‌گیری باید توربین بادی در حالت کار طبیعی خود باشد، چنانچه در دفترچه بهره برداری توضیح داده شده است، و شرایط بهره برداری تغییر ننماید. وضعیت بهره برداری از توربین باد مانند آنچه در بخش ۱۰ آمده است باید اجرا گردد. تعمیرات معمول توربین باد در زمان اندازه‌گیری باید انجام شود. هر تعمیر خاص، مانند شستشوی پره‌ها، که برای کارآیی خوب است باید بطور خاص ذکر گردد. از تعمیرات خاص که تاثیر در فرآینده دارند توصیه می شود خودداری شود.

۸-۳- جمع آوری داده

داده‌ها بطور مستمر با نرخ ۱ هرتز یا بالاتر باید نمونه برداری شود. دمای هوا، فشار هوا، و رطوبت و بارش، اگر اندازه‌گیری می شوند، با نرخ کمتری نمونه گیری شوند، اما هر یک دقیقه حداقل داده برداری شود. سیستم داده برداری باید نمونه داده‌ها را ذخیره کند یا آمار داده ها مانند مقادیر ذیل را جمع آوری کند:

الف) مقدار متوسط
ب) انحراف از معیار
ج) مقدار حداکثر
د) مقدار حداقل

داده های منتخب بر مبنای دوره های ۱۰ دقیقه ای جمع آوری گردند. داده ها باید بر اساس نیازمندی مشخص شده در قسمت ۵-۸ این گزارش باشد.

۸-۴- عدم پذیرش داده

برای اطمینان به اینکه داده های بدست آمده در زمان بهره برداری عادی از توربین بادی در آنالیز بکار رود، و اینکه داده ها خراب و خطا نباشند، داده ها اگر شرایطی را که در ذیل می آید پیدا کنند باید کنار گذاشته شوند:

الف) شرایط محیط بیرونی و سرعت باد خارج از شرایط بهره برداری نرمال توربین باد باشد.
ب) توربین باد نتواند کار کند چون حالت خطا پیش آمده باشد.
ج) توربین باد بصورت دستی متوقف شده باشد یا در حالت تعمیرات یا تست باشیم.
د) شرایط خطا مانند یخ زدگی وسایل اندازه‌گیری پیش آمده باشد.
ح) جهت باد خارج از محدوده اندازه‌گیری باشد همانطور که در بخش ۳-۳-۶ مشخص گردیده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

ف) جهت باد خارج از محدوده کالیبراسیون باشد.

ض) شرایط خاص جوی در محل آزمون اندازه‌گیری و همچنین هنگام تست منحنی توان فیلتر بشود.

هر فرآیند عدم قبول باید به روشنی گزارش شود. در حالتی که سرعت باد توقف پیش می آید، نباید داده ها را پذیرش کنیم. سرعت باد توقف توربین باد باید داده هایش در بخش خاص جمع آوری گردد. برای اینکه انرژی سالیانه توربین بیش از اندازه محاسبه نگردد باید سرعت باد در شرایط توقف جداگانه تحلیل گردد. شرایط خاص توربین مانند یخ زدگی پره ها یا گرد و غبار و سناریوهای خاص جداگانه فایل بندی شود.

۸-۵- پایگاه داده

در تنظیم پایگاه داده ها، پس از نرمالایزکردن داده های منتخب (۱-۹ را ببینید) باید با روش سری عددی بسته های اعداد ذخیره شده ذخیره شوند، در بخش ۲-۹ روند را ملاحظه نمایید. در اینجا روش سری عددی برای سرعت باد با دامنه ۰٫۵ m/s تقسیم بندی شده است، بنابراین سری عددی بصورت این بازه‌ها بدست می آید. بسته های داده های انتخاب شده باید حداقل دامنه سرعت باد باید از ۱ متر بر ثانیه کمتر از سرعت شروع بکار توربین (cut-in) تا ۱٫۵ برابر ۸۵٪ سرعت باد نامی توربین باد را بپوشاند (*سری عددی* برای باد شروع ۳ متر بر ثانیه، از ۲ متر بر ثانیه تا ۰٫۸۵*۱۱,۲= ۰,۵/۹,۵ = ۱۹ بازه می‌شود). متناوبا، محدوده سرعت باد قابل توسعه است از ۱ متر بر ثانیه زیر سرعت شروع بکار توربین باد که در این سرعت، انرژی تولیدی توربین باد (AEP) اندازه‌گیری می‌شود، تا ۹۵٪ یا بیشتر برای انرژی توسعه یافته است، بخش ۳-۹ ملاحظه گردد. در جاییکه انرژی (AEP) اندازه‌گیری شده و توسعه داده شده بکار می‌رود، باید دقت گردد که سرعت باد متناسب با آن اندازه‌گیری شود (اگر سرعت باد، سرعت باد معادل روتور است، بوضوح بیان شود، و اگر سرعت در ارتفاع هاب است، نیز روشن باشد).

برای توربین‌های بادی پیچ کنترل، منحنی توان ممکن است که کامل در نظر گرفته شود زمانیکه به توان نامی میرسیم و متوسط توان به میزان بیش از ۰٫۵ ٪ از توان توربین، یا ۵ کیلووات برای سه سری سرعت باد متوالی تغییر ننماید، و نیز تمایل به افزایش توان در متوسط این سه سری نباشد. گزارش بر مبنای این سه سری سرعت باد باید تنظیم گردد.

پایگاه داده ها وقتی کامل در نظر گرفته می‌شود که شرایط ذیل را ارضاء نمایند:

۱- هر سری اعداد باید حداقل ۳۰ دقیقه از داده های نمونه برداری را دارا باشد.

۲- پایگاه داده ها حداقل ۱۸۰ ساعت از داده های نمونه برداری را باید داشته باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

توصیه می شود از داده های ناکامل خودداری گردد، پس اگر یک سری مقادیر داده ها موجود نبودند، آنرا با تخمین زدن از دو ناحیه همجوار کامل نمایید. پایگاه داده، در گزارش تست باید بر اساس بخش ۱۰ این گزارش تهیه و در گزارش تست ارائه گردد.

۹- نتایج مشتق شده

۹-۱- نرمال سازی داده‌ها

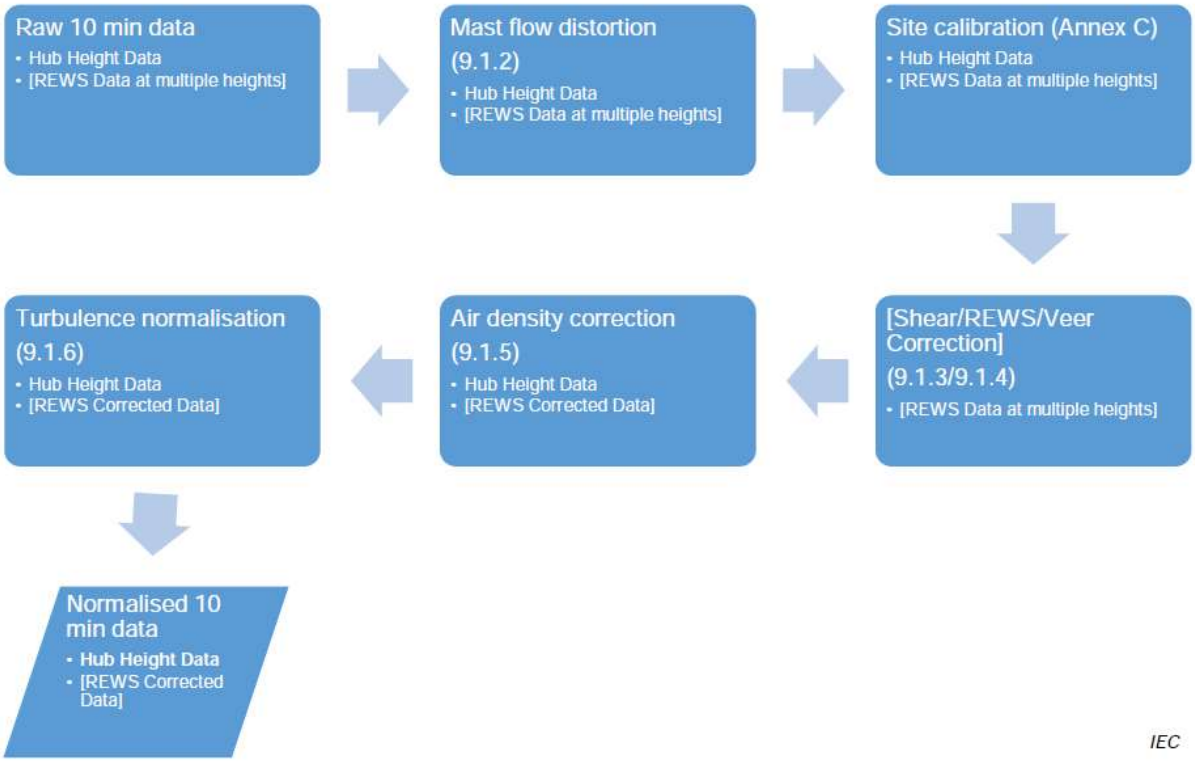
۹-۱-۱- کلیات

در این زیر بخش، سه روش نرمالایز کردن برای پارامترهای اصلی جوی که بر منحنی توان تاثیر گذار هستند تشریح می‌گردد:

۱- چگالی هوا
۲- برش باد
۳- شدت آشفتگی

منظور از این نرمالایز کردن، بهبود دقت نتایج است که بنوعی هر متغیر را پایدار و فرموله می کند. این مقصود با مقایسه نتایج در مقیاسهای مختلف قابل ارزیابی است. در نمودار شکل بندی ۴ به این موضوع پرداخته شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل ۴: فرآیند عملیاتی نرمالایز کردن‌های مختلف[۱].

۹-۱-۲- تصحیح انحراف جریان باد برای بادسنج جانبی دکل

تصحیح سرعت‌های باد بر روی بادسنجهای نصب شده جانب دکل، جهت جبران انحراف جریان دکل هواشناسی مجاز می باشد (الزامات بر اساس پیوست G جهت حداکثر ۱٪ انحراف جریان دکل هواشناسی قبل از بکارگیری تصحیح جریان اجرا گردد). هر روش تصحیح باید مستند سازی و ارائه گردد و مطابق با ملزومات ذکر شده در بخش ۱۰ این گزارش باشد. تاثیرات انحراف جریان دکل هواشناسی روی اندازه‌گیری برش باد ممکن است، با کاهش بخشهای اندازه‌گیری دکل بادسنجی به زیر یک حداقل محدوده ای، به حداقل برسد. مبنای تکنیکی برای هر چنین کاهش هایی در بخشها باید مستند گردد. پیوست S یک روش ممکن برای تعیین تصحیح انحراف جریان برای دکل خرپایی ارائه نموده است.

[۱] جاییکه اندازه گیری REWS در دسترس است، داده های REWS یک مسیر موازی با نرمال سازی با داده های پیش فرض ارتفاع هاب نرمال شده دنبال می کند چنانکه در داخل کروشه ها با عباراتی بیان می شود. نرمال سازی داده های REWS جداگانه برای هر ارتفاع اندازه گیری در همه مرا حل نرمال سازی تا مرحله ای که نتایج از هر ارتفاع با برش باد/ REWS/تغییر جهت در ارتفاع ترکیب گردد. یک مقدار یکتای تصحیح شده REWS برای ۱۰ دقیقه داده از هر زیر مرحله در مقابل تصحیحات بکار رفته در هر نقطه داده ارتفاع هاب نشات می گیرد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۹-۱-۳- تصحیح برش باد (هنگامی که باد معادل روتور در دسترس باشد)

۹-۱-۳-۱- کلیات

اگر سرعت باد بر روی ناحیه سطح توربین باد ثابت باشد، سرعت باد در ارتفاع هاب می تواند معرف سرعت باد روتور توربین باد باشد، بنابراین سرعت باد در ارتفاع هاب بعنوان سرعت باد، قابل راستی آزمایی است. اگر چه، فرض سرعت باد در ارتفاع هاب برای توربین‌های بادی بزرگ نمی تواند معرف سرعت باد بر روی سطح روتور باشد. بنابراین نیاز خواهد بود تصحیحات را بعمل آوریم و برای ارتفاع هاب تغییرات لازم را با در نظر گرفتن برش باد بر روی توربین باد اعمال نماییم. در ذیل سه مقدار مشخص گردیده است:

۱- سرعت باد معادل روتور،

۲- فاکتور تصحیح برش باد،

۳- برش باد تصحیح کننده سرعت باد

فاکتور تصحیح برش باد ممکن است مطابق با پیوست P برای منحنی توان آب و هوای خاصی بکار گرفته شود. اگرچه، این تصحیح بر مبنای این بنا شده است که توربین باد قادر خواهد بود همه انرژی جنبشی موجود را تبدیل نماید.

۹-۱-۳-۲- سرعت باد معادل روتور

سرعت باد معادل روتور برابر با سرعت بادی است که متناسب انرژی جنبشی جریان عبور کننده از سطح جاروب شده روتور باشد، در زمانیکه برش باد عمودی بحساب آید. چنانچه سرعت باد حداقل برای سه ارتفاع اندازه‌گیری شده باشد (بخش ۶-۲-۷ رجوع شود)، سرعت باد معادل روتور با معادله زیر مشخص می‌گردد:

$$v_{eq} = \left(\sum_{i=1}^{n_h} v_i^3 \frac{A_i}{A} \right)^{1/3} \quad (۵)$$

در جاییکه:

n_h تعداد ارتفاعات اندازه‌گیری موجود($n_h \geq 3$)،

V_i سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع i است،

A کل مساحت جاروب شده بوسیله روتور است (یعنی با در نظر گرفتن شعاع R مساحت می‌شود: πR^2)،

A_i مساحت قسمت ith ، یعنی قسمتی که سرعت باد v_i برای آن معرفی می‌شود، از معادله (۶) مشتق شده است،

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

قسمت‌ها (با مساحت A_i) می تواند انتخاب شود که جدایش افقی خط بین دو قسمت در میانه دو نقطه اندازه‌گیری قرار بگیرد. مساحتهای قسمتها با رابطه (۶) بدست می آید:

$$A_i = \int_{z_i}^{z_{i+1}} c(z)dz = g(z_{i+1}) - g(z_i) \quad (۶)$$

بطوریکه:

z_i ارتفاع از قسمت ith خط جدایش ($H-R<z_i<H+R$)، شماره بندی بر طبق جهت مشخص است (از بالا به پایین یا از پایین به بالا).

پهنای روتور در ارتفاع Z می‌شود:

$$c(z) = 2\sqrt{R^2 - (z - H)^2} \quad (۷)$$

بطوریکه:

R شعاع روتور است.

H ارتفاع هاب است.

تابع مرکب بصورت زیر است:

$$g(z) = (z - H)\sqrt{R^2 - (z - H)^2} + R^2 \arctan\left(\frac{z - H}{\sqrt{R^2 - (z - H)^2}}\right) \quad (۸)$$

مثالی از محاسبه REWS برای پروفایل سرعت باد در ۱۰ دقیقه:

در این مثال، توربین بادی در نظر گرفته شده است که ارتفاع هاب آن ۸۰ متر است و قطر روتور نیز ۱۰۰ متر است. سرعت باد در ۵ ارتفاع با دکل هواشناسی اندازه‌گیری شده است. اگر ارتفاع‌ها را بتوانیم انتخاب کنیم، ایده‌آل این است که ارتفاع‌ها توزیع شده باشد (۴۰ متر، ۶۰ متر، ۸۰ متر، ۱۰۰ متر و ۱۲۰ متر). این مثال نشان می دهد ارتفاع‌ها بطور مستقل از ارزیابی REWS می باشند. محدوده قسمت‌ها در میانه دو اندازه‌گیری پشت سرهم تنظیم می شوند. نتیجه REWS برابر با ۹٫۸۳ متر بر ثانیه شده است، جدول ۳ قابل مشاهده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول ۳: مثالی از محاسبات REWS.

ارتفاعهای اندازه گیری (m)	سرعت باد (m/s)	وزن دهی* بخشی (%)	محدوده ارتفاع بخش پایینی (m) (z_i)	محدوده ارتفاع بخش پایینی (m) (z_{i+1})	ارتفاعهای اندازه گیری (m)
۱۱۶	۱۱٫۴۶	۱۶٫۳۱	۱۰۸	۱۳۰	۲۲
۱۰۰	۱۰٫۴۳	۲۱٫۰۴	۹۰	۱۰۸	۱۸
۸۰	۹٫۲۴	۲۵٫۲۹	۷۰	۹۰	۲۰
۶۰	۷٫۸۱	۲۳٫۱۲	۵۰	۷۰	۲۰
۴۰	۶٫۰۵	۱۴٫۲۴	۳۰	۵۰	۲۰
* وزن دهی بخشی بصورت نسبت بین مساحت بخش و مساحت کل سطح جاروب شده روتور مشخص می گردد.					

۹-۱-۳-۳- فاکتور تصحیح برش باد

۹-۱-۳-۳-۱-حالت اول: دکل هواشناسی ارتفاع هاب با ابزار سنجش از راه دور یا وسایل سنجش از راه دور با دکل کوتاه (یعنی زیر ارتفاع هاب) هواشناسی

فاکتور تصحیح برش باد اندازه‌گیری شده با بکار گیری وسایل سنجش از راه دور بصورت نسبت سرعت باد معادل روتور به سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع هاب بر طبق معادله (۹) مشخص می‌گردد:

$$f_{r,RSD} = v_{eq,RSD} / v_{h,RSD} \quad (۹)$$

بطوریکه:

$v_{eq,RSD}$ سرعت باد معادل روتور اندازه‌گیری شده با ابزار سنجش از راه دور، همانطور که در معادله (۵) مشخص شده است.

$v_{h,RSD}$ سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع هاب با ابزار سنجش از راه دور است.

۹-۱-۳-۳-۲ حالت دوم: دکل هواشناسی بالای ارتفاع هاب

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

فاکتور تصحیح برش باد اندازه‌گیری شده‌ای که دکل هواشناسی را بکار برده است با نسبت سرعت باد معادل روتور به سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع هاب با معادله (۱۰) مشخص می‌شود[۱]:

$$f_{r,MM} = v_{eq,MM} / v_{h,MM} \quad (۱۰)$$

در جاییکه:

$v_{eq,MM}$ سرعت باد اندازه‌گیری شده معادل روتور بوسیله بادسنج بر روی دکل هواشناسی، چنانچه در معادله (۵) مشخص گردیده است.

$v_{h,MM}$ سرعت باد اندازه‌گیری شده بوسیله بادسنج در ارتفاع هاب است.

تذکر: باید بدانیم که $f_{r,MM}$ صرفا برای گزارش استفاده می‌گردد.

۹-۱-۳-۴- تصحیح برش باد برای سرعت باد

اگر سرعت باد در ارتفاع هاب و برش باد با یک نوع WME از اندازه‌گیری شده باشند، سرعت باد معادل روتور بر مبنای معادله (۵) محاسبه می‌گردد. اگر سرعت باد در ارتفاع هاب با یک بادسنج که بر روی دکل هواشناسی نصب شده است اندازه‌گیری شود، و همچنین برش باد با یک RSD اندازه‌گیری شود، سرعت باد معادل روتور نهایتا بر مبنای معادله (۱۱) محاسبه می‌گردد:

$$v_{eq,final} = f_{r,RSD} v_{h,MM} \quad (۱۱)$$

۹-۱-۴- تصحیح تغییر جهت باد در ارتفاع

چنانچه در پیوست Q توضیح داده شده است، تغییر جهت باد بر روی پهنه ارتفاع روتور (wind veer) می‌تواند یک تاثیر معنادار بر روی توان خروجی توربین باد داشته باشد. در توربین‌های باد با روتور بزرگ، پیشنهاد می‌گردد که مفهوم توسعه یافته سرعت باد معادل روتور با در نظر گرفتن تغییر جهت باد در ارتفاع محاسبه شود.

۹-۱-۵- نرمال سازی چگالی هوا

چگالی هوا با اندازه‌گیری دمای هوا ، فشار هوا و رطوبت نسبی بر طبق معادله (۱۲) تعیین می‌شود:

$$\rho_{10min} = \frac{1}{T_{10min}} \left(\frac{B_{10min}}{R_0} - \Phi P_w \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) \right) \quad (۱۲)$$

[۱] توجه کنید که $f_{r,MM}$ صرفا برای گزارش دهی است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بطوریکه:

ρ_{10min} متوسط چگالی هوا در ۱۰ دقیقه است.

T_{10min} متوسط اندازه‌گیری شده دمای مطلق هوا در ۱۰ دقیقه است. [K]

B_{10min} فشار هوا تصحیح شده در ارتفاع هاب و متوسط گیری شده در ۱۰ دقیقه است[Pa].

$R0$ ثابت گاز برای هوای خشک ۲۸۷٫۰۵ است[J/kg K].

Φ رطوبت نسبی است (محدوده ۰٪ تا ۱۰۰٪).

R_w ثابت گاز برای بخار آب ۴۶۱٫۵ [J/kgK].

P_w فشار بخار معادل با [Pa] $0{,}000\ 020\ 5 \exp(0{,}0631\ 846\ T10min)$

فشار بخار Pw بستگی به دمای متوسط هوا در ۱۰ دقیقه دارد.

داده‌های انتخاب شده باید حداقل به یک مرجع چگالی هوا نرمالایز شوند. مرجع چگالی هوا باید متوسط چگالی هوای اندازه‌گیری شده باشند، از داده های مورد قبول در محل آزمون در دوره تست (۴-۸ را ببینید) باشند، یا از سوی دیگر یک چگالی هوا برای محل آزمون تعیین شده باشد. متوسط چگالی هوای اندازه‌گیری شده به نزدیکترین مقدار ۰٫۰۱ kg/m3 باید گرد گردد و بر طبق بخش ۱۰ گزارش گردد. برای توربین‌های بادی که به روش استال تنظیم می شوند با سیستم پیچ ثابت و سرعت دورانی ثابت، نرمال سازی داده ها باید بر طبق معادله (۱۳) برای توان خروجی اندازه‌گیری شده اجرا گردد.

$$P_n = P_{10min}\left(\frac{\rho_0}{\rho_{10min}}\right) \quad (۱۳)$$

بطوریکه:

P_n توان خروجی نرمالایز شده است.

P_{10min} توان متوسط اندازه‌گیری شده در دوره زمانی ۱۰ دقیقه است.

ρ_0 چگالی هوا مرجع است.

ρ_{10min} چگالی هوا که بر طبق معادله (۱۲) در بازه زمانی ۱۰ دقیقه بدست می آید.

برای توربین باد با کنترل توان اکتیو، نرمال سازی برای سرعت باد بر طبق معادله (۱۴) صورت می گیرد:

$$V_n = V_{10min}\left(\frac{\rho_{10min}}{\rho_0}\right)^{1/3} \quad (۱۴)$$

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بطوریکه:

V_n سرعت باد نرمالایز شده است.

V_{10min} سرعت باد متوسط اندازه‌گیری شده در دوره زمانی ۱۰ دقیقه است.

۹-۱-۶- نرمال سازی آشفتگی جریان

اندازه‌گیری منحنی توان توربین باد تحت تاثیر شدت آشفتگی قرار می گیرد. بخش قابل توجه شدت آشفتگی در اثر متوسط توان خروجی اندازه‌گیری شده و سرعت باد اندازه‌گیری شده در بازه زمانی ۱۰ دقیقه ایجاد می شود. پیشنهاد می‌گردد با نرمال‌سازی داده‌های منحنی توان به یک مرجع شدت آشفتگی بر طبق پیوست M این اثر حذف شود. شدت آشفتگی مرجع باید قبل از تست منحنی توان مشخص گردد. ممکن است بصورت تابعی از سرعت باد در ارتفاع هاب مشخص شود. اگر به هرحال مشخص نگردد، یک شدت آشفتگی ۱۰٪ بکار میرود. عدم قطعیت نرمالیزاسیون آشفتگی باید بحساب آید. اگر نرمالیزاسیون آشفتگی داده های منحی توان اجرا نگردد، عدم قطعیت منحنی توان ناشی از تاثیر آشفتگی باید تخمین زده شود. پیشنهاد می‌گردد که روش عدم قطعیت پیوست M بکار رود[۱].

۹-۲- تعیین منحنی توان اندازه‌گیری شده

منحنی توان بر اساس سرعت باد در ارتفاع هاب مشخص می‌شود، حتی اگر اندازه‌گیری، سرعت باد در ارتفاع معادل روتور صورت گیرد. اگرچه، این را باید بخاطر بسپارید که عدم قطعیت در منحنی توان که بر اساس ارتفاع هاب اندازه‌گیری شده است، فقط موضوع عدم قطعیت بالاتر ناشی از عدم اطلاعات دیگر پارامترهای اثر گذار بر شرایط باد است. بنابراین با احتساب برش باد، تغییر جهت باد در ارتفاع و شدت آشفتگی و کاهش عدم قطعیت در اندازه‌گیری منحنی توان، پیشنهاد می‌گردد که سرعت باد معادل روتور بعنوان معرف سرعت باد و آشفتگی نرمالایز شده توان خروجی را بر طبق پیوست M چنانچه به توان خروجی مرتبط است در نظر بگیرید. منحنی توان بر اساس سرعت باد نرمالایز شده برای یک پروفایل برش باد خاص (پیوست P دیده شود) و آشفتگی نرمالایز شده توان خروجی، گزینه هایی هستند که پیشنهاد می گردند اگر یک مقایسه بین منحنی های توان خروجی مختلف درخواست گردد یا اگر منحنی های توان برای ارزیابی منبع باد بکار گرفته شود.

[۱] متذکر می گردد که شدت آشفتگی اندازه‌گیری شده با هر یک از: بادسنج فنجانی ، وسایل سنجش از راه دور و بادسنج فراصوت متفاوت خواهند بود. هنگام تفسیر نتایج این موضوع باید در نظر گرفته شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

با مشخص کردن متوسطهای یکتای ۱۰ دقیقه ای، با اندیس j توصیه می شود که به سرعتهای باد مورد نظر اضافه گردد. منحنی توان اندازه‌گیری شده با بکارگیری "روش سری عددی" برای بسته داده های نرمالایز شده، با در نظر گرفتن ۰,۵ متر بر ثانیه سری های عددی سرعت باد و بوسیله محاسبه متوسط مقدار سرعت باد نرمالایز شده و توان خروجی نرمالایز شده برای هر سری سرعت باد بر طبق معادلات (۱۵) و (۱۶) بدست می آید:

(۱۵)

$$V_i = \frac{1}{N_i}\sum_{j=1}^{N_i} V_{n,i,j}$$

(۱۶)

$$P_i = \frac{1}{N_i}\sum_{j=1}^{N_i} P_{n,i,j}$$

جاییکه:

V_i سرعت باد متوسط گیری شده و نرمالایز شده در سری عددی i است

$V_{n,i,j}$ داده های سرعت باد نرمالایز شده در سری عددی i است

P_i کل مساحت جاروب شده بوسیله روتور است (یعنی با در نظر گرفتن شعاع R مساحت می‌شود: πR^2)

$P_{n,i,j}$ بسته داده های توان خروجی نرمالایز شده j در سری عددی i است

N_i تعداد بسته های داده ها در ۱۰ دقیقه برای سری عددی i

منحنی توان اندازه‌گیری شده بطور مفصل در بخش ۱۰ و جاییکه REWS برای منحنی توان اندازه‌گیری شده است، باید معرفی گردد. لازم است که منحنی توان متناسب با ارتفاع هاب نیز معرفی گردد.

۹-۳- انرژی تولیدی سالیانه (AEP)

AEP به دو روش قابل محاسبه است:

۱- AEP اندازه‌گیری شده

۲- AEP برون یابی شده

اگر منحنی توان اندازه‌گیری شده داده های سرعت باد توقف توربین باد را شامل نگردد، منحنی توان باید برون یابی شود تا حداکثر سرعت باد اندازه‌گیری شده تا سرعت باد توقف را شامل گشته و فرآیند کامل گردد. پیشتر، AEP ممکن است بصورت AEP ژنریک یا AEP مخصوص محل آزمون مشخص گردد. AEP ژنریک بوسیله بکارگیری منحنی توان اندازه‌گیری شده با مراجع مختلف فرکانس توزیعی سرعت باد تخمین زده می‌شود. برای یک توسعه مشخص، شرایط محل آزمون (محل آزمون) باید بگونه ای باشد که وضعیت باد محل آزمون باید معلوم

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

باشد. اگر چه یک محل آزمون با AEP خاص ممکن است، اضافه بر این، گزارش و محاسبات به اطلاعات خاص محل آزمون وابسته خواهد بود. تاکید می‌گردد که یک منحنی توان مشتق شده از اندازه‌گیری سرعت باد در ارتفاع هاب فقط می تواند با سرعت باد توزیع فرکانسی بر اساس سرعت باد در ارتفاع هاب ترکیب شود، تا AEP از آن منتج گردد. بهر حال یک منحنی توان که از سرعت باد معادل ارتفاع روتور (REWS) بدست آمده است فقط با سرعت باد توزیعی فرکانسی REWS برای بدست آوردن AEP قابلیت کاربرد دارد. AEP بدست آمده از ترکیب منحنی توان REWS با سرعت باد توزیعی فرکانسی در ارتفاع هاب (و بالعکس) معتبر نمی باشد. توزیع رایلی، که با توزیع ویبول با فاکتور شکل ۲ یکسان است، بعنوان مرجع سرعت باد توزیع فرکانسی قابل استفاده است. تخمین AEP برای سرعت باد متوسط سالیانه در ارتفاع هاب از ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ متر بر ثانیه بر طبق معادله (۱۷) می‌شود:

$$AEP = N_{\mathrm{h}} \sum_{i=1}^{N} \left[F(V_i) - F(V_{i-1})\right] \left(\frac{P_{i-1} + P_i}{2}\right) \quad (۱۷)$$

بطوریکه:

AEP انرژی تولیدی سالیانه است.

N_h تعداد ساعات در یک سال تقریبا برابر ۸۷۶۰ ساعت است.

N تعداد بین (سری اعداد) است.

V_i سرعت باد متوسط نرمالایز شده در سری اعداد i است.

P_i توان خروجی متوسط نرمالایز شده در سری اعداد i است.

$$F(V) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4}\left(\frac{V}{V_{\mathrm{ave}}}\right)^2\right) \quad (۱۸)$$

بطوریکه:

F(V) تابع تجمیعی توزیع احتمالاتی رایلی برای سرعت باد است.

V_{ave} سرعت باد متوسط سالیانه است.

V سرعت باد است.

مجموع گیری با تنظیم از $V_i - 1$ شروع و با بازه $V_i - 0.5$ m/s صورت می‌گیرد و معادل با ۰/۰ کیلو وات است.

برای محل آزمون خاص، شرایط اسمی محل آزمون با وضعیت باد ممکن است مشخص گردد. اگر چنین شد، یک محل آزمون با AEP خاص ممکن است، علاوه بر این، گزارش و محاسبات به اطلاعات خاص محل آزمون وابسته است. اگر توزیع باد محل آزمون معلوم باشد و بصورت یک شکل لوله‌ای مشخص گردد، AEP محل آزمون مورد

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نظر ممکن است با انتقال باد توزیعی به باد متناسب توزیعی تجمیعی محاسبه گردد. مقادیر ساعات هر اندازه‌گیری سرعت باد از منحنی توان اندازه‌گیری شده از میان یابی خطی بین دو مقدار کنار هم از توزیع تجمعی بدست می‌آید. ساعات از مجموع ساعات جدول بدست می‌آید، که نوعا تعداد ساعات اسمی تقویم سالانه است. نهایتا AEP بر مبنای معادله (۱۷) بدست می‌آید. توزیع سرعت باد جدولی همان تعریف سرعت باد (در ارتفاع هاب یا سرعت باد REWS) مشخص شده را بکار می برد، مانند منحنی توان اندازه‌گیری شده؛ در غیر این صورت یک AEP معتبر قابل حصول نیست.

اگر توزیع باد یک محل آزمون مشخص، با توزیع ویبولی که دارای فاکتور شکل و مقیاس معلوم باشد، پس AEP ممکن است با معادله (۱۷) محاسبه شود و جایگزینی معادله توزیعی رایلی (۱۸) با معادله (۱۹) که توزیع ویبول است صورت می گیرد:

$$F(V) = 1 - e^{-\left(\frac{V}{A_W}\right)^k} \qquad (۱۹)$$

بطوریکه:

$F(V)$ *تابع* تجمعی توزیع احتمالاتی رایلی برای سرعت باد است.

V سرعت باد است.

A_w فاکتور اشل ویبول است.

K فاکتور شکل ویبول است.

AEP اندازه‌گیری شده امکان دارد با منحنی توان اندازه‌گیری شده با فرض توان صفر برای همه سرعت‌های باد بالاتر و پایینتر از محدوده سرعت باد برای منحنی توان اندازه‌گیری شده و انجام جمع‌بندی بر طبق معادله (۱۷) صورت پذیرد. AEP برون یابی شده بوسیله منحنی توان اندازه‌گیری شده با فرض توان صفر برای همه سرعت‌های باد زیر حداقل سرعت باد اندازه‌گیری شده منحنی توان و توان ثابت و برای باد بین بیشترین سرعت باد در منحنی توان اندازه‌گیری شده و سرعت باد توقف بدست می آید.

توان ثابت برای AEP برون یابی شده باید از مقادیر توان سری عددی بالاترین سرعت باد اندازه‌گیری شده برای منحنی توان بدست آید. AEP اندازه‌گیری شده و AEP برون یابی شده در گزارش تست بر طبق مطالب تشریح شده در بخش ۱۰ این استاندارد ارائه خواهند شد. برای همه محاسبات AEP ، دسترسی به توربین باد باید ۱۰۰٪ باشد. برای سرعت‌های باد متوسط سالیانه، تخمین AEP اندازه‌گیری شده چنانچه محاسبات نشان دهد که AEP اندازه‌گیری شده کمتر از ۹۵٪ از AEP برون یابی شده است با عنوان ناکامل معرفی می‌شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

تخمینات عدم قطعیت اندازه‌گیری در ترمهای عدم قطعیت AEP بر طبق پیوست D است، می توان AEP اندازه‌گیری شده برای همه بادهای سرعت توزیعی گزارش شود. عدم قطعیت در AEP که در بالا شرح داده شد، فقط به عدم قطعیتهای ناشی از تست عملکرد توانی مرتبط می‌گردد، و عدم قطعیت ناشی از پارامترهای مهم دیگری که مرتبط با تولید انرژی واقعی برای یک نصب داده شده اند را شامل نمی‌شود.

۹-۴- ضریب توان

ضریب توان، C_P، با توجه به آزمون و نتایج آن بر طبق دستورالعمل بخش ۱۰ اجرا می گردد. C_P، باید بر اساس معادله زیر و از طریق منحنی توان اندازه‌گیری شده بدست آید:

$$C_{P,i} = \frac{P_i}{\frac{1}{3}\rho_0 A V_i^3} \quad (۲۰)$$

اینجا:

$C_{P,i}$ ضریب توان در سری اعداد i است،

V_i سرعت باد نرمالایز و متوسط گیری شده در سری اعداد i است (که با سرعت باد معادل روتور یا سرعت باد در ارتفاع هاب هماهنگ می‌شود).

P_i توان خروجی متوسط و نرمالیزه شده در سری اعداد است.

A مساحت جاروب شده روتور توربین باد است.

P_0 چگالی هوا مرجع است.

۱۰- فرمت گزارش دهی

گزارش تست باید اطلاعات ذیل را دارا باشد:

a) شناسایی و تشریح شکل بندی توربین بادی تحت تست (بخش ۲-۶ را ببینید)، شامل موارد ذیل است:

۱- سازنده توربین باد، نوع، شماره سریال، سال ساخت.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۲- قطر روتور و تشریح روش سنجش بکار گرفته شده یا مرجعی که قطر روتور مستند شده باشد.

۳- سرعت روتور یا محدوده سرعت روتور مشخص باشد.

۴- توان نامی و سرعت باد نامی

۵- داده های پره: سازنده، نوع، شماره سریال، تعداد پره ها، ثابت یا پیچ متغیر، و زاویه پیچ (پیچ‌ها)

۶- ارتفاع هاب و نوع برج مشخص باشد.

۷- سیستم کنترل (وسایل و سری نرم افزار) و مدارک در مورد سیگنالهای بکار رفته برای کاهش داده‌ها تشریح شود.

۸- تشریح شرایط اتصال به شبکه در توربین باد یعنی ولتاژ، فرکانس و تلرانس‌ها مشخص باشد، و یک نقشه که مشخصات نحوه اتصال ترانسدیوسر توان را بدهد، مشخصات در ارتباط با تراسفورماتور داخلی یا خارجی و مصرف توان خود توربین مشخص باشد.

b) تشریح محل آزمون آزمون بر طبق موارد ذیل (بخش ۳-۶ را ببینید):

۱- عکسبرداری از همه بخش‌های اندازه‌گیری، ترجیحا از ارتفاع هاب صورت بگیرد.

۲- نقشه محل آزمون تست که تمام مساحت اطراف را نشان داده و یک فاصله شعاعی حداقل ۲۰ برابر قطر توربین باد را در بر بگیرد و توپوگرافی را مشخص نماید، موقعیت توربین باد معلوم باشد، تجهیزات اندازه‌گیری باد مشخص باشد، موانع قابل توجه مشخص باشند، دیگر توربین‌های باد، و بخش اندازه‌گیری معلوم باشد.

۳- نتایج ارزیابی محل آزمون یعنی محدوده مورد قبول اندازه‌گیری بخشها مشخص گردد.

۴- اگر محل آزمون تحت کالیبراسیون قرار گرفته است، محدوده بخشهای نهایی اندازه‌گیری نیز باید گزارش شود، برای هر تغییری در نتایج ارزیابی محل آزمون دلایل آن ذکر گردد.

۵- یک جدول از محورها (مختصات) و ارتفاع برای تست توربین باد ارائه گردد، تجهیزات تست توربین باد و مانع قابل مشاهده در ارزیابی موانع ذکر گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

c) شرح تجهیزات تست (بخش ۷ را ببینید):

۱- شناسایی همه حسگرها، تجهیزات اندازه‌گیری باد و سیستم تحصیل داده ها، اسناد کالیبراسیون حسگرها، تجهیزات اندازه‌گیری باد، خطوط انتقال برق، و سیستم تحصیل داده ها فراهم باشد.

۲- طرح ترتیب قرار گیری دکل هواشناسی که ابعاد دکل و ابزار نصب شده بر روی آن را نشان دهد، مدارک مطابق با پیوست G باشد.

۳- شرح روش کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری باد برای دوره اندازه‌گیری ذکر گردد، و نتایج مستند گشته بطوری که کالیبراسیون در آن ذکر شده باشد.

d) شرح فرآیند اندازه‌گیری (بخش ۸ ملاحظه گردد):

۱- مراحل مستند سازی رویه‌ها در برگیرنده: شرایط تست، نرخ نمونه برداری، زمان متوسط‌گیری، و دوره اندازه‌گیری باشد.

– مستند سازی کالیبراسیون‌ها، تصحیحات یا انتقال کارکردهای فراهم شده بوسیله ثبت کننده داده‌ها و یا بوسیله پسا پردازش صورت گیرد.

۲- کتاب ورود به سیستم تست که همه وقایع مهم را ضبط می کند در طی تست عملکرد، در برگیرنده:

– یک لیست کامل از فعالیت‌های تعمیرات در هنگام تست فراهم گردد.

– یک لیست از هر فعالیت خاص (مانند شستشوی پره) که انجام شده تا عملکرد توربین خوب باشد.

۳- یک لیست کامل از همه شاخص های فیلترها بکار گرفته شده برای تهیه گزارش در برگیرنده:

– پارامتر، اندازه‌گیری یا دوره زمانی یا ترکیب پارامترهایی که فیلتر شده‌اند.

– محدوده یا شاخص منطقی برای فیلتر،

– توجیه برای فیلتر،

– دستوری که برای فیلتر آمده است باید گزارش گردد با تعداد نقاط که هر تکرارپذیری حذف می‌گردد. جایگزین، تعدا نقاط داده‌هایی که فیلتر می‌تواند از درون پایگاه داده بوسیله خودش حذف نماید،

– شماره شروع بسته داده ها در پایگاه داده و شماره نهایی بسته داده ها بعد از فیلتر کردن ارائه گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

e) معرفی داده های اندازه‌گیری صورت بگیرد (قسمت ۳-۸ تا ۵-۸ را ببینید). داده ها برای هر بخش منتخب داده ها می بایست به دو صورت جدولی و گرافیکی ارائه گردد، آمارهای توان خروجی اندازه‌گیری شده به صورت تابعی از سرعت باد و از پارامترهای مهم آب و هوایی در برگیرنده (اینکه REWS اندازه‌گیری شده در دسترس هست، داده‌ها اندازه‌گیری باید بصورت جداگانه برای ارتفاع هاب و REWS معرفی شوند):

۱. ترسیم‌های پراکندگی متوسط، انحراف معیار، حداکثر و حداقل توان خروجی بصورت تابعی از سرعت باد (ترسیم‌ها باید در برگیرنده اطلاعات نمونه فرکانس باشد). یک نمونه از آن در شکل ۵ نشان داده شده است.
۲. ترسیم پراکندگی از متوسط سرعت باد و شدت آشفتگی بصورت تابعی از جهت باد ارائه گردد.
۳. ترسیم پراکندگی شدت آشفتگی بصورت تابعی از سرعت باد، و متوسط شدت آشفتگی در هر سری عددی سرعت باد باید ارائه گردد.
۴. پایگاه داده‌های خاص که در برگیرنده فعالیتهای خاص باشند یا شرایط جوی چنانچه در بالا ذکر گردید معرفی گردند.
۵. اگر اندازه‌گیری شده است، سرعت دورانی زاویه پیچ با ترسیم پراکندگی که سری عددی و مقادیر سرعت باد را شامل باشد همچنین جدول مقادیر سری عددی ارائه گردد.
۶. تعریف وضعیت سیگنال و ترسیم وضعیت سیگنال در طی دوره اندازه‌گیری مشخص گردد.
۷. ترسیم پراکندگی چگالی هوا بصورت تابعی از جهت باد و سرعت باد که متوسط برای هر سری عددی را داشته باشد.
۸. ترسیم پراکندگی نمایه برش باد در برابر زمان روز و همچنین تابعی از سرعت باد باشد. نمایه برش باد در نیمه پایینی روتور و نیمه بالایی روتور بصورت جداگانه ارائه شود. علاوه بر این، مقادیر متوسط هم از نمایه برش برای هر سری عددی سرعت باد ارائه گردد.
۹. متوسط نمایه برش باد یا معادل آن معرف شرایط برش باد در مدت زمان تست است.
۱۰. فاکتور تصحیح برش باد مطابق ۳-۳-۱-۹ اگر قابل اجرا باشد بستگی به تنظیم اندازه‌گیری دارد (معادله (۹) یا معادله (۱۰) بستگی به شکل بندی اندازه‌گیری بکار می رود).
۱۱. متوسط چگالی هوای در طی تست اندازه‌گیری شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

f) معرفی منحنی توان اندازه‌گیری شده با چگالی هوای مرجع (قسمت ۱-۹ و ۲-۹ را ببینید) برای سرعت باد در ارتفاع هاب و همچنین سرعت باد معادل روتور (REWS)

۱. منحنی توان باید در یک جدول مشابه جدول ۴ برای هر سری عددی سرعت باد مشخص گردد و جدول باید لیست زیر را دارا باشد[۱]:
   - سرعت باد متوسط نرمالایز شده
   - توان خروجی متوسط نرمالایز شده
   - شماره سری داده ها
   - مقادیر محاسبه شده C_P
   - عدم قطعیت استاندارد گروه A در اندازه‌گیری(پیوست D و E را ببینید).
   - عدم قطعیت استاندارد گروه B در اندازه‌گیری(پیوست D و E را ببینید).
   - عدم قطعیت ترکیبی استاندارد در اندازه‌گیری(پیوست D و E را ببینید).
۲. منحنی توان باید بصورت نمودار مشابه شکل ۸ معرفی شود. نمودار باید نشان دهنده مقادیر ذیل بصورت تابعی از نرمالیزه شده و متوسط گیری شده سرعت باد باشد.
   - متوسط گیری شده و نرمالایز شده توان خروجی
   - عدم قطعیت ترکیبی استاندارد را دارا باشد.
۳. منحنی C_P بصورت نمودار مانند شکل ۷ معرفی گردد.
۴. نمودار و جدول هر دو دارای چگالی هوای مرجع باشند تا برای نرمالایز شدن بکار رود.
۵. اگر در دوره زمانی اندازه‌گیری به سرعت باد توقف رسیدیم، منحنی توان و منحنی C_P یا بخشی از منحنی‌ها تحت تاثیر هیسترزیس سرعت توقف قرار گرفتند، می توان به روش مشابه موارد بالا ۱ تا ۴ عمل نمود.

g) منحنی های توان اندازه‌گیری شده تحت عملیات خاص جمع آوری و برای شرایط جوی معرفی می شوند:

[۱] علاوه براینکه منحنی توان اندازه‌گیری شده در یک جدول برطبق f (بند ۱) باشد، منحنی توان اندازه‌گیری شده می تواند مانند مقادیر سری عددی مرکز معرفی گردد. روش پیشنهادی یک میان‌یابی مکعب اسپلین است که برای معرفی بین مقادیر سری عددی در جدول سرعت باد اندازه‌گیری شده بکار میرود، که توان و مقادیر ضریب توان در سری عددی مرکز هستند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۱- منحنی توانهای مشتق شده از زیر مجموعه سری داده های پایگاه داده برای فرایند خاص یا شرایط جوی ممکن است گزارش شود. اگر این حالت بود، یک منحنی توان توصیه می شود که برای چگالی هوا مرجع گزارش شده باشد اما با چگالی که از متوسط چگالی هوای اندازه‌گیری شده از زیرمجموعه پایگاه داده باشد یا جایگزین یک چگالی هوای نامی از پیش تعیین شده برای محل آزمون بکار رود.

h) ارائه انرژی تولیدی متوسط سالیانه با چگالی هوای مرجع (بخش ۳-۹ را ببینید) برای سرعت باد در ارتفاع هاب که منحنی توان نیز از آن گرفته شده است و همچنین REWS برای منحنی توان اگر اندازه‌گیری شده باشد:

۱- یک جدول مشابه جدول ۵ برای هر متوسط سالیانه سرعت باد در ارتفاع هاب باید در برگیرنده پارامترهای ذیل باشد:

- AEP اندازه‌گیری شده باشد.
- عدم قطعیت AEP اندازه‌گیری شده(پیوست D و E ببینید).
- AEP برون یابی شده باشد.

۲- جدول می بایست همچنین دارای:

- چگالی هوای مرجع باشد.
- سرعت باد توقف.

اگر در هر سرعت باد متوسط، AEP اندازه‌گیری شده کمتر از ۹۵٪ AEP برون یابی شده باشد، جدول عنوان ناکامل می گیرد و در ستون مقادیر AEP اندازه‌گیری شده ذکر می گردد.

i) ارائه ضریب توان اندازه‌گیری شده (بخش ۴-۹ را ببینید):

۱- ضریب توان اندازه‌گیری شده توصیه می شود که بصورت تابعی از سرعت باد در یک جدول و یک نموداری که مساحت سطح جاروب شده روتور در آن مشخص گردیده است ارائه گردد.

j) ارائه نتایج کالیبراسیون محل آزمون (به پیوست C برای گزارش دهی رجوع شود)

۱- اگر کالیبراسیون محل آزمون اجرا شده است در یک جدول ارائه گردد.

۲- جدول باید برای هر سری عددی جهت باد مطالب زیر را ارائه نماید:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

- محدوده حداقل و حداکثر جهت باد
- متوسط سری عددی جهت باد
- مشخصات تصحیح سرعت باد
- تعداد ساعات داده ها
- عدم قطعیت ترکیبی سرعت باد برای سرعتهای: ۶، ۱۰، و ۱۴ متر بر ثانیه

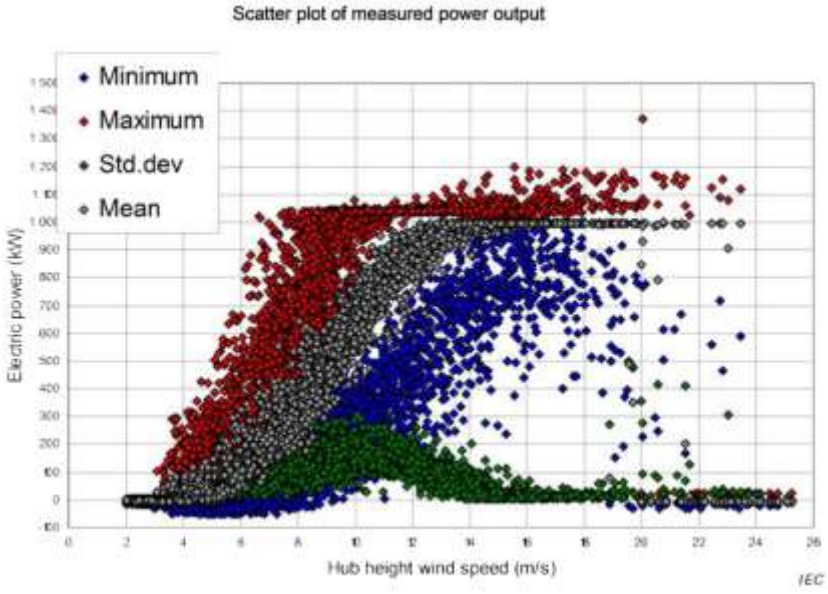
۳- گزارش باید شامل نمودار و جداول مطابق با پیوست C باشد.

k) عدم قطعیت اندازه‌گیری (پیوست D رجوع شود):

۱- فرض عدم قطعیت باید در همه اجزاء عدم قطعیت رعایت شود.

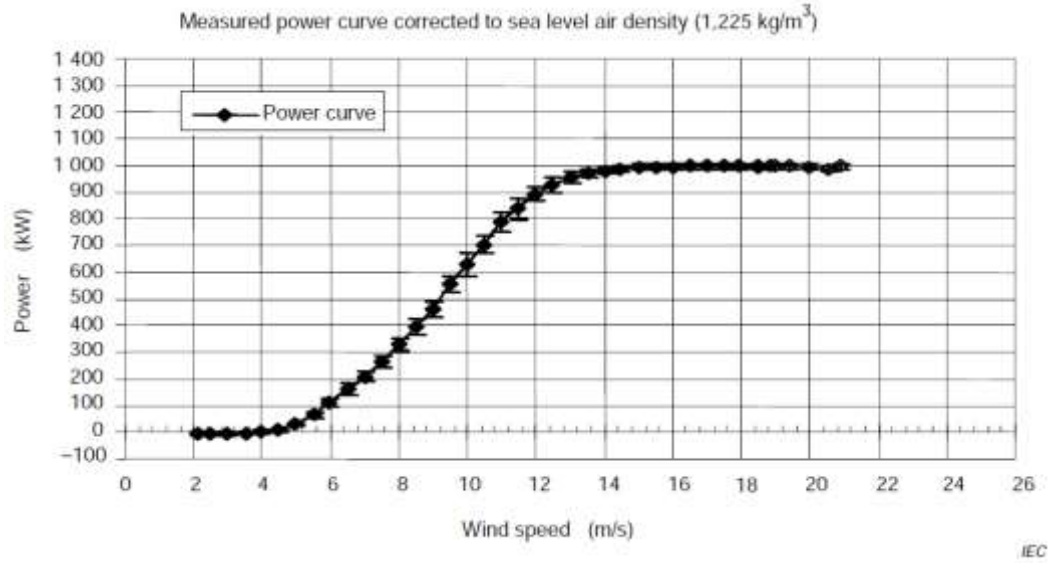
l) هر انحراف از فرآیند استاندارد:

۱- هر انحراف از نیازمندی‌های این استاندارد باید بطور واضح در یک گزارش جداگانه مستند گردد. برای هر انحراف می بایست توجیه تکنیکی لازم ارائه گردد، همچنین یک تخمین از تاثیر آن بر نتایج تست ارائه گردد.

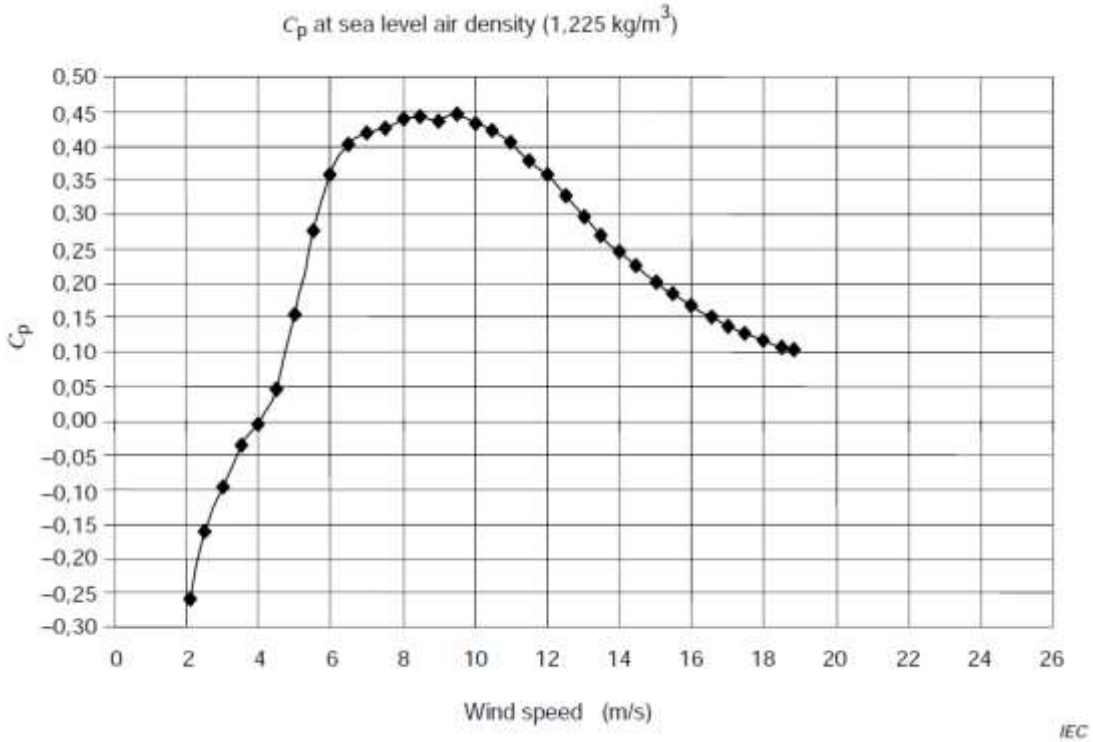


شکل ۵: ارائه مثالی از پایگاه داده: ترسیم پراکندگی تست عملکرد توان با نمونه گیری در ۱ هرتز (میانگین مقادیر متوسط گیری شده در مدت ۱۰ دقیقه).

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل ۶ : ارائه مثالی از منحنی توان اندازه‌گیری شده



شکل ۷: ارائه مثالی از منحنی CP

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

جدول ۴: ارائه مثالی از منحنی توان اندازه‌گیری

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

Measured power curve							
Reference air density: 1,225 kg/m³					Category A	Category B	Combined uncertainty
Bin no.	Hub height wind speed [m/s]	Power output [kW]	C_P	No. of data sets (10 min. avg.)	Standard uncertainty s_i [kW]	Standard uncertainty u_i [kW]	Standard uncertainty u_{ci} [kW]
4	2,1	−3,6	−0,26	138	0,05	6,3	6,3
5	2,5	−3,6	−0,16	275	0,04	6,3	6,3
6	3,0	−3,8	−0,10	270	0,13	6,3	6,3
7	3,5	−2,2	−0,03	320	0,56	6,3	6,3
8	4,0	−0,4	0,00	347	0,56	6,3	6,3
9	4,5	6,0	0,05	362	0,67	6,3	6,4
10	5,0	27,7	0,15	333	1,09	6,8	6,9
11	5,5	67,4	0,28	285	1,65	10,9	11,0
12	6,0	111,3	0,36	262	2,26	16,1	16,3
13	6,5	160,9	0,40	265	3,08	20,1	20,3
14	7,0	209,4	0,42	286	3,22	20,4	20,7
15	7,5	262,0	0,43	287	3,23	20,7	20,9
16	8,0	327,6	0,44	248	3,28	23,3	23,5
17	8,5	395,2	0,44	215	4,38	28,6	28,9
18	9,0	462,0	0,44	179	4,94	29,8	30,2
19	9,5	556,1	0,45	183	5,02	29,9	30,3
20	10,0	629,8	0,43	133	5,83	41,5	41,9
21	10,5	703,1	0,42	127	6,82	32,8	33,5
22	11,0	786,5	0,41	119	6,75	36,1	36,7
23	11,5	836,5	0,38	101	6,65	36,5	37,1
24	12,0	893,5	0,36	94	7,27	25,2	26,2
25	12,5	928,6	0,33	74	5,59	28,8	29,3
26	13,0	956,4	0,30	70	6,38	19,5	20,5
27	13,5	971,3	0,27	63	4,66	16,5	17,1
28	14,0	980,9	0,25	71	3,19	13,5	13,8
29	14,5	988,2	0,22	77	2,53	12,2	12,4
30	15,0	993,5	0,20	64	1,37	11,9	11,9
31	15,5	993,7	0,18	47	0,84	11,6	11,6
32	16,0	995,7	0,17	54	0,83	11,3	11,3
33	16,5	996,2	0,15	33	0,42	11,4	11,4
34	17,0	996,4	0,14	23	0,23	11,3	11,3
35	17,5	996,5	0,13	30	0,24	11,3	11,3
36	18,0	996,5	0,12	13	0,18	11,3	11,3
37	18,5	995,7	0,11	11	0,21	11,3	11,3
38	19,0	996,6	0,10	14	0,59	11,3	11,3
39	19,4	996,1	0,09	10	0,21	11,3	11,3

Measured power curve							
Reference air density: 1,225 kg/m³					Category A	Category B	Combined uncertainty
Bin no.	Hub height wind speed [m/s]	Power output [kW]	C_P	No. of data sets (10 min. avg.)	Standard uncertainty s_i [kW]	Standard uncertainty u_i [kW]	Standard uncertainty u_{ci} [kW]
40	20,0	994,1	0,09	5	0,41	11,3	11,3
41	20,5	987,4[III]	0,08	2	2,67	11,4	11,7
42	20,9	996,9	0,08	3	3,38	11,8	12,3

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

در جدول بالا در سری ۴۱ سری داده ها ناکامل است (کمتر از سه سری داده وجود دارد) بنابراین مقدار توان برای AEP میان یابی می گردد و به عدد ۹۹۵/۷ تبدیل می شود.

جدول ۵: ارائه نمونه‌ای از انرژی سالیانه تولیدی بصورت تخمینی

Estimated annual energy production Reference air density: 1,225 kg/m³ Cut-out wind speed: 25 m/s (extrapolation by constant power from last bin)					
Hub height annual average wind speed (Rayleigh)	*AEP*-measured (measured power curve)	Standard uncertainty in *AEP*	Standard uncertainty in *AEP*	*AEP*-extrapolated (extrapolated power curve)	
m/s	MWh	MWh	%	MWh	
4	480	82	17	480	
5	1081	113	10	1 081	
6	1 824	138	8	1 824	
7	2 595	155	6	2 603	
8	3 305	163	5	3 342	
9	3 889	165	4	3 995	
10	4 318	162	4	4 536	
11	4 592	157	3	4 954	Incomplete

تذکر: عدم قطعیت استاندارد که در جداول بالا آمده است بر اساس فاکتور ۱ است. این ایجاب می کند که سطح اعتماد (درصد زمانهایی که اندازه‌گیری منحنی توان تکرار شده است، فواصل اندازه‌گیری در برگیرنده مقدار واقعی AEP باشد) بین ۵۸ ٪ تا ۶۸ ٪ باشد. سطح اعتماد فقط یک تخمین است زیرا جزئیات توزیع احتمالات اندازه‌گیری عموما معلوم نیست. مقدار بالا یعنی ۶۸٪ به توزیع نرمال بر می‌گردد و مقدار پایین ۵۸ ٪ به توزیع‌های چهارگوش برمی‌گردد

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست A : ارزیابی تاثیرات توربین باد و موانع بر بادسنجی در محل آزمون

(الزامی)

A-۱ کلیات

در پیوست A فرآیند تعیین یک یا چند بخش غیر قابل استفاده از محل آزمون برای تست مشخص می گردد، زیرا جریان باد در توربین باد تحت تست و یا جریان باد در موقعیت تجهیزات اندازه گیری (WME: wind measurement equipment چه دکل باشد چه روش سنجش از راه دور) ممکن است به وسیله یک مانع یا توربین باد دیگر متاثر شود. روند اجرایی شامل دو مرحله ذیل است[۱]:

۱- ارزیابی تاثیر توربینهای در حال کار چنانچه در بخش A-2 آمده است.
۲- ارزیابی تاثیر موانع، چنانچه در بخش A-3 تشریح شده است (که در قسمت A-5 بطور مفصل آمده است).

باید بدانیم ناحیه معتبر برای تست برطبق پیوست B فرآیند ارزیابی آن صورت می گیرد.

منظور از کالیبراسیون محل آزمون همان اندازه گیری تغییرات لایه مرزی است چنانچه در تپه نگاری جریان می یابد، که نوعا جریان متصل است، و اساسا موانع اغلب باعث گردابه های آشفته که بیشتر با جریان مرتبط هستند می شوند، که متاثر از لبه های تیز و سطوح عمودی هستند و اصولا پدیده جدایش را باعث می شوند. کالیبراسیون محل آزمون برای تصحیح اثرات جدایش جریان بخوبی قابل اجرا نیست. پیشنهاد می گردد هنگامی که می خواهیم یک شیء را مانند مانع در نظر بگیریم یا زمینی را برای جدایش جریان و گردابه با آشفتگی بالا داریم، این مطلب را در نظر بگیریم تا این موارد را جلوگیری نماید. با در نظر داشتن این مطلب در ذهن، پیشنهاد می گردد که یک شیء (که در برگیرنده عناصر تپه ای مانندی هستند بتواند موارد ابعادی را بر آورده نماید) که ارتفاع شیء بیش از نصف پهنایش باشد، مانند یک مانع با آن عمل می شود.

A-۲ الزامات بر اساس توربینهای باد در همسایگی و در حال کار

تجهیزات اندازه گیری باد (WME) نباید تحت تاثیر توربین باد که در حال تست است قرار گیرد. توربین باد تحت تست و WME نباید بوسیله توربینهای باد در همسایگی که در حال کار هستند متاثر شود. اگر یک توربین باد در حال کارباشد که در همسایگی است در هنگام تست عملکرد، باید گردابه آن تعیین بشود و بر طبق این پیوست محاسبه گردد (محاسبات بخش A-4 را ببینید). توربینهای بادی کوچک که ارتفاع کلی آنها

[۱] توجه کنید که مرحله ۱) نیاز به اندازه گیری اولیه بخش دارد، که نتیجه مرحله دوم یعنی ۲) است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

کمتر از (2/3)(H – D/2) باشد، باید مانند مانع در نظر گرفته شوند، چنانچه در بخش A-3 شرح داده شده است. اگر یک توربین باد در تمام مدت تست عملکرد متوقف باشد، باید آنرا مانند یک مانع بحساب آورد چنانچه در بخش A-3 توضیح داده شده است. حداقل فاصله از توربین باد تحت تست و همسایگی توربین باد در حال کار می بایست دو برابر قطر روتور D_n توربین باد در همسایگی باشد. حداقل فاصله از WME و هر توربین باد در همسایگی در حال کار می بایست دو برابر قطر روتور توربین باد مورد نظر باشد. بخشهایی که در اثر گردابه ناشی از همسایگی و توربینهای باد در حال کار خارج می شوند در شکل A-1 نشان داده شده است. اندازه ای که باید بعنوان فاصله در نظر گرفته شود برابر L_n است و نیز قطر روتور توربین باد در حال کار که در همسایگی قرار دارد می باشد. بخشهای حذف شده می بایست برای هر دو یعنی توربینهای در حال تست و WME در نظر گرفته شوند، و آنها می بایست در جهت توربین باد همسایگی در حال کار برای توربین در حال اندازه گیری و تجهیزات تست مرکز قرار بگیرند. یک مثال در شکل A-2 نشان داده شده است.

A-۳ در نظر گرفتن الزامات موانع

موانع نزدیک توربین باد تحت تست یا نزدیک WME باید ارزیابی گردند. هر مانع باید مورد ارزیابی قرار گیرد یا جزء بخشی از اروگرافی باشد بطوریکه(در پیوست[1] B شرح داده شده است)، یا جایگزین آن طبق فرآیند در زیر توضیح داده خواهد شد(اگر مانع بدین صورت در نظر گرفته شود، باعث می شود زمین تست با تغییرات زیاد روبرو شود، بطوریکه تاثیر روی شیب زمین خیلی کوچک گردد(بجز برای موانع گسترش یافته، مانند جنگلها)). موانع بدون اهمیت(مانند: ساختمانها، درختان، توربینهای باد متوقف شده) در محدوده منطقه اندازه گیری در فاصله قابل قبول از توربین باد یا از WME وجود داشته باشند. فقط ساختمانهای کوچک، مرتبط با کار توربین باد یا تجهیزات اندازه گیری باد مورد قبول هستند. جایی که موانع قابل اهمیتی وجود داشته باشد، پس اندازه گیری آن بخش کاهش می یابد چنانکه در قسمت گزارش پیوست A-4 و A-5 آمده است. معیار شناسایی اینکه یک مانع مهم است(نسبت به توربین تحت تست و یا نسبت به WME سنجیده می شود) در جدول A-1 محدوده آن داده شده است. در چه حالتی جدول A-1 برای موقعیتها استفاده می گردد:

الف) برای ارزیابی محیط اطراف توربین باد تحت تست(یعنی با بکار گیری مرکز توربین باد تحت تست بعنوان مراکز دایره هایی که با شعاع : $2L$, $4L$, $8L$, and $16L$) هستند.

ب) برای ارزیابی محیط اطراف WME (یعنی با بکار گیری موقعیت تجهیزات بعنوان مرکز دایره هایی با شعاع: $2L$, $4L$, $8L$, and $16L$) هستند.

[1] در نظر گرفتن یک مانع بدین روش نوعا باعث افزایش تغییرات زمین می شود، در حالیکه تاثیر بر روی شیب ممکن است بسیار کوچک باشد (بجز برای موانع توسعه یافته مانند جنگلها).

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول A-۱ : الزامات مانع: ارتباط موانع.

Distance[a]	Sector[b]	Maximum obstacle height from terrain surface[c]
<2L	360°	<1/3 (H – 0,5 D)
≥2L and < 4L	Preliminary measurement sector	<2/3 (H – 0,5 D)
≥4L and <8L	Preliminary measurement sector	< (H – 0,5 D)
≥8L and <16L	Preliminary measurement sector	<4/3 (H – 0,5 D)
≥2L and <16L	Clearly outside preliminary measurement sector by 40° or more	No limit to height

a from obstacle to wind turbine under test, respectively from obstacle to WME – whereas L is the horizontal distance between wind turbine under test and wind measurement equipment.

b *Preliminary measurement sector* shall be understood here as the valid sector which remains after evaluation of neighbouring operating wind turbines (as described in Clause A.2, using the calculation described in Clause A.4), whereas all directions which are less than 40° outside shall also be considered.

c H is the hub height and D is the rotor diameter of the wind turbine under test.

A-۴ روش محاسبه مناطقی که از محدوده کار کنار گذاشته می شوند

توربین باد تحت تست باید همیشه بر طبق شکل A-1 متناسب با تاثیر گردابه روی WME ارزیابی گردد. توربین باد در همسایگی و در حال کار باید همیشه برطبق شکل A-1 متناسب با تاثیر گردابه خودش بر توربین در حال تست و همچنین نسبت به تاثیر گردابه روی WME بررسی گردد. نسبت به توربین در حال کار، ابعادی که باید به حساب آیند، فاصله واقعی L_n است (از مرکز توربین باد تحت تست تا موقعیت WME است) و D_n قطر روتور توربین بادی که عامل گردابه شده است[۱]. یک مانع باید بر طبق شکل A-1 ارزیابی گردد نسبت به تاثیر گردابه اش بر روی توربین باد در حال تست اگر مانع قابل توجه باشد نسبت به توربین در حال تست مطابق با جدول A-1. نسبت به توربین در حال کار، ابعادی که باید به حساب آیند، فاصله واقعی L_e (از مرکز توربین باد تحت تست تا موقعیت WME است) و D_e قطر روتور توربین بادی از مانع است. یک توربین باد متوقف در همسایگی ممکن است مانند یک استوانه به قطر معادل پایه برج و به ارتفاع معادل با ارتفاع نوک پره باشد. قطر معادل روتور یک مانع با رابطه زیر تعیین می شود:

$$D_e = \frac{2 l_h l_w}{l_h + l_w} \qquad \text{(A-1)}$$

بطوریکه:

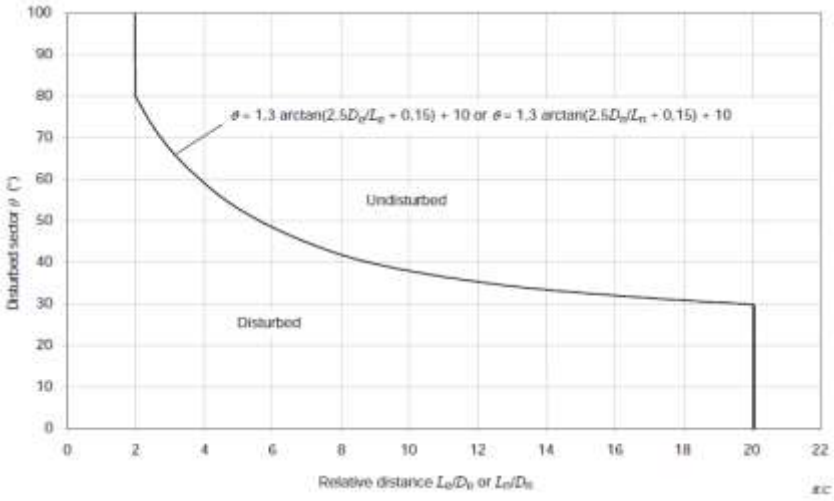
D_e قطر معادل روتور است.

[۱] تاثیر توربین باد در حال تست از WME با L (فاصله بین توربین تحت تست و ابزار اندازه گیری باد است) و قطرD (که قطر روتور توربین تحت تست است) ارزیابی می شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

l_h ارتفاع مانع است.

l_w پهنای مانع با دید از سمت توربین باد تحت تست است یا از طرف ابزار اندازه گیری.



شکل A- ۱ : بخشهایی که خارج از بادسنجی بدلیل گردابه ناشی از همسایگی توربینهای در حال کار و موانع مهم تحت تاثیر قرار خواهند گرفت

شکل‌ها نشان می دهد که بخشهایی حذف می شوند که اگر:

الف) چنانچه WME (دکل آب و هوایی یا وسایل سنجش از راه دور) در گردابه توربین باد تحت تست باشند.

ب) چنانچه WME در گردابه توربین باد در حال کار در همسایگی باشند.

ج) توربین باد در حال تست در گردابه توربین باد در همسایگی و در حال کار باشد.

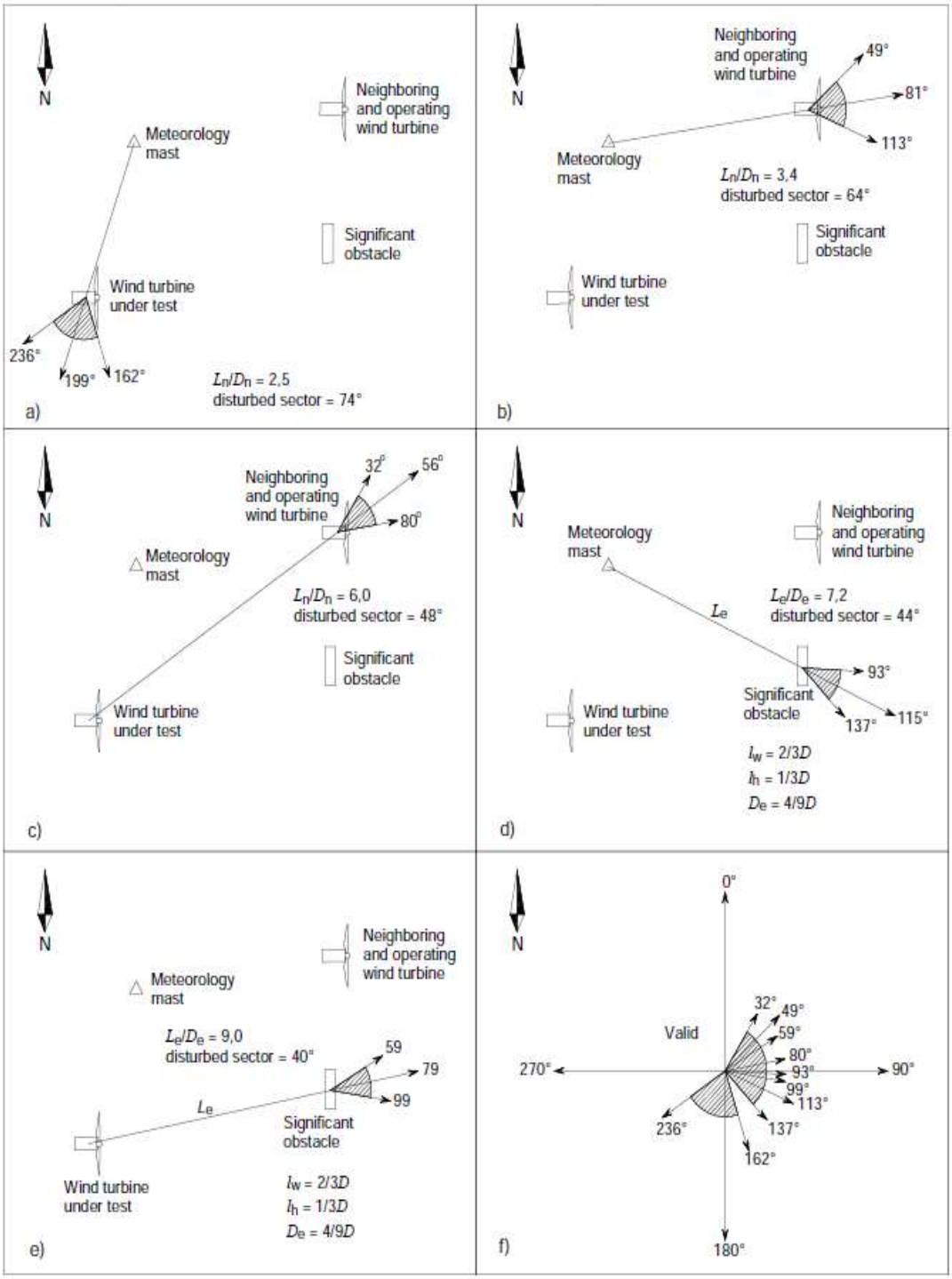
د) چنانچه WME در گردابه مانع مهم باشد.

ل) توربین باد در حال تست در گردابه مانع مهمی باشد.

م) همه تاثیرات بالا از الف تا م موجود باشند.

تذکر: مثال نشان داده شده در شکل A-2 بر اساس این فرض بنا شده است که مانع قابل توجه(برطبق جدول A-1) است، نسبت به توربین باد در حال تست و همچنین قابل توجه نسبت به تجهیزات اندازه گیری باد است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل A- ۲ : یک نمونه از بخش‌هایی که ناشی از گردابه توربین باد تحت تست یک همسایگی و توربین در حال کار و یک مانع مشخص حذف می شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

A-۵ الزامات خاص برای توزیع موانع

موانع در فاصله کمتر از $4L$ (از مرکز توربین باد تحت تست یا از تجهیزات اندازه گیری باد) که به بیشتر از ۵۰ متر در تمام جهات افقی تا موانع جزئی می بایست تقسیم شود، که نباید از ۵۰ متر در هر جهت افقی و دقیقا ۵۰ متر در هر اندازه که بیش از ۵۰ متر است در نظر گرفته شود. این موانع ممکن است با یگدیگر همپوشانی داشته باشند. همپوشانی موانع جزئی باید حداقل مانع اصلی را پوشش دهد[۱]

هر مانع جزئی باید بطور جداگانه ارزیابی گردد. اهمیت هر مانع جزئی باید ارزیابی شود، و اگر یافتیم که مورد اهمیت است، بخشی که باید حذف گردد، تعیین می شود. برای مثال:

الف) یک مانع با ابعاد 90 m by 90 m به چهار قسمت جزئی 50 m by 50 m تقسیم می گردد. این موانع جزئی بطوری انتخاب می گردند که هر قسمت بر دیگری به اندازه ۱۰ متر همپوشانی داشته باشد، بطوریکه که تجمیع چهار قسمت مانع جزئی با مانع اصلی یکسان باشد.

ب) یک مانع 70 m by 10 m به دو مانع جزئی 50 m by 10 m تقسیم می گردد. این موانع جزئی بطوری انتخاب می گردند که هر قسمت بر دیگری به اندازه ۳۰ متر همپوشانی داشته باشد، بطوریکه که تجمیع دو قسمت مانع جزئی با مانع اصلی یکسان باشد.

تجمیع درختان یا جنگل بدین گونه باید صورت گیرد.

[۱] برای موارد عملی، منطقی به نظر میرسد که موانع جزئی درست کنیم بطوریکه همه یک شکل باشند (بطور مثال مربع‌های 50 m x 50 m). این یک راه محتاطانه است که مجاز می باشد. (در این حالت، مجموعه موانع جزئی مساحت بزرگتری نسبت به مانع اصلی را پوشش می دهد).

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست B : ارزیابی زمین در محل آزمون

(الزامی)

برای آزمایش بدون کالیبراسیون محل آزمون(در زمینی که بعنوان "زمین تخت" شناخته می شود)، معیارهای ذیل باید در نظر گرفته شود (شکل B-1 و جدول B-1 را ببینید):

- اروگرافی (بررسی توپوگرافی تپه ها) در محل آزمون محل آزمایش ممکن است فقط تغییرات اندک از سطح را نشان دهد، که همه از پایه برج توربین باد می گذرند، و زمین در بخش متناسب با آن است.
- شیب هر یک از این سطوح نباید از محدوده مشخصی تجاوز نماید.

ارزیابی زمین با بکارگیری مدل دیجیتال از زمین با پهنه بندی ۳۰ متر یا حتی ظریف تر انتخاب شود.
جدول B-1 برای موقعیتهای زیر برای منطقه اندازه گیری بکار میرود:

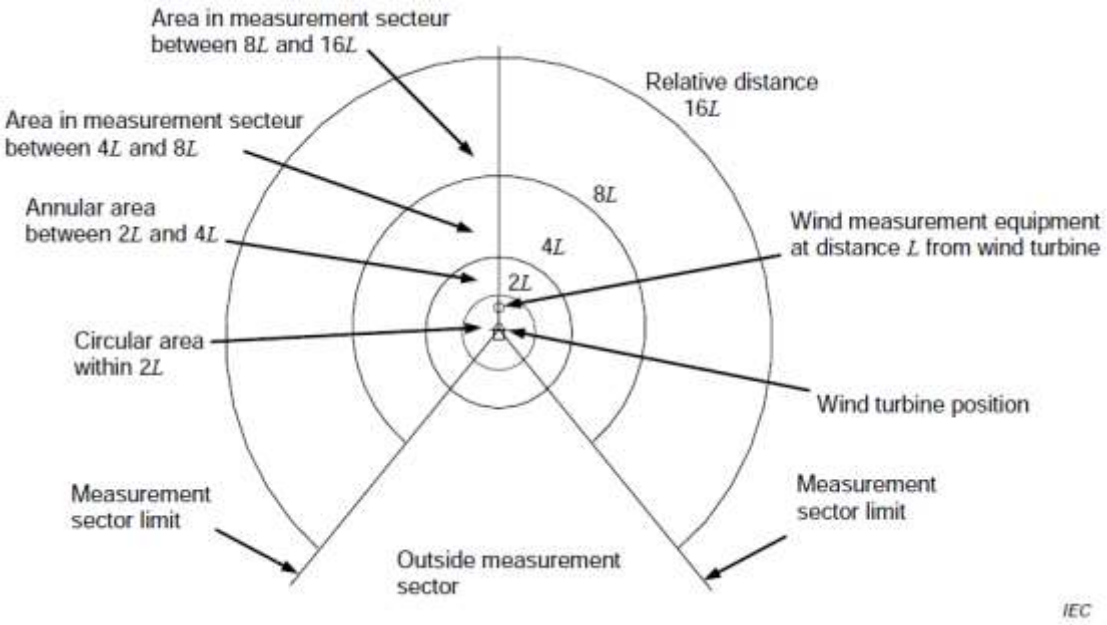
الف) برای ارزیابی اطراف توربین باد تحت تست(یعنی مرکز توربین تحت تست بعنوان مرکز دوایر با شعاع است $2L$, $4L$, $8L$, and $16L$).

ب) برای ارزیابی محیط اطراف WME (یعنی با بکار گیری موقعیت تجهیزات بعنوان مرکز دایره هایی با شعاع: $2L$, $4L$, $8L$, and $16L$) هستند.

اگر زمین تمام نیازهای جدول B-1 در دو حالت بالا را برآورده کند، پس محل آزمون به کالیبراسیون نیاز ندارد که در اثر اروگرافی باشد[1] . بعبارت دیگر زمین بعنوان "زمین پیچیده" قلمداد می شود و نیاز به کالیبراسیون دارد. در جدول B-1، L فاصله بین توربین تحت تست و WME است، H ارتفاع هاب است و D قطر روتور است (از توربین باد تحت تست).

[1] بهر حال، دیگر موارد زمین مانند پستی و بلندی، فاصله از ساحل دریا، یا دیگر ملاحظات، ممکن است به این نتیجه منجر شود که کالیبراسیون توصیه گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل B- ۱ : شرح منطقه مورد ارزیابی، دید از بالا است.

جدول B-۱: الزامات محل آزمون تست: تغییرات توپوگرافی.

Distance	Sector[a]	Maximum slope %	Maximum terrain variation from plane
<2L	360°	<3[b]	<1/3 (H – 0,5 D)
≥2L and < 4L	Measurement sector	<5[b]	<2/3 (H – 0,5 D)
≥2L and <4L	Outside measurement sector	<10[c]	Not applicable
≥4L and <8L	Measurement sector	<10[b]	< (H – 0,5 D)
≥8L and <16L	Measurement sector	<10[c]	Not applicable

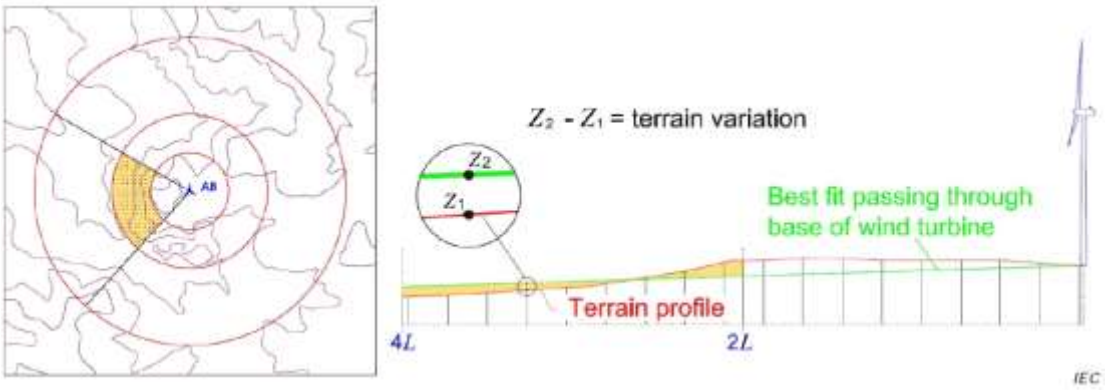
[a] Measurement sector is understood here by default as the remaining valid sector after execution of the procedure defined in Annex A, whereas it is also allowed to use a smaller measurement sector[24].

[b] The maximum slope of the plane, which provides the best fit to the terrain in the sector being considered and passes through the tower base. See Figure B.2 for an example.

[c] The line of steepest slope that connects the tower base to individual terrain points on the surface of the terrain within the sector. See Figure B.3 for an example.

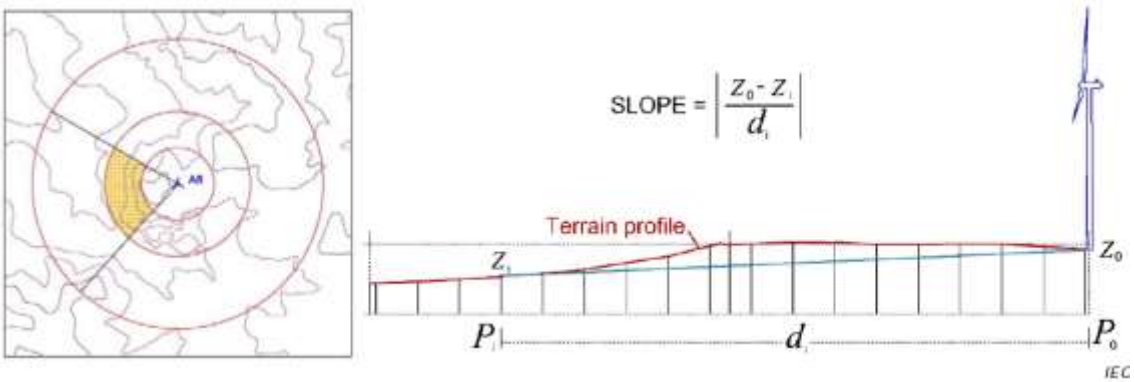
24: علاوه براین پیشنهاد می گردد که بازرسی گردد اگر تغییرات عمده ای در خارج زمین و در محدوده با این بخش وجود دارد. اگر این حالت بود، بخش نهایی که در نظر گرفته می شود برای تست عملکرد توان توصیه می شود یک فاصله در جهت بصورت روشن از این جهت های بحرانی داشته باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل B- ۲: مثالی از تعیین شیب و تغییرات زمین با بهترین صفحه انطباق: "2L to 4L" و بخش اندازه گیری(جدول B-1 سطر دوم)

تذکر ۱: این شکل بالا فقط یک جهت را نشان می دهد. همه جهات درون بخش اندازه گیری برای محاسبات سطح محل باید در نظر گرفته شود که بهترین تطابق را بدهد، و بنابراین حداکثر تغییرات زمین در برابر این سطح بوسیله آنالیز همه جهات همچنانکه در شکل بالا نشان داده شده است انجام می شود.



شکل B- ۳ : تعیین شیب برای فاصله: "2L to 4L" and "8L to 16L" و حالتی که خارج از بخش اندازه گیری است(جدول سطر سوم و پنجم)

تذکر ۲: این شکل بالا فقط یک جهت را نشان می دهد. همه جهات در خارج بخش اندازه گیری باید آنالیز شوند، و بدترین حالت(یعنی بالاترین شیب) در نظر گرفته شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست C : فرآیند کالیبراسیون محل آزمون

(الزامی)

C-۱ کلیات

کالیبراسیون محل آزمون کمیت را مشخص و بالقوه اثرات زمین را روی اندازه گیری عملکرد توان کاهش می دهد. زمین ممکن است باعث یک اختلاف سیستماتیک در سرعت باد بین موقعیت روی دکل هواشناسی جاییکه بادسنج برای عملکرد توان نصب شده است و ارتفاع معادل بالای موقعیت توربین در محل مرکز روتور توربین بشود. علاوه براین، ارتباط بین سرعت باد بر روی دکل هواشناسی مرجع و سرعت باد بر روی توربین ممکن است از تغییرات در پایداری جوی و یا پروفایل برش متاثر گردد. برش باد، که حاصل تغییر سرعت باد در ارتفاع نسبت به زمین است، ممکن است بر ارتباط سرعت باد بین دکل و توربین باد تاثیر بگذارد، زیرا پروفایل‌های متفاوت برش باد امکان دارد باعث ارتباطی متفاوت بین نقاط اندازه گیری، خصوصا اگر توربین باد و دکل در ارتفاع‌های متفاوت نصب شده باشند داشته باشد. در نظر گرفتن فصول سال: پایداری جوی، آشفتگی و برش باد می توانند به شرایط فصلی متفاوت مرتبط باشند. البته دغدغه در مورد تغییرات پستی و بلندی ناشی از تغییرات گیاهی در محل آزمایش یا دیگر تغییرات پستی و بلندی که مستقیما به تغییر فصول ربط پیدا می کنند (آب/ زمین در مقابل یخ، برف، محصولات زراعی، و غیره). در راستای روشن شدن این موضوعات، کالیراسیون محل آزمون و اندازه گیری منحنی توان توصیه می شود در طی همان فصل یا فصول صورت گیرند. اگر اندازه گیری در فصول متفاوتی صورت گیرد، عدم قطعیت اضافی باید همچنانکه در بخش C-7 آمده است اجرا گردد. خروجیهای کالیبراسیون محل آزمون عبارتند از:

الف) یک جدول از میزان تصحیح جریان باد همه جهت های در داخل بخشهای اندازه گیری
ب) یک تخمین از عدم قطعیت از این تصحیحات جریان باد

دو روش متمایز برای کالیبراسیون محل آزمون قابل ارزیابی است. صرفا یک روش مورد نیاز است، وقتیکه با ارزیابی داده ها روش انتخاب گردید، برمبنای ارزیابی برش باد همانطور که در C-5-1 بحث شده است اجرا می گردد. خروجی برای هر روش هست:

۱- در زیر بخش C-5-2 کالیبراسیون محل آزمون با برش: تصحیح جریان باد یک ماتریس ازسری عددی جهت باد و برش باد است که یک نسبت سرعت باد تصحیح را برای هر نقطه از این ماتریس محاسبه می کنیم.
۲- زیر بخش C-5-3 کالیبراسیون محل آزمون که برش باد تاثیر مهمی ندارد: تصحیح جریان شامل یک شیب و یک مقدار مشخص برای هر سری عددی جهت باد است. ضریب تشخیص، r^2، مقدار برای رگرسیون است که می بایست گزارش گردد.

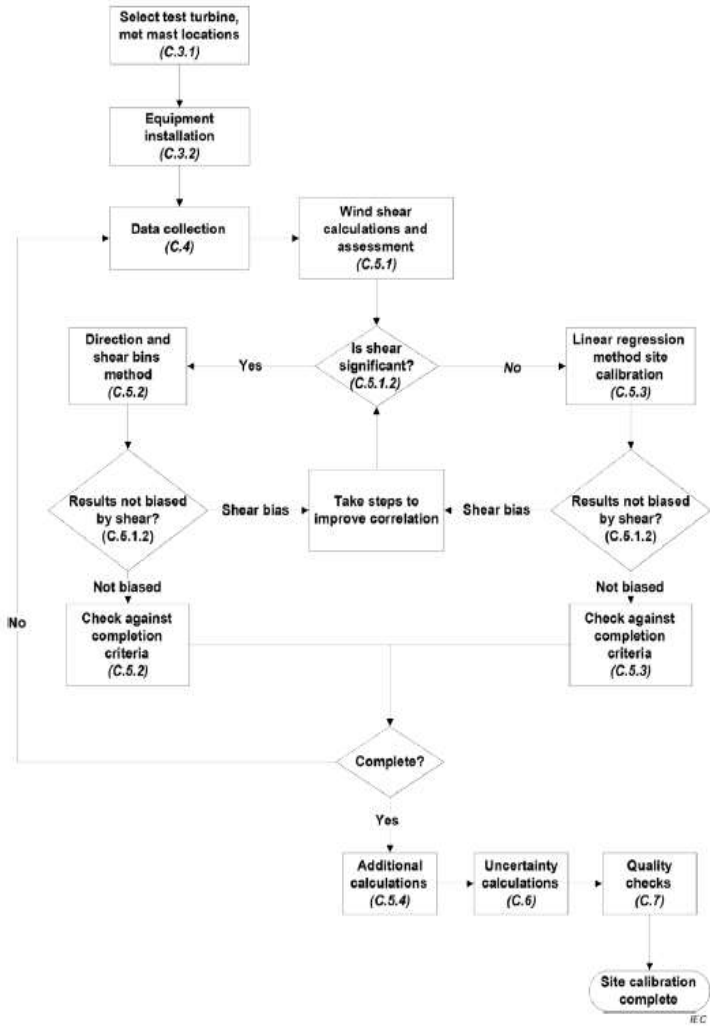
این رویه اجرایی برای حالتی است که سرعت باد در ارتفاع هاب سنجیده می شود ارائه گردیده است. این رویه اجرایی برای ارتفاع نوک دکل آب و هوایی اجباری نیست، چنانکه گران می شود و ممکن است غیر عملی

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

باشد، روش سنجش از راه دور هم که برای اندازه گیری در زمین پیچیده مناسب نیست. اگرچه، جاییکه منحنی توان برای سرعت باد در حالت REWS بکار میرود، پس رویه اجرایی برای هر جفت اندازه گیری ارتفاع ترجیحا برای ارتفاع هاب روی هر دکل هواشناسی است.

C-۲ بررسی اجمالی روند اجرایی

قبل از نصب توربین باد (یا بعد از برداشتن آن اگر قبلا نصب باشد) دو دکل هواشناسی باید نصب گردد. یک دکل هواشناسی بعنوان دکل موقعیت هواشناسی قرار می گیرد، که برای آزمون عملکرد توان نیز بکار می رود. دکل دوم دکل هواشناسی توربین باد در موقعیت توربین باد است. این رویه اجرایی برای همبستگی سرعتهای باد بین دو موقعیت است. پیشتر برای انتخاب این موقعیتها پیشنهاداتی در C-3-1 ارائه شده است. دیاگرام ارائه شده در شکل C-1 یک بررسی اجمالی از این فرآیند را نشان میدهد.



شکل C- ۱: دیاگرام کالیبراسیون محل آزمون.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

C-۳ راه اندازی آزمون

C-۳-۱ نکات مرتبط با انتخاب آزمون توربین بادی و محل دکل آب و هوایی

دکل آب و هوایی مرجع می بایست همان دکل آب و هوایی باشد که برای اندازه گیری منحنی توان بکار رفته است. دکل آب و هوایی برای توربین باد باید تا حد امکان نزدیک به موقعیتی قرار بگیرد که برای تست توربین استفاده شده و نباید بیش از 0.2H از مرکز توربین بادی که H ارتفاع هاب آن است دور باشد. پیشنهاد می گردد که توربین باد و دکل های هواشناسی مرجع از یک نوع باشند و یک هندسه برای تیر اتصالی کوچک داشته باشند بطوریکه تاثیر آن بر روی WME یکسان باشد. فاکتورهای زیادی هستند که کالیبراسیون را تحت تاثیر قرار می دهند. مهمترین فاکتورها: زمین، موقعیت دکل هواشناسی، و شرایط جوی بهمراه برش باد، آشفتگی و پایداری است. این فاکتورها می توانند بطور قابل ملاحظه ای از یک محل به محل دیگر تغییر کنند اما با همدیگر همبستگی دارند. موقعیت توربین باد توصیه می شود که بگونه ای انتخاب گردد که داده های بهینه جمع آوری گردد و یک همبستگی خوب بین مرجع دکل آب و هوایی و توربین باد بدست آید. منظور از کالیبراسیون محل آزمون اندازه گیری تغییرات در لایه مرزی است چنانچه جریانهای باد در تپه ها و زمین تغییر می کنند، که عموما به جریان متصل هستند، در جاییکه موانع باعث آشفتگی و گردابه می شوند، که در اثر لبه های تیز و سطوح عمودی پدیده جدایش هم خواهیم داشت. علاوه بر این، بعضی وضعیتهای زمین مانند صخره ها یا تپه های شیب دار ممکن است باعث جدایش جریان شوند، که همبستگی ضعیفی خواهیم داشت. بعنوان راهنمایی، نوع زمین بهتر است همخوانی با موقعیت تست توربین باد و مرجع دکل هواشناسی داشته باشد.. انواع زمین که در اینجا بر روی آن بحث می شود بصورت اطلاع رسانی است، شرح کیفیت برای کمک به انتخاب موقعیت برای تست توربین باد و دکل آب و هوایی است و برای ارائه وضوح بیشتر به اینکه چه انتظاری از انواع اندازه گیری داریم. مثالهایی از این نوع زمینها در شکل C-2 شرح داده شده است.

نوع A :

نوع A زمینی است که پیچیدگی حداقلی دارد. نوع A محل آزمونی است که تغییرات قابل ملاحظه در ارتفاع نسبت به ارتفاع هاب توربین باد ندارد یا شیب خصوصا تند بر فاصله طولانی ندارد. مثالهایی از نوع A زمینی را در بر می گیرد که الزامات پیوست B را برآورده نماید، تپه های ملایم، و امکان قرار گیری توربین روی یال یک سطح جلگه ای باشد. زمانیکه کالیبراسیون محل آزمون به نوع A هدایت می شود، شرایط برش باد در دکل آب و هوایی مرجع ممکن است متفاوت با شرایط برش باد موقعیت توربین باد باشد. اگر چنین حالتی باشد، پس نتایج کالیبراسیون محل آزمون به برش باد و جهت باد وابسته خواهد بود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

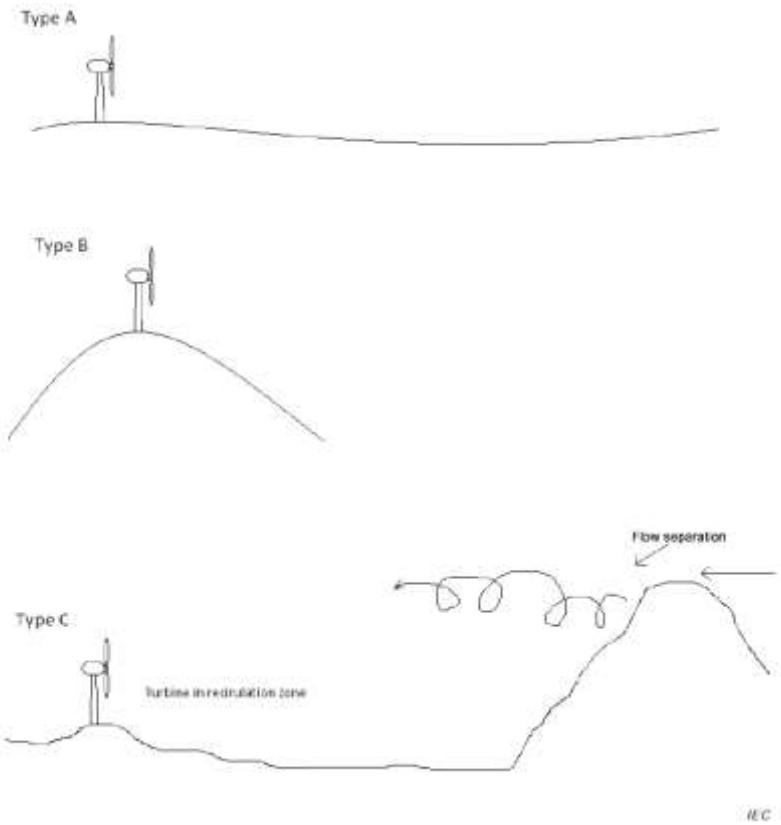
نوع B:

زمین نوع B زمینی از نوع متوسط تا پیچیده است. زمین نوع B شامل، کوهها، رج تپه ها، تپه های بزرگ، و محل آزمونهای تپه ای با شیب تند و متوسط و تغییرات بزرگ در ارتفاع نسبت به ارتفاع هاب توربین باد است. نوعاً برش باد در محل آزمون نوع B کم و نسبتاً پیوسته است، بطوریکه در گاهی اوقات برش باد منفی هم داریم. بنابراین برش باد نمی تواند فاکتور مهمی مانند محل آزمون A باشد. اگر چه، در محل آزمونهای نوع B نتایج کالیبراسیون محل آزمون اغلب بستگی به سرعت باد و جهت باد دارد، خصوصاً اگر اختلاف در ارتفاع بین دکل آب و هوایی مرجع و توربین باد تحت تست بیش از ۱۰ متر باشد. بنابراین یک تصحیح رگرسیون خطی برای محل آزمون نوع B مناسب خواهد بود. جریان بالا یا عمودی مولفه سرعت باد در زمین نوع B ایجاد می شود که می تواند یک اثر مهم روی عدم قطعیت بگذارد، بسته به پاسخ بادسنج به حریان باد به سمت بالا دارد. یک اندازه گیری سرعت باد عمودی ممکن است بکار گرفته شود تا زاویه جریان به سمت بالا را ارزیابی کند، که می تواند سپس در ارتباط با طبقه بندی باد سنج بکار گرفته شود تا یک نوع S از باد سنج را با مشخصات عملیاتی گزارش نماید با پارامترهایی که دربخش ۳-۱ آمده است رنج آن مشخص شود.

نوع C :

زمین نوع C بیشترین زمینهای غیر عادی را از دیدگاه اندازه گیری در برمیگیرد. محل آزمونهای نوع C نوعاً زمینی با شیب تند که حالت کوهستانی یا دره ای دارند که ممکن است باعث جدایش جریان و باد به سمت بالا شوند و یک منطقه چرخشی در محل آزمون توربین باد ایجاد کنند. مقیاس جدایش جریان با ویژگی زمین مشخص می شود و ممکن است همبستگی سرعت باد بین توربین باد در حال تست و دکل آب و هوایی مرجع را مختل نموده و حتی اگر زمین بگونه ای باشد که دورتر از 16L از توربین باد در حال تست باشد. نوع C زمین نوعاً بسیار پیچیده است بطوری که همبستگی بین بادهای در محل دکل آب و هوایی مرجع و توربین باد در حال تست بسیار ضعیف است. تصحیحات جریان ممکن است بین سری عددی جهت باد کنار هم بطور قابل ملاحظه‌ای متفاوت باشند. باید مراقب باشیم که هنگام انتخاب تست توربین باد در نوع C موقعیت زمین بگونه ای باشد که داده ها دارای پراکندگی و عدم قطعیت بالا در نتایج را موجب نشوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل C- ۲ : انواع زمین.

بمنظور بهبود همبستگی، دکل مرجع آب و هوایی توصیه می شود که بگونه ای قرار گیرد که دارای همان ارتفاع باشد و شرایط باد مانند تست توربین باد باشد. برای مثال، اگر توربین در حال تست بر روی یک یال قرار گیرد، پس دکل هواشناسی پیشنهاد می شود بر روی یال دیگر قرار گیرد بجای اینکه در ارتفاع پایین تر در جلوی توربین باد نصب شود.

C-۳-۲ تجهیزات آزمون

برپایی تست حداقل به اندازه گیری سرعت باد در ارتفاع هاب، همچنین جهت باد نزدیک ارتفاع هاب، و برش باد در هر دو دکل سنجش آب و هوایی مطابق با ۸-۲-۷ نیاز دارد. WME بکار گرفته شده در کالیبراسیون محل آزمون باید الزامات ۲-۷ را برآورده نماید و راهنمای ارائه شده در پیوست G در مورد نصب را برآورده کند. بادسنجها باید از یک نوع باشند با مشخصات عملکردی یکسان و باید در تونل باد یکسان کالیبره شوند. بادسنجها باید از یک نوع بوده و دارای مشخصات عملکردی مشابه بادسنج بکار رفته برای اندازه گیری منحنی توان که برای کالیبراسیون محل آزمون بکار رفته اند باشند. بستگی به مشخصات محل آزمون، اندازه گیری های اضافی پیشنهاد می گردد که بتواند اطلاعات بیشتری در باره شرایط محل آزمون بدهند که لزوما الزامی نیستند. این اندازه گیری ها ممکن است برای بهبود کیفیت کلی کالیبراسیون محل آزمون و اندازه گیری منحنی توان با شناسایی شرایط جوی غیرمعمول که همبستگی با مقادیر غیر عادی را نشان داده یا ممکن

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

است برای کلاس بندی تجهیزات متناسب با گزارش کلاس بندی عدم قطعیت برای مشخصات عملکردی بادسنجها بکار روند:

الف) اندازه گیری سرعت باد در امتداد عمودی (مانند بکارگیری بادسنج صوتی) پیشنهاد می گردد در محدوده ۱۰٪ از ارتفاع هاب یا ۵ متر پایین تر از ارتفاع هاب برای توربینهای بادی کوچکتر بطوریکه که الزامات نصب برای نصب سنجشگرها در بالای دکل در پیوست G را رعایت نماید. این اندازه گیری ممکن است برای تعیین کلاس صحیح برای کلاس بندی تجهیزات بکار رود، و در تبادل با عدم قطعیت برطبق پیوست I باشد.

ب) پیشنهاد می گردد که سنجش تغییر جهت باد در ارتفاع با اندازه گیر جهت باد در ارتفاع ۱۰ متر پایین تر از اندازه گیر سرعت باد که در نوک دکل نصب شده است صورت گیرد.

ج) اگر احتمال یخ زدگی در زمان کالیبراسیون محل آزمون میرود، یک دماسنج یا ابزارهای دیگر برای تشخیص یخ زدگی نزدیک هاب نصب شود.

پیشتر، برای جلوگیری از بایاس در ابزار اندازه گیری جهت باد ناشی از عدم قطعیت نصب این حسگر، دکل مرجع هواشناسی و جهت سنج باد توصیه نمی شود بین کالیبراسیون محل آزمون و اندازه گیری منحنی توان برداشته شوند. اگر حسگر جهت باد اولیه حذف یا جایگزین گردید، یک عدم قطعیت اجزاء باید اضافه گردد(بخش C-4-7 را ببینید). اگر دکل آب و هوایی مرجع بین کالیبراسیون محل آزمون و اندازه گیری منحنی توان برداشته شد و مجدداً نصب شد، تجهیزات باید در همان شکل بندی قبلی نصب و با همان زاویه بوم قبلی نصب گردد که دارای اثرات مشابه در دو دوره زمانی مشابه باشد.

C-۴ جمع آوری داده ها و روند عدم پذیرش آنها

داده‌ها باید پیوسته جمع‌آوری گردند با یک نرخ نمونه برداری مانند تست عملکرد توانی باشد. بسته داده ها بر مبنای دوره های زمانی ۱۰ دقیقه ای از سری اندازه گیریهای پیوسته بدست خواهد آمد. متوسط، انحراف معیار، حداقل و حداکثر برای هر ۱۰ دقیقه دوره زمانی پردازش و ذخیره گردد. سری عددی جهت باد باید در اندازه های ۱۰ درجه ای باشد. داده هایی که شرایط ذیل را داشته باشند از بانک داده ها حذف می گردند:

a) خرابی یا عیب در تجهیزات تست بوجود آید (مانند: یخ زدگی).
b) جهت باد خارج از محدوده اندازه گیری باشد مانند آنچه در بخش ۳-۳-۶ مشخص گردیده است.
c) متوسط سرعت باد برای دکل آب و هوایی توربین باد کمتر از ۴ متر بر ثانیه یا بیشتر از ۱۶ متر بر ثانیه باشد.
d) شرایط جوی خاصی پدید آید که نتایج کالیبراسیون محل آزمون را تحت تاثیر قرار دهد و بعنوان پدیده مردود قلمداد گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

e) شرایط جوی خاص بعنوان پدیده مردود در طی تست عملکرد توان باشد که کالیبراسیون محل آزمون را متاثر سازد.

هر شرایط جوی خاص باید در هنگام کالیبراسیون محل آزمون فیلتر گردد همچنین در هنگام آزمایش منحنی توان نیز باید فیلتر گردد.

C-۵ آنالیز

کالیبراسیون محل آزمون ارتباط سرعت باد در دو نقطه مشخص در فضا را اندازه می گیرد. اروگرافی تاثیر استاتیکی بر روی این ارتباط معرفی می کند(زمین با زمان حرکت نمی کند) اگرچه برش باد یک پارامتر دینامیک به این ارتباط می افزاید، چنانکه گرادیان سرعت باد با ارتفاع بطور قابل ملاحظه ای ممکن است تغییر کند، یا ممکن نیست اگر محل آزمون فقط یک برش پایدار ضعیف بر روی محدوده مشخص داشته باشد. مرحله اول در فرآیند کالیبراسیون محل آزمون ارزیابی شرایط برش باد در محل آزمون است. محاسبات و ترسیمها در C-5-1 اجرا شده اند اول اینکه این ارزیابی را ممکن سازند، سپس بر مبنای خروجی چنانکه در بخش C-5-2 یا C-5-3 آمده است باید محاسبات تصحیح جریان تکمیل شود. یک بار تصحیحات جریان بر طبق C-5-2 یا C-5-3 محاسبه گردیده است، فرآیند سپس ادامه می یابد با محاسبات اضافی در C-5-4 که بصورت ورودیهایی هستند تا محاسبات عدم قطعیت در بخش C-6 و کیفیت در بخش C-7 بازبینی گردد.

C-۵-۱ ارزیابی شرایط برش باد محل آزمون

C-۵-۱-۱- محاسبات برش باد و مشخصه سازی ترسیمه ها

برای هر ۱۰ دقیقه داده های نقاط، محاسبات زیر باید انجام شود:

a) نسبت سرعت باد، که نسبت سرعت باد در ارتفاع هاب در موقعیت توربین باد تقسیم بر سرعت باد در ارتفاع هاب دکل آب و هوایی مرجع است.
b) نمایه برش در هر دو دکل باید محاسبه گردد بر اساس قانون توان(بخش ۳۱-۳ را ببینید).
c) ساعات روز که ۲۴ ساعته است باید با بر اساس تفاوت زمانی با زمان محلی ثبت گردد. هر تنظیم ساعت محلی برای ساعات روزانه در تابستان در مقابل زمستان(یعنی زمان روزانه، زمان تابستان) باید همه ذکر گردند اگر در هنگام ثبت زمان داده ها تنظیمات دارند.

روش آنالیز بستگی به این دارد که برش باد آیا یک فاکتور مهم در محل آزمون هست یا نیست. برش بالا، یا تخصصی تر مقادیر برش دارای محدوده وسیعی هستند، نوعاً در اثر سیکل روزانه از پایداری جوی در شب و ناپایداری جوی در طی روز است. برای تشریح شرایط برش در محل آزمون و کمک به ارزیابی برش، ترسیمه های زیر باید در محل توربین و در محل دکل مرجع با داده ها فیلتر شده داده شوند:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۱- ترسیمه پراکندگی برش باد در مقابل زمان روز.
۲- ترسیمه پراکندگی برش باد در مقابل جهت باد.
۳- ترسیمه پراکندگی برش باد در مقابل سرعت باد.
۴- ترسیمه پراکندگی سرعت باد در مقابل زمان روز.

لطفاً توجه کنید که زمان روز توصیه شود که با دقت بکار رود. چیزی که در پشت این موضوع قرار دارد همبستگی زمان طلوع خورشید محلی و زمان غروب آن است که بشدت پایداری جوی را تحت تاثیر قرار می دهد. خصوصاً برای بسته های داده های طولانی در ارتفاعهای بلندتر، همبستگی بین زمان طلوع و غروب خورشید در روز دچار ضعف است. برای یک محل آزمون که این اتفاق بیفتد، نوعاً نمایه برش در طول روز پایین است چونکه خورشید زمین را گرم می کند و باعث آشفتگی و مخلوط شده لایه های می شود و در شب برش بالا میرود. بنابراین ممکن است یک محدوده وسیعی از نمایه برش و یک تغییر قابل توجه در نمایه برش از زمان روز تا زمان شب برای این محل آزمونها داشته باشیم.

C-۵-۱-۲- ارزیابی اهمیت برش باد

فارغ از پایداری جوی، برش باد بعنوان فاکتوری مهم باید در نظر گرفته شود اگر بیش از ۲۵٪ از نقاط داده ها یک نمایه بزرگتر از ۰٫۲۵ داشته باشند. برش باد می تواند بعنوان یک پارامتر تاثیر گذار قلمداد شود اگر همبستگی سرعت باد با سری عددی بوسیله جهت باد و برش برطبق روش ۱ در C-5-2 باشد، بعبارت دیگر کالیبراسیون محل آزمون ممکن است بر طبق روش ۲ یعنی رگرسیون خطی که در C-5-3 آمده است ارزیابی گردد. تقسیم بندی بخش اندازه گیری روشهای گوناگون را میسر می سازد که مجاز می باشند. این ممکن است مفید باشد، برای مثال زمینی از قسمتی از بخش اندازه گیری از نوع A است و دیگر جهت از نوع B است. هدف اطمینان پیدا کردن از این است که کالیبراسیون محل آزمون با شرایط برش باد غیر معمول بایاس نشده باشد، اگرچه روش کالیبراسیون محل آزمون برای برش یا شرایط غیر معمول فیلتر شده باشد. نتایج کالیبراسیون محل آزمون چه از روش C-5-2 یا C-5-3 استفاده کرده باشد ممکن است با روش C-5-4 ارزیابی گردد، جاییکه تصحیحات کالیبراسیون محل آزمون برای دکل دائمی سرعت باد اجرا می شود و این سپس با سرعت باد در موقعیت توربین باد مقایسه می شود. مقایسه پسماندهای کالیبراسیون محل آزمون در مقابل برش باد یا دیگر معیارهای پایداری جوی نشان خواهد داد اگر روش انتخاب شده دقیقاً تصحیح نماید موقعیت دائمی سرعت باد برای همه شرایط یا اگر مراحل اضافی دیگری نیاز است تا کیفیت را بهبود یا عدم قطعیت را کاهش دهد. اختصاصاً:

a) پارامتر خود سازگاری (معادله C-3 در C-5-4) متوسط سری عددی در مقابل سرعت باد توصیه می شود بین ۰٫۹۸ و ۱٫۰۲ در محدوده سرعت باد ۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه در هر بخش باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

b) یک رگرسیون خطی از $V_{Turb_predicted}$ در مقابل $V_{Turb_measured}$ می تواند یک مقدار $R2$ بزرگتر از ۰/۹۵ در محدوده بخش داشته باشد.

C-۵-۱-۳- استقرار پیوستگی بین موقعیت‌های برش باد

اگر برش باد در محل آزمون قابل ملاحظه باشد و در جاییکه نیاز به فیلتر نمودن برش باد در موقعیت توربین باد باشد، پس میبایست برش در موقعیت توربین با اندازه گیری در محل دکل مرجع قضاوت شود. ساده ترین روش این است که به ترسیمه برش باد در موقعیت توربین در برابر برش در موقعیت دکل مرجع دستیابیم و یک رگرسیون خطی با روش حداقل مربع معمولی انجام دهیم. با بکار گیری فیلتر پایگاه داده ها این امر انجام می گیرد. توجه کنید که این رگرسیون ممکن است در طی اندازه گیری منحنی توان انجام شود تا برش باد در موقعیت توربین قضاوت شود. اگر برش باد در مو قعیت توربین باد برش باد در موقعیت دکل مرجع برای همه حالتها همبسته نباشند، پس مراحل باید بصورتی بکار گرفته شوند که همه حالتها همبسته شوند. برای مثال، غیر همبسته بودن ممکن است اتفاق افتد در جاییکه یک اختلاف قابل ملاحظه بین ارتفاع دکل مرجع و موقعیت توربین در حال تست در ارتباط با مقادیر بالای برش باد باشد، که اغلب با زمان روز همبستگی دارند. برای حالتها، روش پیشنهادی برای دستیابی به نتایج همبسته این است که داده ها برای زمان روز فیلتر شوند تا مقادیر برش بالا در شب حذف گردند، اگرچه دیگر روشها برای حذف داده های ناهمبسته مجاز می باشند. فیلتر زمان روز ممکن است اجرا گردد با بکار گیری نمایه برش در برابر زمان روز که ترسیم شده است. کاهش بخش اندازه گیری بطوریکه فقط جهتهای با شرایط جریان مشابه در نظر گرفته شوند، فیلتر کردن یا شکاندن کالیبراسیون محل آزمون به فصول، یا دیگر روشها برای همبسته کردن داده ها بکار می رود. ترسیم برش باد در مقابل جهت باد ممکن است در تعیین اینکه چه بخشی بکار گرفته شود مفید است. هر فیلتر اضافی که به نتایج کالیبراسیون محل آزمون اجرا شود همچنین به اندازه گیری منحنی توان نیز جاری می گردد. اگر فیلتر زمان روز بکار رود، فیلتر ممکن است بصورت فصلی تنظیم تا روزهای بلند تابستان و روزهای کوتاه زمستان را انعکاس نماید. داده‌های دکل مرجع فقط برای فیلتر اضافی توصیه می شود بکار رود زیرا ممکن نیست تا داده های موقعیت توربین در طی اندازه‌گیری منحنی توان بکار رود. برش، آشفتگی، و سرعت باد اغلب همبستگی دارند. ترسیم برش باد در مقابل جهت باد، نمایه برش باد در مقابل سرعت باد، و سرعت باد در مقابل زمان روز ممکن است بکار رود تا تاثیر این فیلترها بر روی داده‌های منحنی توان در عبارات با کاهش داده ها در سرعت‌های باد مشخص اتفاق افتد. برای نمونه، اگر فیلتر زمان روز اجرا گردد و در نتیجه بیشتر داده ها در سرعت‌های باد بالا ازدست برود، پس این فیلتر امکان کاربرد عملی را ندارد. در حالت تشدید یک راه حل می تواند برای کالیبراسیون‌های چندین محل آزمون بکار رود، هر کدام در محدوده ای از شرایط جوی معتبر باشند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

C-۵-۲ روش اول: سریهای عددی جهت و برش باد

تعیین تاثیرپذیری فاکتورهای تصحیح کالیبراسیون محل آزمون بوسیله برش، داده های جهت باد و سری عددی برش باد طبقه بندی می شوند. اندازه سری عددی جهت باد ۱۰ درجه ای می باشد و نباید کمتر از عدم قطعیت حسگر جهت باد باشد. در لبه های بخش اندازه گیری، داده ها فیلتر می شوند تا بخش اندازه گیری توسعه یابد. برای نمونه، جاییکه بخش اندازه گیری به ۴۳ درجه ختم می شود، کالیبراسیون محل آزمون در لبه های بخش فقط از ۳۵ تا ۴۵ درجه ارزیابی می گردند. الزامی است که انتخاب مرکز سری عددی جهت باد تعیین شود (مانند اینکه سری های عددی مرکز بشوند به ضرب عدد صحیح از ۱۰ درجه یا سری های عددی شروع شوند با عدد صحیحی که در ۱۰ درجه ضرب می شوند) و همواره اجرایی گردند از طریق کالیبراسیون محل آزمون که برای تست منحنی توان بکار می رود. سری عددی برش باد با افزایش ۰٫۰۵ به نمایه برش مرکز شده که در مضرب ۰٫۰۵ ضرب می شود بدست می آید. نسبت های سرعت باد در هر جهت باد و سری عددی برش باد متوسط گیری می شوند. تکمیل فرآیند سریهای عددی برش و جهت باد با مراحل زیز صورت می گیرد:

a) برای هر سری عددی جهت باد، تعداد نقاط داده ها در همه سریهای عددی برش باد درون هر سری عددی جهت بادی جمعاً ۱۴۴ حداقل باید باشد (۲۴ ساعت داده). سریهای عددی غیرکامل برش باد ممکن است در این جمع باشد. پیشتر، هر سری عددی جهت باد حداقل دارای ۶ ساعت بالا و ۶ ساعت پایین سرعت باد ۸ متر بر ثانیه را در بر می‌گیرد.
b) هر سری عددی برش باد در درون یک سری کامل جهت باد باید دارای حداقل ۳ نقطه داده داشته باشد.
c) سری عددی برش باد در بخشهای ناکامل جهت باد که حداقل ۶ ساعت از داده ها را داشته باشد را ممکن است کامل در نظر گرفت.

اگر بعد از اینکه ماتریس کامل شد، متوجه گردیدیم که تصحیحات کالیبراسیون محل آزمون با افزایش برش باد تغییر نمی کند، پس سری عددی برش باد ممکن است حذف گردد و داه ها فقط با سری عددی جهت باد برطبقC-5-3 ارزیابی گردد. سطح تغییر در برابر عدم قطعیت آماری کالیبراسیون محل آزمون می بایست ارزیابی گردد. اگر تغییر بین سری عددی برش باد باعث تغییرات بالایی در فاکتورهای کالیبراسیون محل آزمون بشود بطوریکه از دو برابر عدم قطعیت آماری در کالیبراسیون محل آزمون در یک یا بیشتر سری عددی جهت باد باشد، سری عددی برش باد در آنالیز در امتداد سری عددی جهت باد قرار می گیرد. اگر تغییر بین سری عددی برش باد باعث تغییرات کمتری در فاکتورهای کالیبراسیون محل آزمون بشود بطوریکه از دو برابر عدم قطعیت آماری در کالیبراسیون محل آزمون در یک یا بیشتر سری عددی جهت باد باشد، سری عددی برش ممکن است حذف گردد و داده ها بر اساس جهت باد بر طبق C-5-3 اجرا شود. در هنگام اندازه گیری منحنی توان، داده ها باید در داخل سری عددی جهت باد مرتب گردند. برای هر ۱۰ دقیقه نقاط داده، نمایه

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

برش باد در دکل مرجع باید محاسبه گردد. تصحیح سرعت باد در ارتفاع هاب کاربردی می شود با نسبت سرعت باد درون یابی شده با مقدار برش باد اندازه گیری شده از مقادیر متوسط سری عددی برش باد و نمایه برش باد اندازه گیری شده برای سری عددی جهت باد باشد. برون یابی برای نمایه برش باد که درون سریهای عددی آخرین برش باد باشد مجاز است، برای مثال اگر آخرین برش باد تکمیل شده سری عدی برش باد کالیبراسیون محل آزمون ۰٫۶ سری عددی برش باد باشد، برون یابی برای مقادیر نمایه برش باد اندازه گیری شده بین ۰٫۶۰۰ و ۰٫۶۲۵ باشد (جاییکه ۰٫۶۲۵ حد بالایی از ۰٫۶ سری عددی برش باد است با یک سری عددی که پهنای آن ۰٫۰۵ و یک محدوده از ۰٫۵۷۵ تا ۰٫۶۲۵ را می پوشاند). درون یابی بین دو سری عددی برش باد کامل در میان یک سری عددی برش باد ناکامل مجاز است. برون یابی در سری عددی جهت باد مجاز نیست.

C-۵-۳ روش دوم: روش رگرسیون خطی جاییکه برش باد تاثیر قابل ملاحظه ای ندارد

بسته های داده ها می بایست درون سریهای عددی جهت باد مرتب گردند. اندازه سریهای عددی جهت باد ۱۰ درجه می باشد. الزامی است که انتخاب مرکز سری عددی جهت باد تعیین شود (مانند لینکه سری عددی مرکزش بر روی ضرایبی عدد ۱۰ باشد یا سری عددی با ضرب یک عدد صحیح در ۱۰ درجه بدست آید) اینکار باید بصورت پیوسته در کالیبراسیون محل آزمون برای تست منحنی توان انجام گیرد. در لبه های بخش اندازه گیری، داده ها فیلتر می شوند تا به بخش اندازه گیری گسترش یابند. برای نمونه، جاییکه بخش اندازه گیری به ۴۳ درجه ختم می شود، کالیبراسیون محل آزمون در لبه بخش با بازه ۳۵ تا ۴۳ درجه فقط ارزیابی می گردد. برای هر سری عددی جهت باد، یک رگرسیون خطی حداقل مربع معمولی باید ایجاد شود با سرعت باد در موقعیت توربین باد بعنوان متغیر وابسته و سرعت باد در محل مرجع بعنوان متغیر مستقل باشد. بنابراین، یک شیب با یک رهگیر برای سری عددی جهت باد خواهیم داشت. هر سری عددی جهت باد حداقل ۲۴ ساعت داده در کل خواهد داشت و حداقل ۶ ساعت از داده ها مربوط به باد با سرعت بالاتر از ۸ متر بر ثانیه، و ۶ ساعت مربوط به باد کمتر از ۸ متر بر ثانیه خواهد بود. سرعتهای باد با یک توزیع گسترده در درون سری عددی همراه خواهند بود تا یک همبستگی خوبی ارائه دهند (قسمت C-7-2 را ببینید)، و این پیشنهاد می گردد که سرعتهای باد بالاتر از ۱۱ متر بر ثانیه موجود باشند. توجه کنید که مقادیر خارج از محدوده دارای وزن بالایی در روش رگرسیون خطی حداقل مربع می باشند. هر خارج از محدوده مقادیر که یک تاثیر معنادار بر روی رگرسیون دارد بهتر است بررسی و گزارش گردد. برای تشریح همبستگی بین سرعت باد در موقعیت توربین باد و محل مرجع، ترسیمه های زیر باید برای هر سری عددی جهت باد در درون هر بخش اندازه گیری ارائه گردند:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

سرعت باد در محل توربین در مقابل سرعت باد در محل مرجع، که در برگیرنده رگرسیون خطی و ضرایب تصحیح (عموماً با مقدار شناخته R_2 می شوند) می باشند. روی یک محور، موارد ذیل ترسیم می شوند. شکل C-11 در بخش C-9 را ببینید برای یک مثال:

a) نسبت سرعت باد در مقابل سرعت باد مرجع.
b) نسبتهای سرعت باد در سری عددی متوسطها در ۰٫۵ متر بر ثانیه سری عددی سرعت باد است.
c) یک منحنی $y = m+b/x$ که m شیب رگرسیون خطی است، b ره گیر و x سرعت باد مرجع است، و y سرعت باد در موقعیت توربین پیش بینی شده است که نسبت به سرعت باد در مرجع نرمالایز شده یعنی y برابر نسبت سرعت باد است.
d) یک خط افقی معرف متوسط نسبتهای سرعت باد در درون سری عددی جهت باد است.

C-۵-۴ محاسبات اضافی

تصحیحات جریان کالیبراسیون محل آزمون برای داده های دکل آب و هوایی مرجع اجرا باید گردد تا محاسبه و پیش بینی سرعت باد برای موقعیت توربین باد برای نقطه داده فراهم شود. این فرآیند با فیلتر نمودن پایگاه داده انجام می شود.

$$V_{\text{Turb_predicted}} = F(WD, \alpha) \times V_{\text{PM}} \qquad \text{(C.1)}$$

بطوریکه:

$V_{\text{Turb_predicted}}$ سرعت باد پیش بینی شده در محل توربین باد است.
$F(WD, \alpha)$ تصحیح جریان کالیبراسیون محل آزمون است که در بخش C-5-2 تعیین می شود.
V_{PM} سرعت باد در محل دکل آب و هوایی مرجع است.
WD سری عددی جهت باد است.
α *نمایه برش باد است، اگر* لازم باشد.

پسماند کالیبراسیون محل آزمون باید بر مبنای هر ۱۰ دقیقه نقطه داده محاسبه گردد چنانچه اختلاف بین سرعت باد پیش بینی شده در موقعیت توربین و اندازه گیری شده در محل دکل آب و هوایی باشد.

$$residual = V_{\text{Turb_predicted}} - V_{\text{Turb_measured}} \qquad \text{(C.2)}$$

پارامتر خودسازگاری باید برمبنای هر ۱۰ دقیقه نقاط داده محاسبه گردد: از تقسیم سرعت باد پیش بینی شده در موقعیت توربین بر سرعت باد اندازه گیری شده در محل دکل آب و هوایی بدست می آید.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$$self_consistency_paramenter = \frac{V_{Turb_predicted}}{V_{Turb_measured}} \qquad (C.3)$$

پارامترهای پسماند و خودسازگاری برای ارزیابی تغییرات و هر بایاسی در نتایج بکار گرفته می شوند. متوسط پارامتر خودسازگاری و پسماندها متوسط بایاس را انعکاس می دهند، بطوریکه مقادیر متوسط از ۰ و ۰,۱ تا صفر بایاس را متناسباً پوشش می دهند. انحراف معیار این پارامترها تغییرات در اطراف متوسط بایاس را نشان می دهند، و برای محاسبه عدم قطعیت کالیبراسیون محل آزمون بکار می روند. علاوه بر محاسبات عدم قطعیت آماری، که بر اساس تغییرات حول یک متوسط بایاس از صفر فرض می شوند، این پارامترها برای محاسبه عدم قطعیت اضافی بکار می روند تا به سناریوهای موجود در بخش C-7 اضافه شوند، که بر اساس ارزیابی متوسط بایاس تخمینی که بوسیله سناریوی که منعکس در جابجایی در متوسط این پارامترهاست از صفر تا ۱ متناسبا در نظر گرفته می شود.

C-۶ عدم اطمینان کالیبراسیون محل آزمون

C-۶-۱ عدم اطمینان سری A برای کالیبراسیون محل آزمون

C-۶-۱-۱- آنالیز کالیبراسیون محل آزمون با مرتبه k

کالیبراسیون محل آزمون یک مدل برای پیش بینی سرعت باد در موقعیت توربین باد بر اساس سرعت باد در موقعیت دکل را تعلیم می دهد. برای جلوگیری از ریسک تحت برآورد عدم قطعیت گروه A ناشی از تطبیق بالا مدل به داده ها، عدم قطعیت گروه A باید محاسبه k تقسیم تایید می شود که k=10 است. توجه کنید که در صنعت باد، k معانی متفاوت دارد، اگرچه بکارگیری ترم 'k' با کاربردش پیوستگی دارد که همان یاد گیری آماری است، چنانچه روش عملیاتی به k تقسیم تایید تقاطعی معروف است. بسته داده های نهایی فیلتر شده به اندازه طبقات مساوی k تقسیم شده است (طبقه بندی) بر اساس زمان لاک شده است.

برای هر تقسیم (۱۰ الی ۱=k):

a) تصحیحات کالیبراسیون محل آزمون بر مبنای بخش C-5 با بکارگیری داده ها از ۹ قسمت دیگر محاسبه می گردد.
b) تصحیحات کالیبراسیون محل آزمون برای محاسبه سرعت باد در موقعیت توربین باد بر مبنای سرعت باد در محل دکل مرجع اندازه گیری شده در طی تقسیمات k صورت می گیرد.
c) سرعت باد پیش بینی شده در موقعیت توربین باد در قسمت k با مقدار واقعی سرعت باد اندازه گیری شده در قسمت k بر طبق پارامترهای پسماند و خود سازگاری که در بخش C-5-4 تعیین شده است باید اجرا گردد.
d) عدم قطعیت آماری برای قسمت k بر اساس C-6-1-2 تعیین خواهد شد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

کل عدم قطعیت گروه A برابر است با مجموع مربعهای عدم قطعیت محاسبه شده برای هر قسمت تقسیم بر مربع ریشه k.

$$s_{sc} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{k} s_{sc,j}^2}{k}} \qquad (C.4)$$

مقدار k=10 انتخاب می گردد بطوریکه بیشترین احتمال برای اطلاعات کافی در بقیه بسته ها وجود داشته باشد تا محدوده سرعتهای باد موجود در بسته داده ها را بتوان ارزیابی کرد، اگرچه دیگر مقادیر k مجاز هستند حتی برای $k \geq 2$

تقسیمات بر مبنای زمان لاک شده تقسیم می شوند ترجیحاً بجای اینکه اتفاقی انتخاب شوند چونکه انتظار میرود که تغییرات در ارتباط با سرعت باد بین دو موقعیت ممکن است با حوادث آب و هوایی همبستگی پیدا کنند که با زمان همبستگی دارند، و بنابراین تقسیمات بر مبنای زمان است که بهتر تغییرات را دریافت می‌کنند بین شرایط در طی کالیبراسیون محل آزمون و زمان‌های دوره ای اندازه گیری منحنی توان اینگونه است.

C-۶-۱-۲- عدم قطعیت کالیبراسیون محل آزمون برای هر تقسیم

برای هر تقسیم در تقسیمات k تایید شده، بین سرعت باد تصحیح شده کالیبراسیون محل آزمون در موقعیت توربین باد و سرعت باد اندازه گیری شده در محل دکل مرجع آب و هوایی بر اساس هر ۱۰ دقیقه پریود زمانی محاسبه می شود، و انحراف معیار از سرعت باد برای همه ۱۰ دقیقه پریود بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود:

$$d_{std,k} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N} \left(d_{j,k} - \bar{d}_k\right)^2}{N_k - 1}} \qquad (C.5)$$

بطوریکه:

$d_{j,k}$ پسماند در j ام دقیقه از تقسیم k است، معادله (c.2) را ببینید.

d_k مقدار متوسط پسماند در تقسیم k است.

N_k تعداد بسته داده ها در تقسیمات k است.

$d_{std,k}$ انحراف معیار پسماندهای کالیبراسیون محل آزمون به k قسمت تقسیم می شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

فقط داده هایی که در ارزیابی کالیبراسیون محل آزمون ضمیمه می شوند که بخواهند در محاسبات انحراف معیار ضمیمه بشوند.
بصورت آماری، برای گروه A، عدم قطعیت استاندارد از تقسیمات k هست:

$$s_{sc,k} = d_{std,k} \cdot \frac{\sqrt{N_k - 1}}{\sqrt{f \cdot N_k}} \qquad (C.6)$$

بطوریکه:

f تعداد درجه آزادی کالیبراسیون محل آزمون است.

تعداد f تعداد پریودهای ۱۰ دقیقه ای دربرگیرنده کالیبراسیون محل آزمون منهای کل تعداد پارامترهای الگوریتم کالیبراسیون محل آزمون است. در حالتی که تصحیحات جریان کالیبراسیون محل آزمون به شکل سری عددی متوسط نسبتهای سرعت باد هستند، تعداد پارامترهای الگوریتم کالیبراسیون محل آزمون برای هر جهت باد در زیر بخش معادل تعداد سری های عددی برش باد است، f پس Nk منهای تعداد زیر بخشهای جهت باد است(عموماً تعداد ۱۰ درجه بخشهای پهن است). در حالتی که تصحیحات جریان کالیبراسیون محل آزمون بصورت رگرسیون خطی هستند(شیبها و فاصله ها)، تعداد پارامترها الگوریتم کالیبراسیون محل آزمون ۲ برای هر جهت باد در زیر بخش است. f پس Nk منهای دو برابر تعداد سری های عددی جهت باد می شود. در حالتی که تصحیحات جریان کالیبراسیون محل آزمون بشکل سری عددی متوسط نسبتهای سرعت باد برای هر جهت باد و سری عددی برش باد هستند، f هست Nk منهای مجموع تعداد همه سری های عددی برش باد در همه زیربخشهای جهت باد است.

C-۶-۲ عدم اطمینان سری B برای کالیبراسیون محل آزمون

اجزاء زیر از عدم قطعیت مستقل از یکدیگر در ارزیابی عدم قطعیت گروه B در نظر گرفته می شوند. $u_{VT,precal,i}$ کالیبراسیون بادسنج، عدم قطعیت کالیبراسیون بادسنج از کالیبراسیونها برداشت می شود. بطوریکه کالیبراسیونهای بادسنج روی دکل مرجع آب و هوایی و دکل واقع بر توربین باد که در یک تونل باد اجرا شده اند، عدم قطعیت تخمینی به یک سمت همبستگی پیدا خواهند کرد، یک سمت برای کالیبراسیونهای بادسنجهای بکاررفته در تست عملکرد توانی درست است. رویکرد عملی این است که اندازه یک عدم قطعیت کالیبراسیون ضمیمه گردد اگر کالیبراسیونها همه در یک تونل باد انجام شده باشند. در حالتیکه کالیبراسیونها در تونلهای باد متفاوتی انجام شده باشند یا مدلهای متفاوت بادسنج بکار رود، عدم قطعیتها مستقل هستند و باید موارد ذکر شده را بحساب آورد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$u_{VT,class,i}$: مشخصات کارکردی بادسنج: عدم قطعیت عملیاتی بادسنج دکل هواشناسی توربین باد باید در محاسبه عدم قطعیت کالیبراسیون محل آزمون بحساب آید. همبستگی مشخصات عملیاتی در مدت کالیبراسیون محل آزمون باید مطالعه گردد تا تعیین شود تا چه مقدار عدم قطعیت عملیاتی بادسنج توربین و ومرجع باید بحساب آیند. وابستگی به اختلافات در شرایط محیطی در مدت اندازه گیری منحنی توان با مدت کالیبراسیون محل آزمون مقایسه گردد، یک افزایش در عدم قطعیت مشخصات عملیاتی ممکن است نیاز باشد. در مدت کالیبراسیون محل آزمون عدم قطعیت عملیاتی بادسنج توربین توصیه می گردد کاملا مورد توجه قرار گیرد.

$u_{VT,mnt,i}$: اثرات نصب- عدم قطعیت نصب در بادسنج دکل هواشناسی توربین باد و همچنین بادسنج دکل هواشناسی مرجع در هنگام ارزیابی عدم قطعیت کالیبراسیون محل آزمون بحساب آیند.
عدم قطعیت در سرعت باد ناشی از سیستم جمع آوری داده ها باید بر مبنای پیوست D و E تخمین زده شود.

C-۶-۳ عدم اطمینان ترکیبی

برای ارزیابی عدم قطعیت ترکیبی کالیبراسیون محل آزمون عدم قطعیت اجزاء گروه A و B توصیه می شود که بصورت مستقل از هم ارزیابی شوند. تنگ کردن محدوده بخش اندازه گیری با هدف کاهش عدم قطعیت بوسیله حذف عدم قطعیت بالاتر سری های عددی جهت باد مجاز می باشد.

C-۷ بازبینی های کیفیت و عدم قطعیتهای اضافی

C-۷-۱ بازبینی همگرایی

بازبینی همگرایی با استفاده از معادله (C-3) و پارامتر خودسازگاری برای هر سری عددی جهت باد انجام شود. بهترین نمودار برای این منظور ترسیم مجموع متوسط پارامتر خودسازگاری در برابر تعداد ساعات برای هر سری عددی جهت باد است. مجموع متوسطها توصیه می شود که در محدود ۰٫۵ % از آخرین متوسط در محدوده بزرگتر از ۱۶ ساعت داده یا ۲۵٪ از کل تعداد نقاط داده ها در آن سری عددی همگرا گردد. اگر این حالت برقرار گردید، مراحلی چون فیلتر نمودن اضافی ممکن است بکار گرفته شود تا به تشریح عدم همگرایی و تصحیح آن بپردازد. اگر این مراحل باعث همگرایی نشد، بازبینی خود سازگاری بر طبق بخش C-8 ممکن است در مدت اندازه گیری منحنی توان اجراشود تا ارزیابی نماید اگر عدم همگرایی یک موضوع قابل بررسی

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

باشد. اگر بازبینی شاخص برای خودسازگاری در مدت تست منحنی توان برقرار نگردد، پس سری عددی توصیه می شود از بخش اندازه گیری حذف گردد.

C-۷-۲ بازبینی همبستگی برای رگرسیون خطی (شماره C-5-3 را ببینید)

برای هر سری عددی جهت باد، سطح همبستگی باید بر اساس ضریب همبستگی رگرسیون ارزیابی گردد، که با مقدار r مشخص می گردد. این ارزیابی باید در گزارش آورده شود.

C-۷-۳ تغییر تصحیح در طبقه بندی بین دو سری عددی جهت باد نقاط کنارهم

پیشنهاد می گردد سری های عددی جهت باد بخشهای اندازه گیری وقتی که تغییر تصحیح جریان بیش از ۲٪ بین دو سری عددی در همسایگی باشد حذف گردد. این باید با بکارگیری پارامتر خودسازگاری که در بخش C-5-4 آمده است ارزیابی گردد:

a) ارزیابی داده ها و محاسبه تصحیحات جریان کالیبراسیون صورت گیرد.
b) جابجایی تصحیحات جریان کالیبراسیون محل آزمون بوسیله یک بخش جهت صورت گیرد بطوریکه تصحیحات جریان یا رگرسیونها برای سری عددی جهت باد مجاور هم اجرا گردد. برای مثال، اگر تصحیح جریان به سری عددی ۲۹۰ درجه که ۱۰۲۴+ ۰٫۱ اجرا گردد، سپس اجرای این تصحیح بحای سری عددی ۲۸۰ درجه است.
c) بکارگیری تصحیحات جریان کالیبراسیون محل آزمون از مرحله قبلی و داده های کالیبراسیون محل آزمون تنظیم می شوند، سرعت باد برای هر دوره ۱۰ دقیقه ای موقعیت توربین باد پیش بینی می گردد و سپس پارامتر خودسازگاری با معادله (C.3) محاسبه می گردد.
d) متوسط پارامترهای خودسازگاری برای هر جهت باد انجام می شود. اگر متوسط کمتر از ۰٫۹۸ یا بیشتر از ۱٫۰۲ باشد، سپس این سری های عددی جهت باد توصیه می شود حذف شوند. اگر این سری های عددی جهت باد حذف نشوند، سپس عدم قطعیت در این سریهای عددی با مقدار ۱ منهای متوسط پارامتر خودسازگاری ضرب در ۱۰۰٪ و تقسیم بر۲ و ریشه دوم عدد ۳ باید افزایش یابد. اگر یک بخش این را از هردو بخش مجاور هم اجرا نماید، سپس افزایش در عدم قطعیت دارای متوسط ۲ خواهد بود.

این روش برای هر هم جمع و هم منها در سری های عددی جهت باد اجرا می شود، برای نمونه بکارگیری سری عددی ۲۹۰ درجه به ۲۸۰ و ۳۰۰ درجه منجر خواهد شد. تنظیم عدم قطعیت برای سری های عددی که در لبه نیستند به متوسط یک سری عددی در هر جهت حرکت خواهند کرد.

$$u_{VT,\mathrm{coc},j,j} = \frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\left|1-\mathrm{sccp}_{j,j-1}\right|}{2\sqrt{3}} + \frac{\left|1-\mathrm{sccp}_{j,j+1}\right|}{2\sqrt{3}}\right) \qquad (C.7)$$

بطوریکه:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$u_{VT,coc,i,j}$ عدم قطعیت ناشی از تغییر در تصحیح سری عددی جهت باد j است.

$sccp_{j,j-1}$ پارامتر سازگاری کالیبراسیون محل آزمون برای سری عددی جهت باد j با بکارگیری تصحیحات کالیبراسیون محل آزمون در سری عددی j-1 است.

$sccp_{j,j+1}$ پارامتر سازگاری کالیبراسیون محل آزمون برای سری عددی جهت باد j با بکارگیری تصحیحات کالیبراسیون محل آزمون در سری عددی j+1 است.

برای زیر بخشها در لبه های بخش اندازه گیری، ارزیابی عدم قطعیت باید فقط با اجرای تصحیح از زیر بخش همسایگی متناسب اجرا شود.

C-۷-۴ حذف سنجشگر جهت باد میان کالیبراسیون محل آزمون و عملکرد توانی آزمون

اگر حسگر جهت باد بین کالیبراسیون محل آزمون و تست عملکرد توانی برداشته شود، خطا ممکن است ناشی از عدم قطعیت تنظیم حسگر جهت باد بین دو نصب شروع گردد. یک عدم قطعیت اضافی برای هر سری عددی جهت باد باید اجرا گردد. عدم قطعیت باید برای هر سری عددی جهت باد بر طبق ذیل محاسبه گردد:

a) برای هر سری عددی جهت باد، روش در بخش C-7-3 اجرا گردد مگر اینکه عدم قطعیت همچنین اجرا شود جاییکه متوسط پارامترهای خودسازگاری بین ۰,۹۸ و ۱,۰۲ باشد.
b) عدم قطعیت نسبی در اندازه گیریهای جهت باد تعیین گردد.
c) ضرب نتیجه از قسمتa بوسیله عدم قطعیت نسبی در اندازه گیریهای جهت سنج پره ای به کل اندازه سری عددی جهت باد صورت گیرد.

برای مثال، جهت سنج پره ای اگر خراب شود و با یک مدل مشابه بین کالیبراسیون محل آزمون و اندازه گیری منحنی توان جایگزین گردد. عدم قطعیت در تنظیم جهت سنج پره ای تا ۳ درجه و اندازه سری عددی ۱۰ درجه تعیین می شود. ضرب تغییر تصحیح بین دو سری عددی مجاور هم از بخش C-7-3 در عدد 3/10 بدست می آید. این عدم قطعیت علاوه بر هر عدم قطعیت که در بخش C-7-3 است اجرا می گردد.

$$u_{VT,rmv,i,j} = u_{VT,coc,i,j} \cdot \left(\frac{u_{w,i}}{\text{BinSize}_j} \right) \qquad (C.8)$$

جاییکه:

$u_{w,i}$ عدم قطعیت جهت باد محاسبه شده بر طبق بخش E-12 است.

BinSize اندازه سری عددی از سری عددی j جهت باد است مانند ۱۰ درجه.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

لطفاً توجه کنید که $u_{w,i}$ ممکن است بر مبنای نسبی ارزیابی گردد، یعنی اجزاء عدم قطعیت که کاملا همبسته هستند بین کالیبراسیون محل آزمون و اندازه گیری منحنی توان ممکن است صرف نظر گردند. برای نمونه، اگر دکل سر جای خود باقی بماند و فقط حسگر جایگزین گردد و همان تیرک اتصالی نیز باشد، از پارامترهای $u_{WVbo,i}$ and u_{WVoe} ممکن است صرف نظر شود.

C-۷-۵ اندازه گیری ها در فصول مختلف سال برای کالیبراسیون محل آزمون و عملکرد توانی

تغییرات فصول در شرایط باد و تغییرات در صافی سطح زمین ناشی از گیاهان، بارشها (برف و یخ) و یخ زدگی بدنه ها ممکن است یک وابستگی فصلی در تصحیحات جریان محل آزمون کالیبراسیون ایجاد کند. بنابراین پیشنهاد می گردد که کالیبراسیون محل آزمون و اندازه گیری عملکرد توان در همان بازه زمانی سال انجام شود، برای نمونه هر دو در تابستان انجام شود. ارزیابی امکان اثرات این در مراحل بعدی بحساب می آید:

متوسط شرایط باد در دکل هواشناسی مرجع در دوره کالیبراسیون محل آزمون (برش باد، آشفتگی، جریان به بالا) باید با متوسط شرایط باد در همان دکل هواشناسی در دوره اندازه گیری عملکرد توانی برای جهت های باد در داخل محدوده اندازه گیری مقایسه گردد. یک عدم قطعیت اضافی برای تاثیرات فصلی باید محاسبه گردد اگر این شرایط برای یک سری عددی جهت باد متفاوت از مقادیر ذیل باشد:

a) ۰٫۰۵ برای نمایه برش باد.
b) ۳ ٪ برای شدت آشفتگی.
c) اگر جریان به بالا اندازه گیری شد، یک حد $\pm ۲^{\circ}$ تغییر در جریان به بالا عمودی پیشنهاد می گردد.

عدم قطعیت اضافی برای تاثیرات فصلی باید محاسبه گردد چنانچه یک سوم مقادیر کایبرلسیون محل آزمون به تصحیح نیاز داشته باشد.

C-۸ بررسی نتایج

یک مثال از روش بررسی نتایج از اندازه گیری عملکرد توانی با یا بدون کالیبراسیون محل آزمون هست تا با بکار بردن داده های اندازه گیری شده توان الکتریکی که از طریق اندازه گیری منحنی توان بوسیله اندازه گیری سرعت باد در دوره ۱۰ دقیقه ای بدست آید. این سرعت باد با سرعت باد اندازه گیری شده بوسیله بادسنج یا RSD مقایسه گردد. ایده آل این است که این نسبت با جهت باد تغییر نکند. سری عددی جهت باد که نسبت بشدت تغییر می کند توصیه می شود بررسی گردد و اگر ممکن است حذف گردد. اگر منحنی توان تابعی از

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

سرعت باد معادل روتور باشد، سرعت باد معادل روتور توصیه می شود برای بازبینی خودسازگاری بکار گرفته شود.

a) معکوس منحنی توان مشخص خواهد شد چنانچه سری متوسط گیری شده سرعت باد مانند یک تابع از توان خروجی برای بسته داده هایی که برای ارزیابی منحنی توان بکار رفته اند باشد. برای توربینهای بادی که کنترل بصورت فعال دارند، سرعت باد نرمالیز شده که تابع چگالی هواست برای ارزیابی منحنی توان معکوس بکار می رود. برای توربینهای بادی که کنترل غیر فعال دارند، توان خروجی نرمالیز شده که تابع چگالی هواست برای ارزیابی منحنی توان معکوس بکار می رود. اگرکالیبراسیون محل آزمون اجرا شده باشد، محل آزمون کالیبره گشته است و ، اگر قابل اجرا باشد، سرعت باد نرمالیز شده که تابع چگالی هواست برای آنالیز سری عددی بکار رود. نتایج بکار رفته توصیه می شود شامل داده های توانی باشد که حداکثر توان به توان نامی اندازه گیری شده نرسد و برای آن سرعت باد نرمالیز شده از ۴ متر بر ثانیه بیشتر باشد.

b) منحنی توان معکوس (RPC) بمنظور ارزیابی سرعت باد نماینده روتور توربین باد از اندازه گیری توان فعال برای فواصل هر ۱۰ دقیقه می باشد که در این مدت توربین تحت تست در حال کار باشد. برای این، سرعت باد بصورت خطی بین سری های عددی حاصل از RPC برطبق توان فعال اندازه گیری شده درون یابی می شود. نتیجه سرعت باد به نمایندگی از روتور توربین باد است. برای توربین باد با کنترل فعال، نتیجه اینگونه است که سرعت باد محیطی نرمالیز شده که تابع چگالی هواست نماینده سرعت روتور توربین باد است. برای توربینهای با کنترل غیر فعال، توان خروجی نرمالیز شده که تابع چگالی هواست برای ارزیابی سرعت باد محیطی بکار می رود.

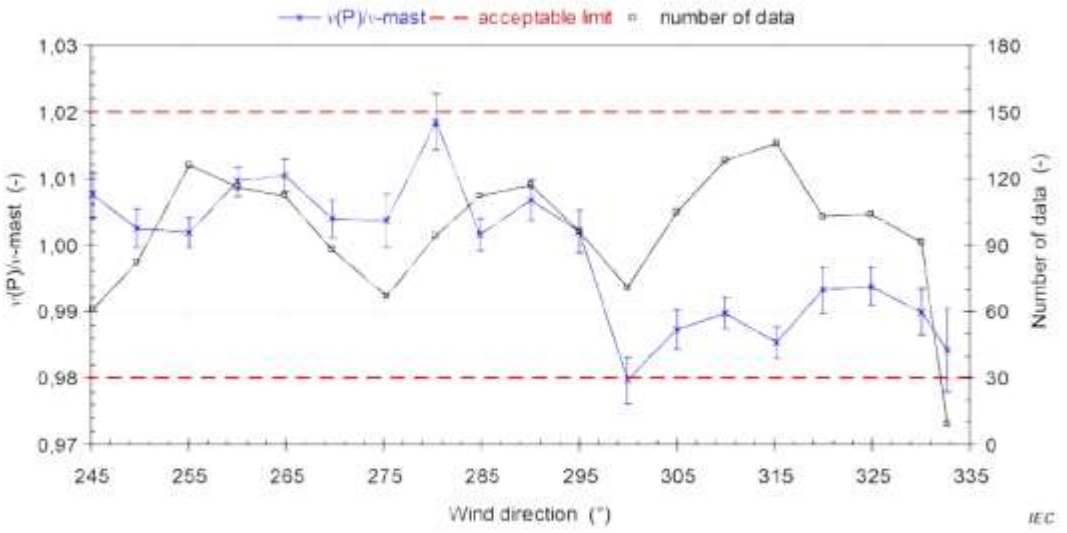
c) نسبت دو سرعت باد (بدست آمده/اندازه گیری شده) توصیه می شود با سری عددی متوسط گیری شده بصورت تابعی از جهت باد در بازه های پنج درجه باشد.

d) سرعتهای باد بدست آمده و اندازه گیری شده انتظار می رود با هم نزدیک باشند بطوری که نسبت این دو به عدد واحد نزدیک باشد. انحرافات از عدد یک ممکن است در اثر محل آزمون اتفاق بیافتد، نقایص در فرآیند کالیبراسیون محل آزمون، یا تغییرات محیطی بر روی منحنی توان باشد. بخشهایی که سرعت باد از طریق دکل هواشناسی تعیین شده است نمایندگی برای تست توربین باد نمی باشند و باید بطور واضح بمانند تغییرات نسبت متوسط سری عددی مشخص گردند. تغییرات بزرگ باید آنالیز گردند. این بخشها توصیه می شود از تست منحنی توان نهایی حذف گردند اگر تاثیرات محل آزمون را عامل آن دانستیم.

e) منحنی توان برای بقیه بخشها توصیه می شود ارزیابی مجدد بشوند. خودسازگاری بررسی و با محاسبه مجدد RPC تکرار گردد. اگر لازم باشد، بخش اندازه گیری شده توصیه می شود بر مبنای نتایج تستهای تکراری تنظیم گردد.

یک مثال از یک نتیجه بازرسی تست در شکل C.3 نشان داده شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



The error bars indicate the category A standard uncertainty of the bin averaged ratios of v_P and v_{mast}. The acceptable range is for ratios of 0,98 to 1,02 for L < 3 rotor diameters and 0,97 to 1,03 for L between 3 and 4 rotor diameters.

شکل C- ۳ : مثالی از بررسی نتایج یک تست.

C-۹ مثالهایی از کالیبراسیون محل آزمون

C-۹-۱ مثال A

تشریح محل آزمون:

اندازه گیری منحنی توان در محل آزمونی (نوع زمین B) لبه یال صورت می گیرد. این لبه یال عمود به جهت باد اصلی است، روبروی جلگه و یال تقریباً ۴۰ تا ۶۰ متر بالاتر از سطح زمین است. ارتفاع برج توربینهای باد ۸۰ متر است و در یک ردیف در امتداد بالای یال قرار گرفته اند. نوع زمین بین نوع A و نوع B است. زمین نسبتاً تخت رو به باد یعنی دارای برش باد بالاست که ممکن است ناشی از پایداری جوی باشد. اگرچه، زمین محل توربین باد نزدیک به نوع B است، بطوریکه زوایای جریان بالا زیاد همچنین روی می دهد. موقعیت دکل هواشناسی و توربین باد تحت تست بگونه ای انتخاب می شوند که حداقل زاویه جریان به بالا را داشته باشیم (زمین با شیب کم) و حداقل اختلاف در ارتفاع زمین بین دو موقعیت (که همبستگی تصحیحات سرعت باد حداکثر می شود با پروفایلهای متفاوت برش باد) تا آنجا که ممکن است چینش توربین باد با محدودیتهای زمین داده شود.

تنظیم کالیبراسیون محل آزمون:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

دکل هواشناسی مرجع روی یال قرار گرفته است، در کنار توربین باد تحت تست اما در ارتفاعی حدوداً پایین تر از توربین باد در حدود ۱۰ متر پایینتر از ارتفاع توربین باشد. علاوه بر این بادسنجهای فنجانی روی نوک هاب نصب شده باشند بصورت کنار به کنار، اندازه گیری برش باد با کمک بادسنج که در ارتفاع ۴۳ متری روی هر دو دکل نصب است صورت گیرد. یک بادسنج صوتی سه بعدی بر روی هر دکل هواشناسی برای ارزیابی مشخصه های عملیاتی بادسنجهای در ارتفاع هاب نصب می گردند تا میزان عدم قطعیت در مورد پیچیدگی زمین را بدهند.

ارزیابی کالیبراسیون محل آزمون:

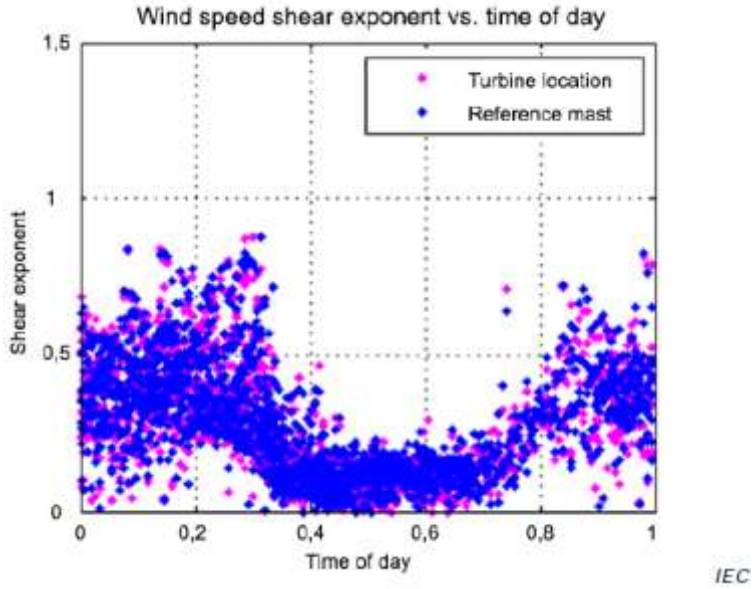
داده ها برای چندین ماه جمع آوری می شود. داده های جمع آوری شده بر اساس بخش اندازه گیری فیلتر می شوند، سرعتهای باد از ۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه چنانچه در دکل مرجع هواشناسی ضبط شده اند، بد عمل نمدن حسگر، و یخزدگی بادسنج گزارش گردد. برای هر دوره ۱۰ دقیقه ای، محاسبات ذیل بر طبق C-5-1 اجرا گردد:

a) نسبت سرعت باد در ارتفاع هاب در موقعیت توربین باد به سرعت باد در دکل هواشناسی مرجع در همان ارتفاع داده شود.
b) نمایه های برش باد در هر دکل هواشناسی از طریق قانون توان با بکارگیری سرعت باد اندازه گیری شده در ۸۰ و ۴۳ متر محاسبه گردد.
c) یک بر چسب برای تعیین ساعات روزکه ۲۴ ساعت یک شبانه روز را ثبت می کند.
d) زاویه جریان بالا از طریق سرعتهای باد عمودی و افقی بوسیله بادسنجهای صوتی در هر دکل هواشناسی محاسبه می گردد.

مرحله ۱ : بررسی بزرگی برش باد در محل آزمون بر طبق C-5-2-1 :

برای داده های فیلتر شده، نمایه برش باد در هر دکل هواشناسی در برابر زمان ترسیم می گردند. شکل C-4 نشان می دهد که برش باد در شب زیاد و در روز کم است.این حالت سیکل پایداری جوی روزانه ای است که محل آزمون تجربه می نماید. درشب، جو بصورت لایه های حرارتی شکل می گیرد (جو پایدار). این لایه ها آشفتگی را سرکوب می نمایند و در نتیجه برش باد بالاو متغیر شکل می گیرد. در طول روز، خورشید زمین را گرم می کند، آشفتگی را شروع می نماید که باعث می شود پروفایل سرعت باد یکنواخت شود (برش باد کمتر) و آشفتگی بیشتر می شود. واضح است که مقادیر مشابه برش باد در هر دو موقعیت توربین باد و دکل هواشناسی مرجع روی می دهد.

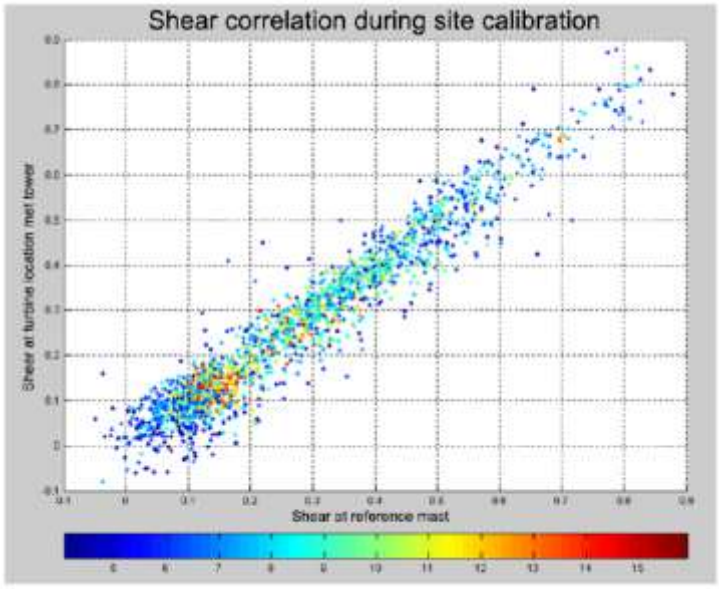
DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل C- ۴ : نمایه برش باد در برابر زمان روز، مثال A .

مرحله ۲: راستی آزمایی همبستگی برش باد در موقعیت توربین باد، دکل هواشناسی مرجع مثال A

راستی آزمایی مقادیر همبستگی برش باد در موقعیتهای توربین باد و دکل هواشناسی مرجع، یک ترسیم از نمایه برش باد در موقعیت توربین باد در برابر نمایه برش باد در موقعیت دکل مرجع درست می نماییم (شکل C-5 را ببینید):



شکل C- ۵ : نمایه های برش باد در موقعیت توربین باد در برابر دکل هواشناسی مرجع، مثال A که محور رنگی = سرعت باد است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نمایه های برش باد در موقعیت دکل هواشناسی مرجع یک مشخصه خوب از نمایه های برش باد در موقعیت توربین باد هستند.

مرحله ۳ : محاسبه نتایج بر مبنای C-5-1-3 :

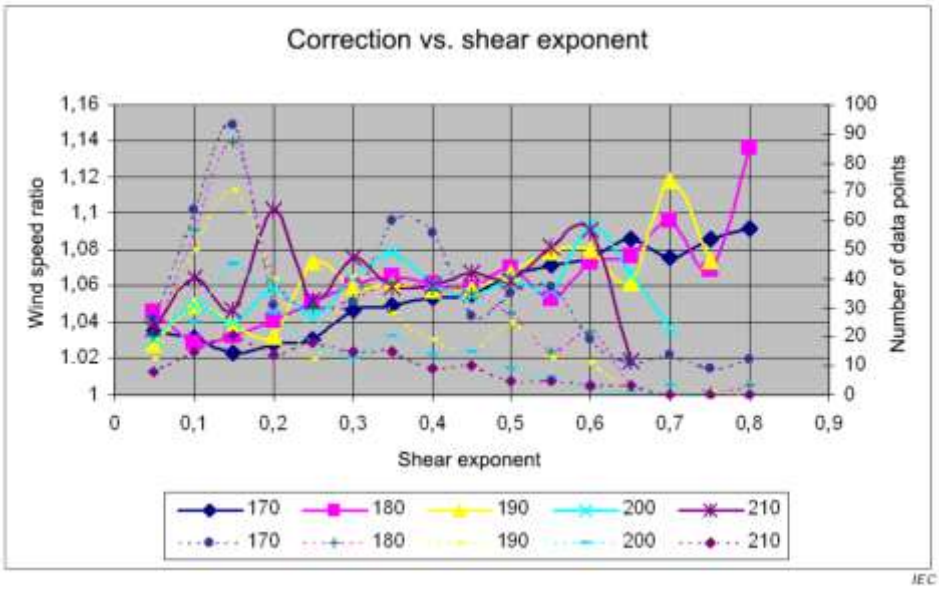
محاسباتی که در پی می آید برای هر ۱۰ دقیقه بسته داده درست شده است که بر مبنای اندازه گیری در محل دکل مرجع است:

-سری عددی برش باد با ضرایب عد صحیح در مقادیر ۰٫۰۵ نمایه برش باد بدست می آید (۰٫۰۲۵ - تا ۰٫۰۲۵ ، ۰٫۰۲۵ تا ۰٫۰۷۵ ، ۰٫۰۷۵ تا ۰٫۱۲۵ ، و غیره).

امکان دارد که یک ماتریس با نمایه برش باد و جهت باد بسازیم. برای هر نقطه از این ماتریس، محاسبات ذیل باید صورت گیرد :

-تصحیح برای هر نقطه از ماتریس با متوسط نسبتهای سرعت باد در آن سری عددی ماتریسی محاسبه می گردد.
-یک شمارش از همه داده های معتبر نقاط درون آن سری عددی ماتریسی است.

جدول C-1 و جدول C-2 به ترتیب تصحیحات جریان کالیبراسیون محل آزمون و سری عددی شمردن را نشان می دهد. شکل C-6 یک نمودار توضیحی از این نتایج است.



شکل C- ۶: نسبتهای سرعت باد و تعداد نقاط داده در برابر نمایه برش باد و سری عددی جهت باد – نسبتهای سرعت باد (خطوط پر)، تعداد نقاط داده (خطوط منقطع).

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

مرحله ۴ : بازبینی کیفیت و عدم قطعیتهای اضافی

عدم قطعیت مشخصات عملکردی بادسنج

زاویه جریان به بالا ذخیره می گردد، که اجازه می دهد برای تخمین عدم قطعیت مشخصات عملکردی بادسنج در شرایط محل آزمون برطبق C-3-2 عمل گردد. حداکثر زاویه جریان به بالا برای همه نقاط داده ها در همه سری های جهت باد ۳ درجه در محل دکل هواشناسی مرجع است و ۱ درجه در محل توربین باد است. بقیه پارامترها در محدوده مشخصات عملکردی بادسنج کلاس A قرار می گیرند. بنابراین، عدم قطعیت مشخصات عملکردی بادسنج کلاس A ممکن است برای هر دو موقعیت بکار رود. کلاس، 1.4A است.

جدول C-۱: تصحیحات جریان کالیبراسیون محل آزمون (نسبت سرعت باد).

	Wind direction bin				
Wind shear bin	170	180	190	200	210
0,05	1,035	1,046	1,028	1,031	1,037
0,10	1,031	1,029	1,05	1,05	1,064
0,15	1,023	1,033	1,039	1,04	1,047
0,20	1,028	1,041	1,032	1,059	1,102
0,25	1,031	1,051	1,073	1,044	1,052
0,30	1,047	1,06	1,06	1,064	1,076
0,35	1,049	1,066	1,062	1,078	1,06
0,40	1,054	1,061	1,058	1,061	1,06
0,45	1,055	1,058	1,059	1,055	1,067
0,50	1,066	1,07	1,067	1,064	1,063
0,55	1,072	1,053	1,079	1,058	1,081
0,60	1,076	1,074	1,08	INC	1,091
0,65	1,086	1,076	INC	INC	1,019
0,70	1,076	1,096	1,118	INC	INC
0,75	1,086	INC	INC	INC	INC
0,80	1,092	1,136	INC	INC	INC

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

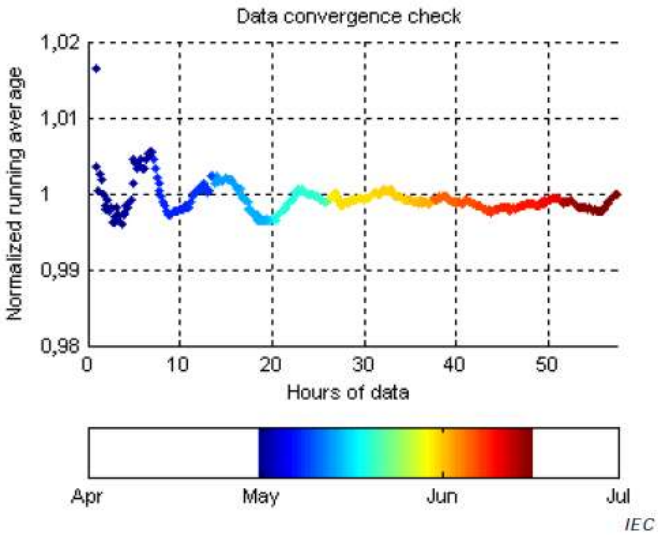
جدول C-۲: شمارنده داده های کالیبراسیون محل آزمون.

	Wind direction bin				
Wind shear bin	170	180	190	200	210
0,05	26	20	12	8	8
0,10	64	57	50	25	15
0,15	93	87	71	45	21
0,20	31	40	40	28	14
0,25	31	30	12	18	18
0,30	32	33	41	13	15
0,35	60	39	28	20	15
0,40	56	36	19	14	9
0,45	27	35	15	15	10
0,50	35	28	25	9	5
0,55	37	15	13	6	5
0,60	19	22	11	2	3
0,65	11	3	2	1	3
0,70	14	3	3	3	0
0,75	9	1	1	0	0
0,80	12	3	0	0	0

بازبینی همگرایی :

بررسی همگرایی پیدا می نماید که داده ها همگرا می شوند در محدوده ۰٫۵٪ مقدار نهایی (یا در محدوده ۰٫۹۹۵ و ۱٫۰۰۵) در شکل C-7 برای سری ۱۹۰ درجه در مدت ۵۰ ساعت داده های در سری اعداد مورد نیاز، بزرگتر از ۱۶ ساعت یا ۲۵٪ از کل نقاط داده ها برای همه سریهای عددی است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل C- ۷ : همگرایی داده ها برای سری ۱۹۰ درجه است.

تغییر در تصحیح بین سری های عددی:

مقدار تغییر در تصحیح جریان در محدوده ۰٫۰۲ بین همه سری های همجوار است.

تنظیم جهت سنج پره ای باد:

هیچ تنظیم جهت باد پره ای بین اندازه گیری ها انجام نمی شود، بنابراین عدم قطعیت اضافی مورد نیاز نیست.

عدم قطعیت فصلی:

اندازه گیری منحنی توان در همان فصل اتفاق می افتد و یک مقایسه روشن می نماید که هیچ یک از تغییرات در شرایط از محدوده C-7-5 تجاوز نمی نماید بنابراین عدم قطعیت اضافی برای بحساب آوردن تاثیرات فصلی نیاز نیست.

C-۹-۲ مثال B

تشریح محل آزمون :

محل آزمون مشابه محل آزمون مثال A است (نوع B زمین) بجز اینکه محل نزدیک توربین باد دارای شیبی ملایم است.

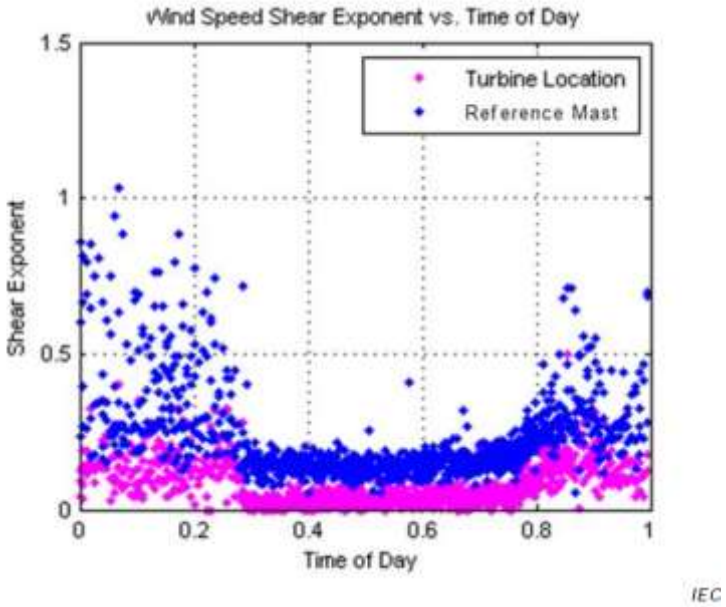
تنظیم کالیبراسیون محل آزمون :

برخلاف مثال A، امکان ندارد دکل هواشناسی مرجع را در روی یال قرار دهیم. دکل هواشناسی مرجع در پایین یال یعنی بر روی جلگه نصب می شود و توربین باد تحت تست با فاصله ۳ برابر قطر روتور در سمت بالای باد روی لبه یال نصب می شود. اختلاف در ارتفاع بین توربین باد و دکل هواشناسی مرجع ۴۵ متر است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

مرحله ۱ : بررسی بزرگی برش باد در محل آزمون

برای داده های فیلتر شده، نمایه برش باد در هر دکل هواشناسی در برابر زمان روز ترسیم شده است (شکل C-8 را ببینید).



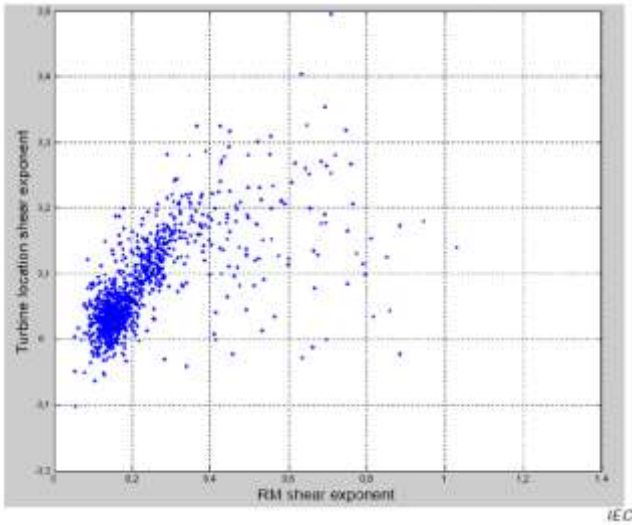
شکل C- ۸ : نمایه برش باد در برابر زمان روز است، مثال B.

مشابه مثال A، که برش باد در شب زیاد و در روز کم است. این حالت سیکل پایداری جوی روزانه ای است که محل آزمون تجربه می نماید. اگرچه برش باد در موقعیت توربین باد به مقدار قابل ملاحظه ای متفاوت از برش باد در دکل مرجع است. این مشکل ناشی از تغییر در ارتفاع بین دو موقعیت است، منطقی است که فرض شود که ارتباط بین سرعتهای باد در ارتفاع هاب که بوسیله تغییرات در پروفایل برش باد متاثر می شود برقرار است.

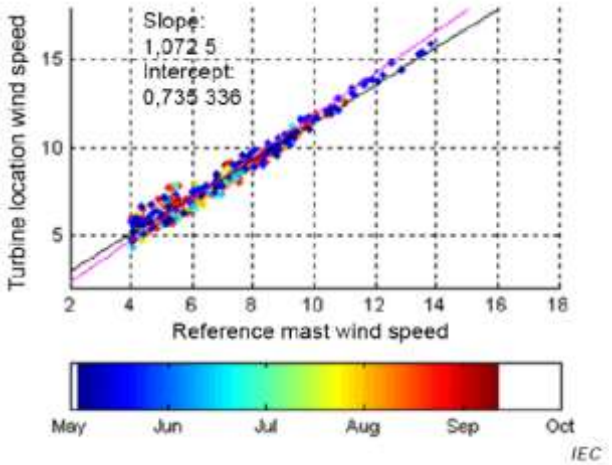
مرحله ۲ : راستی آزمایی همبستگی برش باد در موقعیتهای توربین باد و دکل هواشناسی مرجع – مثال B

برای مقادیر برش باد بزرگتر از ۰٫۲۵ همبستگی وجود ندارد. این بیان می نماید که همبستگی تصحیحات جریان کالیبراسیون محل آزمون در مدت شرایط پایداری جو ناسازگارند. برای روشن نمودن و راستی آزمایی این حالت، ترسیمه مشخص شده در C-5-3 ممکن است بکار رود (شکل C-10 را ببینید).

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل C- ۹ : نمایه برش باد در محل توربین باد در برابر دکل هواشناسی مرجع، مثال B.

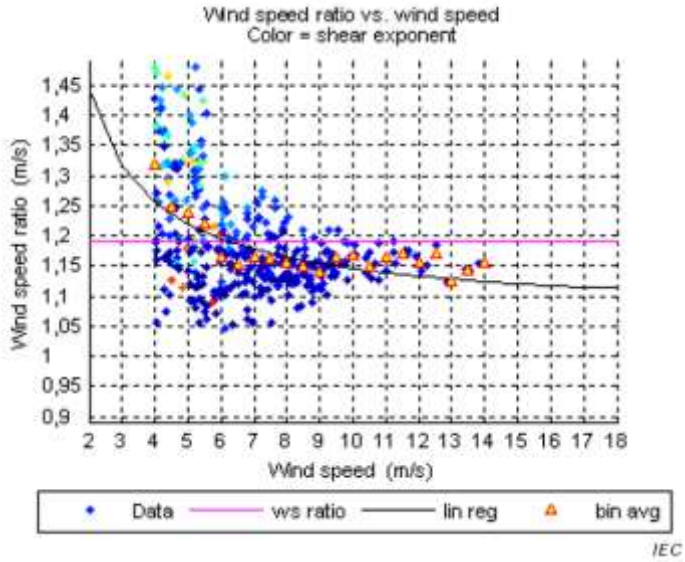


خط قرمز رگرسیون خطی است که از نقاط اصلی می گذرد(صفر قطع کننده)، خط مشکی دو پارامتر رگرسیون خطی است(قطع کننده صفر نیست).

شکل C- ۱۰ : رگرسیون خطی سرعتهای باد در موقعیت توربین باد در برابر دکل هواشناسی مرجع در ارتفاع هاب برای سری عددی ۳۳۰ درجه است.

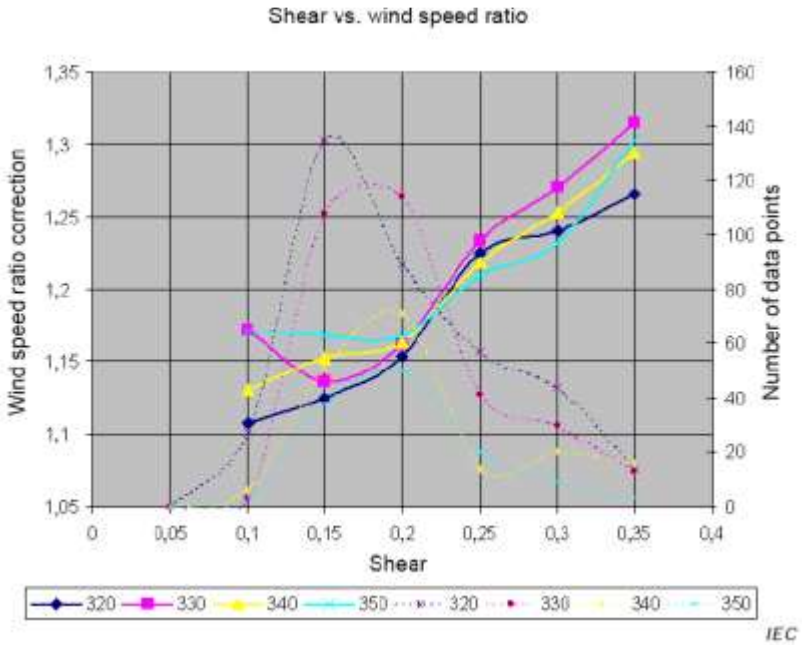
رگرسیون خطی نشان می دهد که تقاطع قابل ملاحظه در رگرسیون خطی وجود دارد. همچنین در سرعتهای باد پایین تر پراکندگی وجود دارد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل C- ۱۱ : نسبتهای سرعت باد در برابر سرعت باد برای سری عددی ۳۳۰ درجه است.

ترسیمه نسبتهای سرعت باد در برابر سرعت باد (شکل C-11 را ببینید) نشان می دهد که وابستگی بالای تصحیح جریان به سرعت باد ناشی از تقاطع بالاست. همچنین توجه کنید که که مقادیر تصحیح جریان کمی بالا هستند، ۱۹٪ بر متوسط است. برای وضوح موضوع، ترسیمه نسبتهای سرعت باد در برابر برش باد برای سری های عددی متفاوت باد در شکل C-12 نشان داده شده است.



شکل C- ۱۲ : نسبتهای سرعت باد در برابر برش باد برای سری عددی ۳۳۰ درجه است.

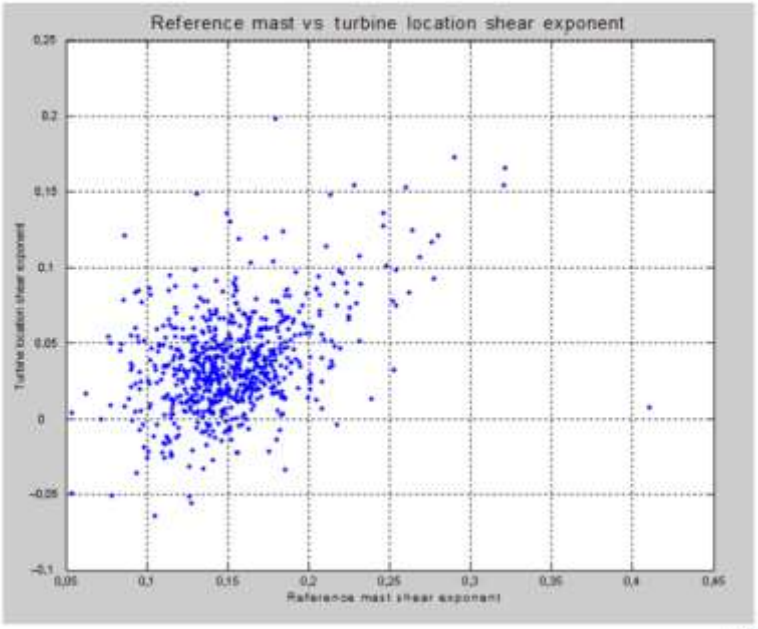
این نمودارها برای تشریح تاثیر کالیبراسیون محل آزمون ناشی از شرایط در محل آزمون و تنظیمات تست مفید است. شکل C-12 نشان می دهد که تغییرات بیش از ۵٪ بین ۰٫۲ و ۰٫۲۵ است، و شکل C-9 نشان

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

می دهد که برش باد در محل دکل هواشناسی مرجع یک پیش بینی خوب از برش باد در موقعیت توربین باد برای مقادیر بزرگتر از ۰٫۲۵ نیست. تصحیحات بکار رفته در روش ماتریس جهت باد- برش باد نمی تواند قابل اتکا باشد. برش باد نشان داده شده است که تاثیر قابل ملاحظه ای دارد و برش باد در دو موقعیت بخوبی همبسته نمی شوند بنابراین فیلترکردن اضافی نیاز است تا همبستگی بهبود یابد.

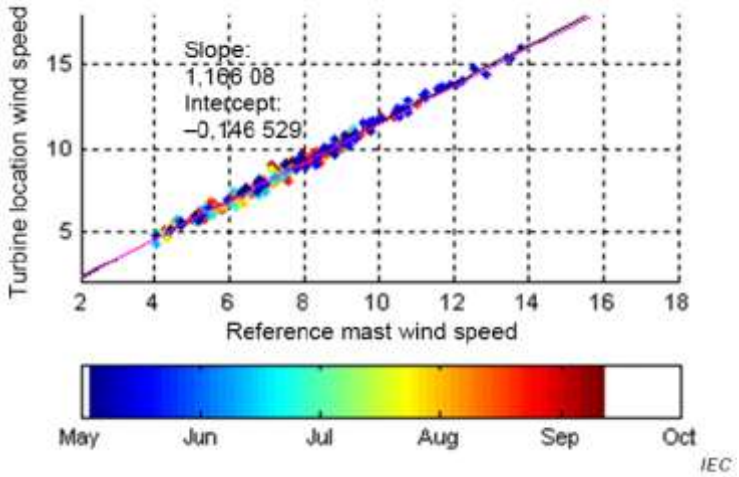
مرحله 2B : توجه به حذف داده های ناهمبسته برش باد

مقادیر ضعیف برش باد بین دو موقعیت همبسته ظاهر می شوند. مقادیر برش باد ضعیف در مدت زمان روز اتفاق می افتد(دوره ای که پایداری جوی هست)، بنابراین از ترسیمه ها بدست می آید، یک فیلتر زمان روز برای انتخاب همه زمانهای روز بین ساعت ۷ تا ۱۹ باید بکار رود. ترسیمهای مطابق C-5-2 برای داده های جدیداً فیلتر شده نشان داده شده است (شکل C-13، شکل C-14 و شکل C-15 را ببینید).

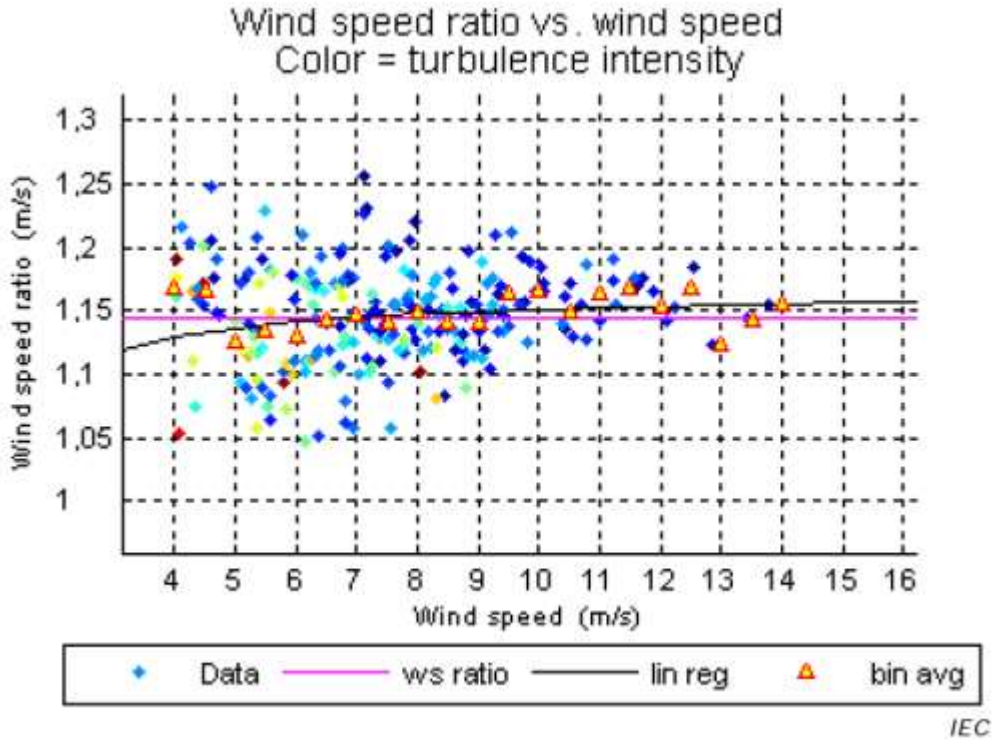


شکل C- ۱۳ : نمایه برش باد در موقعیت توربین باد در برابر دکل هواشناسی مرجع با پسا فیلترینگ.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل C- ۱۴ : رگرسیون خطی سرعتهای باد در موقعیت توربین باد در برابر دکل هواشناسی مرجع در ارتفاع هاب برای سری عددی ۳۳۰ درجه پسا فیلترینگ است.



شکل C- ۱۵: نسبت سرعت برابر در برابر سرعت باد برای یک سری ۳۳۰ درجه پسا فیلترینگ

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

مرحله ۳ : محاسبه نتایج

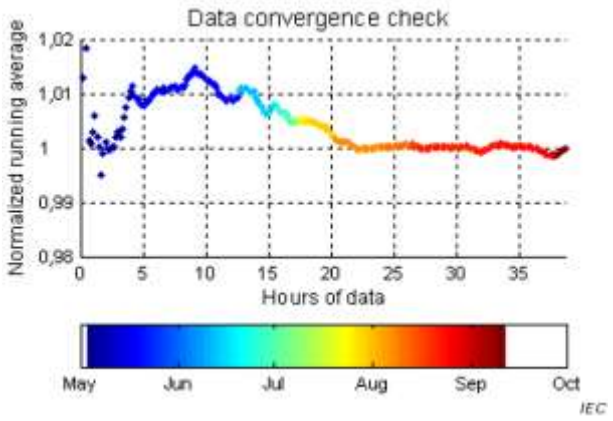
مرحله قبل همه داده های با پایداری جوی بالا را حذف کرد و فقط داده های پایداری جوی روز نگه داشته شدند. مقادیر برش باد شامل محدوده کوچک نمایه برش باد (۰٫۱ تا ۰٫۲) شدند. این حذف به تصحیح جریان کالیبراسیون محل آزمون به برش باد وابسته است و بنابراین روش رگرسیون خطی ممکن است بجای ماتریس سری عددی جهت باد-برش باد بکار رود. برای هر سری جهت باد، یک رگرسیون خطی از سرعت باد در موقعیت توربین باد در برابر سرعت باد در موقعیت دکل هواشناسی مرجع با مقدار r^2 از رگرسیون محاسبه می گردد. شمارش نقاط داده های معتبر در هر سری عددی جهت باد همچنین ثبت باید گردد.

مرحله ۴ : عدم قطعیت های اضافی

عدم قطعیت عملکردی بادسنج:

اندازه گیری عمودی سرعت باد صورت نمی گیرد بنابراین کلاس B عدم قطعیت مشخصه عملکردی باید بکار رود. طبقه بندی مشخصه عملکردی بادسنج از گروه ۵ است، 4B.

بررسی همگرایی (شکل C-16 را ببینید):



شکل C- ۱۶: بررسی همگرایی داده ها در سری عددی ۳۳۰ درجه است.

بررسی همبستگی برای رگرسیون خطی:

چنانچه برای C-7-2 (جدول C-3 را ببینید).

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول C-۳: مقادیر r^2 برای هر سری عددی جهت باد.

Bin centre	r^2 value	Absolute value of residual mean (m/s)	Residual standard deviation (m/s)
320	0,978	0,00	0,33
330	0,988	0,00	0,26
340	0,979	0,00	0,26
350	0,981	0,00	0,23

تغییر در تصحیح بین سری های عددی:

برطبق C-7-3 (جدول C-4 را ببینید).

جدول C-۴: عدم قطعیت ناشی از تغییر در سری های عددی است.

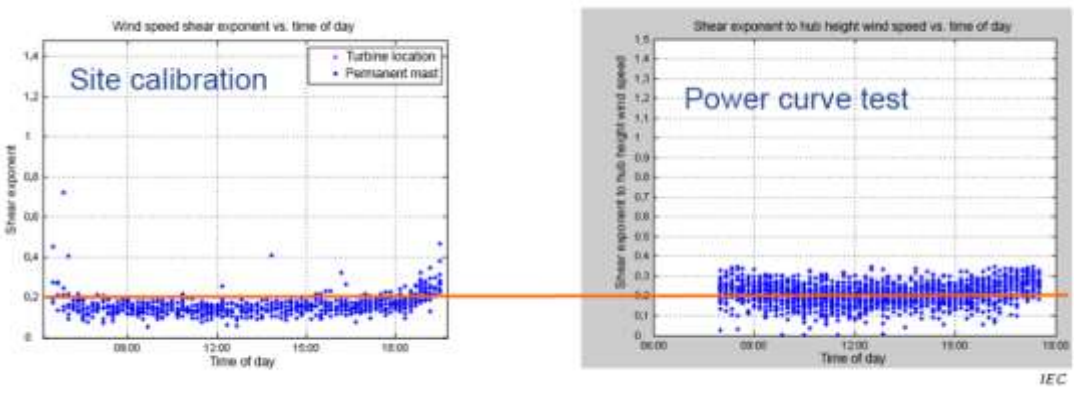
Bin centre	Magnitude of change between bins (left)	Magnitude of change between bins (right)	Additional standard uncertainty (%)
320	1,019	-	0 % (within limit)
330	1,009	0,981	0 % (within limit)
340	1,013	0,988	0 % (within limit)
350	-	0,992	0 % (within limit)

تنظیم جهت باد پره ای:

جهت سنج باد پره ای در محل خود می ماند پس هیچ عدم قطعیت اضافی برطبق C-7-4 مورد نیاز نیست.

عدم قطعیت فصلی:

کالیبراسیون محل آزمون در فصل زمستان انجام شده بود مادامیکه اندازه گیری منحنی توان در چندین فصل انجام شده است، که شامل تابستان هم می شود. توجه کنید که فیلتر زمان روز نیاز به تنظیم دارد که ناشی از تغییر طلوع و غروب خورشید است. در مقایسه مقادیر نمایه برش باد (شکل C17 را ببینید) یک تغییر بزرگتر از ۰٫۰۵ یعنی (۰٫۱۵ در برابر ۰٫۲۲) می یابید، که بزرگتر از محدوده ذکر شده در C-7-5 است بنابراین عدم قطعیت ناشی از اندازه گیریها در فصول مختلف برطبق C-7-5 مورد نیاز است.



شکل C- ۱۷ : برش باد کالیبراسیون محل آزمون در برابر برش باد منحنی توان.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

مولفه تصحیح فصلی یک سوم مقدار تصحیح کل است. این ممکن است برای هر نقطه داده بر طبق ذیل محاسبه گردد:

$$U = 1/3 \times \text{abs}(V_{\text{Turb_predicted}} - V_{\text{RM_measured}}) \qquad (C.9)$$

بطوریکه:

U عدم قطعیت در نقطه داده است.

$V_{\text{Turb_predicted-}i}$ سرعت باد پیش بینی شده توربین باد که برای تصحیح جریان کالیبراسیون محل آزمون بکار می رود.

$V_{\text{RM_measured-}i}$ سرعت باد اندازه گیری شده در محل دکل مرجع برای پیش بینی باد در محل توربین بکار رود.

عدم قطعیتهای در دوره تست عملکرد توانی امکان پذیر است پس سری عددی متوسط گیری شده در برابر سرعت باد دکل مرجع و جهت باد عدم قطعیت کل محاسبه گردد.

C-۹-۳ مثال C

تشریح محل آزمون:

این محل آزمون در زمین بسیار پیچیده است. محل آزمون از نوع کوهستانی است و در یک سلسه کوه قرار دارد. محل آزمون یک سلسه یال عمود به جهت باد اصلی است، با شیب از سمت جلو و عقب یال همراه است. باد تک جهت است و اینکه از یک بخش ۳۰ درجه می آید. یک خط یال دیگر ۳ کیلومتری در سمت بالای باد وجود دارد و با چند صد متر بلندتر ازسلسه یالی که محل آزمون بر روی آن قرار گرفته است. محل آزمون بنابراین نوع C در نظر گرفته می شود که می تواند در منطقه با بازچرخش باد از سمت بالای یال روبرو شود.

تنظیم کالیبراسیون محل آزمون:

دکل هواشناسی در فاصله ۲٫۵ برابر قطر روتور توربین باد تحت تست روی همان یال و در همان ارتفاع مشابه (در حدود ۵ متر فاصله) قرار دارد. برش باد با بکارگیری بادسنج اندازه گیری می شود که پایین تر روی دکل هواشناسی نصب است. اندازه گیری سرعت باد عمودی را شامل نمی شود.

مرحله ۱ : بررسی بزرگی برش باد در محل آزمون

مقادیر نمایه برش باد پایین و گاهی اوقات منفی هستند. تمام مقادیر برش باد بین ۰٫۰۵ - و ۰٫۰۲ هستند و بدون همبستگی مشهودی به زمان روز یا دیگر شرایط اندازه گیری می باشند. آشفتگی بالاست. این مشخص

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

می کند که نسبت به ناپایداری جوی خنثی است و برش باد فاکتور مهمی برای کالیبراسیون این محل آزمون نمی باشد، بنابراین روش رگرسیون خطی ممکن است بکار رود.

مرحله ۲ :

این مرحله چون برش باد قبلا تعیین شد که بسیار پایین است قابل صرف نظر کردن است. جو پایدار در این محل آزمون وجود ندارد.

مرحله ۳ : محاسبه نتایج

برای هر سری عددی جهت باد یک رگرسیون خطی از سرعت باد در محل توربین باد در برابر سرعت باد در محل دکل مرجع محاسبه گردیده است که دارای مقدار رگرسیون r^2 است. شمارش نقاط داده های معتبر در هر سری عددی جهت باد همچنین ثبت باید گردد. پراکندگی داده ها بسیار بالاست و مقدار تغییر تصحیح جریان بین سری ها خیلی بالاست.

مرحله ۴ : بررسی کیفیت و عدم قطعیت

داده ها تایید می کنند که محل آزمون در منطقه بازچرخش جریان باد بالای یال قرار دارد. پراکندگی داده ها بسیار بالاست و نتایج همگرا نمی شوند، مشخص می کند که با اینکه دکل مرجع و توربین باد تحت تست کنار همدیگر نصب هستند روی یال در ارتفاع مشابه با زمین محلی مشابه، همبستگی در سرعت باد بین دو موقعیت بسیار ضعیف است. این می تواند اثر منفی بر دقت و عدم قطعیت و منحنی توان اندازه گیری شده در این موقعیت بگذارد.

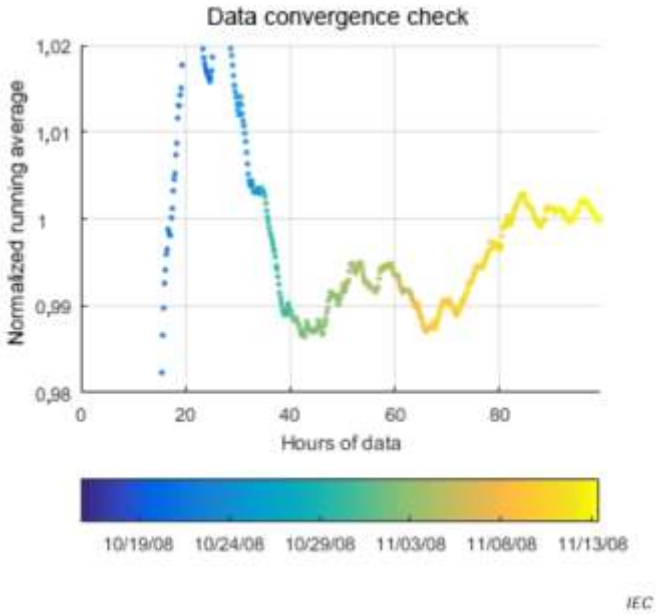
عدم قطعیت عملیاتی بادسنج:

اندازه گیری عمودی سرعت باد صورت نمی گیرد بنابراین کلاس B عدم قطعیت مشخصه عملکردی باید بکار رود. طبقه بندی مشخصه عملکردی بادسنج از گروه ۵ رتبه 4B است.

بازبینی همگرایی:

داده ها برای بازبینی همگرایی تمام سری های جهت باد ناموفق است. داده ها در محدوده ۰٫۵٪ از تمام مقادیر تا ۷۵٪ از داده های جمع آوری شده را در بر می گیرد ولی همگرا نمی شود. یک نمونه بازبینی برای یک سری عددی جهت باد در شکل C-18 نشان داده شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل C- ۱۸ : بازبینی همگرایی برای سری عددی ۲۷۰ درجه.

تغییر در مقدار تصحیح بین سری های عددی :

همه سری های عددی مجاور هم در مقدار حدودا ۱۰٪ تغییر می کنند. عدم قطعیت اضافی بر طبق جدول زیر محاسبه می شود.

جدول C-۵: عدم قطعیت اضافی ناشی از تغییر در سری های عددی.

Bin centre	Magnitude of change between bins (left)	Magnitude of change between bins (right)	Additional standard uncertainty (%)
260	1,137	1,176	4,52 %
270	1,093	0,912	2,61 %
280	1,023	0,946	1,11 %

تنظیم جهت باد پره ای:

هیچ تنظیم جهت سنج باد پره ای لازم نیست پس هیچ عدم قطعیت مورد نیاز نیست.

تنظیم عدم قطعیت فصلی:

کالیبراسیون محل آزمون و تست عملکرد توان در چندین فصل انجام شده است (پاییز و تابستان)، اگر چه مقادیر برش باد و آشفتگی بیش از محدوده مجاز بین فصول تغییر نمی کنند. سرعت باد عمودی ثبت نمی شود تا زاویه جریان به بالا ارزیابی گردد، اگرچه گفته شده است محل آزمون در منطقه بازچرخش قرار دارد، یک محدوده وسیع از زاویه جریان به بالا مورد انتظار است و بنابراین دلیلی برای وابستگی به فصول وجود ندارد. محل آزمون در ناحیه آب و هوایی گرم با حداقل پوشش گیاهی قرار دارد، بنابراین هیچ تغییر قابل ارزشی در سطح انتظار نمی رود. عدم قطعیت اضافی برای تغییرات فصول نیاز نیست.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست D : ارزیابی عدم قطعیت در اندازه گیری‌ها

(الزامی)

پیوست D آدرس الزامات برای تعیین عدم قطعیت در اندازه گیری را می دهد. بنیاد تئوریک برای تعیین عدم قطعیت با بکار گیری روش سری عددی، با مثال کار شده از تخمین عدم قطعیت در پیوست E یافت می شود.

منحنی توان اندازه گیری شده باید با یک تخمین از عدم قطعیت اندازه گیری تکمیل گردد. تخمین باید برمبنای ISO/IEC Guide 98-3:2008 استاندارد باشد، عدم قطعیت قسمت سوم: راهنما در بیان عدم قطعیت در اندازه گیری (GUM:1995). بدنبال استاندارد ISO/IEC Guide 98-3، دو گروه عدم قطعیت داریم: گروه A، مقداری که از اندازه گیری نتیجه گرفته می شود، و گروه B، که به مقصود خاصی تخمین زده می شود. در هر دو گروه، عدم قطعیتها بصورت انحراف معیار بیان می شوند و عدم قطعیتهای استاندارد را نشان می دهند:

a) اندازه گیری شده ها

اندازه گیری شده ها منحنی توان هستند، که با اندازه گیری سری عددی مقادیر نرمالایز شده توان الکتریکی و سرعت باد (۹,۱ و ۹,۲ را ببینید)، و انرژی تولیدی سالیانه تخمین زده شده تعیین می شوند (۹,۳ را ببینید). عدم قطعیتها در اندازه گیری ها با فاکتورهای حساسیت به عدم قطعیت در اندازه گیری شده ها تبدیل می شوند.

b) مولفه های عدم قطعیت

جدول D.1 یک لیست حداقلی از پارامترهای عدم قطعیت که باید در آنالیز عدم قطعیت در نظر گرفته شود ارائه می نماید.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول D-۱: لیست مولفه های عدم قطعیت.

Measured parameter	Uncertainty component	Uncertainty category
Electric power	Current transformers	B
	Voltage transformers	B
	Power transducer or power measurement device	B
	Data acquisition system (see below)	B
	Variability of electric power	A
Wind speed (cup and sonic anemometer)	Anemometer calibration	B
	Classification	B
	Mast flow distortion	B
	Boom flow distortion	B
	Lightning finial	B
	Data acquisition system (see below)	B
	Post calibration / in-situ test	B
Wind speed (remote sensing device)	Verification test for RSD	B
	In-situ test	B
	RSD classification	B
	Mounting effects	B
	Flow variation across probe volume at same height	B
	Monitoring test	B
Rotor equivalent wind speed	Wind shear measurement	B

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

Measured parameter	Uncertainty component	Uncertainty category
	Wind veer measurement	B
Wind direction (vane or sonic)	Calibration	B
	North mark	B
	Boom orientation	B
	Operation (influence of mast)	B
	Magnetic declination angle	B
	Data acquisition system (see below)	B
Wind direction (remote sensing device)	Verification test	B
	Classification	B
	Monitoring test	B
	Flow variation across probe volume at same height	B
	Alignment	B
	Magnetic declination angle	B
	Data acquisition system (see below)	B
Air temperature	Temperature sensor	B
	Radiation shielding	B
	Mounting effects	B
	Data acquisition system (see below)	B
Air pressure	Pressure sensor	B
	Mounting effects	B
	Data acquisition system (see below)	B
Relative humidity	Humidity sensor	B
	Mounting effects	B
	Data acquisition system (see below)	B
Data acquisition system	Signal transmission	B
	System accuracy	B
	Signal conditioning	B
Terrain (no site calibration)	Flow distortion due to terrain	B
Terrain (with site calibration)	Anemometer calibration before test	B
	Post calibration/In-situ calibration	B
	Anemometer classification	B
	Mounting effects	B
	Standard mounting	B
	Alternative mounting	B
	Side mounted	B
	Lightning finial	B
	Data acquisition system (see below)	B
	Change of correction (adjacent wind direction bins)	B
		B
	Removal of wind direction sensor between site calibration and power curve measurement	B
	Seasonal variation	A
	Statistical variability in site calibration	
Method	Air density correction	B
	Wind conditions – missing shear information	B

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

Measured parameter	Uncertainty component	Uncertainty category
	Wind conditions – missing veer information	B
	Wind conditions – missing upflow information	B
	Wind conditions – missing turbulence information	B
	Seasonal effects	B
	Turbulence normalisation (or lack of turbulence normalisation)	B
	Cold climate measurements	B

لازم به تذکر است که فرض ضمنی در این استاندارد روش منحنی توان با سرعت باد در ارتفاع هاب که بازده ۱۰ دقیقه متوسط توان یک توربین بادی است که کاملا با اندازه گیری همزمان ۱۰ دقیقه ای سرعت باد متوسط اندازه گیری شده در ارتفاع هاب و چگالی هوا تشریح می گردد. اگر اینطور نباشد. دیگر متغیرهای جریان بازده توان را تحت تاثیر قرار می دهند و بنابراین توربینهای باد یکسان در محل آزمونهای مختلف حتی اگر سرعت باد در ارتفاع هاب و چگالی هوا یکسان باشند بازده توان متفاوت خواهند داشت. دیگر متغیرها شامل نوسانات آشفتگی سرعت باد هستند (در سه جهت)، انحراف بردار جریان نسبت به افق، مقیاس آشفتگی و برش باد سرعت متوسط بر روی روتور است. تا کنون، ابزار تحلیلی کمک موثری به تشخیص تاثیر این متغیرها ننموده است و بعضی از این متغیرها و روشهای تجربی دارای مشکلات زیادی هستند. در نتیجه منحنی توان از یک محل آزمون تا محل آزمون دیگر متفاوت خواهد بود و بصورت عدم قطعیت ظاهر می گردند. این عدم قطعیت از اختلافات مشاهده شده بازده توان در شرایط تپوگرافی و آب و هوایی متفاوت ناشی می شود، یعنی وقتی اندازه گیری AEP در زمین همگنی را با یک AEP در زمین ناهمگن محل آزمونی مقایسه کنیم. کمی سازی این عدم قطعیتهای واضح مشکل است. با توجه به شرایط محل آزمون و آب و هوا، عدم قطعیت ممکن است تا چندین درصد برسد. بطور کلی، عدم قطعیت ممکن است با افزایش پیچیدگی تپوگرافی افزایش یابد و با افزایش شرایط غیر خنثی جوی نیز افزایش یابد. اگرچه، این بخش استاندارد روشهایی برای به حداقل رساندن این متغیرهای تاثیر گذار معرفی می نماید (برای مثال برش باد و آشفتگی). عدم قطعیت در روشهای تصحیح باید ارزیابی شوند. بنابراین بطور ضمنی این متغیرها معنادار هستند و یک تصحیح اجرا نمی‌شود سپس عدم قطعیت بلکه توصیه می شود برای نبود تصحیح این عدم قطعیت‌ها بحساب آیند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست E : مبانی تئوریک برای تعیین عدم قطعیت اندازه گیری ها با بکارگیری روش سری عددی(تقسیمات)

(آگاهی دهنده)

E-۱ کلیات

در پیوست E، تمام حالات عدم قطعیت از طریق استاندارد ترکیب و تجمیع می شود بمنظور یکپارچه سازی ارزیابی اندازه گیری منحنی توان، تا منحنی توان و AEP محاسبه شده را بپوشاند. بمنظور فراهم نمودن ساختار روشنی از این موضوع، این پیوست بصورت زیر سازمان دهی می گردد. موضوع اصلی بر مبنای بخشهای جداگانه برای هر گروه از مولفه های عدم قطعیت بنا گردیده است، مانند سرعت باد که مولفه های متعددی دارد، بخشهای مختلف در زیر بیان می شوند:

بخش E.2 طرح کلی ریاضی و یک جدول از بررسی اجمالی تمام مولفه های عدم قطعیت و مقادیر پیش فرض آنها را ارائه می نماید.
بخش E.3 گروه A عدم قطعیت هاست.
بخش E.4 گروه B عدم قطعیت هاست – مقدمه و جمع آوری داده ها
بخش E.5 گروه B – توان خروجی
بخش E.6 گروه B – سرعت باد – مقدمه و حسگرها
بخش E.7 گروه B - سرعت باد - RSD
بخش E.8 گروه B - سرعت باد - REWS
بخش E.9 گروه B - سرعت باد - زمین
بخش E.10 گروه B – چگالی هوا
بخش E.11 گروه B - روش
بخش E.12 گروه B – جهت باد
بخش E.13 عدم قطعیت های ترکیبی است.

در این پیوست، یک روش محاسبه برای تجمیع عدم قطعیت‌ها داده شده است، همچنین جداول برای فاکتورهای همبستگی و یک (نه جامع) مثال عددی مرتبط ارائه گردیده است. برای تمام گروه B عدم قطعیت‌ها، شرح داده شده است تا مولفه چه موردی از عدم قطعیت را می پوشاند، نشانه بکار رفته برای هر مولفه آمده است، مراجع به دیگر پیوستها که در مورد مولفه ها بحث می‌کنند با مقدار پیش فرض آمده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۲ عدم قطعیت های ترکیبی

E-۲-۱ کلیات

در این شکل کلی، عدم قطعیت استاندارد ترکیبی توان در سری عددی i، $u_{c,i}$ می تواند بصورت زیر بیان گردد:

$$u_{c,i}^2 = \sum_{k=1}^{M}\sum_{l=1}^{M} c_{k,i}\, u_{k,i}\, c_{l,i}\, u_{l,i}\, \rho_{k,l,i,i} \qquad (E.1)$$

بطوریکه:

$c_{k,i}$ فاکتور حساسیت مولفه k در سری i است.

$u_{k,i}$ مولفه عدم قطعیت استاندارد k در سری i است.

M تعداد مولفه های عدم قطعیت در هر سری است.

$\rho_{k,l,I,j}$ ضریب همبستگی بین مولفه k عدم قطعیت در سری i است.

مولفه عدم قطعیت L در سری j (در بیان، مولفه های k و L هر دو در سری i قرار می گیرند) است. مولفه عدم قطعیت مقدار ورودی مجزا به عدم قطعیت هر پارامتر اندازه گیری شده است. عدم قطعیت استاندارد در انرژی تولیدی سالیانه تخمین زده شده، u_{AEP} ، در شکل بسیار کلی با رابطه زیر بیان گردد:

$$u_{AEP}^2 = N_h^2 \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{M}\sum_{l=1}^{M} f_i\, c_{k,i}\, u_{k,i}\, f_j\, c_{l,j}\, u_{l,j}\, \rho_{k,l,i,j} \qquad (E.2)$$

بطوریکه:

f_i سرعت باد نسبی که در سری i اتفاق می افتد.

N تعداد سری است.

N_h تعداد ساعات در یک سال تقریباً ۸۷۶۰ می باشد.

گاهی ممکن است بطور روشن نتیجه گیری شود که تمام مقادیر ضریب همبستگی $\rho_{k,l,j,i}$ و عموماً ساده سازی معناداری نیاز است. برای اینکه مطالب بیان شده در بالا برای ساده سازی به سطح عملی برای عدم قطعیتهای ترکیبی برسد، فرضیات زیر ممکن است صورت گیرد:

a) مولفه های عدم قطعیت تمام همبسته باشند یعنی ($\rho_{k,l,j,i}$=۱ باشد با فرضیات خطی عدم قطعیت استاندارد ترکیبی بدست می آید) یا مستقل ($\rho_{k,l,j,i}$=۰ باشد مجموع درجه دوم اجرا می شود یعنی عدم قطعیت استاندارد ترکیبی مربع ریشه های مجموع مربعات مولفه های عدم قطعیت است).

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

b) گروه A عدم قطعیت در سری های سرعت باد ناهمبستگی دارند، مادامیکه عدم قطعیت گروه B کاملا در سری سرعت باد همبستگی دارند.

c) فقط عدم قطعیتهای کالیبراسیون محل آزمون مرتبط می باشند: عدم قطعیت گروه A در سری های جهت باد ناهمبستگی دارند، مادامیکه عدم قطعیت گروه B کاملا در سری جهت باد همبستگی دارند.

همبستگی از یک نوع در میان عدم قطعیت اندازه گیری باد در ارتفاعهای متفاوت وقتی محاسبه می شود که عدم قطعیت سرعت باد معادل روتور یا برش باد/ تغییر جهت باد در ارتفاع برای سرعت باد نرمالایز شده باشد و بطور مجزا برای هر مولفه و هر حالت ارزیابی گردد. هر عدم قطعیت ممکن است ابتدا در میان اندازه گیری ارتفاعها برای یک سری مشخص سرعت باد معادل روتور یا برش باد/ تغییر جهت باد در ارتفاع برای سرعت باد نرمالایز شده تجمیع گردد. بعد از این مولفه های عدم قطعیت سرعت باد معادل روتور یا برش باد/ تغییر جهت باد در ارتفاع برای سرعت باد نرمالایز شده می تواند مانند مطالب بالا ذکر شده در a و b عمل گردد. با این فرضیات، عدم قطعیت ترکیبی توان در سری می تواند با رابطه زیر بیان گردد:

$$u_{C,i}^2 = \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 \; s_{k,i}^2 + \sum_{k=1}^{M_B} c_{k,i}^2 \; u_{k,i}^2 = s_i^2 + u_i^2 \qquad \text{(E.3)}$$

M_A تعداد مولفه های عدم قطعیت گروه A است.

M_B تعداد مولفه های عدم قطعیت گروه B است.

$S_{k,i}$ مولفه های عدم قطعیت استاندارد گروه A از مولفه k در سری i است.

s_j عدم قطعیتهای ترکیبی گروه A در سری i است.

u_i عدم قطعیتهای ترکیبی گروه B در سری i است.

تذکر داده شود که عدم قطعیت ترکیبی توان رابطه (E.3) مستقل از اندازه سری نیست زیرا به تعداد بسته داده ها در سری بستگی دارد (معادله (E.10) را ببینید).

فرضیات ایجاب می کند که عدم قطعیت استاندارد ترکیبی در تولید انرژی سالیانه، u_{AEP} بشود:

$$u_{AEP}^2 = N_h^2 \sum_{i=1}^{N} f_i^2 \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 \; s_{k,i}^2 + N_h^2 \sum_{k=1}^{M_B} \left(\sum_{i=1}^{N} f_i \, c_{k,i} \, u_{k,i} \right)^2 \qquad \text{(E.4)}$$

عبارت دوم در معادله بالا برای عدم قطعیت گروه B از طریق عدم قطعیت انرژی سالیانه تولیدی درک می شود، با فرض اینکه همبستگی کامل در سری ها برای مولفه های مجزا موجود باشد. نهایتاً، مولفه های عدم قطعیت ترکیبی بصورت درجه دوم به عدم قطعیت انرژی سالیانه تولیدی اضافه می شود. پیشتر، مولفه های مشخص از گروه A نمی تواند لزوماً با تخمین یا روش معمول بدست آید. برای مثال، مولفه های گروه A کالیبراسیون محل آزمون که ممکن است با آنالیز حساسیت روی انرژی تولیدی سالیانه محاسبه شود. در عمل،

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

گروه B عدم قطعیت نمی تواند معرف همه باشد. بصورت تقریبی، مولفه های عدم قطعیت گروه B به بیان بهتری با رابطه زیر معرفی می گردد:

$$u_{AEP}^2 = N_h^2 \sum_{i=1}^{N} f_i^2 \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 s_{k,i}^2 + N_h^2 \left(\sum_{i=1}^{N} f_i \sqrt{\sum_{k=1}^{M_B} c_{k,i}^2 u_{k,i}^2} \right)^2 = N_h^2 \sum_{i=1}^{N} f_i^2 s_i^2 + N_h^2 \left(\sum_{i=1}^{N} f_i u_i \right)^2 \quad (E.5)$$

u_{AEP} ، که با عبارت بالا بدست می آید برابر یا بزرگتر از مقدار بدست آمده از معادله (E.4) می باشد.

E-۲-۲ عدم قطعیت توسعه یافته

عدم قطعیتهای ترکیبی استاندارد از منحنی توان و AEP ممکن است عدم قطعیتها را توسعه دهد. با ارجاع به ISO/IEC Guide 98-3 و فرض توزیع نرمال، فاصله ها سطوح دارند از سطح اعتماد نشان داده شده در جدول E.1 و می توانیم با ضرب نمودن در فاکتور پوشش که در جدول آمده است به مقادیر دیگری برسیم.

جدول E-۱: عدم قطعیت‌های توسعه یافته.

Level of confidence %	Coverage factor
68,27	1
90	1,645
95	1,960
95,45	2
99	2,576
99,73	3

E-۲-۳ مبانی ارزیابی عدم قطعیت

روش محاسبه با یک تخمین از گروه های عدم قطعیت A و B برای هر سری از اندازه گیری منحنی توان انجام می شود. عدم قطعیت منحنی توان که بدست آمد، نهایتاً عدم قطعیت انرژی تولیدی سالانه (AEP) تخمین زده خواهد شد. لطفا توجه کنید که مثال اینجا، ناشی از اختلافات محاسبات برای رویکردهای اندازه گیری متفاوت شامل نشده است. روش محاسبات بر اساس راهنمای ایزو با فر ضیات بالا قابل انجام است. عدم قطعیت ترکیبی گروه B برای هر پارامتر اندازه گیری شده قابل بیان است، چنانچه برای نمونه سرعت باد بصورت زیر بیان می شود:

$$u_{V,i}^2 = u_{V1,i}^2 + u_{V2,i}^2 + \ldots \quad (E.6)$$

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جاییکه مولفه های عدم قطعیت به مولفه های عدم قطعیت در جدول E.2 برمی گردد، اندیس و نشانه در جدول بکار رفته است. دوماً، عدم قطعیتهای استاندارد اندازه گیری ها می تواند با پارامترهای اندازه گیری عدم قطعیتها در سری i بیان گردد:

$$u_{c,i}^2 = s_{P,i}^2 + c_{V,i}^2 s_{SC,i}^2 + u_{P,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2 + c_{RH,i}^2 u_{RH,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{M,i}^2 \qquad (E.7)$$

بطوریکه:

$S_{p,i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه A از توان در سری i است

$S_{sc,i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه A از کالیبراسیون محل آزمون در سری i است.

$u_{p,i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه B از توان در سری i است.

$u_{V,i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه B از سرعت باد در سری i است.

$u_{T,i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه B از دما در سری i است.

$u_{B,i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه B از فشار در سری i است.

$u_{RH,i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه B از رطوبت نسبی در سری i است.

$u_{M,i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه B از روش در سری i است.

$c_{V,i}$ فاکتور حساسیت سرعت باد در سری i است.

$c_{T,i}$ فاکتور حساسیت دما در سری i است.

$c_{B,i}$ فاکتور حساسیت برای فشار در سری i است.

$c_{RH,i}$ فاکتور حساسیت برای رطوبت نسبی در سری i است.

این همچنین رابطه زیر را می دهد:

$$u_{AEP}^2 = N_h^2 \left(\sum_{i=1}^{N} f_i^2 \left(s_{P,i}^2 + c_{V,i}^2 s_{SC,i}^2 \right) + \left(\sum_{i=1}^{N} f_i \sqrt{u_{P,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2 + c_{RH,i}^2 u_{RH,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{M,i}^2} \right) \right) \qquad (E.8)$$

در معادله بالا، عدم قطعیتها ناشی از سیستم جمع آوری داده ها بخشی از عدم قطعیت هر پارامتر اندازه گیری هستند. منحنی توان اندازه گیری شده، در جدول ۴ و شکل ۶ نشان داده شده است، برای محاسبه عدم قطعیت در این پیوست بکار می روند.

نتایج آنالیز عدم قطعیت مثال در شکل ۶ نشان داده شده است، و جداول ۴ و ۵ آمده است. همه فاکتورهای حساسیت در جدول E.10 و عدم قطعیتهای گروه B در جدول E.11 آمده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول E-۲: لیست عدم قطعیتهای گروه A و گروه B.

Category B: Instruments	Note	Uncertainty	Sensitivity	Magnitude
Power output		$u_{P,i}$	$c_{P,i} = 1$	
Current transformers	a	$u_{P,CT,i}$		0,75 %
Voltage transformers	a	$u_{P,VT,i}$		0,5 %
Power transducer or power measurement device	a	$u_{P,PT,i}$		0,5 %
DAQ (see E.4.2)	d	$u_{dP,i}$		0,1 % to 0,2 %
Wind speed		$u_{V,i}$		
Wind speed measurement		$u_{VHW,i}$		
Wind speed (cup or sonic)		$u_{VS,i}$		
Calibration	b	$u_{VS,precal,i}$	For the AEP uncertainty (and for the last bin of the power curve uncertainty) use:	From calibration
Post calibration / In-situ	b	$u_{VS,postcal,i}$		0,2 m/s
Classification	c	$u_{VS,class,i}$		1,0 %
Mounting effects			$c_{V,i} \approx \frac{P_i - P_{i-1}}{V_i - V_{i-1}}$	
Single top-mounted	d	$u_{VS,mnt,i}$		0,5 %
Side-by-side mounted	d	(same)	For the power curve uncertainty, use:	1,0 %
Side-mounted	d	(same)		1,5 %
Lightning finial	d	$u_{VS,lgt,i}$	$c_{V,i} \approx \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{(P_{i+1} - P_i)}{(V_{i+1} - V_i)} + \frac{(P_i - P_{i-1})}{(V_i - V_{i-1})} \right)$	0,1 % to 0,2 %
DAQ (see E.4.2)	d	$u_{dVS,i}$		0,1 % to 0,2 %
Wind speed (RSD)		$u_{VR,i}$	$c_{V,i}$ (see above)	
Calibration	bc	$u_{VR,ver,i}$		2 % to 3 %
In-situ check	c	$u_{VR,isc,i}$		See E.7.3
Classification	c	$u_{VR,class,i}$		1,0 % to 1,5 %
Mounting	c	$u_{VR,mnt,i}$		0,1 %
Flow variation in different probe volumes at same height	d	$u_{VR,flow,i}$		2 % to 3 % see E.7.6
Monitoring test	c	$u_{VR,mon,i}$		0,5 %
Rotor equivalent wind speed		$u_{REWS,i}$	$c_{V,i}$ (see above)	
Wind shear	c	$u_{REWS,shear,i}$		See E.8.2
Wind veer	c	$u_{REWS,veer,i}$		See E.8.3
Wind speed – Terrain effects		$u_{VT,i}$	$c_{V,i}$ (see above)	
Without site calibration				
Flow distortion due to terrain	d	$u_{VT,i}$	$c_{V,i}$ (see above)	2 % or 3 % (offshore 1 % or 2 %)
With site calibration				
Anemometer calibration	b	$u_{VT,precal,i}$		From calibration
Post calibration / In-situ	b	$u_{VT,postcal,i}$		0,2 m/s
Anemometer classification	c	$u_{VT,class}$		1,0 %
Mounting effects				
Single top-mounted	d	$u_{VT,mnt,i}$		0,5 %
Side-by-side mounted	d	(same)		1,0 %
Side-mounted	d	(same)		1,5 %
Lightning finial	d	$u_{VT,lgt,i}$		0,1 % to 0,2 %

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

Category B: Instruments	Note	Uncertainty	Sensitivity	Magnitude
DAQ (see E.4.2)	d	$u_{dVT,i}$		0,1 % to 0,2 %
Change of correction (adjacent wind **direction** bins)	c	$u_{VT,coc,i}$		See E.9.8
Removal of wind direction sensor between site calibration and power curve measurement	c	$u_{VT,rmv,i}$		See E.9.9
Seasonal variation	c	$u_{VT,sv,i}$		See E.9.10
Air density		$u_{AD,i}$		
Temperature		$u_{T,i}$	$c_{T,i}$ (see E.10.2)	
Temperature sensor	ab	$u_{T,cal,i}$		0,4 K to 0,6 K
Radiation shielding	cd	$u_{T,shield,i}$		1,5 K to 2,5 K
Mounting effects	cd	$u_{T,mnt,i}$		0,25 K to 0,4 K
DAQ (see E.4.2)	c	$u_{dT,i}$		0,1 % to 0,2 %
Air pressure		$u_{B,i}$	$c_{B,i}$ (see E.10.7)	
Pressure sensor	ab	$u_{B,cal,i}$		2 hPa to 4 hPa
Mounting effects	a	$u_{B,mnt,i}$		10 % of correction
DAQ (see E.4.2)	c	$u_{dB,i}$		0,1 % to 0,2 %
Relative Humidity		$u_{RH,i}$	$c_{RH,i}$ (see E.10.11)	
Humidity sensor	ab	$u_{RH,cal,i}$		1 % to 2 % (RH)
Mounting effects	cd	$u_{RH,mnt,i}$		0,1 % to 0,2 %
DAQ (see E.4.2)	c	$u_{dRH,i}$		0,1 % to 0,2 %
Method Air density normalisation	cd	$u_{AD,method,i}$	$c_{AD,method,i} = c_{V,,i}$ (for actively regulated turbines) $c_{AD,method,i} = c_{V,,i} = 1$ (for stall regulated turbines)	0,2 % to 0,3 % on wind speed
Method		$u_{M,i}$	$c_{V,i}$ (see above)	
Wind conditions	d	$u_{M,wc,i}$		See E.11.2.1 bullet a) or b).
Wind conditions – wind shear	d	$u_{M,shear,i}$		See E.11.2.2
Wind conditions – wind veer	d	$u_{M,veer,i}$		See E.11.2.3
Wind conditions – upflow	d	$u_{M,upflow,i}$		See E.11.2.4
Wind conditions – turbulence	d	$u_{M,ti,i}$		0,3 % to 0,5 % (only for RSD with lower met mast) See E.11.2.5
Seasonal effects	d	$u_{M,sfx,i}$		0,7 % See E.11.3
Turbulence normalisation	d	$u_{M,tinorm,i}$		See E.11.4
Cold climate	d	$u_{M,cc,i}$		0,5 % to 1 %
Wind direction				
Wind direction vane / sonic		$u_{WV,i}$	None (see E.12.2.1)	
Calibration	b	$u_{WV,cal,i}$		See E.12.2.1
North mark	c	$u_{WV,nm,i}$		See E.12.2.2
Boom orientation	d	$u_{WV,bo,i}$		See E.12.2.3
Operation (influence of mast)	c	$u_{WV,oe,i}$		See E.12.2.4

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

Category B: Instruments	Note	Uncertainty	Sensitivity	Magnitude
Magnetic declination angle	c	$u_{WV,mda,\,i}$		See E.12.2.5
DAQ (see E.4.2)	c	$u_{dWV,\,i}$		See E.12.2.6
Wind direction (RSD)		$u_{WR,\,i}$	None (see E.12.3)	
Verification	ab	$u_{WR,ver,\,i}$		See E.12.3.1
Classification	c	$u_{WR,class,\,i}$		See L.4.4
Monitoring test	c	$u_{WR,mon,\,i}$		See E.12.3.2
Flow variation in different probe volumes at same height	c	$u_{WR,fv,\,i}$		See E.12.3.3
Alignment	d	$u_{WR,align,\,i}$		See E.12.3.4
Magnetic declination angle	c	$u_{WR,mda,\,i}$		See E.12.3.5
DAQ (see E.4.2)	c	$u_{dWR,\,i}$		See E.12.3.6
Category A: Statistical				
Electric power	e	$s_{P,I}$	$c_{P,i} = 1$	
Site calibration	e	s_{sc}	$c_{V,i}$ (see above)	

NOTE Identification of uncertainties:
a = reference to standard;
b = calibration;
c = other "objective" method";
d = "guesstimate";
e = statistics.				

دامنه های داده شده برای مولفه های عدم قطعیت در جدول E.2 توصیه می شود در نظر گرفته شود. مولفه های عدم قطعیت نباید صفر در نظر گرفته شوند مگر اینکه مرتبط نباشند به بخش E.14 رجوع شود. همچنین، مهم است توجه کنید که عدم قطعیت جهت باد مستقیما مولفه های عدم قطعیت منحنی توان یا AEP را تحت تاثیر قرار نمی دهد (مگر نرمالیزاسیون انحراف مسیر باد اجرا شده باشد). اگرچه، عدم قطعیت جهت باد که اینجا در نظر گرفته می شود مهم است بدانیم چگونه فیلتر بخشهای اندازه گیری و کالیبراسیون محل آزمون برای داده ها اجرا گردیده است. چنانچه گزارش عدم قطعیت جهت باد ارائه شود، این جدول حداقل اطلاعات را برای مولفه های عدم قطعیت خواهد داد. فاکتور پوشش از پیش فرض شده یک است و برای مولفه های عدم قطعیت گاهی بکار می رود.

E-۳ عدم قطعیت گروه A

E-۳-۱ کلیات

عدم قطعیتهای گروه A نسبت به توان الکتریکی اندازه گیری شده و نرمالایز شده، همچنین نسبت به تغییرات آب و هوایی و کالیبراسیون محل آزمون باید در نظر گرفته شود.

E-۳-۲ عدم قطعیت گروه A، توان الکتریکی

انحراف معیار توزیع نرمالایز شده داده های توان در هر سری با معادله زیر محاسبه می شود:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$$\sigma_{P,i} = \sqrt{\frac{1}{N_i - 1} \sum_{j=1}^{N_i} (P_i - P_{n,i,j})^2} \qquad (E.9)$$

بطوریکه:

$\sigma_{P,i}$ انحراف معیار داده های توان نرمالایز شده در سری i است.

N_i تعداد داده های در ۱۰ دقیقه در سری i است.

P_i توان خروجی نرمالایز شده و متوسط گیری شده در سری i است.

$P_{n,j}$ توان خروجی نرمالایز شده همه داده های j در سری i است.

عدم قطعیت توان نرمالایز شده و متوسط گیری شده در سری تخمین زده می شود با کمک معادله زیر:

$$s_i = s_{P,i} = \frac{\sigma_{P,i}}{\sqrt{N_i}} \qquad (E.10)$$

بطوریکه:

$S_{P,i}$ عدم قطعیت گروه برای توان در سری است.

$\sigma_{P,i}$ انحراف معیار داده های توان نرمالایز شده در سری i است.

N_i تعداد داده های در ۱۰ دقیقه در سری i است.

E-۳-۳ عدم قطعیت گروه A، در کالیبراسیون محل آزمون

پسماندهای سرعت باد بین کالیبراسیون تصحیح شده محل آزمون و اندازه گیری شده در محل دکل هواشناسی برای تعیین عدم قطعیت گروه A از کالیبراسیون محل آزمون بکار می روند. به C.6.1 برای روش مشتق گیری رجوع کنید.

E-۴ عدم قطعیت گروه B: مقدمه و سیستم جمع آوری داده ها

E-۴-۱ عدم قطعیت گروه B، مقدمه

عدم قطعیتهای گروه B فرض می شوند به تجهیزات ، سیستم جمع آوری داده ها، زمین اطراف محل آزمون تست عملکرد توان، شرایط باد و عدم قطعیت مربوط به روش اجرایی ارتباط دارند. اگر عدم قطعیتها مانند حدود عدم قطعیت بیان شوند، یا ضمنی باشند، فاکتورهای پوشش غیر یک باشند، عدم قطعیت استاندارد باید تخمین زده شود یا آنها باید کاملا به عدم قطعیتهای استاندارد تبدیل شوند. یک عدم قطعیت مانند یک حد عدم قطعیت $\pm U$ در نظر بگیرید. اگر توزیع احتمال مربعی فرض شود، عدم قطعیت استاندارد می شود:

$$\sigma = \frac{U}{\sqrt{3}} \qquad (E.11)$$

اگر توزیع احتمال مثلثی فرض شود، عدم قطعیت استاندارد هست:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$$\sigma = \frac{U}{\sqrt{6}} \qquad (E.12)$$

E-۴-۲ عدم قطعیت گروه B: سیستم جمع آوری داده ها

عدم قطعیتهای مربوط به جمع آوری داده ها تحت فرآیند سیگنالهای خاص بررسی می گردد. عدم قطعیت توان الکتریکی یک جزء برای جمع آوری داده را اضافه می نماید و همینطور برای سرعت باد و دیگر سیگنالهای اندازه گیری شده همینطور است. ما در این پیوست فرض می کنیم سیستم جمع آوری داده ها یک عدم قطعیت استاندارد $u_{d,i}$ به مقدار ۰٫۱٪ از تمام دامنه هر کانال اندازه گیری دارد. اگرچه، برای گزارش دهی تست عملکرد توان عدم قطعیت جمع آوری داده ها باید برای یک برپایی خاص تخمین زده شود، شامل حداقل توزیعات عدم قطعیت جمع آوری داده ذکر شده در E.4.2 باشد. ممکن است عدم قطعیتهای ناشی از انتقال، شرایط سیگنال، آنالوگ به دیجیتال، و فرآوری داده ها در سیستم جمع آوری داده ها باشند. عدم قطعیتها ممکن است برای هر کانال اندازه گیری متفاوت باشد. عدم قطعیت استاندارد سیستم جمع آوری داده ها برای کل دامنه کانال اندازه گیری با رابطه زیر بیان می گردد:

$$u_{d,i} = \sqrt{u_{d,ST,i}^2 + u_{d,SA,i}^2 + u_{d,SC,i}^2} \qquad (E.13)$$

بطوریکه:

$u_{d,ST,i}$ عدم قطعیت ناشی از انتقال سیگنال در سری i است.

$u_{d,SA,i}$ عدم قطعیت ناشی از دقت سیستم در سری i است.

$u_{d,SC,i}$ عدم قطعیت ناشی از وضعیت دهی سیگنال در سری i است.

اگرچه فرض ۰٫۱٪ برای عدم قطعیت استاندارد در دامنه کامل کانال اندازه گیری در بسیاری از حالات منطقی بنظر میرسد، سخت افزار خاص و شرایط خاص می تواند باعث شود این مقدار زیادتر باشد. بمنظور اطمینان از اینکه عدم قطعیت سیستم جمع آوری داده ها قابل صرف نظرکردن نیست در مقایسه با عدم قطعیت حسگرها (که بعنوان راهنما توصیه می شود به یک فاکتور ۱۰ در مقدار وقتی مقایسه با عدم قطعیتهای استاندارد می نماییم) یک ارزیابی از عدم قطعیت واقعی سیستم جمع آوری داده ها باید انجام شود.

E-۵ عدم قطعیت گروه B: توان خروجی

E-۵-۱ کلیات

عدم قطعیتهای گروه B توان خروجی بر مبنای چهار مولفه مختلف عدم قطعیت که اینجا معرفی می گردد بنا شده است. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{P,i}$ است. عدم قطعیت اندازه گیری توان از طرف جریان و ولتاژ

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

ترانسفورماتور و ترانسیدیوسر توان یا دیگر وسایل اندازه گیری توان متاثر می گردد. مولفه عدم قطعیتها عموماً برمبنای طبقه بندیشان تفسیر می شوند. نهایتاً مولفه عدم قطعیت مرتبط به جمع آوری داده های سیگنال توان باید به آن اضافه گردد.

E-۵-۲ عدم قطعیت گروه B: توان خروجی- جریان ترانسفورماتور

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت ناشی از مبدل جریان است و بوسیله طبقه بندی حسگرها پشتیبانی می شود. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{P,CT,i}$ است. در این پیوست، مبدل جریان و ترانسدیوسر توان همه از کلاس ۰٫۵ فرض می شوند که حداقل کلاس قابل قبول برای اندازه گیری منحنی توان بر مبنای این استاندارد است. مبدل جریان از کلاس ۰٫۵ (بار نامی مبدل جریان که اینجا طراحی گردیده است به توان نامی ۲۰۰۰ کیلووات، و ۱۲۵ ٪ توان نامی نمی باشد). عدم قطعیت اینها دامنه دارند، بازگشت به استاندارد IEC 61689-2، از ۰٫۵٪± جریان در ۱۰۰٪ بار است.

در ۲۰ ٪ بار حد عدم قطعیت ۰٫۷۵٪± و برای ۵٪ بار ۱٫۵٪ ± از جریان است. اندازه گیریهای عملکرد توان روی توربین بادی نشان می دهد، بیشترین انرژی تولیدی در توان کاهشی رخ می دهد. بنابراین، ما حد عدم قطعیت را حدود ۰٫۷۵٪ ± از جریان در ۲۰٪ بار بعنوان یک میانگین خوب در نظر می گیریم. توزیع احتمالی عدم قطعیت برای مبدل جریان بصورت احتمال چهارگوش در نظر گرفته می شود. اگر مبدلهای جریان در حلقه ثانویه دارای عملکردی در حدود بار خودشان نباشند، عدم قطعیت اضافی باید در نظر گرفته شود. فرض بر این است که عدم قطعیتها برای همه مبدلهای جریان متناسب است (با رابطه زیر با فرض ۳ فاز، مبدل جریان در مسیر هر یک به اندازه یک سوم در توان اندازه گیری شده موثر است) با رابطه زیر عدم قطعیت جریان در رابطه با توان بیان می شود:

$$u_{P,CT,i} = \frac{0{,}75\ \% \cdot P_i\ [\mathrm{kW}]}{\sqrt{3}} \frac{1}{3} 3 = 0{,}43\ \% \cdot P_i\ [\mathrm{kW}] \qquad (E.14)$$

E-۵-۳ عدم قطعیت گروه B: توان خروجی- ولتاژ ترانسفورماتور

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت ناشی از ولتاژ ترانسفورماتور بوده و بوسیله طبقه بندی حسگر تعیین می گردد. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{P,VT,i}$ است. در این پیوست، ترانسفورماتور ولتاژ و ترانسدیوسر توان همه از کلاس ۰٫۵ فرض می شوند که حداقل کلاس قابل قبول برای اندازه گیری منحنی توان بر مبنای این استاندارد است. ترانسفورماتور ولتاژ از کلاس ۰٫۵ دامنه عدم قطعیت دارند، بازگشت به استاندارد IEC 61869-3، از ۰٫۵٪± ولتاژ در همه بارها است. توزیع احتمالی عدم قطعیت برای تراسفورماتور ولتاژ بصورت احتمال چهارگوش در نظر گرفته می شود. اگر مبدلهای ولتاژ در حلقه ثانویه دارای عملکردی در حدود بار خودشان نباشند، عدم قطعیت اضافی باید در نظر گرفته شود. ولتاژ شبکه عموماً ثابت و مستقل از توان توربین باد در نظر گرفته می شود. فرض بر این است که عدم قطعیت سه ترانسفورماتور ولتاژ مانند سه

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

ترانسفورماتور جریان است، چنانچه بوسیله عوامل بیرونی تاثیر پذیرند، بطور مثال درجه حرارت هوا، فرکانس شبکه برق و غیره تاثیر گذارند. بنابراین فرض می شود که همه همبسته هستند و بصورت خطی اضافه می شوند. چون هر تراسفورماتور ولتاژ بصورت یک سوم توان اندازه گیری شده است، بنابراین نتیجه می گیریم که رابطه زیر عدم قطعیت ولتاژ برای مبدل ولتاژ را متناسب با توان بیان نماییم (هر ولتاژ به یک سوم توان اندازه گیری شده بر می گردد):

$$u_{P,VT,i} = \frac{0{,}5\ \% \cdot P_i\ [\mathrm{kW}]}{\sqrt{3}}\ \frac{1}{3}3 = 0{,}29\ \% \cdot P_i\ [\mathrm{kW}] \qquad (E.15)$$

E-۵-۴ عدم قطعیت گروه B: توان خروجی- ابزارهای اندازه گیری توان

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت ناشی از ترانسدیوسر توان است چنانکه بوسیله طبقه بندی حسگرها پشتیبانی می شود. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{P,PT,i}$ است. در این پیوست، ترانسدیوسر توان از کلاس ۰٫۵ فرض می شود، بازگشت به استاندارد IEC 60688، با یک توان نامی ۲۵۰۰ کیلووات (توان نامی به توانی ۲۰۰۰ کیلووات، و ۱۲۵٪ توان نامی می باشد) حد عدم قطعیت ۱۲٫۵ کیلووات می شود. استاندارد توزیع احتمالی عدم قطعیت برای توان بصورت احتمال چهارگوش در نظر گرفته می شود. عدم قطعیت توان ترانسدیوسر می شود:

$$u_{P,PT,i} = \frac{12{,}5\ \mathrm{kW}}{\sqrt{3}} = 7{,}2\ \mathrm{kW} \qquad (E.16)$$

E-۵-۵ عدم قطعیت گروه B: توان خروجی- سیستم جمع آوری داده ها

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط به سیستم جمع آوری داده های سیگنال توان است. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{dP,i}$ است. مقدار این مولفه یک مقدار پیش فرض ۰٫۱٪ تا ۰٫۲٪ از تمام دامنه سیستم جمع آوری داده ها را دارد. با در نظر گرفته دامنه توان اندازه گیری برای یک توربین ۲ مگاوات برابر با ۳ مگاوات و یک عدم قطعیت سیستم جمع آوری داده ۰٫۱٪ از این دامنه نتیجه می گیریم که عدم قطعیت ۳ کیلووات می شود.

E-۶ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد: مقدمه و حسگرها

E-۶-۱ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد- مقدمه

عدم قطعیت سرعت باد شامل سه جزء است، هر یک از اینها نیز شامل چندین زیر جزء می شوند. سه جزء اصلی عبارتند از:

a) عدم قطعیت مربوط به بکارگیری سخت افزار (فنجانی، صوتی و سنجش از راه دور).

b) عدم قطعیت مربوط به انحراف جریان ناشی از زمین.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

c) عدم قطعیت مربوط به روش اجرا.

نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{V,i}$ است. مولفه های این عدم قطعیت و زیر مولفه های آن در زیربخشهای بعدی معرفی می گردند. فاکتور حساسیت، $c_{V,i}$ در جدول E.2 مشخص گردیده است.

E-۶-۲ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – سخت افزار

عدم قطعیت سرعت باد در ارتباط با سخت افزار شامل سه جزء است، هر یک نیز خودشان شامل زیر مجموعه می باشند. این سه جزء عبارتند:

a) عدم قطعیت مربوط به حسگرهایی که بر روی دکل هواشناسی قرار می گیرند (بادسنج فنجانی و بادسنج صوتی).
b) عدم قطعیت مربوط به وسایل سنجش از راه دور (RSD).
c) عدم قطعیت مربوط به سرعت باد معادل روتور (REWS).

نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{VHW,I}$ است.

E-۶-۳ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – حسگرهای نصب شده روی دکل هواشناسی

E-۶-۳-۱- کلیات

این مولفه عدم قطعیت برای بیان عدم قطعیت مربوط بکارگیری بادسنج فنجانی و بادسنج صوتی بر روی دکل هواشناسی است (در بالا یا در کناره نصب شود). نشان این مولفه عدم قطعیت $u_{VS,i}$ است (V سرعت باد و S برای حسگر است). این مولفه عدم قطعیت شش زیر جزء دارد:

a) مولفه عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون حسگر قبل از شروع تست عملکرد توان.
b) مولفه عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون حسگر در مدت یا بعد از تست عملکرد توان.
c) مولفه عدم قطعیت مربوط به مشخصات کارکردی چنانچه با طبقه بندی حسگر بیان می گردند.
d) مولفه عدم قطعیت مربوط به نصب حسگر.
e) مولفه عدم قطعیت مربوط به نصب صاعقه گیر.
f) مولفه عدم قطعیت مربوط به جمع آوری داده های سیگنال از حسگر.

E-۶-۳-۲- عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – حسگرهای دکل – پیش کالیبراسیون

مولفه عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون حسگر قبل از شروع تست است. این شامل تغییر پذیری تستهای تکراری یک مجموعه تست همچنین تغییر پذیری تستهای تکراری بین مجموعه های مختلف است. نشان این مولفه عدم قطعیت $u_{VS,precal,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست F در این استاندارد بحث گردیده

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

است. برای یک تست عملکرد توان خاص، مقادیر ذکر شده برای کالیبراسیون حسگرها برای محاسبه عدم قطعیت بکار می رود.

E-۶-۳-۳- عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – حسگرهای دکل – پسا کالیبراسیون

مولفه عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون حسگر درجا و یا پسا کالیبراسیون حسگر در مدت و یا بعد از تست است. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{VS,postcal,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست K در این استاندارد بحث شده است. اگر کالیبراسیون درجا در زمان تست عملکرد توان اجرا شود و پسا کالیبراسیون بعد از تست عملکرد توان انجام گردد، مقدار برای مولفه عدم قطعیت باید از پسا کالیبراسیون گرفته شود. اگر پسا کالیبراسیون انجام شود، مقدار مولفه عدم قطعیت باید حداکثر اختلاف بین پیش و پسا کالیبراسیون در دامنه سرعت باد از ۴ تا ۱۲ متر بر ثانیه، حداکثر تا ۰٫۲ متر بر ثانیه باشد. بهترین تخمین از مقدار کالیبراسیون برای حسگر خاص متوسط کالیبراسیونهاست، در محدوده بزرگ کالیبراسیونها مقدار متوسط به سمت مرکز توزیع همگرا می شود. مطالب بالا تاکید و مقدار عدم قطعیت ۰٫۲ متر بر ثانیه در محدوده سرعت باد ۴ تا ۱۲ متر بر ثانیه مطابق پیوست K است.

E-۶-۳-۴- عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – حسگرهای دکل – طبقه بندی

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط به مشخصات عملکردی حسگر است چنانچه بوسیله طبقه بندی حسگر تعیین می شود. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{VS,class,i}$ است. این عدم قطعیت در پیوست I در این استاندارد بحث شده است. این مقدار از این عدم قطعیت از گزارش طبقه بندی گرفته شود. اگر جریان به بالا اندازه گیری نگردد، انطباق با کلاس دقت باید بر شیب زمین محل و جهت باد به صفحه زمین با فاصله ۵ برابر ارتفاع اندازه گیری نسبت به موقعیت تجهیزات اندازه گیری طبق IEC 61400-1:2005 و بخش ۱۱,۹، اجرا گردد. عدم قطعیت عملیاتی بادسنج مرجع (از یک کالیبراسیون محل آزمون) به این مولفه عدم قطعیت اضافه می گردد. این دامنه ها بعضی یا همه عدم قطعیت بادسنج مرجع از کالیبراسیون محل آزمون را در بر می گیرد، تاثیر حسگر مرجع روی دکل هواشناسی در هنگام کالیبراسیون محل آزمون یا در طی تست منحنی توان متفاوت می باشد. بطور پیش فرض نصف عدم قطعیت عملیاتی بادسنج مرجع و همه عدم قطعیت عملیاتی بادسنج توربین در مدت کالیبراسیون محل آزمون و نصف عدم قطعیت عملیاتی بادسنج در طی تست منحنی توان باید اضافه گردد. اینها باید با بکارگیری رویکرد مجموع مربعات ریشه اضافه گردد.

E-۶-۳-۵- عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - حسگرهای دکل - نصب

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط به مشخصات نصب حسگر است. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{VS,mnt,i}$ است. این عدم قطعیت در پیوست G و همچنین در بخش۷,۲,۴ و ۹,۱,۲ این استاندارد

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بحث شده است. این مولفه عدم قطعیت دارای سه مقدار پیش فرض متناسب با سه حالت نصب مجاز طبق پیوست G (تکی در بالای دکل، کنار به کنار هم در بالای دکل یا کنار دکل نصب شده باشد) می باشد. برای بادسنج بالای دکل، مقدار پیش فرض برای این عدم قطعیت ۰٫۵٪ از سرعت باد اندازه گیری شده است. برای بادسنج کنار به کنار بالای دکل، مقدار پیش فرض برای این عدم قطعیت ۱٪ است.
برای بادسنج کنار دکل، مقدار پیش فرض برای این عدم قطعیت یکی از موارد زیر است:

- مقدار پیش فرض برای این عدم قطعیت ۱٫۵٪ از سیگنال اندازه گیری شده برای سیگنال جریان تصحیح نشده است.
- برای سیگنال جریان تصحیح شده طبق ۷,۲,۴ و ۹,۱,۲ (تصحیح انحراف جریان دکل) مقدار پیش فرض برای این عدم قطعیت مجموع مربعات ریشه های نصف متوسط مقادیر تصحیح شده سیگنال سرعت باد است و ۰٫۵٪ از سیگنال اندازه گیری شده است. تاثیرات گردابه باید برای تصحیح صرف نظر گردد.

همین اصول تصحیح می تواند به بادسنجهای نصب شده در بالای دکل در حالتی که دو طرف تیرک افقی نصب شده باشد اجرا گردد، با همان مقدار پیش فرض سیگنال جریان تصحیح شده باشد.

E-۶-۳-۶- عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – حسگرهای دکل – اتصال صاعقه

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط به مشخصات نصب اتصال صاعقه بالای دکل است و تاثیرش روی بادسنج بالای دکل وقتی که الزامات بخش G.5 برای نصب اتصال صاعقه برآورده نگردد. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{VS,lgt,i}$ است. مقدار پیش فرض این عدم قطعیت ۰٫۱٪ تا ۰٫۲٪ از سیگنال سرعت باد است.

E-۶-۳-۷- عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – حسگرهای دکل – جمع آوری داده ها

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط به مشخصات جمع آوری داده ها از سیگنال سرعت باد است. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{dvS,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در قسمت E.4.2 این استاندارد بحث شده است. مقدار پیش فرض این عدم قطعیت ۰٫۱٪ تا ۰٫۲٪ از تمام دامنه سیگنال سرعت باد اندازه گیری شده است. با در نظر گرفتن دامنه سرعت باد ۳۰ متر بر ثانیه از کانال اندازه گیری شده و عدم قطعیت سیستم جمع آوری داده ها از ۰٫۱٪ این دامنه، عدم قطعیت استاندارد از جمع آوری داده ها ۰٫۰۳ متر بر ثانیه است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۷ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD

E-۷-۱ مقدمه

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با بکارگیری سنجش از راه دور برای اندازه گیری سرعت باد است (LIDAR & SODAR). نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VR,i}$ (V سرعت باد و R برای وسیله سنجش از راه دور است). این مولفه عدم قطعیت شش زیر جزء را دارد :

a) عدم قطعیت مرتبط به بازبینی وسیله.
b) عدم قطعیت مرتبط به بازرسی در محل وسیله.
c) عدم قطعیت مرتبط به مشخصات عملیاتی وسیله چنانچه بوسیله طبقه بندی تعیین می شود.
d) عدم قطعیت مرتبط به نصب وسیله.
e) عدم قطعیت مرتبط به تغییر جریان در حجمهای متفاوت پویشگر در یک ارتفاع.
f) عدم قطعیت مرتبط به پایش آزمون.

E-۷-۲ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – کالیبراسیون

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با کالیبراسیون وسایل سنجش از راه دور است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VR,ver,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست L است. پیش از اندازه گیری یک کالیبراسیون طبق پیوست L باید انجام شود و عدم قطعیتهای آن ارزیابی گردد (برای جزئیات به بخش L.4.3 مراجعه شود). اگر عدم قطعیتها برای اندازه گیری دقیق ارتفاع موجود نباشد، پیشنهاد می گردد عدم قطعیتها را میان یابی نماییم. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۱ تا ۳ درصد از سرعت باد اندازه گیری شده است.

E-۷-۳ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – بازبینی درجا

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با بازبینی وسایل سنجش از راه دور است، فقط برای RSD با ارتفاع کمتر از هاب دکل اجرا می گردد. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VR,isc,i}$ است. در پیوست K تست درجا توضیح داده شده است، که سیستم RSD اندازه گیری اصلی است و بادسنج روی دکل بعنوان بادسنج ناظر با همان محدودیت عدم قطعیت است.

E-۷-۴ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – طبقه بندی

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با طبقه بندی وسایل سنجش از راه دور است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VR,class,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست L آمده است. این عدم قطعیت

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

که مربوط به مشخصات عملکردی طبقه بندی RSD است شیبها و دامنه های متغیرهای محیطی را فراهم می نماید. سه راه برای محاسبه عدم قطعیت ناشی از این متغیرها وجود دارد :

۱- متغیرهای محیطی که در هنگام اندازه گیری بدست می آیند : (طبق معادله (L.6) از پیوست L است.)

$$u_{VR,class,i} = v_i \sqrt{\sum_{j=1}^{M} \left(\frac{m_j}{100} \cdot \left| \bar{x}_{PC,j,i} - \bar{x}_{ver,j,i} \right| \right)^2} \qquad (E.17)$$

جاییکه:

V_i سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاع i است.

M تعداد متغیرهای محیطی در نظر گرفته شده که تاثیر مرتبط با دقت وسیله اندازه گیری از راه دور طبق طبقه بندی تست دارند.

m_j معرف شیب است که حساسیت اندازه گیری سرعت باد توسط وسیله سنجش از راه دور را روی متغیر محیطی j با ترکیبی از نتایج حداقل سه تست طبقه بندی بیان می نماید.

$\bar{x}_{PC,j,i}$ متوسط متغیر محیطی j در سری سرعت باد i است چنانچه در هنگام تست منحنی توان وجود دارد.

$\bar{x}_{ver,j,i}$ متوسط متغیر محیطی j در سری سرعت باد i است چنانچه در هنگام تست عملکرد وسیله سنجش از راه دور وجود دارد.

۲- متغیر محیطی در هنگام اندازه گیری سنجش نمی شود:

$$u_{VR,class,i} = v_i \sqrt{\sum_{j=1}^{M} \left(\frac{m_j}{100} \cdot \frac{\max\left(\left| x_{min,j,i} - \bar{x}_{ver,j,i} \right|, \left| x_{max,j,i} - \bar{x}_{ver,j,i} \right| \right)}{\sqrt{3}} \right)^2} \qquad (E.18)$$

جاییکه:

V_i سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاع i است.

M تعداد متغیرهای محیطی در نظر گرفته شده که تاثیر مرتبط با دقت وسیله اندازه گیری از راه دور طبق طبقه بندی تست دارند.

m_j معرف شیب است که حساسیت اندازه گیری سرعت باد توسط وسیله سنجش از راه دور را روی متغیر محیطی j با ترکیبی از نتایج حداقل سه تست طبقه بندی بیان می نماید.

$x_{min,j,i}$ حد دامنه پایین متغیر محیطی j در سری سرعت باد i است چنانچه اندازه گیری نداریم.

$x_{max,j,i}$ حد دامنه پایین متغیر محیطی j در سری سرعت باد i است چنانچه اندازه گیری نداریم.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$\bar{x}_{ver,j,i}$ متوسط متغیر محیطی j در سری سرعت باد i است چنانچه در هنگام تست عملکرد وسیله سنجش از راه دور وجود دارد.

۳- اگر یک دامنه ثابت مورد انتظار باشد:

$$u_{VR,class,i} = v_i \frac{\text{accuracy class}}{\sqrt{3}} \qquad \text{(E.19)}$$

تذکر: این معادله دقیق نیست زیرا تغییرات متغیر محیطی قبلاً درعدم قطعیت گروه A منحنی توان آمده است.

طبق L.4.4 ، $u_{VR,class}$ عدم قطعیت برابر صفر می شود اگر بررسی تست شامل همان داده ها منحنی توان باشد. از پیوست L بخش L.4.4 جزئیات بیشتر را مشاهده نمایید. مقادیر پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۱ تا ۱,۵ درصد سرعت باد اندازه گیری شده است.

E-۷-۵ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – نصب

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با نصب وسایل سنجش از راه دور است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VR,mnt,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست L آمده است. عدم قطعیت وسیله سنجش از راه دور ناشی از ایده آل نبودن تراز وسیله باید تخمین زده شود. عدم قطعیت بستگی به نوع وسیله بکار رفته دارد. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰٫۱٪ از سرعت باد اندازه گیری شده است.

E-۷-۶ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – تغییر جریان

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تغییرات جریان در محدوده حجم اندازه گیری وسایل سنجش از راه دور است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VR,flow,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست L آمده است. استفاده کننده توصیه می شود با سازنده وسیله سنجش از راه دور برای بهترین روش ارزیابی عدم قطعیت برای وسیله خاص در محل آزمون تست مشاوره بگیرد. رابطه زیر برای استفاده استاندارد (معمول) پیشنهاد می گردد[۱] (طبق مرجع [12]):

$$u_{VR,flow,i} = \frac{(\tan(\alpha_2) - \tan(\alpha_1)) \cdot v_i}{2 \cdot \tan(\Phi)} \qquad \text{(E.20)}$$

α_1 زاویه بسمت جریان داخل حجم پویشگر است.

α_2 زاویه بسمت جریان خارج از حجم پویشگر است.

[۱] شکلهای داخل پرانتز به کتابنامه بر می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

ϕ زاویه بازشدگی RSD از امتداد عمود است.

طبق تخمین اولیه برای زوایای جریان به بالا داخل و خارج از حجم پویشگر، ۱° و ۱°- متناسباً، ممکن است بکار رود.

این پیش فرض اولین تخمین نتایج در یک مولفه عدم قطعیت از ۲ تا ۳ درصد از سرعت باد اندازه گیری شده (بستگی به زاویه بازشدگی RSD دارد)، طبق L.4.5 است. در حالت جایگزین روش گفته شده در E.6.3.4 که براساس زمین دارای شیب است ممکن است بکار رود.

E-۷-۷ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – RSD – پایش آزمون

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با نتایج پایش وسایل سنجش از راه دور است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VR,mon,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست L آمده است. سه سناریو ممکن است و باید طبق موارد زیر بررسی شوند:

۱- اگر رابطه زیر برقرار باشد لازم نیست که عدم قطعیت اضافی برقرار گردد :

$$\sqrt{u^2_{VRvrf,mh,i} + u^2_{VRcls,mh,i}} > \left| v_{RSD,mh,i} - v_{MM,i} \right| \qquad (E.21)$$

$u_{VRvrf,mh,i}$ این بررسی عدم قطعیت RSD در ارتفاع دکل کنترل در سری i است.

$u_{VRcls,mh,i}$ این عدم قطعیت ناشی از مشخصات عملیاتی RSD در ارتفاع دکل کنترل در سری i است.

$v_{VRcls,mh,i}$ این سرعت باد RSD در ارتفاع دکل کنترل در سری i است.

$V_{MM,i}$ این سرعت باد دکل کنترل در سری i است.

۲- اگر معادله (E.21) برقرار نباشد و ارتفاع اندازه گیری RSD و دکل کنترل یکسان باشد، عدم قطعیت بر طبق رابطه زیر باید اضافه گردد:

$$u_{VRmon,i} = \left| v_{RSD,mh,i} - v_{MM,i} \right| - \sqrt{u^2_{VRvrf,mh,i} + u^2_{VRcls,mh,i}} \qquad (E.22)$$

۳- اگر معادله (E.21) برقرار نباشد و ارتفاع اندازه گیری RSD و دکل کنترل یکسان نباشد، عدم قطعیت $u_{VRmon,i}$ بر طبق رابطه زیر باید محاسبه گردد:

$$u_{added_systematic,j,i} = u_{added_systematic,1,i} \frac{u_{systematic,j,i}}{u_{systematic,1,i}} \qquad (E.23)$$

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جاییکه:

$u_{added_systematic,j,i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه B در ارتفاع اندازه گیری (دکل هواشناسی را پوشش نمی دهد) است.

$u_{added_systematic,1,i}$ عدم قطعیت گروه B اضافه شده در ارتفاع نوک دکل هواشناسی است.

$u_{systematic,j,i}$ تجمیع عدم قطعیتهای گروه B از وسیله سنجش از راه دور در ارتفاع j است.

$u_{systematic,1,i}$ تجمیع عدم قطعیتهای گروه B از وسیله سنجش از راه دور در ارتفاع نوک دکل هواشناسی است.

مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰/۵٪ از سرعت باد اندازه گیری شده است.

E-۸ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – REWS

E-۸-۱ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد – مقدمه

یک تعداد از مولفه های عدم قطعیت مرتبط با اندازه گیری سرعت باد نیستند (حداقل نه هنگام اجرای سرعت باد در ارتفاع هاب) اما با بکار بردن و تعریف سرعت معادل روتور مشخص می شوند. مولفه های عدم قطعیت مربوط به REWS در این زیر بخش بررسی می شود. سرعت باد معادل روتور طبق معادله (۵) در ۹,۱,۳,۲ شامل اندازه گیری سرعت باد در ارتفاعات متفاوت بالاتر از سطح زمین است. بمنظور اینکه محاسبه عدم قطعیت سرعت باد معادل روتور قابل انجام باشد، معادلات (E.3) و (E.4) مورد نیاز است. معادلات (E.3) و (E.4) بترتیب تقریبهای معادلات (E.1) و (E.2) هستد، برای حالتی که مولفه عدم قطعیت گروه B بین منابع عدم قطعیت گروه B مستقل هستند. این تقریب اگر عدم قطعیتهای اندازه گیری سرعت باد در ارتفاعهای متفاوت مانند عدم قطعیتهای گروه B در نظر گرفته شود بشدت نقض می گردد، زیرا مولفه های عدم قطعیت اندازه گیری سرعت باد در ارتفاعهای متفاوت بخوبی همبسته هستند. بنابراین، معادلات (E.3) و (E.4) نمی توانند مستقیما بکار روند. بمنظور بکارگیری و رفع این مشکل، معادلات (E.3) و (E.4) باید بگونه ای اجرا شود که مولفه عدم قطعیت گروه B سرعت باد معادل روتور که بتواند از همدیگرمستقل در نظر گرفته شوند. زیر بخش زمینه لازم برای اینکه چگونه اجرا شود را فراهم می نماید.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۸-۲ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد- REWS– اندازه گیری سرعت باد معادل روتور

E-۸-۲-۱- کلیات

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت سرعت باد REWS بر مبنای چندین اندازه گیری سرعت باد REWS بنا شده است. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{\mathrm{REWS,shear},i}$ است. این عدم قطعیت در پیوست P قبلا مطرح شده است.

تذکر: این عدم قطعیت بجای $u_{v,i}$ در ارتباط با E.13.3 بکار خواهد رفت.

آنچه برای این مولفه عدم قطعیت خیلی مهم است اینکه استنتاج و بنابراین مقادیر بشدت بستگی به روشهای مختلف اندازه گیری دارد چنانکه در ۷,۲ آورده شده است. یک حالت با دکل هواشناسی در ارتفاع هاب به اجرای REWS نمی انجامد، دیگر حالات اندازه گیری در زیربخشهای زیر در نظر گرفته می شود.
لطفا توجه کنید که همان نشانه در هر زیر بخش بکار می رود مانند حالاتی که متقابلا انحصاری هستند و به تنظیم خاص اندازه گیری وابسته اند تنها یکی از موارد E.8.2.2 تا E.8.2.4 اجرا می شود.

E-۸-۲-۲- عدم قطعیت برش REWS – دکل هواشناسی کاملاً بالای ارتفاع هاب

در این حالت REWS بر اساس سیگنالهای دریافتی از بادسنج فنجانی یا بادسنج صوتی نصب کناره دکل از چندین اندازه گیری ارتفاعهای بر روی دکل هواشناسی بنا شده است. در این حالت معادله (۵) در ۹,۱,۳,۲ بکار میرود و مولفه عدم قطعیت REWS از بخش E.6 می آید. مقادیر پیش فرض از ترکیب مقادیر پیش فرض در بخش E.6 می آید. راه ترکیب این مولفه ها به داخل عدم قطعیت REWS در E.13.7 شرح داده شده است.

E-۸-۲-۳- عدم قطعیت برش REWS – RSD + دکل هواشناسی پایین تر از ارتفاع هاب

در این حالت، REWS بر مبنای سیگنال حاصل از RSD بنا شده است. داده های حاصل از دکل هواشناسی صرفا برای تایید داده های RSD بکار می رود. در این وضعیت، معادله (۵) در بخش ۹,۱,۳,۲ بکار میرود و مولفه عدم قطعیت REWS از بخش E.7 می آید. مقادیر پیش فرض از ترکیب مقادیر پیش فرض بخش E.7 می آید.
روش ترکیب این مولفه ها در عدم قطعیت REWS در بخش E.13.7 تشریح گردیده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۸-۲-۴- عدم قطعیت برش REWS – RSD برای برش + دکل هواشناسی ارتفاع هاب

در این حالت، REWS بر مبنای سیگنال حاصل از داده های حاصل از بادسنج فنجانی یا صوتی روی دکل هواشناسی در ارتفاع هاب که با برش باد از RSD ترکیب شده بنا شده است. در این وضعیت، معادله (۱۱) در بخش ۹,۱,۳,۴ بکار میرود و مولفه عدم قطعیت REWS از بخش E.6 و E.7 می آید. در این حالت، ما هنوز یک تقسیم بیشتر داریم: سیگنال RSD بعنوان سرعت باد اندازه گیری شده مطلق یا نسبی در نظر گرفته شود که فرآیند کار متفاوت خواهد بود. این به نوع تجهیزات یا حساسیت موجود و بررسی آزمایش بستگی دارد. برای سرعت باد مطلق روش ترکیب مولفه ها درون عدم قطعیت REWS در بخش E.13.8 تشریح شده است. برای سرعت باد نسبی روش ترکیب مولفه ها درون عدم قطعیت REWS در بخش E.13.9 تشریح شده است

E-۸-۳ عدم قطعیت گروه ب: سرعت باد- REWS – تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تغییرات جهت باد در ارتفاع روی REWS است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{REWS,veer,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست Q آمده است. اندازه گیری تغییرسرعت باد با ارتفاع بر مبنای سیگنال حسگر باد که در کناره دکل نصب شده است یا بادسنج صوتی در چندین ارتفاع اندازه گیری شده روی دکل یا سیگنال حاصل از RSD می باشد. زیر مولفه برای این مولفه عدم قطعیت بنابراین از E.12.2 یا از E.12.3 می آید.

E-۹ عدم قطعیت گروه ب: سرعت باد – زمین آزمون

E-۹-۱ کلیات

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با انحراف جریان سرعت باد بین نقطه اندازه گیری و توربین باد در اثر تغییرات زمین آزمون است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VT,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در بخش ۶,۳,۴ آمده است. وقتی آزمون عملکرد توانی بدون کالیبراسیون محل آزمون انجام شود، مقدار پیش فرض این مولفه عدم قطعیت با فاصله بین وسیله اندازه گیری و توربین تحت آزمون تعیین می شود. اگر این فاصله بین ۲ و ۳ برابر قطر روتور باشد ($2D \leq \text{distance} \leq 3D$)، مقدار پیش فرض ۲ درصد از سرعت باد اندازه گیری شده برای زمین خشکی تخت و ۱ درصد برای فراساحل است. اگر این فاصله بین ۳ و ۴ برابر قطر روتور باشد ($3D < \text{distance} \leq 4D$)، مقدار پیش فرض ۳ درصد از سرعت باد اندازه گیری شده برای زمین خشکی تخت و ۲ درصد برای فراساحل است. وقتی آزمون منحنی توان بهمراه کالیبراسیون محل آزمون انجام شود، مقدار پیش فرض این مولفه عدم قطعیت بوسیله اندازه گیری کالیبراسیون محل آزمون تعیین می گردد. در این حالت، عدم قطعیت مرتبط به زمین دارای نه زیر جزء خواهد بود:

a) عدم قطعیت مرتبط به کالیبراسیون بادسنجهای بکار رفته در کالیبراسیون محل آزمون.
b) عدم قطعیت مرتبط به مشخصات عملیاتی بادسنجهای بکار رفته در کالیبراسیون محل آزمون.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

c) عدم قطعیت مرتبط به نصب بادسنجهای بکار رفته در کالیبراسیون محل آزمون.
d) عدم قطعیت مرتبط به جمع آوری داده ها از سیگنالهای بادسنجهای بکار رفته در کالیبراسیون محل آزمون.
e) عدم قطعیت مرتبط به اتصال صاعقه.
f) عدم قطعیت مرتبط به بررسی همگرایی (به C.7.1 رجوع کنید).
g) عدم قطعیت مرتبط به بررسی همبستگی (به C.7.2 رجوع کنید).
h) عدم قطعیت مرتبط به تغییرات در تصحیح سریهای مجاور.
i) عدم قطعیت مرتبط به حذف حسگر جهت باد بین کالیبراسیون محل آزمون و اندازه گیری منحنی توان.
j) عدم قطعیت مرتبط به تغییرات فصول.

E-۹-۲ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد- زمین آزمون – پیش کالیبراسیون

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط به کالیبراسیون حسگرها قبل از آزمون کالیبراسیون محل آزمون می باشد. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VT,precal,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست C.6 آمده است. این عدم قطعیت مجازاً همان $u_{VS,precal,i}$ است با این تفاوت که اینجا به سرعتهای باد اندازه گیری شده روی دو دکل استناد می گردد. اگر بادسنج مرجع بین کالیبراسیون محل آزمون و آزمون منحنی توان یکسان نباشد، عدم قطعیت کالیبراسیون آن کاملا منتفی است. فقط عدم قطعیت کالیبراسیون بادسنج دکل توربین مورد استفاده قرار می گیرد.

اگر بادسنج مرجع بین کالیبراسیون محل آزمون و آزمون منحنی توان یکسان باشد، بطوریکه بادسنج در همان تونل باد بکار رفته برای کالیبراسیون بادسنج اولیه کالیبره شده باشد، بخش بزرگی از کالیبراسیون بادسنج مرجع منتفی است، اگر تونل باد نتایجی با تکرار پذیری بالا بدهد.

اگر بادسنج مرجع بین کالیبراسیون محل آزمون و آزمون منحنی توان یکسان باشد، ولی بادسنج در تونل بادی متفاوت از آنکه برای کالیبراسیون بادسنج اولیه بکار رفته باشد، عدم قطعیت کالیبراسیونهای هر دو بادسنج مرتبط هستند.

E-۹-۳ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون – پسا کالیبراسیون

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با کالیبراسیون درجاست و یا پسا کالیبراسیون حسگر در طی و یا بعد از کالیبراسیون محل آزمون است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VT,postcal,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست K و بخش ۷,۲,۲ این استاندارد آمده است. اگر کالیبراسیون درجا در زمان آزمون عملکرد توان اجرا شود و پسا کالیبراسیون بعد از آزمون عملکرد توان انجام گردد، مقدار برای این مولفه عدم قطعیت باید از پسا کالیبراسیون گرفته شود. اگر پسا کالیبراسیون انجام شود، مقدار مولفه عدم قطعیت باید حداکثر اختلاف بین پیش و پسا کالیبراسیون در دامنه سرعت باد از ۴ تا ۱۲ متر بر ثانیه، حداکثر تا ۰٫۲ متر

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بر ثانیه باشد. تذکر: در اثر عدم قطعیت ذاتی کالیبراسیون، انتظار می رود که اختلاف کوچکی بین پیش و پسا کالیبراسیون بوجود آید.

بهترین تخمین از مقدار کالیبراسیون برای حسگر خاص متوسط کالیبراسیونهاست، در محدوده بزرگ کالیبراسیونها مقدار متوسط به سمت مرکز توزیع همگرا می شود. چنانچه پیش کالیبراسیون برای تعیین سرعت باد از حسگر بکار رود، حداکثر اختلاف که می تواند بکار رود یک عدم قطعیت اضافی است. اگر فقط کالیبراسیون درجا انجام شود، مقدار عدم قطعیت حداکثر ۰٫۲متر بر ثانیه در محدوده سرعت باد ۴ تا ۱۲ متر بر ثانیه مطابق پیوست K است.

E-۹-۴ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون- طبقه بندی

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با طبقه بندی حسگرها برای کالیبراسیون محل آزمون است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VT,class,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در بخش C.6 آمده است. این عدم قطعیت مجازاً همان $u_{VS,class,i}$ است با این تفاوت که اینجا به سرعتهای باد اندازه گیری شده روی دو دکل استناد می گردد. بعضی از فاکتورهای موثر بر طبقه بندی با هر دو حسگر تجربه خواهد شد، عامل ایجاد یک همبستگی در پاسخ عملیاتی و کاهش در تفاوت بین سیگنالها می شود. اما تاثیر فاکتورهای اصلی مانند آشفتگی، برش و جریان به بالا ممکن است بین دو محل اندازه گیری متفاوت باشد و مقادیر این مولفه عدم قطعیت باید برابر عدم قطعیت مربوط به طبقه بندی یک حسگر باشد. دامنه این عدم قطعیت باید از گزارش طبقه بندی برداشت شود. مراقبت باید گردد که نوع زمین و حسگر آن با نوع زمین و حسگر طبقه بندی متناسب باشد (کلاس A ، B یا S). ارجاع به گزارش طبقه بندی باید به گزارش کالیبراسیون محل آزمون ضمیمه گردد. اگر مرجعی ذکر نگردد، دامنه پیش فرض برای عدم قطعیت باید کلاس 3.4A برای زمین تخت و برای زمین پیچیده کلاس 4.5B باشد. دامنه اندازه گیری پارامترهای موثر بکار رفته برای طبقه بندی مانند پیوست I باید گزارش گردد برای همان بسته داده های بکار رفته برای گزارش کالیبراسیون محل آزمون باشد. اگر جریان به بالا اندازه گیری نگردد، انطباق با کلاس دقت باید از طریق شیب زمین منطقه برای جهات باد تجربه شده سنجیده شود، با فرض اینکه زاویه باد با عمود به افق برابر ۲/۳ از متوسط شیب زمین در حالی که در محدوده 5D فاصله از طرف رو به باد توربین باشیم. اگر دامنه موثر پارامترهای اندازه گیری شده بوسیله حسگر مرجع که بر روی دکل هواشناسی در طی کالیبراسیون محل آزمون بطور قابل ملاحظه ای متفاوت از دامنه پارامترهای موثر تجربه شده بوسیله حسگر مرجع روی دکل هواشناسی دائمی در طی آزمون منحنی توان باشد، یک عدم قطعیت اضافی ممکن است نیاز باشد اضافه گردد. اگر چه، تا زمانیکه هر دو آزمون در محدوده مشخص برای کلاس A و B باشند، این حالت بطور کامل محدوده را می پوشاند و نیاز به عدم قطعیت اضافی منتفی است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۹-۵ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد- زمین آزمون – نصب

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با نصب حسگرها در طی کالیبراسیون محل آزمون است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VT,mnt,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در بخش C.6 آمده است.
این عدم قطعیت مجازاً همان $u_{VS,class,i}$ است با این تفاوت که اینجا به سرعتهای باد اندازه گیری شده روی دو دکل استناد می گردد. در حالتی که حسگرها از یک نوع باشند، چینش دکل و جهت باد یکی باشد، می توان فرض نمود که یک همبستگی بالا بین تاثیرات نصب هر دو دکل روی حسگرها موجود است که منجر به کاهش عدم قطعیت می شود. اگرچه، حتی با یک نوع حسگر و چینش یکسان دکل اغلب جهت باد تجربه شده همزمان روی هر دو دکل یکسان نخواهد بود. چنانچه تاثیر دکل روی حسگرها با حساسیت جهت مواجه است، همبستگی واقعی تاثیر نصب هر دو دکل محدود می شود و تاثیرات نصب باید در نظر گرفته شود. مقادیر پیش فرض برای این عدم قطعیت هست:

a) ۰٫۵٪ از سرعت باد اندازه گیری شده برای یک بادسنج تکی که بالای دکل نصب است.
b) ۱ ٪ برای برپایی با بادسنجهای نصب بغل به بغل در بالای دکل است.
c) برای بادسنج نصب کناری، مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت یکی از موارد زیر است:

۱) برای حالت عدم تصحیح سیگنالهای جریان مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰٫۵٪ از سیگنال اندازه گیری شده است.
۲) برای سیگنال جریان تصحیح شده طبق ۷,۲,۴ و ۹,۱,۲، مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت مجموع مربعات ریشه های نصف متوسط تصحیح اجرا شده به سیگنال سرعت باد است و ۰٫۵٪ از سیگنال اندازه گیری شده می شود. تاثیرات گردابه باید برای تصحیح در نظر گرفته نشود. این بجای عدم قطعیت جریان تصحیح نشده است و نباید به آن اضافه بشود.

همین اصول تصحیح می تواند به دو بادسنج نصب بالای دکل در چینش تیرک دروازه اجرا شود، با همان مقادیر پیش فرض برای سیگنال جریان تصحیح شده است.

E-۹-۶ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون – ترمینال صاعقه گیر

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با امکان نصب ترمینال صاعقه گیر بالای دکل و تاثیرش روی بادسنج بالای دکل هنگامی که الزامات در بخش برای نصب ترمینال صاعقه گیر نتواند برقرار گردد. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VT,lgt,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰,۱ ٪ تا ۰,۲ ٪ از سیگنال سرعت باد است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۹-۷ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون – جمع آوری داده ها

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با جمع آوری داده های سیگنال حسگرهای سرعت باد در طی کالیبراسیون محل آزمون است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{dVT,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست C.6 آمده است. . این عدم قطعیت مجازاً همان $u_{dVS,i}$ است با این تفاوت که اینجا به سرعتهای باد اندازه گیری شده روی دو دکل استناد می گردد. چنانکه جمع آوری داده از هر دو سیگنال مستقل فرض می شوند، این عدم قطعیت دو بار شمارش باید گردد. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰٫۱ ٪ تا ۰٫۲ ٪ از دامنه کامل کانال سرعت باد اندازه گیری شده است.

E-۹-۸ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد- زمین آزمون – تغییر تصحیح بین سری مجاور

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تغییر در تصحیح بین سریهای همجوار است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VT,coc,i}$ است (COC معرف "تغییر در تصحیح" است). این عدم قطعیت همچنین در پیوست C.7.3 آمده است.

E-۹-۹ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون – حذف حسگر جهت باد

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با حذف حسگر جهت باد بین کالیبراسیون محل آزمون و آزمون عملکرد توان است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VT,rmv,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست C.7.4 آمده است.

E-۹-۱۰ عدم قطعیت گروه B: سرعت باد - زمین آزمون – تغییرات فصول

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تغییر فصل بین کالیبراسیون محل آزمون و آزمون عملکرد توان است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{VT,sv,i}$ است (SV معرف تغییر فصل است). این عدم قطعیت همچنین در پیوست C.7.5 آمده است. این عدم قطعیت باید فقط هنگامی اجرا شود اگر یکی از شرایط زیر برای سری جهت باد بین کالیبراسیون محل آزمون و آزمون عملکرد توان متفاوت باشد و بیشتر از مقادیر ذکر شده در پارگراف a تا c گردد:

a) برای ۰٫۱ ٪ نمایه برش باد
b) ۳ ٪ برای شدت آشفتگی
c) اگر جریان به بالا اندازه گیری شد، ° 2 ± تغییر در جریان به بالای عمودی پیشنهاد می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

اگر یک یا بیشتر شرایط بالا موجود باشد، سپس مقدار پیش فرض برای این عدم قطعیت یک سوم مقدار تصحیح جریان کالیبراسیون محل آزمون می شود.

E-۱۰ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا

E-۱۰-۱ کلیات

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تاثیر چگالی هوا بر منحنی توان است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{ADT,i}$ است. چگالی هوا با اندازه گیری دمای هوا، رطوبت و فشار هوا قابل محاسبه است. عدم قطعیت چگالی هوا شامل چهار زیر بخش است:

- عدم قطعیت مرتبط به استفاده از حسگر دما و جمع آوری داده ها.
- عدم قطعیت مرتبط به استفاده از حسگر فشار و جمع آوری داده ها
- عدم قطعیت مرتبط به استفاده از حسگر رطوبت نسبی و جمع آوری داده ها، یا نبود حسگر.
- عدم قطعیت مرتبط به تصحیح چگالی هوا.

این عدم قطعیت بخوبی در بخش E.10 آمده است.

E-۱۰-۲ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – درجه حرارت – مقدمه

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با اندازه گیری درجه حرارت است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{T,i}$ است. این مولفه عدم قطعیت شامل چهار زیر بخش است:

- عدم قطعیت مرتبط به کالیبراسیون حسگر دما.
- عدم قطعیت مرتبط به حفاظت از تشعشع حسگر دما.
- عدم قطعیت مرتبط به حسگر دما و جمع آوری داده ها از آن است.
- عدم قطعیت مرتبط به نصب حسگر دما است.

معادلات برای فاکتورهای حساسیت دما هستند:

- حساسیت برای دما برای اندازه گیری روی توربین باد با کنترل توان اکتیو:

$$c_{T,i} = -\frac{c_{V,i} v_i}{3\rho_i}\left(\frac{\rho_i}{T_i} + \frac{\phi_i}{T_i}\left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w}\right) 0{,}0000205 \cdot \exp(0{,}0631846 T_i)\right) \qquad (E.24)$$

بطوریکه:

$c_{T,i}$ فاکتور حساسیت برای درجه حرارت در سری i.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$c_{v,i}$ فاکتور حساسیت برای سرعت باد در سری i.

v_i سرعت متوسط باد در سری i.

ρ_i متوسط چگالی هوا در سری i.

T_i متوسط درجه حرارت در سری i.

Φ_i متوسط رطوبت نسبی (دامنه صفر تا ۱۰۰ درصد) در سری i.

Ro ثابت گاز برای هوای خشک ۲۸۷٫۰۵ [j/kgK].

Rw ثابت گاز برای بخار آب ۴۶۱٫۵ [j/kgK].

- حساسیت درجه حرارت برای اندازه گیری روی توربین باد تنظیم استالی (جداشدگی تنظیم شده):

$$c_{T,i} = \frac{P_i}{\rho_i}\left(\frac{\rho_i}{T_i} + \frac{\phi_i}{T_i}\left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_W}\right)\cdot 0{,}0000205 \cdot 0{,}0631846 \cdot \exp(0{,}0631846 \cdot T_i)\right) \qquad (E.25)$$

بطوریکه:

$c_{T,i}$ فاکتور حساسیت برای درجه حرارت در سری i.

P_i فاکتور حساسیت برای سرعت باد در سری i.

v_i سرعت متوسط باد در سری i.

ρ_i متوسط چگالی هوا در سری i.

T_i متوسط درجه حرارت در سری i.

Φ_i متوسط رطوبت نسبی (دامنه صفر تا ۱۰۰ درصد) در سری i.

Ro ثابت گاز برای هوای خشک ۲۸۷٫۰۵ [j/kgK].

Rw ثابت گاز برای بخار آب ۴۶۱٫۵ [j/kgK].

E-۱۰-۳ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – درجه حرارت – کالیبراسیون

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط به کالیبراسیون حسگر درجه حرارت است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{T,cal,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰٫۴ تا ۰٫۶ درجه سانتیگراد است.

E-۱۰-۴ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – درجه حرارت – حفاظت تشعشع

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با حفاظت از تشعشع حسگر درجه حرارت است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{T,shield,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۱٫۵ تا ۲٫۵ درجه سانتیگراد است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۱۰-۵ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – درجه حرارت- نصب

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با نصب حسگر درجه حرارت است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{T,mnt,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰٫۲۵ تا ۰٫۴ درجه سانتیگراد است.

E-۱۰-۶ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا- درجه حرارت – جمع آوری داده ها

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با جمع آوری داده های سیگنال حسگر درجه حرارت است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{T,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰٫۱٪ تا ۰٫۲٪ از دامنه کامل کانال اندازه گیری است.

E-۱۰-۷ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – فشار – مقدمه

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با اندازه گیری فشار است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{B,i}$ است. عدم قطعیت فشار هوا شامل سه زیر بخش است:

- عدم قطعیت مرتبط به کالیبراسیون حسگر فشار.
- عدم قطعیت مرتبط به نصب حسگر فشار.
- عدم قطعیت مرتبط به حسگر فشار و جمع آوری داده ها.

معادله برای فاکتورهای حساسیت فشار هستند:

- حساسیت برای فشار برای اندازه گیری روی توربین باد با کنترل توان اکتیو:

$$c_{B,i} = \frac{c_{V,i} v_i}{3 \rho_i T_i R_0} \qquad (E.26)$$

بطوریکه:

$c_{B,i}$ فاکتور حساسیت برای فشار در سری i.
$c_{v,i}$ فاکتور حساسیت برای سرعت باد در سری i.
v_i سرعت متوسط باد در سری i.
ρ_i متوسط چگالی هوا در سری i.
T_i متوسط درجه حرارت در سری i.
Ro ثابت گاز برای هوای خشک ۲۸۷٫۰۵ [j/kgK].

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

- حساسیت برای فشار برای اندازه گیری روی توربین باد با کنترل استالی (جداشدگی تنظیم شده):

$$c_{B,i} = -\frac{P_i}{\rho_i T_i R_0} \qquad (E.27)$$

بطوریکه:

$c_{B,i}$ فاکتور حساسیت برای فشار در سری i.
P_i متوسط فشار در سری i.
ρ_i متوسط چگالی هوا در سری i.
T_i متوسط درجه حرارت در سری i.
Ro ثابت گاز برای هوای خشک ۲۸۷٫۰۵ [j/kgK].

E-۱۰-۸ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – فشار – کالیبراسیون

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با کالیبراسیون حسگر فشار است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{B,cal,i}$ است. مقدار پیش فرض این مولفه عدم قطعیت 2hpa تا 4hpa است.

E-۱۰-۹ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – فشار – نصب

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با نصب حسگر فشار است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{B,mnt,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت بوسیله اختلاف ارتفاع برای سیگنالی که از حسگر فشار تصحیح شده است، تعیین می گردد. با بکارگیری ایزو ۲۵۳۳ که مربوط به فشار است، این اختلاف فشار را می توان محاسبه نمود. مقدار پیش فرض برای این عدم قطعیت که مرتبط با تصحیح فشار است یک تصحیح برابر ۱۰٪ می گیرد. برای یک حسگر نصب شده در یک ارتفاع ۲ متر و با ارتفاع هاب ۱۰۰ متر، اختلاف ۹۸ متر است که یک اختلاف فشار ۱۱٫۷ hpa را می دهد. عدم قطعیت بنابراین ۱۱٫۷ hpa را خواهد داد.

E-۱۰-۱۰ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – فشار – جمع آوری داده ها

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با جمع آوری داده های سیگنال حسگر فشار است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{dB,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰٫۱٪ از دامنه کامل کانال اندازه گیری کانال فشار است. اگر یک فشار ۱۰۰ hpa از کانل اندازه گیری داشته باشیم به ما ۰٫۱ hpa می دهد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۱۰-۱۱ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – رطوبت نسبی – مقدمه

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با اندازه گیری رطوبت نسبی است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{RH,i}$ است. رطوبت نسبی نیاز به اندازه گیری ندارد. در این حالت، یک مقدار پیش فرض ۵۰٪ در نظر گرفته می شود با یک عدم قطعیت ۱۰۰٪ (از صفر تا ۱۰۰٪).

در حالتی که رطوبت اندازه گیری شود، این مولفه عدم قطعیت سه زیر بخش دارد:

a) عدم قطعیت مرتبط به کالیبراسیون حسگر رطوبت.
b) عدم قطعیت مرتبط به نصب حسگر رطوبت.
c) عدم قطعیت مرتبط به سیگنال جمع آوری داده ها از حسگر رطوبت.

معادلات برای فاکتورهای حساسیت برای رطوبت نسبی هستند:

- حساسیت برای رطوبت نسبی برای اندازه گیری روی توربین باد با کنترل توان اکتیو:

$$c_{RH,i} = -\frac{c_{v,i} v_i}{3 \rho_i T_i} \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) \cdot 0{,}0000205 \cdot \exp(0{,}0631846 \cdot T_i) \qquad \text{(E.28)}$$

$c_{RH,i}$ فاکتور حساسیت برای رطوبت نسبی در سری i.
$c_{v,i}$ فاکتور حساسیت برای سرعت باد در سری i.
v_i سرعت متوسط باد در سری i.
ρ_i متوسط چگالی هوا در سری i.
T_i متوسط درجه حرارت در سری i.
Ro ثابت گاز برای هوای خشک ۲۸۷,۰۵ [j/kgK].
Rw ثابت گاز برای بخار آب ۴۶۱,۵ [j/kgK].

- حساسیت برای رطوبت نسبی با اندازه گیری روی توربین باد با کنترل تنظیم شده استال(جدا شدگی تنظیم شده):

$$c_{RH,i} = \frac{P_i}{\rho_i T_i} \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) \cdot 0{,}0000205 \cdot \exp(0{,}0631846 \cdot T_i) \qquad \text{(E.29)}$$

بطوریکه:

$c_{RH,i}$ فاکتور حساسیت برای رطوبت نسبی در سری i.
P_i متوسط فشار در سری i.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

ρ_i چگالی متوسط هوا در سری i.
T_i متوسط درجه حرارت در سری i.
R_o ثابت گاز برای هوای خشک ۲۸۷٫۵۰ [j/kgK].
R_w ثابت گاز برای بخار آب ۴۶۱,۵ [j/kgK].

E-۱۰-۱۲ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – رطوبت نسبی – کالیبراسیون

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با کالیبراسیون حسگر رطوبت است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{RH,cal,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۱٪ تا ۲٪ از دامنه کامل کانال اندازه گیری است.

E-۱۰-۱۳ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – رطوبت نسبی – نصب

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با نصب حسگر رطوبت است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{RH,mnt,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰٫۱٪ تا ۰٫۲٪ از دامنه کامل کانال اندازه گیری است.

E-۱۰-۱۴ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – رطوبت نسبی – جمع آوری داده ها

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با جمع آوری داده های سیگنال از حسگر رطوبت است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{dRH,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰٫۱٪ از دامنه کامل کانال اندازه گیری است.

E-۱۰-۱۵ عدم قطعیت گروه B – چگالی هوا – تصحیح

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تصحیح چگالی هواست. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{AD,method,i}$ است. بعنوان بخشی از آنالیز داده ها، نرمال سازی چگالی هوای اندازه گیری شده با یک چگالی هوای مرجع اجرا می شود. این نرمال سازی به مولفه عدم قطعیت مرتبط است، در بخشی به عدم قطعیتهای درجه حرارت، فشار و رطوبت نسبی اندازه گیری شده اما همچنین بدلیل اینکه فرضیاتی که فرمول نرمال سازی بر آن بنا شده است خود دقیق نیست، با این اوصاف عدم دقت، چگالی هوای اندازه گیری شده اختلاف با چگالی هوای نرمال شده دارد.

برای یک توربین باد استال (جداشدگی تنظیم شده) تنظیم شونده با پیچ ثابت و سرعت دورانی ثابت، این عدم قطعیت باید با متوسط گیری سری توان خروجی بر مبنای چگالی هوای نرمال شده و همچنین توان خروجی اندازه گیری شده نسبت به سرعت باد در ارتفاع هاب باشد. نیمی از انحراف توان خروجی اندازه گیری شده و

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نرمال شده برای هر سری سرعت باد باید بعنوان عدم قطعیت استاندارد از چگالی هوای نرمال شده در سری سرعت باد در نظر گرفته شود.

برای یک توربین باد با کنترل توان اکتیو، عدم قطعیت چگالی هوای نرمال شده باید با متوسط گیری سری سرعت باد اندازه گیری شده در برابر سرعت باد نرمال شده برای چگالی هوا ارزیابی گردد. نیمی از انحراف سرعت باد نرمال شده و اندازه گیری شده باید مانند عدم قطعیت استاندارد از چگالی هوای نرمالایزه در سری سرعت باد در نظر گرفته شود. در این مثال که برای توربین باد با کنترل توان اکتیو است، انحراف سرعت باد در سری سرعت باد در جدول E.9 آمده است.

E-۱۱ عدم قطعیت گروه B: روش

E-۱۱-۱ عدم قطعیت گروه B: روش – مقدمه

روش خاص بکار رفته برای اندازه گیری یا آنالیز یک منحنی توان می تواند همچنین مشارکت با نتیجه عدم قطعیت داشته باشد. تا حد امکان در گروه B عدم قطعیت قرار می گیرد. بنابراین عدم قطعیت مرتبط به تصحیح چگالی هوا تحت چگالی هوا قرار می گیرد و عدم قطعیت مرتبط با تصحیح انحراف جریان تحت حسگر سرعت باد قرار می گیرد. اگرچه، تعدادی از عدم قطعیتها مربوط به روش نمی توانند بسادگی مشارکت با مولفه ای خاص داشته باشند و اینها تحت سرفصل "روش" قرار می گیرند. نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{M,i}$ است.

E-۱۱-۲ عدم قطعیت گروه B: روش - شرایط باد

E-۱۱-۲-۱- کلیات

اگرچه این عدم قطعیت مستقیماً در جای دیگر این استاندارد بحث نمی شود، قویاً مرتبط به تعریف منحنی توان بوده همانطور که در بخش ۵ این استاندارد آمده است. بنابر تعریف منحنی توان طبق این استاندارد منحنی توان ناحیه آب و هوایی خاص است. شرایط باد در عباراتی مانند (برش باد، انحراف مسیر باد، آشفتگی و جریان به بالا) تاثیر مستقیم روی عملکرد توان یک توربین باد دارند. بطور مثال، فرض نمایید که یک منحنی توان برای شرایط باد خاص اندازه گیری گردد: برش باد = ۰٫۱؛ انحراف مسیر باد ۱۰ درجه، آشفتگی ۱۰٪ و جریان به بالا نیز $2^{\circ}+$ باشد. منحنی توان اندازه گیری شده سپس بهمراه این مقادیر گزارش گردد و دیگر نیازی به ارائه عدم قطعیت نمی باشد. اگرچه، بیشتر مواقع ما با مقادیر ثابت برای این پارامترها در طی اندازه گیری منحی توان روبرو نیستیم و در طی اندازه گیری منحنی توان هر یک از این پارامترها دارای دامنه تغییرات باشند که در حقیقت توربین در معرض آن است. از این نمونه، فرض نمایید که برش باد دارای دامنه تغییر صفر تا ۰٫۳ باشد، انحراف مسیر باد از صفر تا ۲۰ درجه، آشفتگی از ۳٪ تا ۲۰٪ و جریان به بالا از صفر

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

تا ۵ درجه است. چنانکه اندازه گیری در حال اجراست، ما در حقیقت از تعداد مختلفی منحنی توان نمونه برداری مینماییم. چنانچه ما هیچ کنترلی بر روی این متغیرهای ورودی نداریم، اندازه گیری منحنی توان بعدی در همان محل آزمون (بلافاصله بعد از اولین اندازه گیری یا یک سال بعد در همان فصل) متفاوت از اولین منحنی توان اندازه گیری شده خواهد بود. این بحث اصلی برای اضافه نمودن یک مولفه عدم قطعیت مرتبط به شرایط باد است. با این چشم انداز، ما نقطه نظرات زیر را داریم:

a) اگر یکی از چهار پارامتری که شرایط باد را تعیین می نمایند اندازه گیری نشوند، منحنی توان نمی تواند بدقت گزارش گردد. عدم قطعیت مرتبط به آن فقط قابل حدس زدن است با فرض مقادیر ممکن در دامنه های قابل قبول تا عملکرد توان توربین را بتوان تخمین زد.

b) برای پارامترهایی که اندازه گیری می شوند، اطلاعات بیشتری در دسترس است، اما نه لزوماً تمام اطلاعات لازم تا بتوانیم عملکرد توان را بطور جزئی بررسی کنیم. برای نمونه:

- یک پارامتر اندازه گیری شده روی سه نقطه در امتداد روتور ممکن است هنوز یک تصویر کامل از مساحت برای اندازه گیری را ندهد.
- شرایط باد (مثلا برش) در دو یا چهار قطر روتور اندازه گیری گردد جدا از توربین و در بیشتر حالات بدون داده های اضافی که شرایط را بتوانیم در محل اندازه گیری توربین به تاثیر شرایط گسترش دهیم. توجه کنید که عدم قطعیت در مورد همبستگی سرعت باد در ارتفاع هاب در بخش E.9.1 در نظر گرفته شده است.
- یک بحث مشابه برای بُعد افقی روتور بکار می رود، اندازه گیری تا ناحیه بزرگ فقط تغییرات این پارامترها را با ارتفاع مشخص می کند نه اینکه تغییرات افقی پارامترهای اندازه گیری شده را تعیین کند.

برای روشن نمودن این مبحث یک رویکرد عملی پذیرفته شده است. برای ارتفاعهای اندازه گیری ۹ یا بیشتر برای هر یک از این پارامترها، فرض می شود که عدم قطعیت نباید اضافه گردد. برای ارتفاعهای کمتر، یک افزایش در عدم قطعیت اضافه خواهد گردید. این بدان معنی است که بعضی از مطالب بالا در آنالیز عدم قطعیت فعلی کاربرد ندارند؛ در بازبینی آینده این استاندارد با نقاط کافی برای بهبود کار انجام خواهد شد.

c) اگر یکی یا بیشتر از این پارامترها اندازه گیری شوند، امکان دارد با بکارگیری این اطلاعات منحنی توان نرمالیزه گردد، چنانکه در پیوستهای M، P و Q توضیح داده شده است.

عدم قطعیتهای مربوط به a و b در این زیر بخش آمده اند، بطوریکه مطالب مربوط به نرمالیزه نمودن در بخش بعدی پوشش داده می شود. تعدادی از این تاثیرات در عدم قطعیت سرعت باد بیان می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

مقادیر پیش فرض تخمینی اغلب با عبارت AEP بیان می گردند. یک رویکرد عملی، انتخاب عدم قطعیت سرعت باد برای بیان آن است.

E-۱۱-۲-۲- عدم قطعیت گروه B: روش - شرایط باد – برش

E-۱۱-۲-۲-۱-کلیات

نشانه برای این مولفه عدم قطعیت $u_{M,shera,i}$ است.

مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت در دو زیر بخش پایین آمده است.

E-۱۱-۲-۲-۲-پوشش اندازه گیری برش باد در نیم روتور

تخمین این عدم قطعیت به منحنی توان با سرعت باد در ارتفاع هاب مشخص می گردد و بدون نرمال سازی ارائه شده در پیوست P است. با اینکه منحنیهای توان توربین باد تحت تاثیر برش باد هستند، عدم قطعیت منحنی توان اندازه گیری شده ناشی از برش باد باید محتاطانه تخمین زده شوند و بحساب آیند حتی اگر برش باد هم اندازه گیری نگردد. بدین دلیل، فاکتور تصحیح برش باد طبق معادله (۹) و (۱۰) در بخش ۹,۱,۳,۳ باید تحت فرضیات ذیل محاسبه گردد:

a) با فرض ۲۰ اندازه گیری توزیع شده سرعت باد بر روی دامنه ارتفاع روتور، که به ۲۰ فاکتور وزنی منجر می شود.

b) با فرض اینکه یک قانون توان برای نیم روتور پایین و قانون دیگری برای نیمه دیگر داشته باشیم. بر مبنای این قانون توان، سرعت باد نسبت به ارتفاع هاب باید برای هر ارتفاع مجازی اندازه گیری محاسبه گردد. نمایه برش باد برای نیمه پایینی روتور باید از طریق اندازه گیری در هر ۱۰ دقیقه نقطه داده تعیین شود. نمایه برش باد برای نیمه بالایی روتور همچنین باید نصف مقدار بکار گرفته شده برای قسمت پایینی باشد. در حالتی که مقدار برش باد منفی باشد، همچنین نصف این مقادیر باید برای نیمه بالایی روتور فرض گردد.

عدم قطعیت استاندارد منحنی توان اندازه گیری شده در عبارت سرعت باد که اندازه گیری برش باد در آن غایب باشد، باید بدین گونه فرض شود که برای i امین سری سرعت باد مانند زیر محاسبه می شود:

$$u_{\mathrm{M,shear},i} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left| f_r - 1 \right| v_{\mathrm{h},i} \qquad \text{(E.30)}$$

بطوریکه:

f_r فاکتور تصحیح برش باد طبق ۹,۱,۳,۳ محاسبه می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$V_{h,i}$ سرعت باد در ارتفاع هاب در سری i است.

جدول E.3 مثالی از عدم قطعیت تخمینی است برای منحنی توان اندازه گیری شده با عبارت سرعت باد؛ در حالی که برش باد اندازه گیری نشده باشد. عدم قطعیت مولفه با قطر روتور رابطه مستقیم دارد (افزایش قطر روتور نتیجه افزایش عدم قطعیت برش) و با ثابت بودن قطر روتور اگرکاهش ارتفاع هاب داشته باشیم عدم قطعیت افزایش می یابد (جدول E.3).

جدول E-۳: مثالی از عدم قطعیتهای استاندارد ناشی از عدم وجود اندازه گیری برش باد

H	D	$u_{M,shear,i}$ / v_H
[m]	[m]	[%]
60	60	3,0
60	80	3,9
100	80	2,4
120	80	2,0
100	120	3,5
150	120	2,4
Wind shear exponents of 0,5 and 0 have been assumed for the lower and upper rotor half, respectively.		

E-۱۱-۲-۲-۳-پوشش اندازه گیری برش باد در تمام روتور

این تخمین عدم قطعیت بر موارد زیر اجرا می شود:

a) یک منحنی توان با سرعت باد معادل روتور مشخص می گردد.
b) منحنی توان با سرعت باد در ارتفاع هاب که نرمالیزاسیون طبق پیوست P اجرا می گردد.

محاسبه سرعت باد معادل روتور طبق معادله (۵) در ۹,۱,۳,۲ با فرض ثابت بودن سرعت باد در هر ارتفاع اندازه گیری است. این فرض باعث رفتن به سوی یک عدم قطعیت از ارزیابی سرعت باد معادل روتور می شود. این عدم قطعیت باید با یک قانون توان مناسب با هر جفت سرعت باد اندازه گیری شده از اندازه گیری ارتفاع‌های (z_m) پشت سرهم تخمین زده شود. سرعت باد طبق این قانون توان باید حداقل برای ۱۰ سطح ارتفاع مساوی تقسیم شده بین هر جفت اندازه گیری ارتفاع‌ها محاسبه شود. مجموع گیری باید طبق معادله (۵) تکرار شود تا همه ارتفاعها طبق قانون توان برای اندازه گیری ارتفاع پوشش داده شود. درصد انحراف نتایج از سرعت باد معادل روتور با سرعت باد معادل روتور مقایسه اش زمانی بکار می‌رود که فقط سرعت‌های باد اندازه گیری

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

شده باید مانند درصد عدم قطعیت استاندارد سرعت باد ناشی از محدودیت تعداد ارتفاع‌های اندازه‌گیری باشد. تخمین عدم قطعیت استاندارد ناشی از محدودیت تعداد ارتفاعهای اندازه گیری باید بر اساس متوسط‌های سری سرعتهای باد اندازه گیری در سطوح ارتفاعی متفاوت بصورت تابعی از سرعت باد نهایی برای ارزیابی منحنی توان استفاده گردد.

تذکر: ۱۰ دقیقه بسته داده ها برای محاسبات لازم است.

E-۱۱-۲-۳- عدم قطعیت گروه B: روش - شرایط باد – تغییر مسیر باد

E-۱۱-۲-۳-۱-کلیات

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با ارتفاعهای اندازه گیری کمتر از ۹ عدد برای تغییر مسیر باد با ارتفاع است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{M,veer,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت در سه زیر بخش ریر آمده است:

E-۱۱-۲-۳-۲-عدم اندازه گیری انحراف مسیر باد (تغییر جهت باد با تغییر ارتفاع)

یک فاکتور تصحیح مسیر باد طبق معادله (Q.1) باید تحت فرضیات زیر محاسبه گردد:

a) با فرض اینکه سرعت باد برابر با ۱ در همه ارتفاعهای اندازه گیری باشد. پس معادله (Q.1) به فاکتور تصحیح تغییر جهت باد با ارتفاع تبدیل می گردد.
b) با فرض اندازه گیری ۲۰ جهت باد مجازی مساوی و توزیع شده بر روی محدوده ارتفاع روتور، منتج به ۲۰ فاکتور وزنی می شود.
c) با فرض همگن بودن تغییر جهت باد روی تمام دامنه ارتفاع روتور می تواند برای محل آزمون محل آزمون بطور قابل قبولی مورد انتظار باشد. اگر فرضیات بی دلیلی در باره تغییر جهت باد با ارتفاع حدی برای محل آزمون محل آزمون ممکن است، یک تغییر جهت باد با ارتفاع 40°/100 m باید فرض شود.

عدم قطعیت استاندارد منحنی توان اندازه گیری شده در عبارت سرعت باد که اندازه گیری تغییر مسیر باد در آن غایب باشد، باید بدین گونه فرض شود که برای i امین سری سرعت باد مانند زیر محاسبه می شود:

$$u_{\mathrm{M,veer},i} = \frac{1}{\sqrt{3}}\left|f_r - 1\right| v_{\mathrm{h},i} \qquad \text{(E.31)}$$

بطوریکه:

f_r فاکتور تصحیح تغییر مسیر باد با ارتفاع طبق بالا محاسبه می گردد.
$V_{h,i}$ سرعت باد در ارتفاع هاب در سری i است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

مثالهایی از تخمین عدم قطعیت منحن توان اندازه گیری شده در عبارتهای سرعت باد ناشی از نبود اندازه گیری تغییر جهت باد با ارتفاع در جدول E.4 نشان داده شده است. عدم قطعیت متناسب با افزایش قطر روتور افزایش می یابد.

جدول E-۴: مثالی از عدم قطعیتهای استاندارد ناشی از عدم وجود اندازه گیری تغییر مسیر باد

D	$U_{M,veer}/\ v_h$
[m]	[%]
20	0,04
40	0,1
60	0,3
80	0,6
100	0,9
120	1,2
140	1,7
160	2,1
180	2,7
200	3,2
An extreme wind veer of 40°/100 m has been assumed for the calculations.	

E-۱۱-۲-۳-۳-اندازه گیری تغییر جهت باد با ارتفاع در نیم روتور

محاسبه سرعت باد معادل روتور طبق معادله (Q.1) با فرض جهت باد ثابت برای هر ارتفاع اندازه گیری است. این فرض باعث رفتن به سوی یک عدم قطعیت از ارزیابی سرعت باد معادل روتور می شود. عدم قطعیت مربوط به اندازه گیری تغییر جهت باد در ارتفاع در امتداد نیم روتور باید تخمین زده شود با بکارگیری همان فرآیندی که برای تغییر جهت باد در ارتفاع در امتداد تمام روتور عمل می گردد (E.11.2.3.4 را ببینید)، با این اختلاف که انحراف باد در ارتفاع در امتداد تمام روتور ۲،۵ برابر اندازه گیری است که در امتداد نیم روتور می شود.

E-۱۱-۲-۳-۴-اندازه گیری تغییر جهت باد با ارتفاع در تمام روتور

محاسبه سرعت باد معادل روتور طبق معادله (Q.1) با فرض جهت باد ثابت برای هر ارتفاع اندازه گیری است. این فرض باعث رفتن به سوی یک عدم قطعیت از ارزیابی سرعت باد معادل روتور می شود. این عدم قطعیت باید با فرض یک افزایش خطی تغییر جهت باد در ارتفاع بین هر دو جفت سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاعهای پشت سرهم اندازه گیری شده در امتداد روتور تخمین زده شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

سرعت باد طبق این فرض باید حداقل برای ۱۰ سطح ارتفاع مساوی تقسیم شده بین هر جفت اندازه گیری ارتفاعها محاسبه شود. مجموع گیری باید طبق معادله (Q.1) تکرار شود تا همه ارتفاعها برای اندازه گیری ارتفاع پوشش داده شود با فرض اینکه پروفایل تغییر جهت باد در ارتفاع و اندازه گیری ارتفاعها و سرعت باد در همه ارتفاعها ثابت می باشد. درصد انحراف نتایج از سرعت باد معادل روتور با سرعت باد معادل روتور مقایسه اش زمانی بکار میرود که فقط سرعتهای باد اندازه گیری شده باید مانند درصد عدم قطعیت استاندارد سرعت باد ناشی از محدودیت تعداد ارتفاعهای اندازه گیری باشد. تخمین عدم قطعیت استاندارد ناشی از محدودیت تعداد ارتفاعهای اندازه گیری باید بر اساس متوسطهای سری سرعتهای باد اندازه گیری در سطوح ارتفاعی متفاوت بصورت تابعی از سرعت باد نهایی برای ارزیابی منحنی توان اجرا گردد.

تذکر: ۱۰ دقیقه بسته داده ها برای محاسبات لازم است.

E-۱۱-۲-۴- عدم قطعیت گروه B: روش - شرایط باد – جریان به بالا

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با ارتفاعهای اندازه گیری کمتر از ۹ عدد برای جریان رو به بالاست. این مولفه عدم قطعیت باید برای محلهای آزمونی که الزامات پیوست B را ارضاء نمی نمایند اجرا گردد. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{M,upflow,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت در جدول E.5 پیدا می نماییم.

جدول E-۵: مشارکتهای عدم قطعیت ناشی از نبود اطلاعات در مورد جریان به بالا

Number of measurement heights	[% of wind speed]
0 (no upflow measurement)	0,3 to 0,5
1 (at hub height only)	0,15 to 0,25
2 (lower rotor area)	0,08 to 0,12
3	0,03 to 0,07
5	0,015 to 0,025
7	0,005 to 0,015

لطفاً توجه کنید که این مولفه عدم قطعیت بسیار متفاوت است از جریان به بالایی که در طبقه بندی حسگر سرعت باد در نظر گرفته می شد، جاییکه جریان به بالا در درون مجموعه بود. در این حالت ما اندازه گیری دقیقی از سرعت باد افقی ناشی از حضور مولفه سرعت باد عمودی نداریم. اینجا ما تاثیر جریان به بالا روی عملکرد توربین را در نظر می گیریم. اگرچه ما سرعت باد افقی را مشخص می نماییم، عملکرد توربین هنوز تغییر می نماید هنگامی که یک مولفه عمودی وجود دارد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۱۱-۲-۵- عدم قطعیت گروه B: روش - شرایط باد – شدت آشفتگی

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با عدم اندازه گیری آشفتگی در ارتفاع هاب است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{M,ti,i}$ است. برای آشفتگی ما اندازه گیری دیگری در ارتفاعها مانند بخش ۵ این استاندارد که برای منحنی توان فقط برای آشفتگی در ارتفاع هاب مشخص می گردید در نظر نمی گیریم. این به سیگنال نیاز دارد. دلیل این است که هنوز بعنوان یک مولفه عدم قطعیت اضافی شامل است و اینکه شکل بندی اندازه گیری با ارتفاع پایین تر از هاب دکل هواشناسی فقط وقتی ما وسایل سنجش از راه دور برای اندازه گیری بکار ببریم آشفتگی قابل اندازه گیری است. آشفتگی هنگامی که با وسیله سنجش از راه دور اندازه گیری شود بطور معناداری متفاوت از آشفتگی اندازه گیری شده با بادسنج فنجانی یا صوتی است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت در جدول E.6 موجود است.

جدول E-۶: مشارکت عدم قطعیت ناشی از عدم شناخت شدت آشفتگی.

Number of measurement heights	[% of wind speed]
0 (no accurate *TI* due to RSD)	0,3 % to 0,5 %

E-۱۱-۳ عدم قطعیت گروه B: روش – تاثیرات فصول

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تاثیر تغییر فصل در منحنی توان است. توجه کنید که تغییرات فصول بر عدم قطعیت سرعت باد اثر گذارست چنانکه بر مشخصات پروفایل باد نیز موثر است (برش، آشفتگی، و غیره). این تغییرات جداگانه قابل بررسی است. تعداد دیگری از عوامل، مانند اینکه پره در اثر کثیفی و یا حشرات بر روی آن گرفتگی پیدا می کند (مانند زمان گرما یا دوره های خشک)، اینها سطح پره را می پوشانند و صافی سطح را کاهش و عملکرد آیرودینامیک پره تخریب می شود. بنابراین، برای اینکه همان انرژی جنبشی در باد را داشته باشیم، توربین باد در حالتی که پره کثیف است تولید کمتری دارد. مشارکت آن در مولفه عدم قطعیت با نشانه $u_{M,sfx,i}$ است.

به وضوح بگوییم، این مشارکت مشخصات پروفایل باد را تحت تاثیر قرار نمی دهد و بنابراین، تنها توان الکتریکی را تحت تاثیر قرار می دهد. اگر چه، بخواهیم کمی نماییم و تاثیر آن بر AEP را بدانیم، این مولفه عدم قطعیت بمانند عدم قطعیت در سرعت باد بیان می شود. مقدار پیش فرض ۰٫۷٪ روی سرعت باد پیشنهاد می گردد، هنوز مقدار این مولفه با تغییر محل آزمون و دوره سالی از آزمون عملکرد تغییر می کند. امکان پذیر است که بوسیله تجربه یا داده های متغیر AEP از یک محل آزمون خاص مقدارآن تخمین زده شود.

E-۱۱-۴ عدم قطعیت گروه B: روش – نرمال سازی آشفتگی (یا کمبود آنها)

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با نرمال سازی آشفتگی منحنی توان است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{M,tinorm,i}$ است. این عدم قطعیت همچنین در پیوست M و بخش ۹,۱,۶ استاندارد آمده

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

است. نرمال سازی آشفتگی که در پیوست M برای بکارگیری اثرات ۱۰ دقیقه ای داده های متوسط گیری برای ارزیابی منحنی توان طراحی گردیده است. شدت آشفتگی اثرات دیگری روی منحنی توان دارد، که می تواند تاثیر آن بر آیرودینامیک را ببینیم که این مربوط به خاصیت مشخصه سه بعدی آشفتگی است. در انتها، نرمال سازی آشفتگی رویکرد ساده شده ای برای بیان کوتاه از تاثیر تلاطمات سرعت باد بر توربین است. بنابراین، یک عدم قطعیت از ارزیابی منحنی توان ناشی از تاثیرات امکان آشفتگی باقی می ماند، حتی اگر فرآیند نرمال سازی آشفتگی اجرا گردد. نرمال سازی آشفتگی اغلب نیمی از تاثیرات مشاهده شده روی منحنی توان توربین باد اندازه گیری شده را حذف می نماید. بنابراین، مراحل زیر توصیه می گردد بمنظور محاسبه عدم قطعیت نرمال سازی آشفتگی باید اجرا گردد:

a) سری متوسط گیری شده نهایی منحنی توان باید برمبنای آشفتگی نرمال شده توان خروجی و بر مبنای توان خروجی بدون نرمال شده آشفتگی ارزیابی گشته و بررسی شود.
b) انحراف این دو منحنی توان باید حداکثر عدم قطعیت منحنی توان با آشفتگی نرمال شده برای هر سری سرعت باد که آشفتگی آن نرمال شده باشد. عدم قطعیت استاندارد حاصل از نرمال سازی آشفتگی برای هر سری سرعت باد باید محاسبه شود بر مبنای انحراف منحنی توان تقسیم بر $\sqrt{3}$ بدست آید. عدم قطعیت استاندارد باید با دیگر اندازه گیری عدم قطعیتهای عملکرد توان ترکیب شود تا تعیین عدم قطعیت استاندارد کلی طبق پیوست D تعیین شود.

در نبود نرمالسازی آشفتگی، عدم قطعیت ناشی از تاثیرات آن روی منحنی توان توصیه می شود طبق بخش M.5 محاسبه گردد.

E-۱۱-۵ عدم قطعیت گروه B: روش – آب و هوای سرد

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تاثیر اندازه گیری در آب و هوای سرد روی طبقه بندی بادسنجهاست. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{M,cc,i}$ است. این عدم قطعیت در پیوست O این استاندارد آورده شده است. اگر یک توسعه دامنه درجه حرارت نیاز باشد، مولفه عدم قطعیت برای طبقه بندی حسگر باید بر مبنای کلاس S گزارش طبقه بندی باشد، این بوسیله مولفه عدم قطعیت $u_{Vs,class,i}$ پوشش داده می شود. اگرچه شناسایی یخ پیشنهاد می گردد، آن نمی تواند مانع از شکل گیری یخ یا برف روی سازه نصب شده بشود بنابراین سرعت باد را تحت تاثیر قرار می دهد. این حالت بوسیله مولفه عدم قطعیت چنانچه اینجا بحث شد پوشش داده می شود. لطفاً توجه نمایید که این نظرات قبلاً توصیه می گردید که برای اندازه گیری کلاس B "نرمال"، مانند کلاس B تا ۱۰- درجه سانتیگراد افزایش یابد و یخ و برف بیشتری در دمای حوالی صفر درجه اتفاق بیافتد. اگر یک اندازه گیری با چند روز برف و یخ درگیر باشد، این مولفه عدم قطعیت باید اجرا گردد. بعبارت دیگر این مولفه عدم قطعیت می تواند صفر باشد. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت ۰٫۵٪ تا ۱٪ دامنه سرعت باد است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۱۲ عدم قطعیت گروه B: جهت باد

E-۱۲-۱ عدم قطعیت گروه B: مقدمه

عدم قطعیت جهت باد بر روی منحنی توان هنگام کالیبراسیون محل آزمون تاثیر گذار است هر چند تاثیر کوچک باشد. بر اساس مقدار عدم قطعیت جهت باد در مقایسه با اندازه سری کالیبراسیون محل آزمون، بعضی از داده ها غیر صحیح ممکن است به یک سری اختصاص داده شوند. برای یک سری با اندازه ۱۰ درجه و یک عدم قطعیت جهت باد ۵ درجه ای، بطور تقریبی ۳۹٪ از داده ها در سری اشتباه اختصاص گردیده اند. اگر چه تمایل به تعادل خواهد بود، این برای اندازه گیری در بخشهای کوچکتر موثر است و اختلاف زیاد بین سریهای مجاور هم وجود دارد. یک بحث مشابه در موضوع فیلترینگ روی بخش اندازه گیری منحنی توان پیش می آید، اما با وسعت کمتر خواهد بود. این عدم قطعیتها باید فقط وقتی اجرایی شود اگر حسگر جهت باد یا نصبش در محل آزمون برای کالیبراسیون محل آزمونی که آزمون در آن انجام می گیرد تغییر نماید. این پیش زمینه دلیل اصلی این موضوع است که استاندارد به ارزیابی جهت باد نیازمند است تا اطمینان حاصل شود که عدم قطعیت جهت باد کمتر از ۵ درجه بماند. جهت باد بر روی منحنی توان و AEP تاثیرش قابل اندازه گیری نیست و هیچ فاکتور حساسیت برای آن ارائه نشده است. بنابراین عدم قطعیت جهت باد باید گزارش گردد، بخش E.12 حداقل مولفه عدم قطعیتی که باید برای عدم قطعیت جهت باد در نظر گرفته شود را ارائه می دهد. یک تخمین از مقدار این مولفه ها داده نشده است، اما باید در گزارش منحنی توان مطالب ذکر گردند.

E-۱۲-۲ عدم قطعیت گروه B: جهت باد – فنجانی یا صوتی

E-۱۲-۲-۱- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – فنجانی یا صوتی - کالیبراسیون

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با کالیبراسیون حسگر جهت باد است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{WV,cal,i}$ است. وضوح حسگر جهت باد در اینجا ضمیمه می شود و مقدار آن تقسیم بر $2\sqrt{3}$ می شود و باید بعنوان حداقل مقدار در نظر گرفته شود. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما این مولفه عدم قطعیت باید ارزیابی و گزارش گردد.

E-۱۲-۲-۲- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – فنجانی یا صوتی – نشانگر شمال

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تعیین دقیق حسگرهای نشانگر شمال در رابطه با تیرک افقی که این حسگر بر روی آن نصب می گردد است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{WV,nm,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما این مولفه عدم قطعیت باید ارزیابی و گزارش گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۱۲-۲-۳- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – فنجانی یا صوتی – جهت دهی تیرک افقی

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با استقرار جهت تیرک افقی نسبت به مرجع شمال، یعنی مغناطیسی یا واقعی است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{WV,bo,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما این مولفه عدم قطعیت باید ارزیابی و گزارش گردد.

E-۱۲-۲-۴- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – فنجانی یا صوتی – تاثیرات کارکردی

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تاثیر دکل بر جریان جهت باد آزاد در نقطه اندازه گیری است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{WV,oe,i}$ است. چون باد اطراف دکل جریان دارد، جهت باد چنانکه بوسیله حسگر اندازه گیری شود امکان ندارد جهت جریان آزاد باد باشد. این اثر تحت این مولفه عدم قطعیت پوشش داده می شود. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما این مولفه عدم قطعیت باید ارزیابی و گزارش گردد.

E-۱۲-۲-۵- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – فنجانی یا صوتی – زاویه انحراف مغناطیسی

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با اختلاف بین شمال مغناطیسی و شمال واقعی است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{WV,mda,i}$ است (MDA برای معرفی زاویه انحراف مغناطیسی است). تصحیح از شمال مغناطیسی به شمال واقعی به عدم قطعیت برمی گردد. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما این مولفه عدم قطعیت باید ارزیابی و گزارش گردد.

E-۱۲-۲-۶- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – فنجانی یا صوتی – جمع آوری داده ها

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با جمع آوری داده های سیگنال از حسگر جهت باد است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{dWV,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما این مولفه عدم قطعیت باید ارزیابی و گزارش گردد.

E-۱۲-۳ عدم قطعیت گروه B: جهت باد – RSD

E-۱۲-۳-۱- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – RSD - بازبینی

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تایید حسگر جهت باد است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{WR,ver,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما این مولفه عدم قطعیت باید ارزیابی و گزارش گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۱۲-۳-۲- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – RSD - پایش

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با جمع آوری داده های سیگنال از پایش جهت باد بوسیله وسایل سنجش از راه دور است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{WR,mon,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما این مولفه عدم قطعیت باید ارزیابی و گزارش گردد.

E-۱۲-۳-۳- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – RSD – تغییر جریان

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تغییر جریان در پویشگر باحجمهای متفاوت است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{WR,fv,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما این مولفه عدم قطعیت باید ارزیابی و گزارش گردد.

E-۱۲-۳-۴- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – RSD - تنظیم

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت دقت تنظیم وسیله RSD است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{WR,align,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما باید ارزیابی و گزارش گردد.

E-۱۲-۳-۵- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – RSD – زاویه انحراف مغناطیسی

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با تصحیح شمال مغناطیسی از شمال واقعی است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{WR,mda,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما این مولفه عدم قطعیت باید ارزیابی و گزارش گردد.

E-۱۲-۳-۶- عدم قطعیت گروه B: جهت باد – RSD – جمع آوری داده ها

این مولفه عدم قطعیت برای پوشش عدم قطعیت مرتبط با جمع آوری داده های سیگنال از وسیله RSD است. نشانه این مولفه عدم قطعیت $u_{dWR,i}$ است. مقدار پیش فرض برای این مولفه عدم قطعیت نداریم اما این مولفه عدم قطعیت باید ارزیابی و گزارش گردد.

E-۱۳ عدم قطعیتهای ترکیبی

E-۱۳-۱ کلیات

در این بخش معادلات و دیگر فرضیات مرتبط با ترکیب مولفه های عدم قطعیت در سطحی تجمیع شده معرفی و بحث می گردند. بطور نمونه محاسبه عدم قطعیت کالیبراسیون محل آزمون بر اساس مولفه های عدم قطعیت کالیبراسیون محل آزمون می باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۱۳-۲ عدم قطعیتهای ترکیبی گروه B در توان الکتریکی

عدم قطعیت استاندارد توان الکتریکی برای هر سری، $u_{P,i}$ با ترکیب عدم قطعیت استاندارد مبدل توان، جریان و ولتاژ ترانسفور ماتور و سیستم جمع آوری داده ها بصورت زیر محاسبه می گردد:

$$u_{P,i} = \sqrt{u^2_{P,CT,i} + u^2_{P,VT,i} + u^2_{P,PT,i} + u^2_{dP,i}} \qquad (E.32)$$

بطوریکه:

$u_{P,i}$ عدم قطعیت اندازه گیری توان الکتریکی.

$u_{P,CT,i}$ عدم قطعیت مربوط به جریان ترانسفورماتور.

$u_{P,VT,i}$ عدم قطعیت مربوط به ولتاژ ترانسفورماتور.

$u_{P,PT,i}$ عدم قطعیت مربوط به مبدل توان.

$u_{dP,i}$ عدم قطعیت مربوط به جمع آوری داده های سیگنال توان.

با درنظر گرفتن مقدار پیش فرض برای این مولفه های عدم قطعیت چنانکه در بخش E.5 عدم قطعیت استاندارد برای حسگر توان الکتریکی برای هر سری می شود:

$$u_{P,i} = \sqrt{\begin{array}{c}(0{,}43\% \cdot P_i[\mathrm{kW}])^2 + (0{,}29\% P_i[\mathrm{kW}])^2 + (7{,}2\mathrm{kW})^2 + \\ (0{,}1\% \cdot 3\,000\,\mathrm{kW})^2 \\ = \sqrt{(0{,}53\% \cdot P_i[\mathrm{kW}])^2 + (7{,}8\,\mathrm{kW})^2}\end{array}} \qquad (E.33)$$

E-۱۳-۳ عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد

مولفه های عدم قطعیت زیرین ترکیبی برای محاسبه عدم قطعیت گروه B نسبت به سرعت باد هستند، $u_{V,i}$.

$$u_{V,i} = \sqrt{u^2_{VHW,i} + u^2_{VT,i} + u^2_{AD,method,i}} \qquad (E.34)$$

بطوریکه:

$u_{VHW,i}$ عدم قطعیت نسبت به نوع ابزار سنجش سرعت باد است که برابر با $u_{VS,i}$، $u_{VR,i}$ یا $u_{REWS,i}$ است.

$u_{VT,i}$ عدم قطعیت نسبت به انحراف جریان در اثر زمین است.

$u_{AD,i}$ عدم قطعیت نسبت به تصحیح چگالی هوا است.

E-۱۳-۴ عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد با فنجانی و صوتی ($u_{VS,i}$)

مولفه های عدم قطعیت زیرین ترکیبی برای محاسبه عدم قطعیت گروه B نسبت به اندازه گیری سرعت باد بوسیله بادسنج فنجانی یا صوتی هستند، $u_{VS,i}$.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$$u_{VS,i} = \sqrt{u^2_{VS,precal,i} + u^2_{VS,postcal,i} + u^2_{VS,class,i} + u^2_{VS,mnt,i} + u^2_{VS,lgt,i} + u^2_{dVS,i}} \qquad (E.35)$$

بطوریکه:

$u_{VS,precal,i}$ عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون حسگر قبل از شروع آزمون عملکرد توان است.

$u_{VS,postcal,i}$ عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون حسگر بعد یا در طی آزمون عملکرد توان است.

$u_{VS,class,i}$ عدم قطعیت مربوط به طبقه بندی حسگرهاست.

$u_{VS,mnt,i}$ عدم قطعیت مربوط به نصب حسگرهاست.

$u_{VS,lgt,i}$ عدم قطعیت مربوط به انحراف جریان از میله صاعقه گیر است.

$u_{dVS,i}$ عدم قطعیت مربوط به جمع آوری داده ها از سیگنال سرعت باد است.

E-۱۳-۵ عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد با RSD ($u_{VR,i}$)

مولفه های عدم قطعیت زیرین ترکیبی برای محاسبه عدم قطعیت گروه B نسبت به اندازه گیری سرعت باد بوسیله RSD است، $u_{VR,i}$:

$$u_{VR,i} = \sqrt{u^2_{VR,ver,i} + u^2_{VR,isc,i} + u^2_{VR,class,i} + u^2_{VR,mnt,i} + u^2_{VR,flow,i} + u^2_{VR,mon,i}} \qquad (E.36)$$

بطوریکه:

$u_{VR,ver,i}$ عدم قطعیت ناشی از تایید آزمون است.

$u_{VR,jsc,i}$ عدم قطعیت ناشی از آزمون درجا است.

$u_{VR,class,i}$ عدم قطعیت مربوط به طبقه بندی RSD است.

$u_{VR,mnt,i}$ عدم قطعیت مربوط به نصب RSD است.

$u_{VR,flow,i}$ عدم قطعیت مربوط به تغییر جریان در امتداد حجم اندازه گیری RSD است.

$u_{dVR,mon,i}$ عدم قطعیت مربوط به پایش RSD است.

E-۱۳-۶ عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد بر طبق REWS

مولفه های عدم قطعیت زیرین ترکیبی برای محاسبه عدم قطعیت گروه B نسبت به اندازه گیریهای سرعت باد که با سرعت باد معادل روتور بیان می گردد، $u_{REWS,i}$:

$$u_{REWS,i} = \sqrt{u^2_{REWS,shear,i} + u^2_{REWS,veer,i}} \qquad (E.37)$$

بطوریکه:

$u_{REWS,i}$ عدم قطعیت سرعت باد معادل روتور است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$u_{REWS,shear,i}$ عدم قطعیت ناشی از تاثیر برش باد در امتداد روتور بر روی REWS است.
$u_{REWS,veer,i}$ عدم قطعیت ناشی از تاثیر اندازه گیری تغییر جهت باد در ارتفاع در امتداد روتور بر روی REWS است.
مقدار $u_{REWS,shear,i}$ از یکی از موارد زیر گرفته می شود:

- $u_{veq,i}$ (از E.13.7).
- $u_{veq,final,i}$ (از E.13.8).
- یا از طریق $u_{fr,RSD,k,i}$ (از E.13.9) تعیین می شود. مقدار $u_{REWS,veer,i}$ از $u_{veq,i}$ (از E.13.10) گرفته شده است. مولفه های عدم قطعیت سرعت باد که در عدم قطعیت REWS می آید برمبنای معادله (۵) از ۹،۱،۳،۲ یا معادله (۱۱) از بخش ۹،۱،۳،۴ یا معادله (۶) در ۹،۱،۳،۲ می آید اینها و (همچنین معادله (۱۱)) را تحت تاثیر قرار دهد همه اینها یک مولفه عدم قطعیت مربوط به برقراری تصحیح ارتفاع اندازه گیری را اجرا می نمایند. چنانچه این مولفه عدم قطعیت ناکافی باشد برای یک دکل اندازه گیری هواشناسی که برای کالیبراسیون لیدار (LIDAR) طبق پیوست L بکار رفته است، فقط مشکل با اندازه گیری سیستم سودار (SODAR) برای سرعتهای باد در ارتفاعهای بالاتر است وقتی که "اشعه خم می شود و انحراف پیدا می کند" ممکن است اتفاق افتد. در این حالت اندازه گیری باید مولفه بیشتری برای عدم قطعیت لحاظ گردد.

E-۱۳-۷ عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد بر طبق REWS

مولفه های عدم قطعیت زیرین ترکیبی برای محاسبه عدم قطعیت گروه B نسبت به اندازه گیری سرعت باد بوسیله RSD است. سرعت باد معادل روتور باید بعنوان اندازه گیری یکتا سرعت باد در نظر گرفته شود. عدم قطعیت استاندارد کل سرعت باد معادل روتور در سری سرعت باد i می تواند با رابطه زیر بیان شود:

$$u^2_{v_{eq},i} = \sum_{k=1}^{M}\sum_{l=1}^{M} u_{v_{eq},k,i}\, u_{v_{eq},l,i}\, \rho_{k,l,i} \qquad (E.38)$$

بطوریکه:

M تعداد مولفه های عدم قطعیت v_{eq} است.
i سری سرعتهای باد که مبنای خود را متوسط حاصل از سری که برای منحنی توان استفاده شده است گرفته است.
$u_{veq,k,i}$ زیر مولفه عدم قطعیت استاندارد k از v_{eq} در سری سرعت باد i است.
$u_{veq,l,i}$ زیر مولفه عدم قطعیت استاندارد k از v_{eq} در سری سرعت باد i است.
$\rho_{k,l,i}$ ضریب همبستگی بین مولفه عدم قطعیت k از ارتفاعهای m و n در سری سرعت باد i است.
لازم به تذکر است که ضرایب حساسیت بطور واضح بیان نگردیده اند، زیرا آنها در معادله زیر بیان گردیده اند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

مولفه های عدم قطعیت $u_{veq,k,i}$ در سری سرعت i باید از رابطه مولفه های عدم قطعیت سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاعهای یکتا بکمک روش گسترش خطا محاسبه گردند:

$$u_{v_{eq},k,i}^2 = \sum_{m=1}^{L}\sum_{n=1}^{L} c_{m,i}u_{v_m,k,i}c_{n,i}u_{v_n,k,i}\rho_{m,n,k,i} \qquad (E.39)$$

بطوریکه:

L تعداد ارتفاعهای اندازه گیری در سطح روتور است.

$u_{vm,k,i}$ زیر مولفه عدم قطعیت استاندارد k از سرعت باد اندازه گیری در ارتفاع m در سری سرعت باد i است.

$u_{vn,k,i}$ زیر مولفه عدم قطعیت استاندارد k از سرعت باد اندازه گیری در ارتفاع n در سری سرعت باد i است.

$c_{m,i}$ فاکتور حساسیت k از v_{eq} در سرعت باد در ارتفاع m در سری سرعت باد i است.

$c_{n,i}$ فاکتور حساسیت k از v_{eq} در سرعت باد در ارتفاع n در سری سرعت باد i است.

$\rho_{m,n,k,i}$ ضریب همبستگی بین مولفه عدم قطعیت k از ارتفاعهای m و n در سری سرعت باد i است.

فاکتورهای حساسیت $c_{m,i}$ و $c_{n,i}$ با تعریف REWS به کمک روش گسترش خطا بدست می آید:

$$c_{m,i} = \frac{\partial v_{eq,i}}{\partial v_{m,i}} = \frac{A_m}{A}\left(\frac{v_{m,i}}{v_{eq,i}}\right)^2 \qquad (E.40)$$

بطوریکه:

A_m بخشی از روتور که در ارتفاع m اندازه گیری سرعت باد طبق معادله (۶) از ۹،۱،۳،۲ صورت می گیرد.

A مساحت جاروب شده روتور است.

$v_{m,i}$ سرعت باد در ارتفاع m در سری سرعت باد i است.

$v_{eq,i}$ سرعت باد معادل روتور در سری i است.

برای بکاربردن معادله (E.40)، سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاعهای متفاوت اندازه گیری باید متوسط سری باشد بطوریکه نهایتاً تابعی ازسرعت باد اجرا شده در منحنی توان قابل ارزیابی باشد (چگال هوا نرمال شده و سرعت باد با برش باد تصحیح گشته باشد). معادله (E.39) با ترکیب با معادله (E.40) ساده سازی می شود اگر همبستگی کامل باشد یا هیچ همبستگی بین مولفه های عدم قطعیت در ارتفاعهای متفاوت اندازه گیری وجود نداشته باشد. ضرایب همبستگی پیشنهاد شده در جدول E.7 توصیه می شود برای محاسبه عدم قطعیت v_{eq} اجرا گردد. ضرایب همبستگی کمتر باید فقط مشخص باشند بکار رود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول E-۷: فرضیات پیشنهادی برای همبستگی عدم قطعیت اندازه گیری بین ارتفاعهای اندازه گیری متفاوت[۲۶].

Component	Correlation coefficient of uncertainties between different measurement heights	Explanation
Wind shear measurement by cup anemometers		
Wind tunnel calibration	1	Calibration in same wind tunnel is required; high correlation of uncertainties of calibrations of different cup anemometers
Cup anemometer classification	1	Anemometers at different heights measure under very similar climatic conditions
Cup anemometer mounting	1, 0	1, if boom mounted and same boom configuration; 0, if one anemometer top mounted and the other boom mounted
Data acquisition system	0	Different input channels applied
Site effects due to distance between the reference meteorological mast and the test wind turbine	1	As a first approximation, the site effects may be assumed to be identical for the rotor height range.
Uncertainty due to limited number of measurements over rotor height range	1	To a first approximation, this uncertainty is fully correlated between the measurement heights
Wind shear measurement by remote sensing device		
Verification test	1	Normally, very similar conditions of reference sensors at different heights present. Sensitivity of accuracy of remote sensing device on measurement height may be ignored.
Sensitivity analysis / classification	1	Classification performed under very similar conditions at different heights. Dependency of sensitivity of remote sensing device on environmental conditions on measurement height may be ignored.
Uncertainty resulting from control with meteorological mast	1	Same uncertainty assumed for all heights
Uncertainty due to flow variation in different probe volumes at same height	1	Normally, quite similar effect expected at different measurement heights. Sensitivity of error on measurement height may be ignored.
Mounting	1	Similar effect of system mounting in different measurement heights
Site effects due to distance between the measurement and the test wind turbine	1	As a first approximation, the site effects may be assumed to be identical for the rotor height range.
Uncertainty due to limited number of measurements over rotor height range	1	To a first approximation, this uncertainty is fully correlated between the measurement heights

[۲۶] عدم قطعیت اضافی در تعیین سرعت باد حاصل از نرمال سازی چگالی هوا پدیدار می شود. این مولفه بعد از متوسط گیری سرعتهای باد در مقطع روتور است و باید به ارزیابی نهایی عدم قطعیتهای سرعت باد اضافه گردد.

تذکر: اگر یک برای همه مولفه های عدم قطعیت فرض گردد پس ضریب همبستگی برابر ۱ برای تمام مولفه ها برای همان ارتفاع می شود، این فرآیند ساده سازی مینماید تا گسترش عدم قطعیت محاسبه شده بتواند مانند بخش شرح داده شود با بکار گیری $V_{eq,i}$ بجای V_i . برای مقادیر ثابت (مانند کالیبراسیون)، این مقدار می تواند برای $VeqV_{eq,i}$ بکار رود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۱۳-۸ عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد بر طبق REWS برای ارتفاع هاب دکل هواشناسی + RSD برای برش بادی که سرعت باد مطلق را بکار برد

عدم قطعیت اندازه گیری سرعت باد در ارتفاع هاب بوسیله بادسنج فنجانی یا صوتی و عدم قطعیت اندازه‌گیری برش باد بوسیله RSD می تواند بصورت مستقل از یکدیگر در نظر گرفته شود. تکثیر خطا روی معادله (۱۱) از ۹,۱,۳,۴ به معادله زیر برای عدم قطعیت نهایی سرعت معادل روتور رهنمون می نماید:

$$u^2_{v_{eq},final,i} = f^2_{r,X,i}u^2_{v_h,i} + v^2_{h,i}u^2_{f_{r,X},i} \qquad (E.41)$$

بطوریکه:

$u_{veq,final,i}$ عدم قطعیت استاندارد سرعت نهایی باد معادل روتور در سری i است.

$f_{r,X,i}$ فاکتور تصحیح برش باد در سری سرعت باد i است.

$v_{h,i}$ سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاع هاب در سری i بوسیله بادسنج فنجانی یا صوتی است.

$u_{vh,i}$ عدم قطعیت استاندارد $v_{h,i}$ در سری سرعت باد i است.

$u_{fr,X,i}$ عدم قطعیت استاندارد $f_{r,X,i}$ در سری سرعت باد i است.

عدم قطعیت فاکتور تصحیح برش باد هست (تکثیر خطای روی معادله (۹) و (۱۰) از ۹,۱,۳,۳):

$$u^2_{f_{r,X},i} = \frac{1}{v^2_{h,X,i}}u^2_{v_{eq,X},i} + \frac{v^2_{eq,X,i}}{v^4_{h,X,i}}u^2_{v_{h,X},i} - 2\frac{v_{eq,X,i}}{v^3_{h,X,i}}u_{v_{eq,X},i}u_{v_{h,X},i}\rho_{u_{v_{eq,X}},u_{v_{h,X}},i} \qquad (E.42)$$

بطوریکه:

$v_{h,X,i}$ در سرعت باد اندازه گیری شده با RSD در سری i است.

$u_{vh,X,i}$ عدم قطعیت استاندارد $v_{h,X,i}$ است.

$v_{eq,X,i}$ سرعت باد معادل روتور اندازه گیری شده با RSD در سری i است.

$u_{veq,X,i}$ عدم قطعیت استاندارد $v_{h,X,i}$ در سری سرعت باد i است.

$\rho_{uveq,uvh,X}$,i ضریب همبستگی بین مولفه های عدم قطعیت $u_{veq,X,i}$ و $u_{vh,X,i}$ در سری سرعت باد i است.

بطوریکه با در نظر گرفتن $u_{veq,X,i}$ و $u_{vh,X,i}$ هر دو یک نوع زیر مولفه عدم قطعیت دارند همانطور که در جدول E.7 داده شده است و فرض نمایید که این زیر مولفه ها از یکدیگر مستقل هستند، معادله (E.42) می شود:

$$u^2_{f_{r,X},i} = \sum_{k=1}^{M}\frac{1}{v^2_{h.X,i}}u^2_{v_{eq,X},k,i} + \frac{v^2_{eq,X,i}}{v^4_{h,X,i}}u^2_{v_{h,X},k,i} - 2\frac{v_{eq,X,i}}{v^3_{h,X,i}}u_{v_{eq,X},k,i}u_{v_{h,X},k,i}\rho_{u_{v_{eq,X}},u_{v_{h,X}},k,i} \qquad (E.43)$$

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بطوریکه:

$u_{veq,X,k,i}$ زیر مولفه عدم قطعیت استاندارد k از سرعت باد معادل روتور چنانچه با وسیله سنجش از راه دور در سری i اندازه گیری شود، طبق معادله (E.39) آنالیز گردد.

$u_{vh,X,k,i}$ مولفه عدم قطعیت استاندارد k از سرعت باد در ارتفاع هاب چنانچه با RSD در سری i اندازه گیری شود.

$\rho_{uveq,uvh,X}$,i ضریب همبستگی بین مولفه های عدم قطعیت $u_{veq,X,i}$ و $u_{vh,X,i}$ در سری سرعت باد i است.

M تعداد مولفه های عدم قطعیت $v_{eq,X}$ و $v_{h,X}$ است.

برای بکارگیری معادله (E.43)، $v_{h,X,i}$ و $v_{eq,X,i}$ از طریق متوسط گیری سری سرعت باد معادل روتور و سرعت باد ارتفاع هاب بوسیله سیستم سنجش از راه دور بصورت تابعی از سرعت باد نهایی اجرا شده برای ارزیابی منحنی توان (چگالی هوا و سرعت باد که با برش باد نرمالیزه شده) اندازه گیری می شود. ضرایب همبستگی بین مولفه های عدم قطعیت استاندارد سرعت باد اندازه گیری شده بوسیله سنجش از راه دور چه معادل روتور باشد چه در ارتفاع هاب یعنی: $\rho_{uveq,uvh,X}$,i باید از نتایج بررسی آزمون و آزمون حساسیت طبق طبقه بندی وسیله سنجش ازراه دور تخمین زده شود. در بعضی حالات، فرض ضریب همبستگی تقریباً ۱ می تواند قابل قبول باشد. معادله (E.43) در هنگامی که بهمراه معادله (E.41) و معادله (E.39) بکار می رود، اجازه می دهد که مولفه های عدم قطعیت سرعت باد معدل روتور نهایی ارزیابی گردد. این زیر مولفه ها باید در معادلات (E.3) و (E.4) اجرا گردند. طبق معادله (E.41)، کل عدم قطعیت سرعت نهایی معادل روتور بزرگتر از عدم قطعیت سرعت باد اندازه گیری شده در اراتفاع هاب با بادسنج فنجانی یا صوتی است (مگر اینکه فاکتور تصحیح برش باد از عدد ۱ فراتر رود). عدم قطعیت ناشی از فاکتور برش باد افزایش می یابد. طبق معادله (E.43)، این عدم قطعیت اضافی حذف می شود اگر سرعتهای باد اندازه گیری شده در ارتفاع هاب و معادل روتور بوسیله RSD تماماً همبسته می شوند ($\rho_{uveq,uvh,X}$,i = ۱)، اما چنانچه اگر سرعت باد معادل روتور با سرعت باد در ارتفاع هاب که بوسیله RSD اندازه گیری می شود برابر باشند.

توجه کنید: فرض نمایید که تمام ضرایب همبستگی برابر ۱ و $u_{vh,X,k,}$ برابر $u_{veq,X,k,i}$ (E.13.7 را ببینید)، معادله $u^2_{fr,X,i}$ بصورت زیر ساده می گردد:

$$u_{f_{r,X},i} = \left(\frac{v_{h,X,i} - v_{\mathrm{eq},X,i}}{v^2_{h,X,i}}\right) \sqrt{\sum_{k=1}^{M} u^2_{v_{h,X},k,i}} \qquad \text{(E.44)}$$

بطوریکه:

$v_{h,X,i}$ سرعت باد اندازه گیری شده با RSD در سری i است.

$u_{vh,X,i}$ عدم قطعیت استاندارد k از سرعت باد در ارتفاع هاب چنانچه با RSD در سری i اندازه گیری شود.

$V_{eq,X,i}$ سرعت باد اندازه گیری شده با RSD در سری i است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

E-۱۳-۹ عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد طبق REWS در ارتفاع هاب دکل هواشناسی و RSD برای برش باد با بکار بردن سرعت نسبی باد

آنالیز حساسیت و بررسی آزمون وسیله سنجش از راه دور برای اندازه گیری برش باد بجای اندازه گیری سرعت مطلق باد ممکن است قابل دسترس باشد. این بدان معناست که دقت اندازه گیری RSD در عبارت اندازه گیری برش باد باید بوسیله بازبینی آزمون بررسی گردد، و اینکه حساسیت متغیرهای محیطی روی اندازه گیری برش باد آزمایش گردد که برای طبقه بندی RSD لازم است. اگر چنانچه آنالیز حساسیت و بازبینی آزمون RSD موجود است، مفید است که برای ارزیابی عدم قطعیتهای عبارت اندازه گیری سرعت نسبی باد معرفی شود، چنانچه بوسیله RSD اجرا گردید:

$$v_{r,\mathrm{RSD},m} = \frac{v_{m,\mathrm{RSD}}}{v_{h,\mathrm{RSD}}} \qquad (E.45)$$

بطوریکه:

$v_{r,RSD,m}$ سرعت نسبی باد اندازه گیری شده بوسیله RSD در ارتفاع m نسبت به سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاع هاب بوسیله RSD است.

$v_{h,RSD}$ سرعت باد اندازه گیری شده بوسیله RSD در ارتفاع هاب بوسیله RSD است.

$v_{m,RSD}$ سرعت باد اندازه گیری شده بوسیله RSD در ارتفاع m است.

فاکتور تصحیح برش باد چنانکه در معادله (۹) در بخش ۹,۱,۳,۳ آمده بود می تواند بازنویسی بصورت زیر گردد:

$$f_{r,\mathrm{RSD}} = \left(\sum_{m=1}^{L} \frac{A_m}{A} v_{r,\mathrm{RSD},m}^3 \right)^{\frac{1}{3}} \qquad (E.46)$$

بطوریکه:

A_m بخشی از روتور که در ارتفاع m اندازه گیری سرعت باد طبق معادله (۵) از ۹,۱,۳,۲ صورت می گیرد.

A مساحت جاروب شده روتور است.

L تعداد ارتفاعهای اندازه گیری در ارتفاع سطح روتور است.

معادله (E.41) می تواند برای ارزیابی عدم قطعیت سرعت نهایی باد معادل روتور با مولفه عدم قطعیت فاکتور تصحیح برش باد در سری i سرعت باد حاصل گردد:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$$u^2_{f_{r,\mathrm{RSD},k,i}} = \sum_{m=1}^{L}\sum_{n=1}^{L} c_{v_{r,\mathrm{RSD},m,i}} u_{v_{r,\mathrm{RSD},m,k,i}} c_{v_{r,\mathrm{RSD},n,i}} u_{v\mathrm{RSD},n,k,i} \rho_{r,m,n,k,i} \qquad (E.47)$$

بطوریکه:

L تعداد ارتفاعهای اندازه گیری در سطح روتور است.

$u_{vr,RSD,m,k,i}$ زیر مولفه عدم قطعیت استاندارد k از سرعت باد اندازه گیری در ارتفاع m در سری سرعت باد i است.

$u_{vr,RSD,n,k,i}$ زیر مولفه عدم قطعیت استاندارد k از سرعت باد اندازه گیری در ارتفاع n در سری سرعت باد i است.

$c_{vr,RSD,m,\mathrm{i}}$ فاکتور حساسیت k از $f_{r,RSD}$ در سرعت باد در ارتفاع m در سری سرعت باد i است.

$c_{vr,RSD,n,\mathrm{i}}$ فاکتور حساسیت از $f_{r,RSD}$ در سرعت باد در ارتفاع n در سری سرعت باد i است.

فاکتورهای حساسیت $c_{vr,RSD,n,\mathrm{i}}$ و $c_{vr,RSD,m,\mathrm{i}}$ اینگونه بدست می آید:

$$c_{v_{r,\mathrm{RSD},m,i}} = \frac{\partial f_{r,\mathrm{RSD},i}}{\partial v_{r,\mathrm{RSD},m,i}} = \frac{A_m}{A}\left(\frac{v_{r,\mathrm{RSD},m,i}}{f_{r,\mathrm{RSD},i}}\right)^2 \qquad (E.48)$$

مولفه های عدم قطعیت همانطور که در جدول E.7 داده شده اند باید اجرا گردند، اما در عبارات سرعت نسبی باد اندازه گیری شده بوسیله RSD نسبت به عبارات سرعت باد مطلق اندازه گیری شده باشد. علاوه بر این، همان ضرایب همبستگی مولفه های عدم قطعیت بین دو ارتفاع اندازه گیری چنانکه در جدول E.7 آمده است باید برای سرعت باد نسبی اندازه گیری شده فغرض گردد، مگر اینکه بوضوح مشخص باشد که مقادیر دیگری وجود دارند. سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاع هاب بوسیله بادسنج فنجانی یا صوتی v_h ، فاکتور تصحیح برش باد $f_{r,RSD}$ ، و سرعتهای نسبی باد اندازه گیری شده $v_{r,RSD}$ بوسیله RSD باید در سری متوسط گیری شوند در مقابل سرعت باد نهایی اجرا شده برای ارزیابی منحنی توان برای بکارگیری در معادلات (E.41)، (E.47) و (E.48) (برش باد تصحیح شده و سرعت باد که با چگالی هوای نرمال شده ارائه می شود).

E-۱۳-۱۰ عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد طبق REWS در اثر انحراف مسیر باد بر روی کل روتور

سرعت باد معادل روتور (تغییر جهت باد با ارتفاع طبق پیوست Q را در نظر بگیرید) به سرعتهای باد و جهات باد در امتداد دامنه ارتفاع روتور بستگی دارد. اغلب، عدم قطعیت‌های اندازه گیری‌های سرعت و جهت باد می توانند مستقل از همدیگر در نظر گرفته شوند. پس معادله (E.38) در E.13.7 به رابطه زیر تبدیل می شود:

$$u^2_{v_{\mathrm{eq},i}} = \sum_{k=1}^{M} u^2_{v_{\mathrm{eq},k,i}} + \sum_{l=1}^{N} u^2_{v_{\mathrm{eq},l,i}} \qquad (E.49)$$

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بطوریکه:

M تعداد زیر مولفه های عدم قطعیت v_{eq} مرتبط با اندازه گیری سرعت باد است.

i سری سرعتهای باد که مبنای خود را متوسط حاصل از سری که برای منحنی توان استفاده شده است گرفته است.

$u_{veq,k,i}$ زیر مولفه عدم قطعیت استاندارد k از v_{eq} مربوط به سرعت باد در سری سرعت باد i است.

N تعداد زیر مولفه عدم قطعیت v_{eq} مربوط به اندازه گیری جهت باد است.

$u_{veq,l,i}$ زیر مولفه عدم قطعیت استاندارد l از v_{eq} در سری جهت باد اندازه گیری شده در سری سرعت باد i است.

سمت چپ معادله بالا تمام عدم قطعیتهای اندازه گیری سرعت باد از سرعت باد معادل روتور را پوشش می دهد، و باید طبق بخش E.8 عمل گردد، مادامیکه فاکتورهای حساسیت داده شده در معادلات (E.39) و (E.49) باید در یک سوم توان $\cos(\varphi_m)$ ضرب شود، که m اختلاف جهت باد در ارتفاع هاب در m ام ارتفاع اندازه گیری شده است. این فاکتور همچنین در معادله (E.46) برای تعیین فاکتور تصحیح برش باد بکار میرود. سمت راست معادله (E.49) تمام عدم قطعیتهای اندازه گیری جهت باد از سرعت باد معادل روتور را پوشش می دهد. چنانکه در E.8.1 توضیح داده شده است، یک مشکل در ارزیابی عدم قطعیت مرتبط با این مطلب این است که اندازه گیریهای جهت باد در ارتفاعهای متفاوت با هم همبستگی دارند. مشابه با معادله (E.39)، زیر مولفه های عدم قطعیت جهت باد از سرعت باد veq در سری سرعت i باید از رابطه مولفه های عدم قطعیت جهت باد اندازه گیری شده در ارتفاعهای یکتا بکمک روش گسترش خطا محاسبه گردند:

$$u^2_{v_{eq},l,i} = \sum_{m=1}^{L}\sum_{n=1}^{L} c_{m,i}u_{v_m,l,i}c_{n,i}u_{v_n,l,i}\rho_{m,n,l,i} \qquad (E.50)$$

بطوریکه:

L تعداد ارتفاعهای اندازه گیری در سطح روتور است.

$u_{vm,l,i}$ زیر مولفه عدم قطعیت استاندارد l از جهت باد اندازه گیری در ارتفاع m در سری سرعت باد i است.

$u_{vn,l,i}$ زیر مولفه عدم قطعیت استاندارد l از جهت باد اندازه گیری در ارتفاع n در سری سرعت باد i است.

$c_{m,i}$ فاکتور حساسیت از v_{eq} از جهت باد در ارتفاع m در سری سرعت باد i است.

$c_{n,i}$ فاکتور حساسیت از v_{eq} از جهت باد در ارتفاع n در سری سرعت باد i است.

$\rho_{m,n,l,i}$ ضریب همبستگی بین مولفه عدم قطعیت l از جهت باد اندازه گیری شده در ارتفاعهای m و n در سری سرعت باد i (سری سرعت باد مرتبط با منحنی توان) است.

فاکتورهای حساسیت $c_{m,i}$ و $c_{n,i}$ با تعریف REWS و با در نظر گرفتن تغییر جهت باد با ارتفاع به کمک روش گسترش خطا بدست می آید:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$$c_{m,i} = \frac{\partial v_{\mathrm{eq,i}}}{\partial v_{m,i}} = -\sin(\varphi_{m,i})\cos^2(\varphi_{m,i})\frac{A_m}{A}\frac{v_{m,i}^3}{v_{\mathrm{eq},i}^2} \qquad \text{(E.51)}$$

بطوریکه:

A_m بخشی از روتور که در ارتفاع m اندازه گیری سرعت باد طبق معادله (۶) از ۹،۱،۳،۲ صورت می گیرد.

A مساحت جاروب شده روتور است.

$\Phi m,i$ جهت باد در ارتفاع m نسبت به جهت باد درارتفاع هاب در سری سرعت i است.

$v_{m,i}$ سرعت باد در ارتفاع m در سری سرعت باد i است.

$v_{eq,i}$ سرعت باد معادل روتور در سری i است.

برای بکار بردن معادله (E.40)، جهت باد نسبی $\Phi m,i$ و سرعتهای باد $v_{m,i}$ اندازه گیری شده در ارتفاعهای مختلف باید متوسط گیری شده سری بصورت تابعی از سرعت باد نهایی اجرا شده برای ارزیابی منحنی توان باشند (برش باد تصحیح شده و سرعت باد که با چگالی هوای نرمال شده ارائه می شود). معادله (E.50) در ترکیب با معادله (E.51) ساده می گردد اگر همبستگی کامل، نبود همبستگی یا ضد همبستگی بین مولفه های عدم قطعیت در ارتفاعهای اندازه گیری مختلف فرض گردد. ضرایب همبستگی پیشنهاد شده در جدول E.8 باید برای محاسبه عدم قطعیتها در عبارات جهت باد اجرا گردد. ضرایب همبستگی کمتر باید بکار رود فقط برای وقتی که اگر موضوع روشن باشد و داده های مرتبط گزارش شده باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول E-۸: فرضیات پیشنهاد شده همبستگی برای عدم قطعیتهای اندازه گیری در ارتفاعهای اندازه گیری متفاوت

Component	Correlation coefficient of uncertainties between different measurement heights	Explanation
Relative wind direction measurement by vanes or sonic anemometers		
Wind tunnel calibration of vanes used at height m, n and hub height	0,5	The uncertainty of the calibration of single vanes is basically correlated. But as the wind direction differences relative to hub height at heights m and n include the direction measurement at hub height, a correlation coefficient of 0,5 is suggested.
Influence of met mast on wind direction measurements at heights m,n and hub height	0,5; 1	If the vanes at the two heights m and n are mounted in the same wat relative to the same mast structure, the uncertainties are fully correlated across the two heights m and n. However, the uncertainty itself gets 0 if the vane at hub height is also influenced in the same way by the met mast. If the vanes at the two heights m and n are mounted different relative to the mast structure, or if the mast structure differs much at two heights m and n, the uncertainties and these two heights can be considered as being uncorrelated. But as the wind direction difference relative to hub height at the two heights m and n includes the direction measurement at hub height, a correlation coefficient of 0,5 is suggested for this case.
Northing of wind direction measurement at height m, n and hub height	0,5	The uncertainty of the northing of single vanes is basically uncorrelated. But as the wind direction relative to hub height at the two heights m and n includes the direction measurement at hub height, a correlation coefficient of 0,5 is suggested.
Data acquisition system (DAS) used to monitor the vanes at height m,n and hub height	0,5	The uncertainty of the DAS channels of single vanes is often basically uncorrelated. But as the wind direction differences relative to hub height at the two heights m and n include the direction measurement at hub height, a correlation coefficient of 0,5 is suggested.
Relative wind direction measurement by remote sensing device		
Wind tunnel calibration of reference vanes used for verification tests at heights m, n and hub height	0,5; 1	These uncertainties of the reference measurement of the verification tests are basically uncorrelated at two heights m and n. But as the wind direction differences relative to hub height at the two heights m and n include the direction measurement at hub height, a correlation coefficient of 0,5 is suggested. An exception is the case of using the same verification test at two height m and n (e.g. if the mast used for the verification test does not cover the entire range of the rotor). Then the uncertainties are fully correlated across the two heights m and n. However, the uncertainty itself gets 0 if the same verification is also applied for hub height.
Northing of reference vanes used for verification tests at heights m, n and hub height	0,5; 1	
Data acquisition system (DAS) used to monitor reference vanes applied for verification tests at heights m, n and hub height	0,5; 1	
Mean deviation of RSD measurement and reference measurement during verification tests at heights m, n and hub height	0,5; 1	
Statistical uncertainty of verification tests at height m, n and hub height	0,5; 1	
Uncertainty of verification tests at height m, n and hub height due to a possible misalignment of the RSD	1	The uncertainty is fully correlated across the heights m and n. However, the respective uncertainty is zero for all heights m and n as the misalignment error cancels out when evaluating the difference

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

Component	Correlation coefficient of uncertainties between different measurement heights	Explanation
		of the wind direction at height m and n relative to hub height.
Uncertainty of verification tests at height m, n and hub height caused by the assumption of equal wind conditions across the probe volumes of the RSD.	1	These uncertainties are highly correlated across the heights m and n. However, the respective uncertainties are close to zero as the influence on the wind direction measurement at height m (or n) and hub height cancels out when evaluating the difference of the wind directions.
Uncertainty of verification tests at height m, n and hub height due to a possible separation of the centre of the measurement volume of the RSD and the position of the reference mast	1	
Uncertainty due to sensitivity of RSD measurements and environmental variables.	1	
Possible misalignment of the RSD at the power curve test	1	This uncertainties is fully correlated across the heights m and n. However, the respective uncertainties is zero for all heights m and n as the influence on the wind direction measurement at height m (or n) and hub height cancels out when evaluating the difference of the wind directions.
Assumption of equal wind conditions across the probe volumes of the RSD at heights m, n and hub height	1	This uncertainties is highly correlated across the heights m and n. However, the respective uncertainties are close to zero as the influence on the wind direction measurement at height m (or n) and hub height cancels out when evaluating the difference of the wind directions.
Monitoring wind with a met mas at the power curve test	0,5; 1	If the monitoring met mast covers the two heights m and n with different vanes, the uncertainties of the monitoring are basically uncorrelated at two heights m and n. But as the wind direction differences relative to hub height at the two heights m and n include the direction measurement at hub height, a correlation coefficient of 0,5 is suggested in this case. If the monitoring mast provides only one measurement height that can be used to check the RSD measurement at the heights m and n, the uncertainty is fully correlated across the heights m and n. However, the respective uncertainty is then close to zero for all heights m and n as the uncertainty cancels out when evaluating the difference of the wind direction at height m (or n) and hub height.

E-۱۳-۱۱ عدم قطعیتهای ترکیبی در اندازه گیری سرعت باد با انحراف جریان ناشی از کالیبراسیون محل آزمون

مولفه های عدم قطعیت زیر با هم جمع می شوند برای محاسبه عدم قطعیت گروه B برای کالیبراسیون محل آزمون، $u_{VT,i}$.

$$u_{VT,i,j} = \sqrt{u^2_{VT,precal,i,j} + u^2_{VT,postcal,i,j} + u^2_{VT,class,i,j} + u^2_{VT,mnt,i,j} + u^2_{VT,lgt,i,j} + u^2_{VT,coc,i,j} + u^2_{VT,rmw,i,j} + u^2_{VT,sv,i,j} + u^2_{dVT,i,j} + s^2_{VT}} \quad (E.52)$$

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بطوریکه:

$u_{VT,i,j}$ عدم قطعیت ناشی از کالیبراسیون محل آزمون است.

$u_{VS,precal,i,j}$ عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون بادسنج قبل از شروع آزمون است.

$u_{VS,postcal,i,j}$ عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون بادسنج بعد یا در طی آزمون است.

$u_{VT,class,i,j}$ عدم قطعیت مربوط به طبقه بندی حسگر است.

$u_{VT,lgt,i,j}$ عدم قطعیت ناشی از میله صاعقه گیر در حالت نصب بادسنج در نوک است.

$u_{VT,mnt,i,j}$ عدم قطعیت مربوط به نصب حسگر است.

$u_{VT,coc,i,j}$ عدم قطعیت مربوط به تغییر تصحیح مقدار بین سری ها است.

$u_{VT,rmv,i,j}$ عدم قطعیت مربوط به برداشتن حسگر جهت باد بین آزمون کالیبراسیون محل و آزمون عملکرد توان است.

$u_{VT,sv,i,j}$ عدم قطعیت مربوط به تغییر فصل بین کالیبراسیون محل آزمایش و آزمون عملکرد توان است.

$u_{dVT,i,j}$ عدم قطعیت مربوط به جمع آوری داده های سیگنال سرعت باد است.

s_{VT} عدم قطعیت استاندارد گروه A از کالیبراسیون محل آزمون است، C.6.1 را ببینید.

عدم قطعیت در یک سری سرعت باد در امتداد همه بخشهای تقسیم شده متوسط وزنی آن باید رابطه زیر را عرضه نماید:

$$u_{\mathrm{VT},i} = \frac{\sum_j u_{\mathrm{VT},i,j} N_{i,j}}{\sum_j N_{i,j}} \qquad (E.53)$$

بطوریکه:

$N_{i,j}$ تعداد بسته داده های منحنی توان برای سری سرعت باد i در سری جهت باد j است.

E-۱۳-۱۲ عدم قطعیتهای ترکیبی برای درجه حرارت اندازه گیری شده

مولفه های عدم قطعیت زیر با هم جمع می شوند برای محاسبه عدم قطعیت گروه B برای درجه حرارت، $u_{T,i}$.

$$u_{\mathrm{T},i} = \sqrt{u^2_{\mathrm{T,cal},i} + u^2_{\mathrm{T,shield},i} + u^2_{\mathrm{T,mnt},i} + u^2_{\mathrm{dT},i}} \qquad (E.54)$$

بطوریکه:

$u_{T,i}$ عدم قطعیت اندازه گیری درجه حرارت است.

$u_{T,cal,i}$ عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون حسگر درجه حرارت است.

$u_{T,shield,i}$ عدم قطعیت مربوط به حفاظت حسگر درجه حرارت است.

$u_{T,mnt,i}$ عدم قطعیت مربوط به نصب حسگر درجه حرارت است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$u_{dT,i}$ عدم قطعیت مربوط به جمع آوری داده های سیگنال درجه حرارت است.

اگر ما فرضیات زیر را درنظر بگیریم:

- عدم قطعیت استاندارد حسگر درجه حرارت ۰٫۵ درجه سانتیگراد است.
- حفاظت از تشعشع حسگر دما ۲ درجه سانتیگراد است.
- عدم قطعیت استاندارد ناشی از تاثیرات نصب حسگر دما بستگی به فاصله عمودی از ارتفاع هاب دارد. با حسگر دمای نصب شده در فاصله ۱۰ متری از ارتفاع هاب یک عدم قطعیت یک سوم درجه سانتیگراد فرض نمایید.
- در نظر گرفتن دامنه دمایی ۴۰ درجه سانتیگراد از کانال اندازه گیری و یک عدم قطعیت استاندارد سیستم جمع آوری داده از این دامنه ۰٫۴٪ است.

پس محاسبه عددی عدم قطعیت استاندارد برای درجه حرارت هوا در هر سری هست:

$$u_{T,i} = \sqrt{(0{,}5\text{K})^2 + (2{,}0\text{K})^2 + (0{,}3\text{K})^2 + (0{,}1\,\% \cdot 40\text{K})^2} = 2{,}1\,\text{K} \qquad (E.55)$$

E-۱۳-۱۳ عدم قطعیتهای ترکیبی برای فشار اندازه گیری شده

مولفه های عدم قطعیت زیر برای محاسبه عدم قطعیت گروه B برای فشار با هم جمع می شوند، $u_{B,i}$.

$$u_{B,i} = \sqrt{u_{B,cal,i}^2 + u_{B,mnt,i}^2 + u_{dB,i}^2} \qquad (E.56)$$

بطوریکه:

$u_{B,i}$ عدم قطعیت اندازه گیری فشار است.

$u_{B,cal,i}$ عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون حسگر فشار است.

$u_{B,mnt,i}$ عدم قطعیت مربوط به نصب حسگر فشار است.

$u_{dB,i}$ عدم قطعیت مربوط به جمع آوری داده های سیگنال فشار است.

اگر فرضیات زیر در نظر بگیریم:

- حسگر فشار یک عدم قطعیت استاندارد hpa ۳ دارد. فرض می گردد که فشار با ارتفاع هاب طبق ایزو ۲۵۳۳ تصحیح می گردد (که، برای اتمسفر استاندارد و اختلاف ارتفاع بین هاب و حسگر ۹۸ متر باشد، عدم قطعیت hpa ۱۱٫۷). عدم قطعیت استاندارد ناشی از بکارگیری حدود ۱۰٪ از تصحیح تخمین زده می شود، که hpa ۱٫۷ است.
- دامنه فشار hpa ۱۰۰ از کانال اندازه گیری در نظر بگیرید و یک عدم قطعیت از سیستم جمع آوری داده ها ۰٫۱٪ این دامنه است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پس محاسبه عددی برای عدم قطعیت استاندارد فشار هوا هست:

$$u_{B,i} = \sqrt{(3{,}0\text{hPa})^2 + (1{,}17\text{hPa})^2 + (0{,}1\,\% \cdot 100\text{hPa})^2} = 3{,}2\ \text{hPa} \qquad (E.57)$$

E-۱۳-۱۴ عدم قطعیتهای ترکیبی برای رطوبت اندازه گیری شده

مولفه های عدم قطعیت زیر با هم جمع می شوند برای محاسبه عدم قطعیت گروه B برای رطوبت، $u_{RH,i}$.

$$u_{RH,i} = \sqrt{u_{RH,cal,i}^2 + u_{RH,mnt,i}^2 + u_{dRH,i}^2} \qquad (E.58)$$

بطوریکه:

$u_{RH,i}$ عدم قطعیت اندازه گیری رطوبت نسبی است.

$u_{RH,cal,i}$ عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون حسگر رطوبت نسبی است.

$u_{RH,mnt,i}$ عدم قطعیت مربوط به نصب حسگر رطوبت نسبی است.

$u_{dRH,i}$ عدم قطعیت مربوط به جمع آوری داده های سیگنال رطوبت نسبی است.

اگر ما فرضیات زیر را درنظر بگیریم:

- عدم قطعیت استاندارد حسگر رطوبت نسبی ۱٪ است.
- عدم قطعیت استاندارد نصب حسگر ۰٫۱٪ است.
- در نظر گرفتن دامنه فشار ۱۰۰٪ از کانال اندازه گیری و یک عدم قطعیت استاندارد سیستم جمع آوری داده از این دامنه ۰٫۱٪ است.

پس محاسبه عددی عدم قطعیت استاندارد برای رطوبت نسبی هست:

$$u_{RH,i} = \sqrt{(1{,}0\,\%)^2 + (0{,}1\%)^2 + (0{,}1\,\% \cdot 100\,\%)^2} = 1{,}0\,\% \qquad (E.59)$$

E-۱۳-۱۵ عدم قطعیتهای ترکیبی در روش مرتبط به اجزاء $u_{M,i}$

مولفه های عدم قطعیت زیر با هم برای محاسبه عدم قطعیت گروه B روش شناسی جمع می شوند ، $u_{M,i}$.

$$u_{M,i} = \sqrt{u_{M,shear,i}^2 + u_{M,veer,i}^2 + u_{M,upflow,i}^2 + u_{M,ti,i}^2 + u_{M,sfx,i}^2 + u_{M,tinorm,i}^2 + u_{M,cc,i}^2} \qquad (E.60)$$

بطوریکه:

$u_{M,i}$ عدم قطعیت مرتبط با بکارگیری روش است.

$u_{M,shear,i}$ عدم قطعیت مربوط به نبود اطلاعات نسبت به برش در امتداد کل روتور است.

$u_{M,veer,i}$ عدم قطعیت مربوط به نبود اطلاعات نسبت به تغییر مسیر باد در امتداد کل روتور است.

$u_{M,upflow,i}$ عدم قطعیت مربوط به نبود اطلاعات نسبت به جریان به بالا در امتداد کل روتور است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$u_{M,ti,i}$ عدم قطعیت مربوط به نبود اطلاعات نسبت به آشفتگی هنگامی که هیچ سیگنال سرعت باد در ارتفاع هاب دکل هواشناسی موجود نباشد.

$u_{M,sfx,i}$ عدم قطعیت مربوط به تغییرات فصول روی توربین که غیر قابل توصیف است.

$u_{M,tinorm,i}$ عدم قطعیت مربوط به نرمال سازی آشفتگی است.

$u_{M,cc,i}$ عدم قطعیت مربوط به اندازه گیری در آب و هوای سرد است.

E-۱۳-۱۶ عدم قطعیتهای ترکیبی در جهت باد اندازه گیری شده با بادسنجهای صوتی و پروانه ای $u_{WV,i}$

مولفه های عدم قطعیت زیر با هم جمع می شوند برای محاسبه عدم قطعیت گروه B برای اندازه گیری جهت باد با بادسنج صوتی یا پروانه ای، $u_{WV,i}$.

$$u_{WV,i} = \sqrt{u^2_{WV,cal,i} + u^2_{WV,nm,i} + u^2_{WV,bo,i} + u^2_{WV,oe,i} + u^2_{WV,mda,i} + u^2_{dWV,i}} \qquad (E.61)$$

بطوریکه:

$u_{WV,i}$ عدم قطعیت استاندارد مربوط به جهت باد اندازه گیری شده با حسگر جهت باد نصب شده بر روی دکل (بادسنج صوتی یا پروانه ای) است.

$u_{WV,cal,i}$ عدم قطعیت مربوط به کالیبراسیون حسگر جهت باد است.

$u_{WV,nm,i}$ عدم قطعیت مربوط به نشانگر شمال از حسگر جهت باد است.

$u_{WV,bot,i}$ عدم قطعیت مربوط به تیرک افقی که حسگر جهت باد بر روی آن نصب است.

$u_{WV,oe,i}$ عدم قطعیت استاندارد مربوط به تاثیر دکل هواشناسی بر روی جهت باد اندازه گیری شده است.

$u_{WV,mda,i}$ عدم قطعیت مربوط به زاویه انحراف مغناطیسی است.

$u_{dWV,i}$ عدم قطعیت مربوط به جمع آوری داده های سیگنال حسگر جهت باد است.

عدم قطعیت استاندارد مربوط به جهت باد اندازه گیری شده با حسگر جهت باد نصب شده بر روی دکل (بادسنج صوتی یا پروانه ای) است.

E-۱۳-۱۷ عدم قطعیتهای ترکیبی در جهت باد اندازه گیری شده با روش RSD $u_{WR,i}$

مولفه های عدم قطعیت زیر با هم جمع می شوند برای محاسبه عدم قطعیت گروه B برای اندازه گیری جهت باد با RSD، $u_{WR,i}$.

$$u_{WR,i} = \sqrt{u^2_{WR,ver,i} + u^2_{WR,class,i} + u^2_{WR,mon,i} + u^2_{WR,fv,i} + u^2_{WR,align,i} + u^2_{WR,mda,i} + u^2_{dWR,i}} \qquad (E.62)$$

بطوریکه:

$u_{WR,i}$ عدم قطعیت مربوط به اندازه گیری جهت باد با RSD است.

$u_{WR,ver,i}$ عدم قطعیت مربوط به آزمون تایید RSD است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$u_{WR,class,i}$ عدم قطعیت مربوط به طبقه بندی RSD است.

$u_{WR,mon,i}$ عدم قطعیت مربوط به پایش RSD است.

$u_{WR,fv,i}$ عدم قطعیت مربوط به تغییر جریان باد در امتداد حجم اندازه گیری شده است.

$u_{WR,align,i}$ عدم قطعیت مربوط به تنظیمات RSD است.

$u_{WR,mda,i}$ عدم قطعیت مربوط به انحراف مغناطیسی است.

$u_{dWR,i}$ عدم قطعیت مربوط به جمع آوری داده های سیگنال حسگر جهت باد است.

E-۱۳-۱۸ عدم قطعیتهای ترکیبی گروه B

محاسبه عدم قطعیتهای گروه B در هر سری ترکیب میشوند مانند:

$$u_i = \sqrt{u_{P,i}^2 + c_{v,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2 + c_{RH,i}^2 u_{RH,i}^2} \qquad (E.63)$$

E-۱۳-۱۹ عدم قطعیتهای ترکیبی – منحنی توان

عدم قطعیتهای استاندارد ترکیبی هر سری از منحنی توان با ترکیب عدم قطعیت گروه A با همه عدم قطعیتهای گروه B می شود:

$$u_{c,i} = \sqrt{S_i^2 + u_i^2} = \sqrt{S_i^2 + u_{P,i}^2 + c_{v,i}^2 u_{v,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2 + c_{RH,i}^2 u_{RH,i}^2} \qquad (E.64)$$

E-۱۳-۲۰ عدم قطعیتهای ترکیبی – انرژی تولیدی

عدم قطعیت استاندارد ترکیبی AEP با ترکیب بطور جداگانه عدم قطعیتهای گروه A و گروه B بصورت تابعی از سری ها بدست می آید. این ممکن است طبق روابط کامل معادله (E.4) و با شکل بندی (E.65) یا ساده سازی و حفظ روابط معادله (E.5) و شکل بندی معادله (E.66) بدست آیند:

$$u_{AEP} = N_h \sqrt{\sum_{i=1}^{N} f_i^2 \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 \, s_{k,i}^2 + N_h^2 \sum_{k=1}^{M_B} \left(\sum_{i=1}^{N} f_i \, c_{k,i} \, u_{k,i}\right)^2} \qquad (E.65)$$

$$u_{AEP} = N_h \sqrt{\sum_{i=1}^{N} f_i^2 s_i^2 + \left(\sum_{i=1}^{N} f_i \, u_i\right)^2} \qquad (E.66)$$

بطوریکه:

f_r وقوع نسبی سرعت باد بین V_{i-1} و V_i : $F(V_i)$- $F(V_{i-1})$ در سری i است.

E-۱۴ وابستگی عناصر عدم قطعیت تحت شرایط خاص

مطابق راهنمای عدم قطعیت اندازه گیری، در بعضی حالات، یک مولفه عدم قطعیت می تواند ارزیابی گردد و روشن گردد که معنا در نیست، پس در عدم قطعیت نتایج اندازه گیری ارزیابی نمی گردد. در این استاندارد،

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

مقدار مولفه های عدم قطعیت صفر نمی گردد مگر مورد خاصی که تمام شرایط را ارضاء نموده باشد. یک مثال مربوط به عدم قطعیت $u_{VT,coc,i,j}$ در رابطه با عدم قطعیت بکار رفته درکالیبراسیون محل آزمون است هنگامی که در سری های جهت باد یک تغییر فاکتور تصحیح بزرگتر از ۲٪ را نسبت به سری همجوار که از مجموع داده ها حذف نشده اند را نشان دهد (C.7.3. d را ببینید). هنگامی تصمیم بر این می شود که این سری حذف ننمایید، و پس در این حالت، $u_{VT,coc,i,j}$ یک مقدار می گیرد، در غیر اینصورت مقدار آن صفر است. بنابراین تصمیم با استفاده کننده از این استاندارد است که چه مولفه ای از عدم قطعیت مرتبط نیست و می شود آنرا برابر صفر گرفت. بنابراین توصیه می شود تمامی موارد مستند گردد (حتی تمامی توجیهات) تا اطمینان از تکرارپذیری محاسبه عدم قطعیت حاصل گردد.

E-۱۵ تابلوهای مرجع

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول E-۹: عدم قطعیتهای ناشی از نرمال سازی چگالی هوا.

Bin No. i	Air density normalized wind speed $V_{n,i}$ m/s	Wind speed before normalization (un-normalized) $V_{un,i}$ m/s	Difference of normalised and un-normalized wind speed $V_{ni} - V_{un,i}$ m/s	Uncertainty due to air density normalization $u_{P1,i}$ m/s
4	2,03	2,025	0,008	0,004
5	2,51	2,501	0,013	0,007
6	3,03	3,015	0,014	0,007
7	3,52	3,501	0,016	0,008
8	4,02	4,000	0,022	0,011
9	4,53	4,503	0,028	0,014
10	5,00	4,976	0,029	0,014
11	5,55	5,523	0,031	0,016
12	6,03	5,991	0,035	0,017
13	6,56	6,503	0,055	0,028
14	7,01	6,970	0,041	0,021
15	7,55	7,485	0,061	0,031
16	8,04	7,979	0,065	0,032
17	8,57	8,503	0,064	0,032
18	9,08	8,999	0,080	0,040
19	9,58	9,494	0,090	0,045
20	10,10	10,007	0,091	0,045
21	10,61	10,501	0,113	0,056
22	11,10	10,982	0,122	0,061
23	11,60	11,475	0,121	0,060
24	12,11	11,986	0,125	0,062
25	12,64	12,504	0,139	0,070
26	13,17	13,034	0,134	0,067
27	13,59	13,467	0,123	0,061
28	14,18	14,020	0,157	0,079
29	14,62	14,479	0,140	0,070
30	15,07	14,916	0,149	0,075
31	15,76	15,611	0,151	0,075
32	16,09	15,941	0,147	0,073
33	16,83	16,680	0,150	0,075
34	17,03	16,926	0,100	0,050
35	17,81	17,586	0,226	0,113

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

Bin No. i	Air density normalized wind speed $V_{n\,i}$ m/s	Wind speed before normalization (un-normalized) $V_{un\,i}$ m/s	Difference of normalised and un-normalized wind speed $V_{ni} - V_{un\,i}$ m/s	Uncertainty due to air density normalization $u_{PI,i}$ m/s
36	18,19	18,052	0,135	0,068
37	18,5	0,152 2	0,135	0,068
38	19	0,152 1	0,135	0,068
39	19,5	0,153 9	0,135	0,068
40	20	0,154 1	0,135	0,068
41	20,5	0,150 5	0,135	0,068
42	21	0,151 2	0,135	0,068
43	21,5	0,154 8	0,135	0,068
44	22	0,153	0,135	0,068
45	22,5	0,153 3	0,135	0,068
46	23	0,155 7	0,135	0,068
47	23,5	0,156 7	0,135	0,068

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول E-۱۰: فاکتورهای حساسیت.

	Power curve (database B)		Sensitivity factors		
Bin No. i	Wind speed V_i m/s	Electric power P_i kW	Wind speed $c_{V,i}$ kW/m/s	Air temperature $c_{T,i}$ kW/K	Air pressure $c_{B,i}$ kW/hPa
4	2,13	−3,64	1,712	0,013	0,004
5	2,49	−3,65	0,014	0,013	0,004
6	2,99	−3,78	0,269	0,013	0,004
7	3,51	−2,19	3,062	0,008	0,002
8	3,99	−0,43	3,645	0,001	0,000
9	4,50	6,04	12,825	0,021	0,006
10	4,98	27,70	44,664	0,096	0,027
11	5,52	67,39	74,049	0,234	0,067
12	5,98	111,30	94,430	0,386	0,110
13	6,51	160,95	95,019	0,558	0,159
14	7,01	209,42	95,472	0,727	0,207
15	7,50	261,96	107,566	0,909	0,259
16	8,00	327,63	131,992	1,137	0,323
17	8,50	395,23	136,290	1,372	0,390
18	8,99	462,01	134,677	1,603	0,456
19	9,49	556,06	187,824	1,930	0,549
20	10,00	629,80	145,079	2,186	0,622
21	10,47	703,06	155,957	2,440	0,694
22	11,00	786,55	157,358	2,729	0,776
23	11,50	836,48	100,000	2,903	0,826
24	11,99	893,52	116,327	3,101	0,882
25	12,49	928,61	70,200	3,223	0,917
26	13,03	956,44	51,481	3,319	0,944
27	13,50	971,30	31,702	3,371	0,959
28	14,00	980,92	19,200	3,404	0,968
29	14,48	988,17	15,208	3,429	0,976
30	15,00	993,46	10,192	3,448	0,981
31	15,49	993,71	0,408	3,449	0,981
32	15,99	995,70	4,000	3,455	0,983
33	16,54	996,22	0,909	3,457	0,983
34	17,02	996,42	0,417	3,458	0,984
35	17,48	996,48	0,217	3,458	0,984
36	17,95	996,50	0,000	3,458	0,984
37	18,49	995,71	0,556	3,457	0,983
38	18,97	996,6	0,833	3,459	0,984
39	19,42	996,1	1,111	3,457	0,983
40	19,96	994,1	3,704	3,450	0,981
41	20,51	987,4	12,182	3,427	0,975
42	20,88	996,9	25,676	3,460	0,984

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول E-۱۱: عدم قطعیتهای گروه B

Bin No.	Electric power	Wind speed	Wind speed	Air temperature	Air temperature	Air pressure	Air pressure
i	$u_{P,i}$	$u_{V,i}$	$c_{V,i} \cdot u_{V,i}$	$u_{T,i}$	$c_{T,i} \cdot u_{T,i}$	$u_{B,i}$	$c_{B,i} \cdot u_{B,i}$
	kW	m/s	kW	K	kW	hPa	kW
4	6,29	0,19	0,33	2,09	0,03	3,18	0,01
5	6,29	0,19	0,00	2,09	0,03	3,18	0,01
6	6,29	0,19	0,05	2,09	0,03	3,18	0,01
7	6,29	0,19	0,60	2,09	0,02	3,18	0,01
8	6,29	0,20	0,71	2,09	0,00	3,18	0,00
9	6,29	0,20	2,53	2,09	0,04	3,18	0,02
10	6,29	0,20	8,85	2,09	0,20	3,18	0,09
11	6,30	0,20	14,82	2,09	0,49	3,18	0,21
12	6,32	0,20	19,04	2,09	0,81	3,18	0,35
13	6,35	0,20	19,34	2,09	1,17	3,18	0,51
14	6,39	0,21	19,58	2,09	1,52	3,18	0,66
15	6,44	0,21	22,28	2,09	1,90	3,18	0,82
16	6,52	0,21	27,66	2,09	2,37	3,18	1,03
17	6,62	0,21	28,87	2,09	2,86	3,18	1,24
18	6,74	0,21	28,86	2,09	3,35	3,18	1,45
19	6,93	0,22	40,71	2,09	4,03	3,18	1,75
20	7,09	0,22	31,82	2,09	4,57	3,18	1,98
21	7,28	0,22	34,61	2,09	5,10	3,18	2,21
22	7,51	0,22	35,38	2,09	5,70	3,18	2,47
23	7,65	0,23	22,77	2,09	6,06	3,18	2,63
24	7,82	0,23	26,81	2,09	6,48	3,18	2,81
25	7,93	0,23	16,41	2,09	6,73	3,18	2,92
26	8,02	0,24	12,20	2,09	6,93	3,18	3,00
27	8,07	0,24	7,61	2,09	7,04	3,18	3,05
28	8,10	0,24	4,67	2,09	7,11	3,18	3,08
29	8,13	0,25	3,75	2,09	7,16	3,18	3,10
30	8,14	0,25	2,55	2,09	7,20	3,18	3,12
31	8,14	0,25	0,10	2,09	7,20	3,18	3,12
32	8,15	0,26	1,03	2,09	7,22	3,18	3,13
33	8,15	0,26	0,24	2,09	7,22	3,18	3,13
34	8,15	0,26	0,11	2,09	7,22	3,18	3,13
35	8,15	0,27	0,06	2,09	7,22	3,18	3,13
36	8,15	0,27	0,00	2,09	7,22	3,18	3,13
37	8,15	0,28	0,15	2,09	7,22	3,18	3,13
38	8,15	0,28	0,23	2,09	7,22	3,18	3,13
39	8,15	0,28	0,32	2,09	7,22	3,18	3,13
40	8,15	0,29	1,07	2,09	7,21	3,18	3,12
41	8,12	0,29	3,54	2,09	7,16	3,18	3,10
42	8,15	0,29	7,54	2,09	7,23	3,18	3,13

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست F : فرآیند کالیبراسیون بادسنج در تونل باد

(الزامی)

F-۱ الزامات عمومی

الزامات عمومی برای کالیبراسیون بادسنجها بصورت زیر خلاصه می‌گردند:

a) کالیبراسیون بادسنج باید در تونل باد انجام شود که برای کالیبراسیون بادسنجها مناسب باشد.
b) تجهیزات کالیبراسیون باید بوسیله IECRE باید شناسایی شود یا مورد تایید قرار گیرد بر طبق ISO/IEC 17025 ، که استاندارد اصلی برای تست وکالیبراسیون لابراتوارهاست.
c) همه ترانسدیوسرها و تجهیزات اندازه گیری مرتبط به کالیبراسیون بادسنجها قابل رصد طبق ISO/IEC 17025. تاییدیه کالیبراسیون و گزارشها باید تمام اطلاعات مرتبط قابل رصد را در بر بگیرند.
d) سرعت باد مرجع باید بوسیله لوله پیتوت استاتیک اندازه گیری شده باشد که از نوع NPL با سر بیضوی بر طبق ISO/IEC 17025 باشد. لوله پیتوت استاتیک برای محدوده سرعت باد متناسب کالیبره گردد، و مستند گردد. سرعت باد مرجع ممکن است متناوباً با LDA (Laser Doppler Anemometry) اندازه گیری گشته و با استناد خوبی عدم قطعیت‌ها را ارائه نماید.
e) پیوستگی ساختار اجرایی تست بازبینی گردد با مقایسات روزانه تجهیزات" کنترل کیفی بادسنج".
f) کیفیت جریان برطبق بخش F-2 بازبینی گردد.
g) تکرارپذیری کالیبراسیون بر طبق بخش F-2 بازبینی گردد.
h) کالیبراسیون بادسنج بوسیله ارزیابی عدم قطعیت کالیبراسیون حمایت گردد، بر طبق راهنمای ایزو ISO Guide 98-3:2008 انجام گیرد.

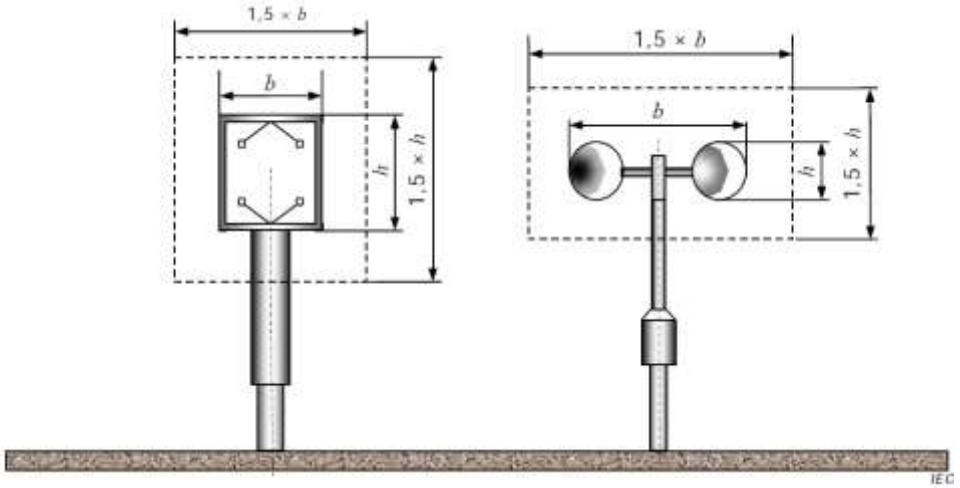
F-۲ الزامات تونل باد

حضور بادسنج در تونل باد اصولا میدان جریان را تحت تاثیر قرار نخواهد داد. در مدت اندازه گیریهای بادسنج بعضی از لایه مرزی و انسداد تونل باد بر آن تاثیر می گذارند. نسبت سطح انسداد (BR) با نسبت سطح تصویر شده بادسنج مشخص می شود، عمود به جهت جریان است، (در برگیرنده سیستم نصب و سطح تصویر شده از روتور چرخشی می باشد) به کل سطح بخش تست، نباید از ۰٫۰۵ بیشتر باشد. تاثیرات انسداد همیشه بر طبق F-4-3 بررسی می گردد.

پیشنهاد می گردد که مقطع تست تونل باد ارتفاعی برابر ۱٫۰ متر و پهنای حداقل ۱٫۰ متر داشته باشد. جریان در مساحت سطح مقطع، که بادسنج قرار می گیرد، باید یکنواخت باشد. یکنواختی جریان بوسیله سنجشگر سرعت اندازه گیری می شود، یعنی لوله پیتوت، سیم داغ یا سرعت سنج لیزر داپلر تا پروفایل جریان در سه جهت طول، عرض و ارتفاع اندازه گیری شود. محدوده سرعت باد در کل کالیبراسیون، حداکثر اختلاف در متوسط سرعت بین هر دو نقطه داخل حجم اندازه گیری نباید کمتر از ۰٫۲٪ باشد. متوسط سرعت برای حداقل

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پنج دقیقه محاسبه می شود و حجم اندازه گیری حجم فعال بادسنج با ۵۰٪ فاصله از هر طرف لبه در همه جهات مانند شکل F-1. یکنواختی برای سرعتهای باد در یک دوره زمانی حداقل ۵ دقیقه در مدت تست بطور تقریبی برای سرعتهای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ متر بر ثانیه اجرا شود.



شکل F- ۱ : تعریف حجم برای جریان یکنواخت تست- حجم همچنین به اندازه *b* x 1,5 در عمق (در امتداد جریان) است.

پایداری جریان در وسط حجمی که یکنواختی بررسی می گردد اندازه گیری می شود. جریان در صورتی پایدار فرض میشود که ۱۰ بار پیوسته متوسطهای ۳۰ ثانیه ای در محدوده ۰٫۵٪ مقادیر متوسطشان باشند. بادسنجهای فنجانی به گرادیان باد افقی بسیار حساس هستند. گرادیان‌های باد افقی متفاوت پدیدار می شوند که وابسته به آلودگی و صافی سطوح وسایل است. بنابراین، مفید است که گردایان باد افقی با بکارگیری دو لوله پیتوت یکسان بررسی گردد. آنها باید در همان محل که بادسنج قرار می گرفت و با همان وضعیت سرهای گسترده و همان سطوحی را که پوشانده بودند یعنی فنجانهای چرخشی بادسنج فنجانی باشند. یک سری اندازه گیری باید ایجاد گردد و رگرسیون خطی بین فشارهای دینامیک اندازه گیری شده بوسیله دو لوله پیتوت محاسبه گردد. اختلاف در سرعت باد باید کمتر از ۰٫۲٪ در یک دوره زمانی ۵ دقیقه باشد. تاثیر ناشی از حضور بادسنج که کالیبره شده(بهمراه لوله نصب) روی سرعت جریان اندازه گیری شده بوسیله لوله پیتوت باید ارزیابی شود و کمتر از 0,2 % ± باشد. شدت آشفتگی محوری در سرعت باد در موقعیت بادسنج باید زیر ۲٪ باشد. شدت آشفتگی باید تغییرات محوری سرعت باد را با فرکانسهای بالاتر از ۱۰ هرتز شامل گردد. داده های اندازه گیری شده آشفتگی باید برای یک دوره ۶۰ ثانیه برای هر سرعت باد با نرخ نمونه برداری حداقل ۲۰ هرتز باشد. ارزیابی آشفتگی باید حداقل برای سرعتهای باد ۷، ۱۰ و ۱۳ متر بر ثانیه با وسیله ای که مناسب برای اندازه گیری تغییرات سرعت باد است با یک فرکانس قطع حداقل ۲۰ هرتز اجرا شود. انحراف از این الزامات بالا با تستهای مناسب که در عدم قطعیت در نظر گرفته شده است ارزیابی گردد. فاکتور کالیبراسیون تونل باد، که ارتباط بین شرایط در موقعیت اندازه گیری مرجع و اینها در موقعیت بادسنج را میدهد فراهم کند، می بایست لوله پیتوت برای ارزیابی سرعت در محدوده ۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه بکار رود. سیستم کالیبراسیون

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

باید با جزئیات کامل از تکرارپذیری کالیبراسیونهای بادسنج بررسی گردد. مجموعه کالیبراسیون باید بادسنجهای مرجع معرف با اعلام اندازه برای بکار گیری در این تست را تعیین نماید. انحراف معیار و حداکثر انحراف در بخش کنترل کیفی خروجی بادسنج در کالیبراسیون محدوده سرعت بهتر است کمتر از ۰٫۲٪ و ۰٫۶٪، متناسباً، از مقادیر متوسط باشد. مجموعه تایید نماید، ازطریق تست حرفه ای، که نتایج قابل مقایسه با دیگر مجموعه های کالیبراسیون بر طبق ایزو ISO 17043 است.

F-۳ الزامات کالیبراسیون و تجهیز ابزارهای مورد لزوم

سیگنال تجهیزات بیرونی مانند فرکانس و ولتاژ مبدل و غیره که شرایط را بیان می نمایند، می بایست در حالت ایزوله از بادسنج کالیبره گردند، بنابراین مجاز کردن کالیبراسیون بادسنج به اینکه نشات گرفته و گزارش شود در ایزوله بودن از سیگنال تجهیزات می باشد. وضوح سیستم جمع آوری داده ها باید حداقل ۰٫۰۲ متر بر ثانیه باشد. دقت در همچنین حالت ابزار آنالوگ ولتاژ باید صورت گیرد، تا اطمینان دهد که سیگنال بطور کامل بافر گردد تا از امپدانس پایین ابزار لاگ داده جلوگیری گردد. ترتیبات نصب تاثیر فاجعه بار بر عملکرد ابزارهای اندازه گیری می گذارند، خصوصاً اگر نسبت قطر لوله به قطر روتور بالا باشد. بنابراین، در طی کالیبراسیون، بادسنج باید بر بالای یک لوله به منظور به حداقل رساندن انحرافات نصب گردد و فقط یک بادسنج در یک بازه زمانی کالیبره گردد. لوله باید همان قطری را داشته باشد که در حالت سرویس دهی در فضای آزاد دارد. پیشنهاد می گردد که فاصله عمودی بین روتور بادسنج تا لبه های بالا و پایین مقطع تونل باد تست نمی تواند کمتر از ۰٫۵ متر باشد. در حالتی که بادسنج حساسیت جهتی نسبت به جریان افقی داشته باشد، یم جهت مرجع باید مشخص گردد و در طی تست به آن ارجاع گشته و مطالب گزارش شود. بادسنج می بایست در موقعیت عمود به جریان در مقطع تونل باد قرار گیرد با دقتی که امکان پذیر است. حداکثر انحراف لوله نصب بادسنج ۰٫۲ درجه است. یک مثال از بادسنج فنجانی در شکل J-1 نشان داده شده است. مهم است که اطمینان حاصل کنیم که بادسنج با حضور هر بادسنج مرجعی که در تجهیزات اندازه گیری باد بکار میرود متاثر نمی گردد. برعکس، حضور بادسنج نباید جریان باد در منطقه ابزارهای مرجع را تحت تاثیر قراردهد. اگر انحراف جریان باد اثر داشته باشد، پس موقعیت لوله پیتوت باید تغییر یابد. این اثر بوسیله برداشتن و سپس بازگرداندن بادسنج و پس از آنکه ابزار مرجع هست، و حصول اطمینان به اینکه خروجی بقیه ابزارهای تغییر کنند ارزیابی گردند. لوله های استاتیک پیتوت باید در مقطع تست قرار گیرند و با متوسط جهت جریان میزان شوند. حداکثر نامیزانی مجاز ۰٫۵ درجه است[۱]. در زمان کالیبراسیون، سیگنال خروجی بادسنج امتحان می گردد تا اطمینان حاصل شود که این موضوع تحت تاثیر نویز یا تداخل نشود.

[۱] نامیزانی لوله های استاتیک پیتوت ممکن است به یک بایاس هدایت شوند در اندازه گیری فشار دیفرانسیل، یک تنظیم ۰٫۵ درجه از متوسط جهت جریان اطمینان می دهد که بایاس فشار اختلافی خوانده شده کمتر از ۰٫۱٪ برای نوع لوله پیتوت NPL است (ISO 3966:2008 و شکل A-5 را ببینید.)

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

F-۴ فرآیند کالیبراسیون

F-۴-۱ فرآیند عمومی کالیبراسیون بادسنج‌های فنجانی و صوتی

بادسنج باید راه اندازی شود بمدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه قبل از اینکه فرآیند کالیبراسیون شروع گردد. کالیبراسیون باید تحت افزایش و کاهش سرعت در محدوده ۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه در یک فاصله ۱ متر بر ثانیه انجام شود[۱]. اگر سیستم گرمایی روشن است باید ذکر گردد و در تاییدیه کالیبراسیون ارائه گردد. فرکانس نمونه برداری حداقل باید ۱ هرتز باشد و فاصله نمونه گیری حداقل ۳۰ ثانیه باشد. این فاصله نمونه برداری وقتی که بادسنج با وضوح پایین کالیبره می شود قابل افزایش است. مهم است حصول اطمینان از اینکه بادسنج و مرجع سرعت باد دارای یک پهنای خوانش زمانی باشند. قبل از جمع آوری داده ها در هر سرعت باد، زمان لازم برای پایدار شدن شرایط جریان باید فراهم گردد، بخش F-2 را ببینید. این ممکن است ۱ دقیقه باشد، اما از یک مجموعه به مجموعه دیگر تغییر می کند.

F-۴-۲ فرآیند کالیبراسیون بادسنجهای صوتی

بادسنجهای صوتی برای اندازه گیری دو بعدی یا سه بعدی مولفه های باد طراحی شده اند. بمنظور اندازه گیری عملکرد توانی بادسنجهای صوتی برای اندازه گیری سرعت باد افقی داخلی یا با پسا پردازش تنظیم می شوند. در طی کالیبراسیون کل بادسنج صوتی در داخل تونل باد قرار می گیرد. قسمت اکتیو بادسنج صوتی در داخل مقطع محفظه تست قرار خواهد گرفت. تنظیم یای در جهت یای کالیبراسیون مرجع تنظیم می شود، بخش F-3 را ببینید. اغلب مفید است تا تنظیم یای بگونه ای باشد که حداقل جریان مخرب از پایه های دریافت کننده اکوستیک پدید آید. تنظیم پارامترهای صوتی در طی کالیبراسیون باید مستند گردد و با تاییدیه کالیبراسیون یا متناوباً در یک پیوست از تاییدیه کالیبراسیون ارائه شود. کالیبراسیون از یکسان بودن تنظیمات برای حسگرها و یکسان بودن شکل خروجیها نگهداری می کند. برای این تست، بادسنج صوتی در سرعتهای باد متفاوت بر طبق F-4-1 کالیبره گردد. کالیبراسیون اضافی موقعیت یای (یعنی زاویه یای برای حداکثر جریان مخرب از طرف پایه ها) ممکن است اگر نیاز باشد اجرا شود. کالیبراسیونهای اضافی موقعیتهای توصیه می شود در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه اجرا شود چنانچه کنترل کیفی انطباق با طبقه بندی نتایج صورت گیرد. وضعیت سیگنال بادسنج صوتی(اگر موجود باشد) می بایست در طی کالیبراسیون پایش گردد. وضعیت سیگنال می بایست برای حذف داده های خطا بکار رود.

F-۴-۳ تعیین سرعت باد در محل بادسنج

[۱] فاصله ۱ متر بر ثانیه می تواند به دو توالی تقسیم شود بدینگونه: ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ ، ۱۴ ،۱۶ بعد ۱۵، ۱۳، ۱۱، ۹، ۷، ۵ متربر ثانیه باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

چگالی هوا ρ بر اساس دمای متوسط هوای تونل باد T محاسبه می شود، رطوبت نسبی Φ و فشار فشارسنج B، با بکار بردن معادله زیر (عدم قطعیت کمتر از 10^{-3} kg/m^3):

$$\rho = \frac{1}{T}\left(\frac{B}{R_0} - \phi P_W\left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_W}\right)\right) \qquad (F.1)$$

بطوریکه:

B فشار فشارسنج [pa].

T درجه حرارت مطلق [K].

Φ رطوبت نسبی است (محدوده ۰ تا ۱)

R_0 ثابت گاز برای هوای خشک (287.05 J/kg)

R_W ثابت گاز برای بخار آب (461.5 J/kg)

P_W فشار بخار (Pa)

فشار بخار P_W به دمای متوسط هوا بستگی دارد.

$$P_W = 0{,}0000205 \cdot \exp(0{,}0631846 \cdot T) \qquad (F.2)$$

میانگین سرعت جریان در موقعیت بادسنج از طریق میانگین اختلاف فشار Δp_{ref} در موقعیت مرجع با بکار گیری معادله زیر بدست می آید :

$$\overline{v} = f(k_b, k_i, k_p, \overline{v}_p, \ldots) a k_c \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sqrt{\frac{2\Delta p_{ref,i}}{\rho}} \qquad (F.3)$$

بطوریکه:

α ضریب لوله پیتوت است.

k_c فاکتور کالیبراسیون تونل باد، که ارتباط بین شرایط در موقعیت اندازه گیری مرجع و در موقعیت بادسنج را می دهد.

$f(k_b, k_i, k_p, \overline{v}_p, \ldots)$ تابع تصحیح ناشی از تداخل بین بادسنج شامل نصب لوله اش و جریان تونل باد می باشد.

k_b فاکتور تصحیح تداخل ناشی از انسداد است.

k_i فاکتور تصحیح تداخل بین بادسنج(شامل لوله نصبش) و مقطع محفظه تست است، همچنین شامل تاثیرات جریان ناشی از نصب لوله ها منتهی به محفظه است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

k_p فاکتور تصحیح تداخل بوسیله بادسنج(شامل لوله نصبش) روی سرعت اندازه گیری شده بوسیله لوله پیتوت است.

$\bar{v}$ متوسط سرعت باد در موقعیت بادسنج است.

$\bar{v}_p$ متوسط سرعت باد در موقعیت مرجع است.

n تعداد نمونه ها در فواصل نمونه گیری است.

تابع تصحیح $f(k_b, k_t, k_p, \bar{v}_p, \ldots)$ توصیه می شود برابر یک در مقطع تست بدون بادسنج و لوله نصبش باشد. تاثیر تابع تصحیح روی نتایج کالیبراسیون ارزیابی می گردد و در گزارش برپایی کالیبراسیون و محاسبه عدم قطعیت باید بیاید.

F-۵ آنالیز داده ها

یک آنالیز رگرسیون خطی بر روی داده های کالیبراسیون با تخمین از رگرسیون پارامترهای ذیل باید انجام شود: انحراف، شیب، ضریب رگرسیون، عدم قطعیت. مقادیر سرعت باد بر اساس خروجیهای بادسنج تنظیم می شوند. اگر ضریب همبستگی، r ، برای داده ها کمتر از ۰٫۹۹۹۵ باشد پس آن باید بررسی گردد آیا بدلیل غیر خطی بودن بادسنج است یا ناشی از دلایل دیگر است. در حالت غیرخطی بودن بادسنج، باید در تاییدیه مستند شود.

F-۶ آنالیز عدم قطعیت

شناسایی عدم قطعیت سرعت باد افقی بر اساس بادسنج مورد اهمیت است. آنالیز عدم قطعیت برطبق ISO/IEC Guide 98:2008 مورد نیاز است که در بر گیرنده هر دو گروه عدم قطعیت A و B باشد. مقدار خالص عدم قطعیت بصورت آماری باید ارزیابی گردد و موارد ذیل باید بحساب آیند:

a) عدم قطعیت اندازه گیری سرعت جریان (لوله های پیتوت، ترانسدیوسرها، ارزیابی چگالی هوا، غیره).
b) فاکتور کالیبراسیون تونل باد.
c) فاکتورهای تصحیح تونل باد از طریق تابع تصحیح $f(k_b, k_t, k_p, \bar{v}_p, \ldots)$ که در معادله (F.3) مشخص گردیده است.
d) تاثیر اندازه مقطع تونل باد بعنوان بخشی از آنالیز عدم قطعیت باید ارزیابی گردد.
e) اندازه گیری خروجی بادسنج.
f) تاثیر تنظیم غیر عمدی بودن بادسنج برای هر نوع بادسنج در ارزیابی عدم قطعیت باید در نظر گرفته شود.
g) عدم قطعیت آماری ناشی از پراکندگی عبارت کوتاه خروجی بادسنج (تغییر سیگنال بادسنج، یعنی نوسانات سرعت زاویه ای روتور، بایاس از طرف مولد سیگنال، بایاس نمونه گیری، فراتر رفتن زمان متوسط گیری).

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

h) عدم قطعیت ناشی از اختلاف بین نتایج کالیبراسیون تونل باد مجری و متوسط نتایج دیگر تونلهای باد که از طریق تست تجربی که با دیگر عدم قطعیتها پوشانده نمی شود.
i) عدم قطعیت ناشی از خطی سازی کالیبراسیون.

F-۷ نحوه گزارش دهی

مستندات مرتبط باید اطلاعات لازم در مورد فرآیند را فراهم نماید و امکانات بکار گرفته شده برای کالیبراسیون بادسنج (گزارش امکانات برپایی کالیبراسیون) و کالیبراسیون تکی بادسنج را بدهد. گزارش امکانات برپایی کالیبراسیون باید شامل مطالب ذیل بصورت حداقل اطلاعات باشد:

a) تشریح تونل باد (شامل مقطع تست، صاف کنندهای جریان، چیدمان هواکش).
b) شماتیک تونل باد که موقعیت بادسنج و لوله های پیتوت در مقطع تست نشان دهد.
c) کیفیت اندازه گیری جریان.
d) ارزیابی تاثیر انسداد.
e) تاثیر ارتفاع نصب بادسنج.
f) تاثیر صفحه زیرین.
g) تاثیر موقعیت نصب روی اندازه گیری مرجع.
h) تاثیر تابع تصحیح.
i) اندازه گیری آشفتگی.
j) تاییدیه های تجهیزات.
k) فرآیند اندازه گیری.
l) فرآیند ارزیابی داده ها.
m) مستندات تکرارپذیری کالیبراسیون بادسنج.
n) آنالیز عدم قطعیت.
o) انحرافات از این الزامات.

گزارش کالیبراسیون بادسنج حداقل باید دارای اطلاعات ذیل باشد:

۱) سازنده، نوع و شماره سریال تست بادسنج و شماره سریال فنجانها اگر جداگانه حمل شده اند.
۲) مشخصات جهت گیری یای در طی کالیبراسیون (حساسیت یای وسایل).
۳) قطر لوله سیستم نصب.
۴) سازنده، نوع و شماره سریال مبدلهای بیرونی.
۵) نام و آدرس مشتری.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۶) امضاء از طرف اشخاصی که کالیبراسیون را انجام داده اند، بازبینی نتایج و تایید انتشار.
۷) نام تونل باد.
۸) شرایط محیطی در مدت کالیبراسیون(دمای هوا، فشار و رطوبت هوا).
۹) پارامترهای رگرسیون (انحراف، شیب، ضریب رگرسیون).
۱۰) عدم قطعیت ناشی از خطی سازی (پراکندگی پسماندها).
۱۱) عدم قطعیت ناشی از تابع تصحیح $f(k_b, k_t, k_p, \overline{v}_p, \ldots)$.
۱۲) نمودار و جداول ارائه شده (انحراف از رگرسیون خطی خط تقویت شده) از همه نقاط کالیبراسیون و نتایج رگرسیون.
۱۳) عدم قطعیت مرتبط با هر نقطه اندازه گیری.
۱۴) ارجاع به امکانات برپایی کالیبراسیون مورد نظر گزارش گردد.
۱۵) تاریخ کالیبراسیون.
۱۶) عکسی از بادسنج که محل نصب تونل باد را نشان دهد.

F-۸ مثال محاسبه عدم قطعیت

چنانچه بصورت عملی اندازه گیری سرعت جریان در محل بادسنج امکان پذیر نباشد و چنانچه حسگر در تونل باد یک میدان جریان کمتر از جریان فضای آزاد را تجربه کند، تصحیحات لازم می شود. بهینه سازی تونل باد در عبارات تصحیحات همچنین تعیین فاکتور تصحیح برای محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری حیاتی می شود. در حالت ایده آل، محاسبه عدم قطعیت توصیه می شود مستقلا اجرا شود تا هر سرعت باد کالیبراسیون و شرایط بکار رفته در کالیبراسیون رعایت شود. این مثال، یک نقطه کالیبراسیون تئوریک ۱۰ متر بر ثانیه با بکار گیری تونل باد با سرعت نامی ۲۵ متر بر ثانیه ارائه می گردد. جدول F-1 با هر منبع عدم قطعیت سر وکار دارد، اول با گروه B عدم قطعیت است. برای جلوگیری از تکرار، یک ارزیابی مفصل از اندازه گیری فشار توسط فشارسنج کنار گذاشته شد مانند اینکه بتوانیم به همان طریق با اندازه گیری درجه حرارت رفتار کنیم.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول F-۱: مثالی از ارزیابی عدم قطعیت کالیبراسیون بادسنج.

Error source x_i	Discussion	Value x_i	Sensitivity value c_i	$u_i c_i$ m/s
u_f, wind tunnel correction factor, f	An uncertainty on the correction factor $f(k_b, k_t, k_p, \bar{v}_p, \ldots)$ based on investigation of calibration influence factors.			
u_c, wind tunnel calibration factor, k_c	Wind tunnel calibration can be carried out by using two pitot tubes, one at the permanent reference position and one at the location to be occupied by the test anemometer. By swapping the two pitot systems, all category B errors can be eliminated, and standard regression analysis can be applied to yield a correction factor (the intercept being forced through the origin) and a related category A standard uncertainty. Assume the correction has a value of 1,02 and the standard uncertainty is 0,01.	0,01	$C_t = 0,5\ v/k_c$ = 0,5 x 10/1,02 = 4,90 m/s	0,049
u_B, blockage correction factor, k_b	If a solid object is positioned in the flow of the wind tunnel, the flow will be affected depending on the relation between object size and wind tunnel area. Conditional on the spatial dimensions of the specimen, a raise in the flow velocity occurs in a closed measurement section because of the continuity. In an open measurement section, the current will be widened, which is equivalent to a speed reduction. Assuming the blockage effect is known the uncertainty value of 0,1 % is appropriate. The calibration facility setup report shall present the calculations applied and estimated value of the correction factor and the associated uncertainty.	0,001	$C_t = v/k_b$ =10 m/s/1,001 ≈ 10 m/s	0,01

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

Error source u_i	Discussion	Value u_i	Sensitivity value c_i	$u_i c_i$ m/s
u_{ki}, position correction factor, k_i	An anemometer needs a certain free space (depending on the size of the mounting pipe and the anemometer) below and above it, to experience the same flow conditions as in free atmosphere. Therefore the centre of the measurement section is not necessarily the best position for the specimen. If the wind tunnel is small and thus the mounting pipe is too short, an error of up to 2 % may occur. Only from a certain lengths of the mounting pipe, the influence begins to decrease. This free length amounts to approximately 50 cm above the base plate. Assuming the position effect is known, the uncertainty value of 0,1 % may be appropriate.	0,001	$C_P = v/k_p$ =10 m/s/1,001 ≈ 10 m/s	0,01
u_p, position correction factor, k_p	The flow around the anemometer exerts some influence on the flow around the reference pitot tube. Assuming the influence effect is known, the uncertainty value of 0,1 % of the effect may be appropriate.	0,001		
u_{FD}, flow correction factor, k_{FD}	Mostly, anemometers are mounted on measurement masts of considerable length – a situation which cannot be reproduced in the wind tunnel. If an anemometer is mounted on a tube stub and if this stub is mounted in a wind tunnel with an open measurement section, the current can evade downward. This means a loss of impetus for the anemometer and thus a systematic error. By installing a base-plate, this loss can be considerably reduced. Assuming a base-plate is installed, the standard uncertainty value of 0,1 % is appropriate otherwise the influence has to be examined.	0,001	$C_{FD} = v/k_{FD}$ =10 m/s/1,001 ≈ 10 m/s	0,01
$u_{p,t}$ pressure transducer, $K_{p,t}$	The calibration certificate for the pressure transducer shows a maximum uncertainty of 0,5 Pa in the range from 0 Pa to 500 Pa.	0,5 Pa	$c_{p,t} = 0,5\ v/K_{p,t}$ = 0,5 × 10/5 000 = 0,001	0,000 5
$u_{p,s}$ pressure transducer signal conditioning gain, $K_{p,s}$ and $u_{p,d}$ pressure transducer data sampling conversion $K_{p,d}$	The calibration of the equipment used to measure the pressure transducer output shows a maximum uncertainty of 0,000 15 V in the range from 0 V to 10 V.	0,000 15 V	$c_{p,s} = 0,5\ v/K_{p,s}$ = 0,5 × 10/0,01 = 500	0,010
$u_{T,t}$ ambient temperature transducer, $K_{T,t}$ $u_{T,s}$ temperature signal conditioning gain, $K_{T,s}$ and $u_{T,d}$ temperature signal digital conversion, $K_{T,d}$	The calibration of the equipment used to measure the temperature shows a maximum uncertainty of 0,1 °C in the range from 10 °C to 30 °C.	0,1 °C	$c_{T,t} = 0,5\ v/K_{T,t}$ n/a	0,001
u_h pitot tube	The head coefficient of a pitot tube depends	0,000 997	$C_h = -0,5\ v/C_h$	0,005

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

Error source u_i	Discussion	Value u_i	Sensitivity value c_i	$u_i c_i$ m/s
head coefficient, C_h	upon the angle of attack of the wind. Two error sources are possible, one related to the accuracy with which the pitot tube is set up in alignment with the mean flow direction, and the other due to turbulent variations in instantaneous flow direction. Assume the nominal head coefficient, C_h, is 0,997, and assume also that it is possible to deduce that the standard deviation on angle of attack is 2°. Relevant ISO standards suggest this will give rise to a 0,1 % change in head coefficient.		$= -0,5 \times 10/0,997$ $= -5,015$	
u_{pcal} pitot tube calibration	From the calibration certificate of the pitot tube, an uncertainty of 0,25 % in the range of 4 m/s to 16 m/s may be used.	0,002 5	$C_{ph} = -0,5\ v/C_h$ $= -0,5 \times 10/0,997$ $= -5,015$	
$u_{B,t}$ sensitivity of barometer, $K_{B,t}$, $u_{B,s}$ signal conditioning gain on barometer, $K_{B,s}$ and $u_{B,d}$ digital conversion of barometer signal, $K_{B,d}$	The calibration of the barometer shows a maximum uncertainty of 0,5 hPa in the range from 900 hPa to 1 100 hPa.	0,5 hPa	$c_{B,t} = -0,5\ v/k_{B,t}$	
s_A statistical uncertainty in the mean of the wind speed time series	Assume the turbulence intensity is 2 %, and that 2 Hz sampling over 30 s is used, giving 60 samples. The standard uncertainty in the mean value of 10 m/s is then given by $\sqrt{1/60} \cdot 0,02 \cdot 10$	0,026	1	0,026
u_p humidity correction to density, k_p or u_φ relative humidity, φ	The calibration of the relative humidity measurement equipment shows an uncertainty of less than 2 % in the range 10 to 95 %. A value of 2 % is selected for the calculation. $c_\varphi = \frac{\partial \bar{v}}{\partial k_p} \cdot \frac{\partial k_p}{\partial \varphi} = \frac{1}{2} \frac{\bar{v}}{k_p} 0,378 \frac{P_w}{B}$ At 15 °C, P_w = 1 700 Pa and assuming B = 1013 mbar = 101 300 Pa, k_p is evaluated as 0,997 and c_φ (at 10 m/s) is 0,032.	u_φ = 0,02 %RH	$c_P = 0,032$	0,001

عدم قطعیت استاندارد ترکیبی می تواند با با جذر مربع متوسط عدم قطعیت‌های مشارکت یافته در ستون راست جدول بدست آید. برای مقادیری که با آن در ارتباطند، این مقدار تا ۰،۰۶ متر بر ثانیه است. این مثال نشان می دهد که خطای گروه B تسلط دارند. عدم قطعیت گروه A با گسترش دوره کالیبراسیون کاهش می یابد، اما گروه B را تحت تاثیر قرار نمی دهند. پیشتر، منابع خطای گروه B، اگرچه با همدیگر برای یک سرعت باد خاص همبستگی ندارند، در امتداد سرعتهای باد کاملا خود همبسته هستند، معنای آن کالیبراسیون خوب است (خطوط مستقیم خوب) که قابل بدست آمدن است، مادامیکه عدم قطعیت معنادار باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست G : نصب تجهیزات بر روی دکل هواشناسی

(الزامی)

G-۱ کلیات

ترتیب مناسب ابزارها روی دکل هواشناسی برای تست دقیق توربین باد مهم است. چیدمان بادسنجها برای تست‌های عملکرد توانی می بایست شامل یک بادسنج اولیه به ارتفاع هاب و یک بادسنج کنترل کننده را دارا باشد. هدف از بادسنج کنترلی این است که در محل آزمایش بر طبق پیوست K وسیله ای برای بررسی بادسنج در ارتفاع هاب داشته باشیم. قبل از بکارگیری یک بادسنج طبقه بندی شده برای تست عملکرد توانی، پیشنهاد می گردد که هندسه بادسنج بررسی گردد و با هندسه تشریح شده که در طبقه بندی آیا مطابقت می نماید یا خیر مطابقت نمی نماید. خصوصاً، بادسنج بگونه ای باید نصب شود که انحراف جریان حداقل شود، بخصوص تاثیر تیرک اتصال به دکل بررسی گردد. مواقعی که حداقل انحراف جریان در امتداد پهنای محدوده باد نیاز است از تک بادسنج که در بالای دکل نصب می شود بهره گرفته می شود. اگرچه، چیدمان کنار به کنار از دو بادسنج در بالای دکل قابلیت افزونگی را فراهم می کند و یک روش مقاوم و پیوسته برای بادسنج با کمترین انحراف در جریان را فراهم می کند. اگر هر دو فاصله افقی کافی داشته باشند و نصب سازه پایدار برای بادسنج فراهم شده باشد. زمانیکه بادسنج در کنار تیرک اتصالی دکل در ارتفاعی زیر بالای دکل هواشناسی نصب شده باشد، انحراف جریان از هر دو دکل هواشناسی و تیرک اتصالی قابل ملاحظه است و باید این موضوع در بررسیها مورد توجه قرار گیرد. بدون توجه به چیدمان نوع نصب، دقت باید گردد که سازه تیرک اتصالی کاملا پایدار و محکم باشد که از هر گونه ارتعاش جلوگیری شود. دیگر وسایلی که بر روی دکل هواشناسی توصیه می شود نصب گردند مانند جهت سنج باد، حسگرهای درجه حرارت و فشار باید بگونه ای نصب شوند که با بادسنج تداخل نداشته باشند.

G-۲ باد سنج یکتای بالای دکل

برای کم اثر کردن انحراف جریان در اندازه گیری سرعت باد برای محدوده وسیعی از جهات ، نصب یک بادسنج در بالای دکل ایده آل است. بطوریکه با این شکل بندی همه موارد دیگر باید رعایت گردد. اگرچه، دقت لازم بهتر است صورت گیرد که ثبات بادسنج کاملا در برابر بادسنج در ارتفاع پایینتر فراهم باشد. بخصوص در جاییکه دکل هواشناسی سطح مقطع بزرگی دارد و بالطبع بادسنج پایین تر در معرض تداخل بیشتری نسبت به بادسنج بالای دکل است یا در حالتی که تغییرات زیادی در برش باد وجود دارد. بادسنج بصورتی مستحکم شود که بادسنج فنجانی[1] حداقل ۱٫۵ متر بالای دکل هواشناسی و هر منبع دیگری از تخریب کننده جریان

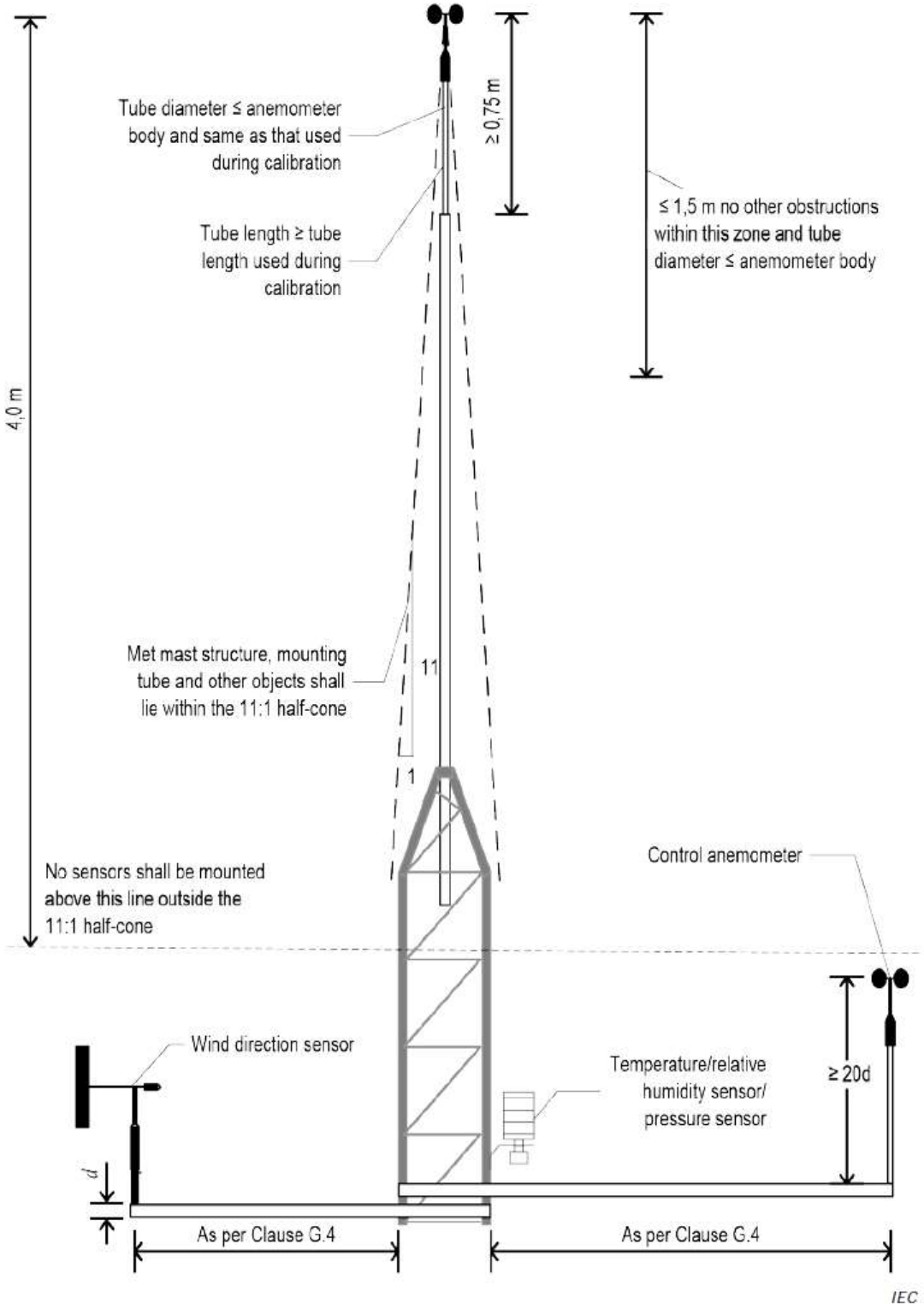
[1] در مواردی که بادسنج مجاز غیر از بادسنج فنجانی باشد مانند بادسنج صوتی باید بادسنج فنجانی بعنوان حسگر اندازه گیری در این پیوست معرفی شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

قرار گیرد بطوریکه هیچ قسمت از سازه مستحکم کننده یا دکل به خارج از ۱۱ به ۱ نیم مخروط[۱] امتداد پیدا نکند که آشفتگی با فنجانهای بادسنج تداخل نکند (مطابق شکل). بادسنج می بایست روی یک لوله عمودی با همان قطر خارجی که برای کالیبراسیون (و طبقه بندی) بکار رفته است با تلرانس (± 0,1 mm) نصب شود، اما نه قطری بیشتر از بدنه بادسنج داشته باشد. طول مجموع لوله و بادسنج (اندازه گیری شده تا فنجانهای بادسنج) باید حداقل ۰٫۷۵ متر باشد. پیشتر بادسنج باید با استحکام لازم نگه داشته شود و پایدار باشد، که ممکن است نیاز باشد با لوله عمودی به قطر کمتر بطور هم مرکز با دیگر لوله با قطر بزرگتر استحکام لازم فراهم شود. این لوله اضافی نمی تواند قطر بزرگتر از بدنه بادسنج برای ارتفاع ۱٫۵ متر زیر فنجانها داشته باشد. گوشه های اتصال دهنده بادسنج به لوله عمودی باید جمع و جور، صاف و متقارن باشد. جاییکه بادسنج با سیم کشی داخلی در نگهدارنده لوله طرح شده است، پس کابل برق توصیه می شود داخل لوله عمودی قرار گیرد. برای دیگر شکل بندیها (مانند دمب خوکی)، پس کابل باید به دور لوله عمودی پیچانده شود (تقریباً ۳ دور برای هر متر یا شبیه به انچه که در کالیبراسیون و طبقه بندی بکار میرود). بادسنج توصیه می شود با همان کابلی کالیبره گردد که در میدان آزمایش بکار رفته است و همان شکل بندی را داشته باشد. بادسنج (و لوله نصب) باید دارای زاویه از محور عمود کمتر از ۲ درجه باشد. پیشنهاد می گردد که با اندازه گیری این مطالب بررسی گردد. نباید تجهیز دیگری در فاصله ۱٫۵ متری به فنجانهای بادسنج قرار گیرند نه خارج از ۱۱ به ۱ نیم مخروط تا یک فاصله حداقل ۴ متری زیر فنجانهای بادسنج. در این حالت، بادسنج کنترلی برای بادسنج بالای دکل توصیه می شود که در کناره دکل در فاصله حداقل ۴ متری و نه بیشتر از ۶ متر زیر بادسنج بالا نصب شده باشد و بعبارت دیگر الزامات نصب کناره بادسنج که در بخش G-4 آمده است رعایت گردد. شکل G-1 یک نمونه از این شکل بندی نصب بالای دکل را نشان می دهد.

[۱] مخروط بدین گونه مشخص می شود که پایه مخروط قطری معادل به پهنای مشخصه از دکل داشته باشد (حداکثر پهنا از دکل یا برجستگی ها برای فاصله ۴ متری زیر فنجانها باشد) و ارتفاع مخروط معادل ۱۱ برابر شعاع پایه مخروط باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



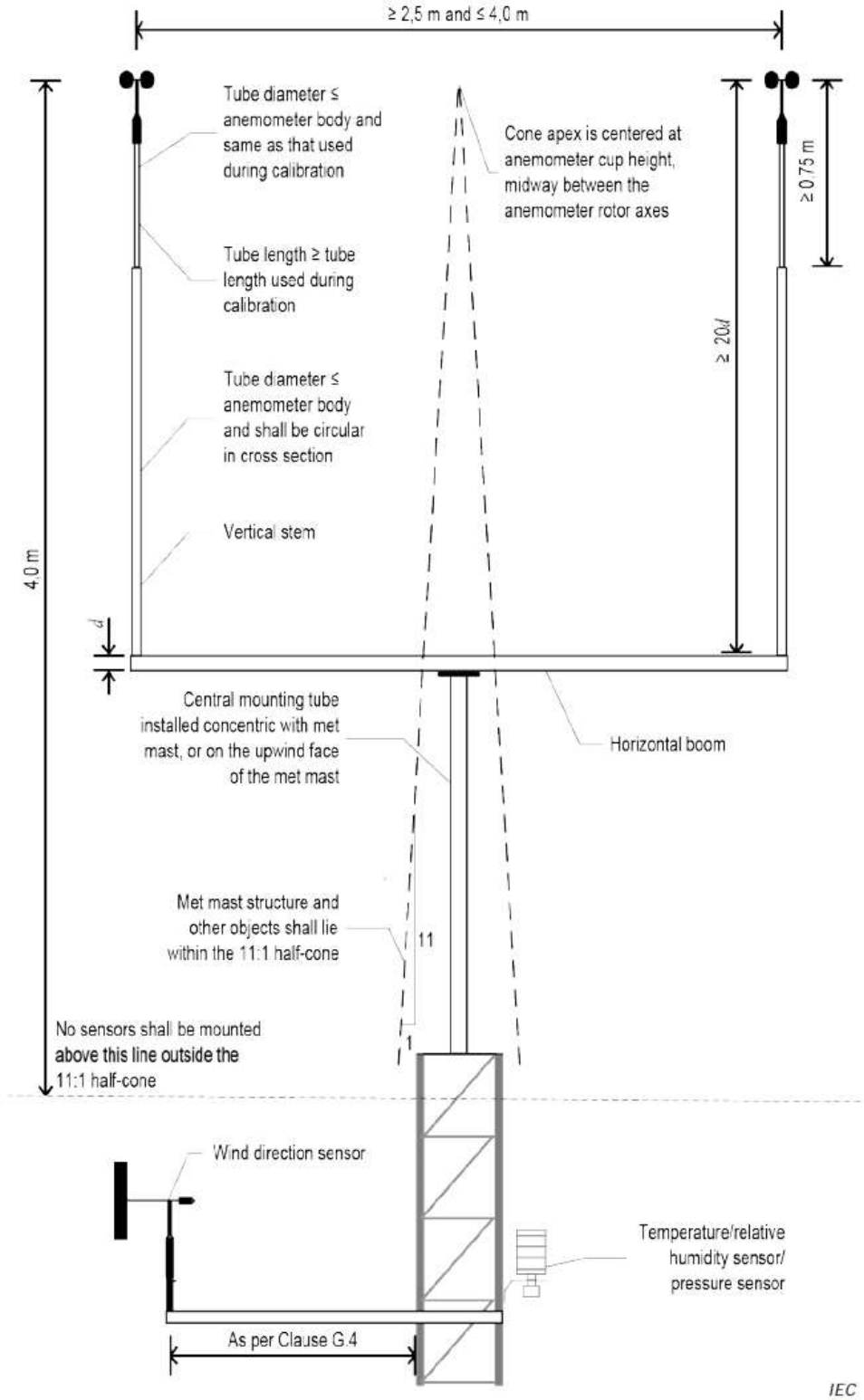
شکل G- ۱ : مثالی از بادسنج در بالای دکل و الزامات نصب.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

G-۳ بادسنجهای نصب شده کنار به کنار دکل

در چیدمان کنار به کنار همه شرایط نصب که در بخش G-2 آمده است باید رعایت شود و نیز آنچه بطور اضافی اینجا ذکر می گردد. فنجانهای بادسنج می بایست بالای تیرک با حداقل ۲۰ برابر قطر تیرک نصب شوند، اما ۲۵ برابر قطر تیرک پیشنهاد می گردد. تیرک، شامل دو میله افقی و عمودی است، می بایست مقطع گرد داشته باشد. بادسنج باید با فاصله ۲٫۵ متر نه بیشتر از ۴ متر از بقیه قرار گیرد. هیچ قسمتی از دکل هواشناسی به خارج از نیم مخروط ۱۱ به ۱ که با ورتکس تداخل کند بین فنجانها و دو بادسنج بالای دکل قرار گیرد(تیرک بالایی خودش از این الزام بیرون است و ابعادی که در پی می آید را باید دنبال کند). هیچ تجهیزی نباید در فاصله ۱٫۵ متری فنجانهای بادسنج قرار گیرند و نه خارج از نیم مخروط ۱۱ به ۱ در فاصله ۴ متری زیر فنجانهای بادسنج باشد. شکل G-2 یک مثال از این نصب کنار به کنار را نشان داده است. پیشنهاد می گردد که تیرک هم مرکز با محور دکل هواشناسی نصب شود یا مرکزش روی قسمت بطرف باد دکل هواشناسی قرار گیرد. تاثیر یک بادسنج روی دیگری باید ارزیابی گردد و بخش اندازه گیری محدود شود بطوریکه عدم قطعیت کلی اندازه گیری سرعت باد در محدوده مورد نظر باقی بماند. عدم قطعیت ناشی از انحراف جریان دیگر تجهیزات، دکل هواشناسی و تیرکها باید تعیین شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل G- ۲ : مثالی از بادسنج اولیه نصب در بالای دکل و بادسنج کنترلی که کنار به کنار قرار کرفته اند و بادسنج پره ای و دیگر ابزارهای روی تیرک مشاهده می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

G-۴ تجهیزات کنار نصبی دکل

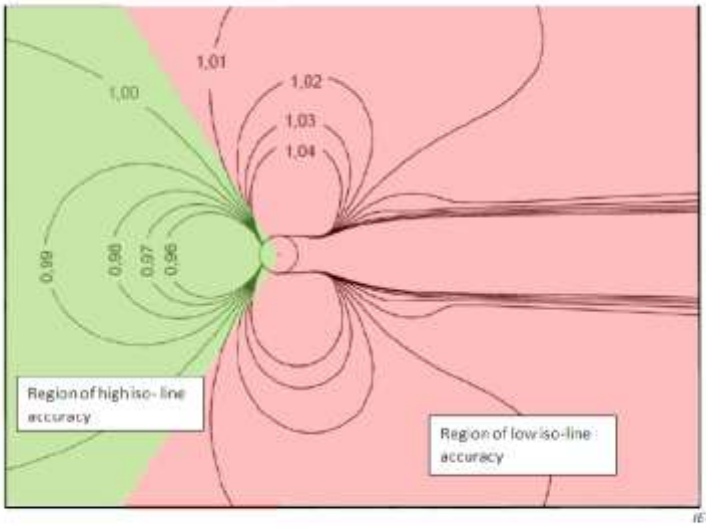
G-۴-۱ کلیات

تجهیزاتی که در کناره دکل نصب می شوند مانند بادسنج و جهت سنج باد تحت تاثیر انحراف جریان از دکل هواشناسی قرار می گیرند، تیرک اتصالی و سیمهای اتصالی پایه اثر دارند. اثر یک تیرک اتصالی لوله با مقطع دایروی برابر ۰٫۵٪ در جدایش در فاصله ۲۰ برابر قطر تیرک در بالای تیرک است. انحراف جریان در موقعیت بادسنج فنجانی ناشی از تیرک اتصالی توصیه می شود کمتر از ۰٫۵٪ باشد. بادسنج باید بر روی یک لوله عمودی با مقطع گرد از همان قطر خارجی که در کالیبراسیون و طبق بندی بکار رفته است با تلرانس (0,1 ± mm) بکار رود، اما قطری بزرگتر از بدنه بادسنج نداشته باشد. حسگرهای سنجش جهت باد باید در فاصله ای نه کمتر از نصف از دکل هواشناسی که برای بادسنج پیشنهاد شده است باید نصب گردند. می بایست حداقل ۲۰ برابر قطر تیرک اتصالی فاصله عمودی از تجهیزات نصب کناره تا بالای تیرک فاصله باشد. این فاصله الزامی است که برای یک بادسنج درکنار نصب شده بکار می رود چنانچه آن بصورت یک بادسنج کنترلی برای دیگر بادسنج جانبی در ارتفاع متفاوت باشد همینطور در حالتیکه بادسنجهای جانب نصب شده در ارتفاع های متفاوت باشند که برای اندازه گیری برش باد بکار می روند. در حالتی که بادسنج کناره نصب بعنوان کنترل بادسنج کناری دیگری بکار رود، فاصله عمودی با تجهیزات اولیه باید ۴ تا ۶ متر باشد بطوریکه تیرک کناری در همان جهت دکل باشد چنانچه هریک در یک جهت یکسان باشند. متناوباً بادسنج کنترلی کناره تیرک ممکن است در همان ارتفاع چنانچه دیگر بادسنج نصب کناره باشد اما اشاره آن در یک جهت متفاوت باشد بطوریکه الزامات انحراف جریان در هر دو موقعیت بادسنج درون بخش اندازه گیری تایید شوند. یک بادسنج که در گردابه دکل هواشناسی قرار می گیرد عملکردش بشدت مختل می شود. اندازه گیریهای بدست آمده در این شرایط برای آنالیز عملکرد توان نمی تواند استفاده گردد. انحراف جریان در بالادست دکل هواشناسی می تواند قابل ملاحظه باشد. فاصله مناسب بین بادسنج و دکل هواشناسی اجازه می دهد تا انحراف جریان در دکل هواشناسی زیر ۱٪ باشد، راهنمای باری این فاصله در G-4-2 و G-4-3 آمده است. گردابه ها از طرف میله های دکل هواشناسی تاثیر قوی بر بادسنج حتی در فواصل طولانی دارند. از قرار گیری بادسنج در پایین دست میلک ها توصیه می شود خودداری شود. بستگی به استفاده کننده دارد که تشخیص دهد چه درجه ای از تخریب و بنابراین عدم قطعیت قابل قبول است، اما مناسب این است که دکل هواشناسی و تیرک آن از انحراف جریان دوری نماید برای دکل ۱٪ و برای تیرک ۰٫۵٪ می باشد. دکل هواشناسی می تواند لوله ای یا خرپایی باشد. فاصله لازم بادسنج از دکل هواشناسی بستگی به نوع دکل و صلبیت آن دارد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

G-۴-۲ دکل هواشناسی لوله ای

یک تخمین از مزاحمت جریان در مجاورت دکل هواشناسی لوله ای را از شکل G-3 می توان بدست آورد. این شکل نمودار سرعت ایزو از جریان در اطراف یک دکل لوله ای را از طریق آنالیز ناویر استوک نشان می دهد. کمترین مزاحمت اگر با باد ۴۵ درجه مواجه شویم اتفاق می افتد. عموما بیشتر، مشاهده می شود که یک تاخیر از دکل هواشناسی با جریان رو به باد است، شتاب گیری در اطراف آن، و گردابه در پشت آن است. در اثر پیچیدگی جریان در دکل تحت تاثیر گردابه است، شکل G-3 دقیق در نظر گرفته می شود فقط برای منطقه رو به باد با حداقل مزاحمت چنانچه با سایه سبز در شکل نشان داده شده است.



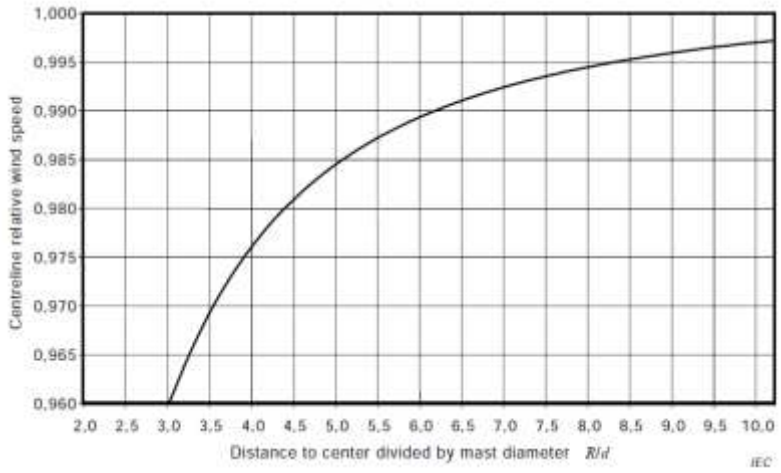
NOTE The speed is normalised by free-field wind speed (from the left); analysis by 2 dimensional Navier-Stokes computations for which the green shaded region on the left is considered accurate and the red shaded region on the right inaccurate due to inaccuracies modelling flow in and behind the separation zone.

شکل G- ۳ : ترسیمه سرعت ایزو از سرعت جریان محلی دور یک دکل هواشناسی استوانه ای.

از شکل G-3 واضح است که یک بادسنج در محدوده ±45° نسبت به جهت باد روی سمت به باد دکل هواشناسی که انحراف بیشترین سرعت باد نسبت به جریان آزاد وقتی اتفاق می افتد که بادسنج مستقیما در طرف رو به باد دکل هواشناسی باشد. شکل G-4 سرعت باد نسبی را با تابعی از فاصله دکل هواشناسی رو به باد نشان می دهد[۱].

[۱] توجه کنید که انحراف سرعت باد ممکن است بیشتر از آنچه در شکل G-4 نشان داده شده است باشد اگر بادها از زوایای بزرگتر از ۴۵ درجه به بادسنج تنظیم شده و به دکل نزدیک شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

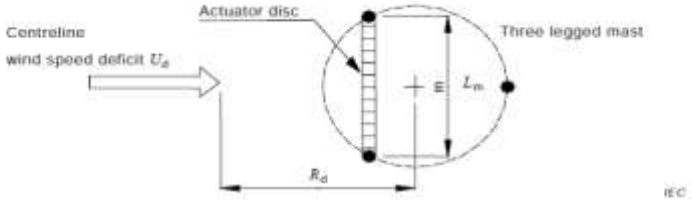


شکل G- ۴ : سرعت باد نسبت به خط مرکز بصورت تابعی از فاصله Rd از مرکز دکل هواشناسی لوله ای با قطر دکل d.

۹۹٫۵٪ سرعت باد نسبی در *Rd/d* اتفاق می افتد (با مقدار ۸٫۲) مقدار متناسب برای ۹۹٪ سرعت نسبی باد ۶٫۱ است.

G-۴-۳ دکل هواشناسی خرپایی

آنالیز جریان اطراف یک دکل با سازه خرپایی می تواند به آنالیز ترکیب تئوری دیسک فعال و معادله ناویر استوک بستگی داشته باشد. درجه جریانی که بوسیله دکل هواشناسی توزیع شده تابع صلبیت دکل، نیروی پسا اجزاء، جهت باد و فاصله نقاط اندازه گیری از دکل هواشناسی خواهد داشت. شکل G-5 ابعاد مورد علاقه با یک دید از بالا از دکل خرپایی مثلثی شکل را نشان می دهد.



NOTE The figure shows the centreline wind speed deficit, the actuator disc representation of the meteorological mast with the leg distance L_m and distance R_d from the centre of the meteorological mast to the point of observation.

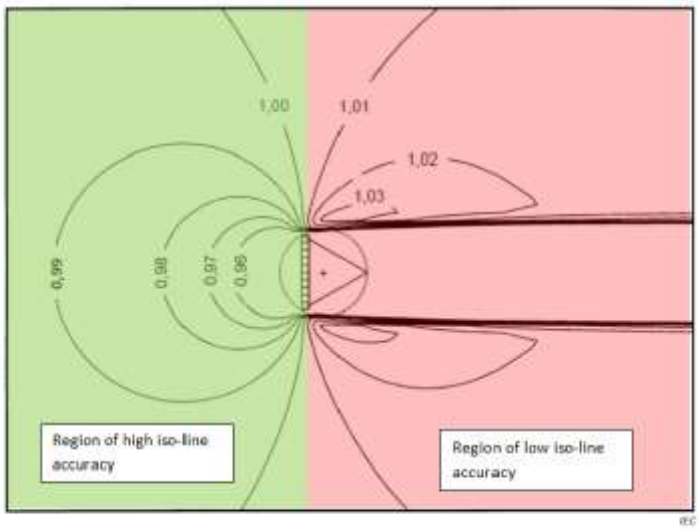
شکل G- ۵ : نمایش دکل هواشناسی خرپایی سه پایه.

انحراف جریان تابعی از ضریب تراست، C_T، است که به صلبیت دکل هواشناسی و ضریب پسای اجزاء منفرداً بستگی دارد. C_T می تواند با حفظ نیروی پسای کل برای هر واحد طول دکل، تقسیم بر فشار دینامیک و فاصله پایه در نظر گرفته شود[۱].

[۱] فاصله پایه باید معرف پهنای صورت باشد. برای پایه های با قطر بزرگ (۵٪ پهنای صورت< قطر پایه) قطر یک پایه را باید به فاصله بین مراکز پایه ها اضافه کنیم تا فاصله پایه بدست آید.

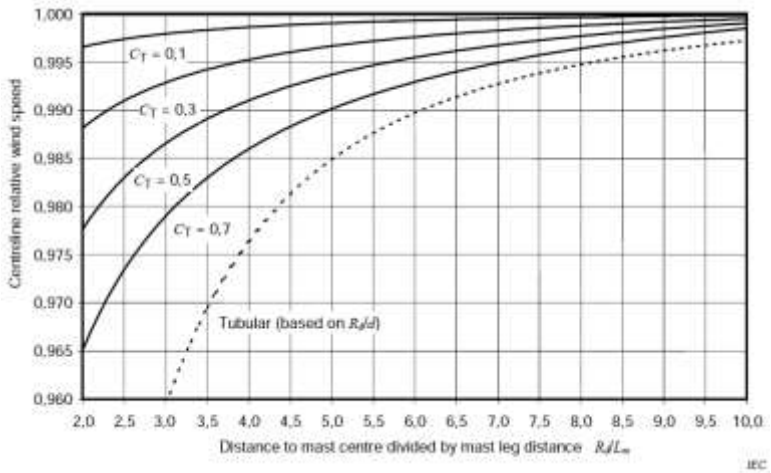
DOI: 10.30503/nripress.2020.223

شکل G.6 جریان محاسبه شده در اطراف یک دکل هواشناسی خرپایی که C_T آن ۰٫۵ است را نشان می دهد. در فاصله از بادسنج (R_d) ۲ برابر فاصله پایه های دکل هواشناسی، اغتشاش جریان بسیار کم از جهت دکل هواشناسی متاثر است (صورت یا گوشه به سمت باد باشد)، و آن می تواند یکسان فرض شود. اگرچه، شکل G.6 زمانی دقیق در نظر گرفته می شود که ناحیه رو به باد دارای اغتشاش کمتری (رنگ سبز در شکل) را نشان دهد.



NOTE The speed is normalised by free-field wind speed (from the left); analysis by 2 dimensional Navier-Stokes computation and actuator disc theory for which the green shaded region on the left is considered accurate and the red shaded region on the right inaccurate due to inaccuracies modelling flow in and behind the separation zone.

شکل G- ۶ : ترسیمه سرعت ایزو از سرعت جریان محلی در اطراف دکل هواشناسی خرپایی سه پایه با CT ۰٫۵ است.



شکل G- ۷ : سرعت باد نسبت به مرکز بصورت تابعی از فاصله Rd از مرکز مثلث دکل هواشناسی خرپایی که فاصله هر پا Lm برای مقادیر CT متفاوت است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

وقتی که جهت جریان عمود به صفحه دکل هواشناسی است، حداقل انحراف بوجود می آید چنانچه بادسنج در یک زاویه ۹۰ درجه نسبت به جریان قرار داده شده باشد. بعبارت دیگر، انحراف جریان ممکن است با در نظر گرفتن کسری جریان رو به باد بعنوان تابعی از فاصله بدست آید. شکل G-7 سرعتهای باد نسبت به خط مرکز محاسبه شده برای برجهای خرپایی با مقادیر متفاوت C_T را نشان می دهد. توجه کنید، اگرچه، انحراف سرعت باد ممکن است بالاتر ازآنچه در شکل G-7 نشان داده شده باشد اگر بادهای با زوایای بیش از ۱۰۰ درجه از تیرک بادسنج بیاید.

معادله زیر ممکن است برای تخمین کسری سرعت باد خط مرکز U_d بعنوان تابعی از C_T و R_d/L_m بکار رود:

$$U_d = 1 - \left(0{,}062C_T^2 + 0{,}076C_T\right)\cdot\left(\frac{L_m}{R_d} - 0{,}082\right) \qquad (G.1)$$

C_T می تواند با تخمین کدهای ساختمانهای محلی بدست آید، در دامنه مشخص شده، از جدول G-1 بدست می آید. در این جدول، ضریب صلبیت s با نسبت سطح تصویر شده از همه اعضای سازه روی جانب دکل هواشناسی به کل سطح مشاهده شده می باشد.

جدول G-۱: روش تخمین C_T برای انواع متفاوت دکل خرپایی.

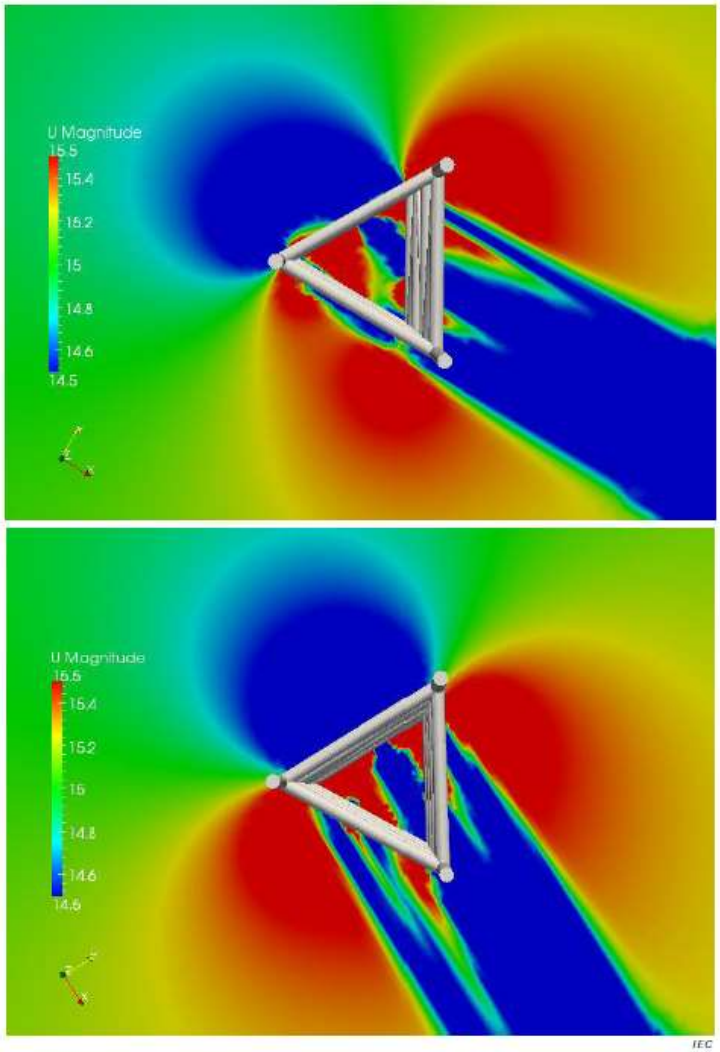
Type of mast	Plan section	Expression for C_T	Valid range
Square cross-section, members with sharp edges		$4{,}4(1-S)S$	$0{,}1 < S < 0{,}5$
Square cross-section, round members		$2{,}6(1-S)S$	$0{,}1 < S < 0{,}3$
Triangular cross-section, round members		$2{,}1(1-S)S$	$0{,}1 < S < 0{,}3$

متناوباً، اگر حداکثر مقدار مطلوب کسری سرعت باد خط مرکز مشخص گردد، فاصله R_d ممکن است از طریق معادله زیر بدست آید:

$$R_d = \frac{L}{\frac{1-U_d}{(0{,}062C_T^2 + 0{,}076C_T)} + 0{,}082} \qquad (G.2)$$

برای یک دکل هواشناسی خرپایی که C_T آن ۰٫۵ است و ۹۹٫۵٪ کمبود سرعت باد دارد، در فاصله از بادسنج (R_d) ۵٫۷ برابر فاصله پایه های دکل هواشناسی است. کمبود سرعت باد ۹۹٪ فاصله R_d را به ۳٫۷ برابر فاصله پایه های دکل هواشناسی کاهش می دهد. معادلات بالا و نمودارها معرف هندسه ایده آل دکل هواشناسی و شرایط جریان است. متذکر می شویم که تداخل جریان در این حالتها بسیار پیچیده خواهند شد و اینکه نگهدارنده ثانویه سازه مانند خرپا عمل می نمایند. شکل G.8 جریان بدست آمده از CFD را تشریح می نماید که موقعیت نسبی و تاثیر آن با مهار بندی متقاطع روی انحراف جریان با تغییرات ارتفاع نمایان می شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل G- ۸: انحراف جریان سه بعدی بدست آمده با CFD برای دو جهت باد متفاوت اطراف دکل هواشناسی خرپایی مثلثی (CT = 0.27) – برای جهت جریان فلش قرمز را دنبال کنید.

G-۵ حفاظت صاعقه

انتهای صاعقه گیر(جاذب) می تواند تجهیزاتی که در بالا نصب شده است را محافظت کند. اگر محافظ صاعقه نصب شد، یک سری موارد احتیاط باید رعایت گردد. انتهای صاعقه گیر توصیه می گردد در بالای دکل هواشناسی بصورتی نصب شود که:

a) بادسنج در امتداد افقی حداقل به اندازه ۳۰ برابر قطر انتهای صاعقه گیر از انتهای آن فاصله داشته باشد.

b) بادسنج در گردابه انتهای صاعقه گیر وقتی که باد در آن محدوده اندازه گیری می شود نباشد.

جاییکه این شرایط را نمیتوانیم برقرار کنیم پس انحراف جریان روی بادسنج باید ارزیابی گردد ویک عدم قطعیت اضافی برای این موضوع اضافه گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

G-۶ نصب دیگر ابزارهای هواشناسی بر روی دکل

بادسنج کنترلی (ناظر) توصیه می گردد تا حد امکان نزدیک بادسنج اولیه قرار گیرد، مادامیکه بتواند الزامات فاصله حداقل که در بخش G-2 تا G-4 آمده است را برآورده نماید، تا یک همبستگی خوب بین دو تجهیز در مدت تست برقرار گردد. این همبستگی بهتر است تایید شود تا اطمینان دهد که بادسنج اولیه در هنگام تست کالیبراسیونش تغییر نکرده است. اگرچه بادسنج ناظر نباید با بادسنج اولیه تداخل داشته باشد و توصیه می شود همچنین آزاد از جریان مخرب از طرف دیگر تجهیزات باشد. حسگر جهت باد باید ۴ تا ۱۰ متر زیر بادسنج اولیه نصب گردد. باید بگونه ای نصب شود که تاثیرات انحراف جریان نسبت به بخش اندازه گیری حداقل شود. فاصله افقی حسگر جهت باد از دکل هواشناسی توصیه می شود حداقل نصف آن چیزی که برای یک بادسنج نیاز است باشد. بجز در حالتی که یک دکل هواشناسی کوتاهتر از ارتفاع هاب در پیوستگی با وسایل سنجش از راه دور بکار رود، حسگرهای : درجه حرارت، رطوبت و فشار باید در ۱۰متری هاب قرار گیرند روی دکل هواشناسی در فاصله ۱٫۵ متری زیر بادسنج اولیه در حالی که الزامات نصب برای دیگر تجهیزات در G-2 و G-3 مشخص گردیده است. حسگر درجه حرارت با یک محافظ تشعشع باید نصب گردد. حسگر فشار در یک جعبه ضد آب باید نصب شود. اگرچه، توصیه می شود که مراقبت لازم صورت گیرد تا جعبه دارای خروجی هوا باشد بطوریکه فشار خوانده شده تحت تاثیر فشار اطراف جعبه قرار نگیرد. اگر دکل هواشناسی برای تست عملکرد توانی کوتاهتر از ارتفاع هاب باشد(خصوصا وقتی که یک دکل هواشناسی کوتاتر در ارتباط با وسایل سنجش از راه دور چنانچه در پیوست L مشخص شده است)، حسگرهای رطوبت و فشار باید در ارتفاع ۱٫۵ متر تا ۱۰ متری از بادسنج اولیه قرار گیرد. فشار جو باید با ارتفاع هاب تنظیم گردد. پیشتر، درجه حرارت هوا باید با ارتفاع هاب تنظیم شود با فرض اینکه فشار برطبق ISO 2533:1975 تغییر می کند. متناوبا یک حسگر درجه حرارت باید درون ناسل توربین باد نصب گردد. حسگر باید در فاصله ۱ متر بالای ناسل و رو به باد و هر سیستم تهویه موجود نصب گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست H : آزمون عملکرد توانی توربینهای بادی کوچک

(الزامی)

H-۱ کلیات

توربین‌های بادی کوچک (چنانچه بوسیله IEC 61400-2 مشخص شده است) نیازمند آمادگی سازیهای ویژه ای برای تست عملکرد توانی هستند. بخصوص، توربینهای بادی که باطری را شارژ می کنند می بایست بصورتی تست شوند که معرف کار در شرایط طبیعی باشند اما اینکه کاهش یا حذف تاثیر شکل بندی باطری خاص و شرایط بکار رفته در شرایط تست باشد، و توربینهای بادی که اینورتر برای اتصال به شبکه بکار می برند باید در ارتباط با این اینورترها نتایجی که میدهند مانند شرایط کار طبیعی باشد. در همه حالات مرتبط به توان، توان مفید تحویلی به مشتری ملاک است، بنابراین توان، توان تزریق شده به شبکه برای اتصال به شبکه توسط توربینهای بادی است، متشابهاً توان تحویلی به باطریها برای شارژ کردن باطری می باشد. وقتی که یک توربین بادی کوچک را تست می نماییم، تمام الزامات که در این استاندارد تشریح شده است می بایست با همه اضافات و تغییرات که بدنبال می آیند رعایت گردد.

H-۲ مشخصه ها

حداکثر توان، P_{60} : حداکثر توان خروجی یک توربین باد در شرایط طبیعی عملکرد حالت پایدار که در یک دقیقه تولید می نماید (توان خروجی لحظه ای اوج تولیدی بیشتر است). توان مرجع : متوسط سطح توان در دسته سرعت باد ۱۱ متر بر ثانیه است.

انرژی تولیدی سالانه مرجع : AEP اندازه گیری شده در ۵ متر بر ثانیه متوسط سالیانه سرعت باد، با توزیع رایلی، چگالی سطح دریا در منحنی توان تصحیح شده بکار رود.

H-۳ سیستم توربین باد مشخصه ها و نصب

با توجه به ۶,۲، مطالب زیر نیاز است:

a) وقتی که عملکرد شارژ کردن باطری را مشخصه می سازیم، سیستم ژنراتور توربین باد که شامل توربین باد نیز می شود، کنترلر توربین باد، کابل کشی بین توربین باد و بار، برج توربین باد، و کنترل کننده شارژ، که دارای وسیله حفاظت ولتاژ است که در هنگامی که باطریها کاملا پر هستند توان خروجی را کاهش می دهد. آن ممکن است یک بار مقاومتی که برای استهلاک انرژی توربین باد وقتی که باطریها کاملا شارژ هستند بکار می رود. سیستم ژنراتور توربین باد در بر گیرنده بانک باطری نیست زیرا آن بعنوان قسمتی از بار در نظر گرفته می شود. وسایل دیگر منبع ذخیره انرژی ممکن است جایگزین باطریها از طریق این بخش شوند.

b) وقتی توان خروجی در ارتباط با شبکه است، سیستم ژنراتور توربین باد در بر گیرنده توربین باد، برج توربین باد، کنترل توربین باد، کابل کشی بین توربین باد و بار، و هر بخش اضافی کنترل کننده است. علاوه بر این، سیستم

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

ممکن است دارای اینورتر ولتاژ باشد. اگر یک ترانسفورماتور بین اینورتر ولتاژ و شبکه نصب گردد، ممکن است بعنوان بخشی از سیستم ژنراتور توربین باد یا بار در نظر گرفته بشود. اگر سیستم متصل به شبکه دارای بانک باطری یا بار مستهلک کننده باشد، بعنوان قسمتی از سیستم در نظر گرفته می شود.

c) توربین باد می تواند به بار الکتریکی متصل گردد که بعنوان بار قلمداد شود. در حالت بکار بردن شاژ باطری، بار شامل بانک باطری نیز می شود، یک تنظیم کننده ولتاژ و یک وسیله برای استهلاک توانی که از تنظیم کننده ولتاژ می گذرد نیاز است (یا به بار مقاومتی برای استهلاک نیاز است). در برپایی ایده آل تست، بانک باطری انرژی تولیدی بوسیله توربین باد را ذخیره نمی کند. ترجیحاً خروجی توربین باد به تنظیم کننده ولتاژ فرستاده می شود. بنابراین، بانک باطری ممکن است کوچک تر از پیشنهاد معمول باشد چنانچه ولتاژ در اتصال توربین باد به بار می تواند در زیر حالت مشخص شده قرار گیرد.

d) توربین باد می تواند بر اساس نصب مشخص شده از طرف سازنده نصب گردد. اگر یک توربین باد سیستم مشخص شده ای برای نصب نداشته باشد، ژنراتور توربین باد در ارتفاع هاب حداقل ۱۰ متر نصب گردد.

e) بمنظور به حداقل رساندن تفاوت در نتایج ناشی از کابل کشی بین توربین باد و بار، طول کابل کشیده شده، از پایه برج تا بار، حداقل ۸ برابر قطر روتور باشد. کابل کشی بین توربین باد کوچک و بار باید بر طبق مشخصات سازنده باشد. اگر مشخصات برای اندازه سیمها ارائه شده باشد، سیمها باید اندازه نزدیک تا متوسط محدوده به همان که سازنده گفته است داشته باشد. اگر هیچ مشخصه ای ارائه نشده باشد، کابل کشی باید با اندازه ای اجرا شود که افت ولتاژ بین ژنراتور توربین باد و بار معادل ۱۰٪ از ولتاژ اسمی در توان نامی باشد.

f) تنظیم کننده ولتاژ باید بتواند ولتاژ اتصال توربین باد به بار در محدوده ۱۰٪ از تنظیمی که در جدول H-1 آمده است برای کل محدوده توان خروجی توربین باد رعایت نماید. متوسط ولتاژ بار در یک دقیقه باید در حدود ۵٪ از مقدار تنظیم داده شده در جدول که شامل بسته داده های قابل بهره برداری باشد.

H-۴ موقعیت دکل هواشناسی

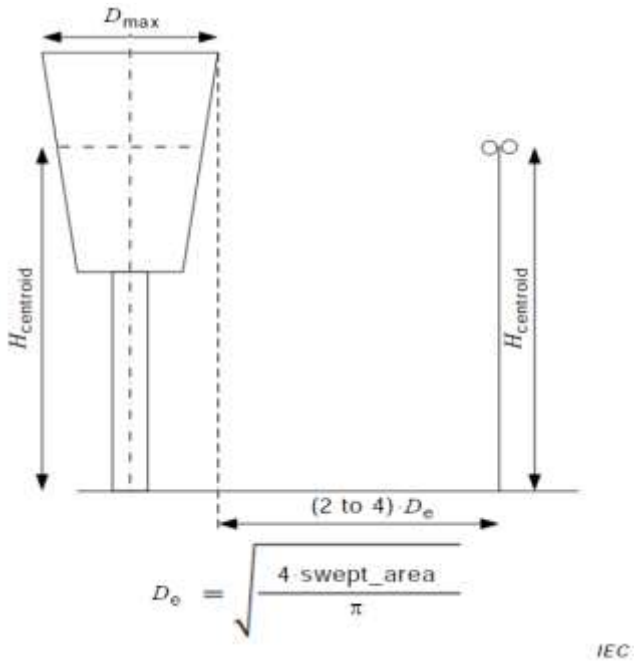
با توجه به ۶،۳،۲ مطالب ذیل نیاز است :

a) اگر یک بادسنج با یک تیرک بلند به برج توربین باد می توان نصب کرد نیازی به دکل هواشناسی مجزا نمی باشد. برای به حداقل رساندن انحراف جریان روی روتور توربینهای کوچک از گردابه بادسنج، جهت سنج پره ای باد و بقیه اتصالاتش، باید در با فاصله ۳ متر از هر قسمت روتور توربین باد قرار گیرد. علاوه براین، نصب بادسنج باید بگونه ای باشد که مساحت سطح مقطع آن حداقل گردد، حد بالای آن ۱/۵ برابر قطر روتور زیر ارتفاع برج قرار می گیرد. تیرک اتصال باید بگونه ای نصب گردد که ارتعاشات سازه در سیگنال توربین باد شروع نگردد.

b) ارتفاع هاب توربین باد محور عمودی بعنوان ارتفاع از مرکز مساحت جاروب شده روتور توربین باد مشخص می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

c) برای توربینهای محور عمودی فاصله بین توربین باد و دکل هواشناسی در شکل H-1 آمده است.



شکل H- ۱: تعیین ارتفاع هاب و موقعیت دکل هواشناسی برای توربینهای محور عمودی.

H-۵ تجهیزات آزمون

a) در بخش ۷,۱ گزارش وقتی که توان خروجی DC برای شارژکردن باطری توربینهای باد با سطح جاروب شده ۴۰ متر مربع یا کمتر اندازه گیری می شود، تجهیزات اندازه گیری بکار رفته باید دقتی ۲٪ یا بهتر برای اندازه گیری جریان و توان داشته باشد، ترجیحاً ۰٫۵٪ دقت داشته باشد به ۷,۱ رجوع نمایید.

b) در ۷,۱ : توان خروجی توربین باد باید در اتصال به بار اندازه گیری شود چنانکه در بخش H-1 تعیین شده است.

c) همچنین در ۷,۱ : علاوه بر توان الکتریکی، ولتاژ در اتصال به بار باید اندزه گیری شود تا اطمینان یابیم که الزامات ذکر شده در بخش H-3 رعایت گردد.

d) همچنین در ۷,۲,۲ : راهنمای نصب بادسنج که در پیوست G آمده است بهتر است دنبال شود. اگر انحرافات صورت گیرد دلیل برای انجام آن در مستندات ذکر گردد و عدم قطعیت اضافه ای در آنالیز باید درنظر گرفته شود. در شرایط حدی، مجاز به بکار گیری موقت بادسنج دیگری غیر از بادسنج ناظر هستیم اگر بتواند همبستگی خوبی بین بادسنج ناظر و این بادسنج سوم داشته باشیم.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

e) همچنین در ۷,۲,۳ : بادسنج باید در بالای دکل هواشناسی در ارتفاع هاب ۲٪± نسبت به زمین نصب شود.
f) در ۷,۲,۶ : نیازی به اندازه گیری برش باد نمی باشد.
g) در ۷,۴ : اندازه گیری رطوبت نسبی و تصحیح آن اجباری نیست.
h) همچنین در ۷,۴ : حسگر درجه حرارت، حسگر فشار هوا، و حسگر رطوبت، اگر بکار روند، باید بگونه ای نصب شوند که آنها ۱/۵ برابر قطر روتور فاصله عمودی از ارتفاع هاب در داخل فاصله ۱۰۰ متری افقی از هاب باشند.
i) در ۷,۷ : وضعیت پایش توربین بادی کوچک پیشنهاد می گردد اما الزامی نیست.

H-۶ فرآیند اندازه گیری

a) در ۸,۲ : اگر کنترلر شارژ توربین باد توان خروجی توربین باد را در تنظیم ولتاژبالا، کاهش دهد، کنترلر شارژ ممکن است با ولتاژ بالا تنظیم شود. اگر کنترلر شاژ تنظیم شود، گزارش تست باید برای تنظیمات قبل و بعد از تنظیم مستند گردد. دیگر تنظیمات در کنترل توربین باد باید بصورت واضح گزارش گردد.
b) در ۸,۳ : داده های پیش پردازش شده باید ندت یک دقیقه باشد. همه مراجع دیگر که تنظیم داده دارند به ۱ دقیقه برای تست توربین کوچک تبدیل گردند.
c) در ۸,۴ : مورد زیر اضافه گردد
   - ۱ دقیقه متوسط ولتاژ بار نباید ۵ ٪ از تنظیم داده شده در جدول H-1 باشد.
d) در ۸,۵ : پایگاه داده ها باید وقتی که شرایط ذیل برآورده شود، کامل در نظر گرفته شود:
۱) هر سری عددی سرعت باد بین ۱ متر بر ثانیه زیر سرعت شروع بکار و ۱۴ متر بر ثانیه باید حداقل ۱۰ دقیقه داده داشته باشد.
۲) تمام پایگاه داده حداقل دارای ۶۰ ساعت داده برای توربین بادی کوچک در داخل محدوده سرعت باد که در بالا مشخص شده است باشد.
۳) در هنگامی که توربین باد دنباله دار یای می نماید، پایگاه داده بهتر است شامل سری کامل سرعتهای باد وقتی توربین یای می کند باشد.
e) پیشنهاد می گردد که داده های اضافی عملکرد بدست آوریم تا تاثیری که تغییر ولتاژ بانک باطری روی عملکرد توربین می گذارد ارزیابی گردد. این منحنی توان اضافی بهتر است با تنظیم ولتاژ بانک باطری به مقادیر پایین و بالا تنظیم شود که در جدول H-1 ذکر شده است بدست آید، و با حداقل

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۳۰ ساعت داده از بکار گیری ۱ دقیقه پیش متوسط بدست آوریم. وقت که این منحنی توانها گزارش می شوند، جداول و نمودارها باید بطور واضح مشخص کنند که عملکرد را در ولتاژ پایین و بالای تنظیم شده نشان می دهند و باید تنظیمات ولتاژ مشخص باشد. پیشنهاد می گردد که یک نمودار جداگانه برای نشان دادن تغییرات توان با سرعت باد و ولتاژ بانک باطری بکار رود.

جدول H-۱: تنظیمات ولتاژ بانک باطری.

Nominal voltage V	Required setting V	Optional low setting V	Optional high setting V
12	12,6	11,4	14,4
24	25,2	22,8	28,8
36	37,8	34,2	43,2
48	50,4	45,6	57,6
Other	2,1*	1,9*	2,4*
* Volts per cell			

H-۷ نتایج مشتق شده

a) در ۹,۱ : برای توربینهای باد با کنترل غیر فعال مانند توربین دنباله دار یا با پره بال زننده، سرعت باد باید در سطح دریا با بکار گیری معادله (۱۴) (نرمالیزه کردن سرعت باد)، معادله (۱۳) (نرمالیزاسیون توان)، یا روش جایگزین استفاده نمایید. مستندات باید درستی روش جایگزین را فراهم نماید. اگرچه، اگر توربین باد قبلا با چگالی هوا محل آزمون متناسب تنظیم شده باشد، این توصیه می شود گزارش گردد و نرمالیزاسیون اضافی مجاز نمی باشد.

b) در ۹,۱,۶ : برای توربینهای بادی کوچک تصحیح آشفتگی پیشنهاد نمی گردد، اگرچه اگر انجام شد باید گزارش گردد آیا روش بکار رفته برای ۱ دقیقه متوسط بجای ۱۰ دقیقه متوسط سرعت باد و توان اندازه گیری شده است، و هر چند مجاز می باشد. اگر تصحیح آشفتگی برای منحنی توان با یا بدون تصحیح آشفتگی اجرا شود باید گزارش بطور روشن ارائه گردد.

c) در ۹,۳ : در حالتی که توربین باد کوچک در بادهای بالا متوقف نمی شود، AEP اندازه گیری شده و AEP برون یابی شده باید با در نظر گرفتن سرعت باد توقف که بالاترین است محاسبه گردد، دسته سرعت باد کامل شود یا ۲۵ متر بر ثانیه باشد، اگر چه سرعت باد بیشتر است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

H-۸ گزارش دهی

در بخش ۱۰ گزارش : علاوه بر اطلاعات ذکر شده در بخش ۷، شرح توربین باد و برپایی تست باید ضمیمه گردد:

a) اندازه کابلها، ماده هادیها، نوع، طول و اتصالات بکار رفته برای اتصال توربین باد به بار مشخص باشد.
b) تنظیمات ولتاژ برای هر وسیله با حفاظت پایین و بالای ولتاژ که بخشی از سیستم ژنراتور توربین باد کوچک است.
c) ولتاژ نامی بانک باطری (مانند ۱۲ ولت، ۲۴ ولت، ۴۸ ولت).
d) اندازه بانک باطری (یعنی ظرفیت آمپر ساعت)، نوع باطری و عمر آن ذکر گردد.
e) توضیح شامل سازنده، مدل و مشخصات تنظیم ولتاژ وسیله بکار رفته در حفظ ولتاژ بانک باطری با ذکر محدوده مشخص گردد.
f) توان مرجع ذکر شود.
g) انرژی تولیدی سالیانه بر اساس AEP اندازه گیری شده و توزیع سرعت باد رایلی با یک متوسط سرعت باد از ۵ متر بر ثانیه محاسبه گردد و چگالی هوا در سطح دریا که منحنی توان نرمالیزه را داراست در گزارش بعنوان انرژی سالانه مرجع گزارش گردد.
h) ۱ دقیقه شدت آشفتگی برای هر مجموعه داده (متوالی، پیوسته، سری های زمانی) مانند یک نمودار پراکنده از دامنه سرعت باد مشاهده شده است.

H-۹ پیوست A – ارزیابی تاثیر توربینهای باد و موانع بر محل آزمون

a) الزامات جدول A-1 ممکن است برای توربینهای باد کوچک تسهیل شود اما عدم قطعیت اضافی توصیه می شود در عدم قطعیت سرعت باد در نظر گرفته شود. اگرچه، دیگر بخشهای پیوست A مورد نظر نیست (یعنی روش حذف قسمتهای متاثر از موانع).

H-۱۰ پیوست B – ارزیابی زمین بر محل آزمون

b) در شناسایی انواع محیطی که توربینهای بادی کوچک نصب می گردند الزامات حداکثر شیب در جدول B-1 ممکن است با افزایش ۱۰ درصدی برای همه فاصله ها در همه جهات روبرو شود. اگرچه، عدم قطعیت اضافی در سرعت باد توصیه می شود اضافه گردد.

H-۱۱ پیوست C – فرآیند کالیبراسیون محل آزمون

a) در C-3-2 اندازه گیریهای اضافی برای برش باد هستند پیشنهاد نمی گردد. این شامل سرعت باد عمودی و تغییر جهت باد در ارتفاع نیز می شود.
b) در بخش C-5 : آنالیز برای برش باد و پایداری جوی حذف گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

c) همچنین در بخش C-5 : اندازه گیریهای برش باد در هر دو دکل هواشناسی نیاز نیست.

d) همچنین در بخش C-5 : برای هر یک دقیقه نقاط داده، نسبت سرعت باد باید محاسبه گردد، که سرعت باد در ارتفاع هاب در محل دکل هواشناسی توربین باد باید تقسیم بر سرعت باد در ارتفاع هاب در محل دکل هواشناسی مرجع گردد.

e) در C-5-1 و C-5-2 : از تمام زیر بخشها صرف نظر گردد.

f) در C-5-3 : این زیربخش برای آنالیز کالیبراسیون محل آزمون بکار میرود.

g) برای کالیبراسیون محل آزمون توربینهای بادی کوچک، بکار گیری میله اتصال به پایه برج نسبت به بکار گیری دکل مجزا در محل توربین قابل قبول است، الزامات انحراف جریان را برآورده نمایید.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست I : طبقه بندی بادسنج فنجانی و صوتی

(الزامی)

I-۱ کلیات

بادسنجهای صوتی و فنجانی تجهیزات اندازه گیری باد هستند که ممکن است برای تست عملکرد توانی بکار روند. بمنظور انتقال ردیابی آنها باید در یک تونل باد بر طبق پیوستF کالیبره شوند. کالیبراسیون تونل باد تحت شرایط محیطی کنترل شده اجرا شود با یک جریان با آشفتگی پایین همراه باشد. اگرچه، در مدت اندازه گیری و کار در محل آزمایش، این تجهیزات در معرض جریان آشفتگی و شرایط محیطی است که از شرایط کالیبراسیون تونل باد بطور قابل ملاحظه تای متفاوت است. در محل آزمایش مشخصات تجهیزات بطور قابل ملاحظه ای متاثر از شرایط محل هستند و این باعث می شود خروجی تجهیزات از کالیبراسیون تونل باد منحرف گردد. اگر دامنه های پارامترها در میدان آزمایش تعیین شده باشند، پس انحراف سیستماتیک ممکن است آنالیز گردد و انحراف در خروجی تجهیزات ممکن است در یک طبقه بندی قرار گیرد. پارامترهای تاثیر گذار روی اندازه گیری بادسنج فنجانی معلوم هستند و عبارتند از: آشفتگی، دمای هوا، چگالی هوا، و متوسط زاویه جریان به بالا است. پارامترهای تاثیر گذار روی اندازه گیری بادسنج صوتی معلوم هستند و عبارتند از: جهت باد، دمای هوا، و زاویه جریان به بالا است. تاثیر این پارامترها در طبقه بندی باید در نظرگرفته شوند. پارامترهای محیطی دیگر ممکن است تجهیزات را تحت تاثیر قرار دهند. اگر تاثیر این پارامترها مشخص در ایجاد انحراف سیستماتیک باشند، اثرات آنها باید آنالیز گردد و در طبقه بندی ارائه شود. پیشتر، تاثیر این پارامترها باید ارزیابی شود. انحرافات سیستماتیک ناشی از تاثیر پارامترها طبق فرآیند شرح داده شده در پیوست J در یک طبقه بندی مشخصات انواع بادسنج آمده است. حداقل پنج نمونه از انواع بادسنج باید ارزیابی گردد. تغییر یک نوع بادسنج که ممکن است خروجی را تحت تاثیر قرار دهد نیاز به ارزیابی جدید دارد. تغییر در هندسه بادسنج، اصول اندازه گیری، الگوریتم نرم افزار برای محاسبه خروجی، تنظیم نرم افزار، یا هندسه سازه مستحکم کننده، به یک ارزیابی جدید نیاز دارد. روش طبقه بندی فقط کارکرد طبیعی حسگر را در نظر می گیرد. روش برای مثال سایش، بد کار کردن یا یخ زدگی را در نظر نمی گیرد(پیوست O را ببینید).

I-۲ طبقه بندی کلاسها

انواع بادسنج به پنج کلاس بسته به هدف استفاده طبقه بندی می شوند. کلاس A، B، C و D که براساس زمین از پیش تعریف شده و دامنه آب و هوا مشخص می شوند، جدول I-1 را ببینید. کلاس A و C باید در زمینی که الزامات پیوست B را برآورده می کند بکار رود و نوع A زمین در C-3-1 را رعایت نماید. کلاس B و D باید برای زمینی که الزامات پیوست B را رعایت نمی کند بکار رود. کلاس B و D می توانند در زمین نوع B در C-3-1 بکار روند. اگر اطلاعات در باره تاثیر دامنه پارامترهای تاثیر گذار در مدت اندازه گیری موجود باشد پس کلا S بکار خواهد رفت. کلاس S یک کلاس خاص است، که تاثیر دامنه پارامترها ممکن است

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بوسیله کاربر تعیین شود، جدول I-1 را ببینید. این ممکن است برای یک آب و هوای خاص باشد، برای مثال شرایط آب و هوایی سرد، پیوست O را ببینید. کلاس S ممکن است همچنین برای تخمین عدم قطعیت اندازه گیری پویش منطقه ای بکار رود جاییکه دامنه پارامتر های موثر در مدت اندازه گیری مشخص هستند. کلاس S ممکن است برای اندازه گیری در زمین نوع A، B و C بکار رود، بخش C-3.1 را ببینید.

شماره طبقه بندی k باید در تعیین مشخصات عدم قطعیت عملیاتی سرعت باد بکار رود، همانطور که در پیوست D (جدول D.1) آمده است. پیوست B برای ارزیابی زمین اگر انحراف جریان ناشی از زمین معنادار باشد ارزیابی را ارائه مینماید. برای طبقه بندی بادسنج فنجانی و صوتی، این ارزیابی زمین در شناسایی طبقه بندی کلاسهای A، B، C و D نقش ایفا می نماید.

کلاس A: مرتبط با زمینی است که الزامات پیوست B را برآورده مینماید و تاثیر کلی دامنه پارامترها برای این نوع زمین را در بر می گیرد.

کلاس B: مرتبط با زمینی است که الزامات پیوست B را برآورده نمی نماید و تاثیر کلی دامنه پارامترها برای این نوع زمین را در بر نمی گیرد.

کلاس C: مانند کلاس A می باشد اما تا دمای زیر ۲۰ درجه سانتیگراد کارآیی دارد.

کلاس D: مانند کلاس B می باشد اما تا دمای زیر ۲۰ درجه سانتیگراد کارآیی دارد.

برای زمینهایی که از کلاس A تا D نمی باشند یک کلاس مانند S ممکن است مشخص گردد.

کلاس S: مرتبط با شرایطی است که از کلاس A ، B، C یا D انحراف پیدا می نمایند. در این کلاس تاثیر کلی دامنه پارامترها را استفاده کننده تعیین می نماید. این ممکن است با شرایط آب و هوایی خاص یا وضعیت خاص زمین توسط استفاده کننده تعیین شود.

I-۳ تاثیر دامنه پارامترها

دامنه های حداقل پارامترهای تاثیر گذار بر بادسنج صوتی و فنجانی در جدول I-1 فهرست شده اند.

I-۴ طبقه بندی بادسنجهای فنجانی و صوتی

طبقه بندی یک بادسنج با میزان انحراف سیستماتیک از مقادیر کالیبره بدست می آید (کالیبراسیون طبق پیوست F) جاییکه انحرافات سیستماتیک برای مقادیر متغیر در دامنه پارامترهای موثر تعیین می شوند. برای یک بادسنج صوتی و بادسنجهای فنجانی حساس به جهت، یک جهت مرجع که بر طبق پیوست F برای کالیبراسیون بکار می رود باید نوع ابزار را مشخص نماید. انحرافات سیستماتیک از همه مقادیری که مرتبط به تعیین کلاس بین حداقل و حداکثر مقادیر برای هر پارامترند بدست می آید. شماره کلاس k_n یک بادسنج نمونه شماره n باید بصورت حداکثر انحراف سیستماتیک از مقادیر کالیبراسیون تونل باد بدست آید، وزن دهی با تابع سرعت باد ε_i انجام می شود:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$$k_n = 100 \cdot \max\left|\varepsilon_i / w_i\right| \qquad (I.1)$$

بطوریکه:

k_n شماره کلاس بادسنج با شماره نمونه n ($n=1 \ldots 5$) یا بیشتر از ۵ است) است.

w_i یک تابع وزنی بر حسب m/s است که انحراف مجموعه پارمترها را مشخص می کند، معادله (I.2) را ببینید.

ε_i انحراف بر حسب m/s است که برای نشان دادن تاثیر ترکیب پارامترها است.

تابع وزنی متوسط تاثیر مطلق و نسبی انحرافها است[۱]:

$$w_i = 5\ \text{m/s} + 0{,}5 \cdot U_i \qquad (I.2)$$

بطوریکه:

U_i سرعت باد بر حسب m/s برای تاثیر پارامتر ترکیبی i است.

یک نمونه از طبقه بندی در پیوست J آمده است

برای پنج نمونه بادسنج که برای طبقه بندی آزمایش شده اند، کلاس بوسیله متوسط مقادیر k به اضافه نصف دامنه که تقسیم بر $\sqrt{3}$ می شود با فرض اینکه توزیع چهارگوش احتمال داشته باشیم (معادله (I.3) را ببینید).

$$k = \frac{1}{5}\sum_{n=1}^{5} k_n + \frac{k_{\max} - k_{\min}}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \qquad (I.3)$$

یک طبقه بندی، بازگشت به بعضی از کلاسهاست، با عبارات *k*A، *k*B، یا *k*S، بیان می گردد، برای نمونه 1,7A یا 2,5S. مشخصات عملیاتی عدم قطعیت استاندارد (جدول D.1 را ببینید) بادسنج فنجانی یا صوتی ممکن است از با فرض اینکه طبقه بندی عدم قطعیتش توزیعی چهارگوش دارد بدست آید، بطوریکه عدم قطعیت استانداراد بکار رفته در ارزیابی عدم قطعیت عملکرد توان هست:

$$u_{v2j} = (0{,}05\ \text{m/s} + 0{,}005 \cdot U_j) \cdot k\sqrt{3} \qquad (I.4)$$

[۱] شماره کلاس ۱ متناسب با ۱ ٪ در ۱۰ m/s است اما بیشتر از ۱ ٪ برای زیر ۱۰ m/s و کمتر از ۱ ٪ برای بالای ۱۰ m/s است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول I-۱: دامنه پارامترهای موثر (متوسط‌های ۱۰ دقیقه ای) از کلاسهای A، B، C، D و S

	Class A Terrain meets requirements in Annex B	Class B Terrain does not meet requirements in Annex B	Class C Terrain meets requirements in Annex B	Class D Terrain does not meet requirements in Annex B	Class S[34] Special class with user defined ranges
	Range	Range	Range	Range	Range
Wind speed V (m/s)	4 to 16	4 to 16	4 to 16	4 to 16	4 to 16
Turbulence intensity	0,03 to 0,12 + 0,48/V	0,03 to 0,12 + 0,96/V	0,03 to 0,12 + 0,48/V	0,03 to 0,12 + 0,96/V	User defined
Turbulence structure $\sigma_u/\sigma_v/\sigma_w$ [35]	1/0,8/0,5*	1/0,8/0,5*	1/0,8/0,5*	1/0,8/0,5*	User defined or 1/0,8/0,5*
Air temperature (°C)	0 to 40	−10 to 40	−20 to 40	−20 to 40	User defined
Air density (kg/m^3)	0,9 to 1,35	0,9 to 1,35	0,9 to 1,35	0,9 to 1,35	User defined
Average upflow angle (°)	−3 to 3	−15 to 15	−3 to 3	−15 to 15	User defined
Wind direction (°)[36]	Cups and sonics: 0° to 360°	Cups and sonics: 0° to 360°	Cups and sonics: 0° to 360°	Cups and sonics: 0° to 360°	Cups: 0° to 360° Sonics: user defined
* A non-isotropic Kaimal turbulence spectrum with turbulence length scale 350 m.					

۳۴: دامنه پارامترهای موثر در طی اندازه گیری عملکرد توان شامل پارمترهای اندازه گیری شده در برنامه اندازه گیریعملکرد توان می گنجند: سرعت باد، آشفتگی، دمای هوا، چگالی هوا. زاویه جریان به بالا ممکن است درطی کالیبراسیون محل آزمون بوسیله نصب بادسنج صوتی دوتایی یا سه بعدی در ارتفاع هاب روی دکل هواشناسی که بطور موقت در محل فونداسیون توربینهای باد نصب می شوند. زاویه رو به بالا روی توربین ممکن است با بادسنجی که بر روی دماغه روتور قرار میگیرد تعیین شود.

۳۵ : برای بادهای مصنوعی مثال بخش J.4 را ببینید.

۳۶: اگر یک بادسنج فنجانی نسبت به جهت حساس باشد (باید حداقل بر روی یک نمونه بررسی گردد)، جهت پذیری باید در طبقه بندی ذکر گردد. برای بادسنج صوتی جهت پذیری باید همیشه در طبقه بندی ذکر شود، اما برای کلاس S جهت باد دامنه ممکن است بوسیله استفاده کننده مشخص گردد.

I-۵ پیکربندی گزارش دهی

طبقه بندی گزارش حسگر سرعت باد باید همه جزئیات مرتبط با حسگر را مشخص کند، همه تنظیمات را شامل شود. مستندات کلاس بادسنج صوتی باید مشخصه پیکربندی برنامه ریزی شده برای هر طبقه بندی را تایید نماید. مستندات مرتبط باید با اطلاعات لازم بر اساس فرآیند را دنبال نماید، اندازه گیریها برای طبقه بندی اجراشود، و مستندات برپایی و تجهیزات بکار رفته ارائه شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست J : ارزیابی بادسنجهای صوتی و فنجانی

(الزامی)

J-۱ کلیات

ارزیابی بادسنج برای طبقه بندی باید از تستهای تونل باد که قابل رصد هستند گرفته شده باشد، آزمایشگاه دیگری که مشارکت در تستها و مدلسازی مشخصه های بادسنج فعال هستند. یک روش ارزیابی توصیه می شود شامل بازبینی تستهای میدانی باشد. یک ارزیابی از نوع فنجانی یا صوتی شامل بازبینی فرآیند است تا تاثیر مشخصات زیر را تعیین نماید (همچنین به جدول I-1 توجه شود):

- مشخصات پاسخ انحراف زاویه ای
- مشخصات پاسخ زاویه ای یای
- تاثیرات درجه حرارت روی عملکرد بادسنج

اضافه بر این مطالب برای بادسنج فنجانی مشخصات زیر می بایست ارزیابی گردند:

- تاثیرات دینامیک در اثر گشتاور روتور

بخش J-2 به تشریح فرآیند مشخصه های اندازه گیری باد سنج می پردازد. بخش J-3 به تشریح یک روش برای طبقه بندی بادسنجهای فنجانی با ارائه یک مثال می پردازد و در بخش J-4 روش طبقه بندی بادسنج صوتی تشریح می شود. یک ارزیابی واقعی بر اساس روشی است که در بخش J-3 و J-4 آمده است، اما می تواند بر اساس دیگر روشهای ارزیابی باشد، همچنانکه اینها بازبینی می شوند تا تاثیر پارامترهای در جدول I-1 را بررسی نمایند. بخش J-5 به معرفی روشی برای مقایسه بادسنجها می پردازد.

J-۲ اندازه گیری مشخصات بادسنج

J-۲-۱ اندازه گیری در تونل باد برای مشخصات پاسخ انحراف زاویه ای یک باد سنج فنجانی

پاسخ انحراف زاویه ای یعنی اندازه گیری سرعت باد در زوایای جریان مورب نسبت به سرعت باد اندازه گیری شده در جریان غیر مورب است. پاسخ انحراف زاویه ای یک بادسنج فنجانی باید در یک تونل باد اندازه گیری شود که الزامات شرح داده شده در پیوست F را برآورده نماید. علاوه بر این باید اینکه تونل باد ارتفاع کافی برای بدست آوردن مشخصات دقیق پاسخ مورب را دارد، مستند سازیم. رفتار یک بادسنج قویاً متاثر از فضای آزاد اطراف و خصوصا پایین و بالای بادسنج است. مهم است که مکانیزم مورب نمودن طراحی گردد بصورتیکه مرکز قسمت حس کننده بادسنج ثابت باشد اما برای چرخش آزاد باشد، و صفحه پایینی تونل باد برای جلوگیری از اثرات جریان مقابل بسته باشد. بنابراین حرکت انتقالی بوسیله روتور قابل انجام نیست، بجای آن

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

فقط یک کج شدگی صفحه روتور قابل انجام است. پاسخ انحراف زاویه ای ممکن است با دو روش جایگزین صورت گیرد، یکی بکارگیری یک جاروب کننده و دیگری ثابت نگه داشتن موقعیت است. تعیین پاسخ بادسنج به تقریباً جریان کج شده توصیه می شود که با کمک یک وسیله اتوماتیک کج نمودن زاویه که در تونل باد نصب است اجرا گردد. در مدت اندازه گیری، بادسنج به آرامی به عقب کج می شود با یک سرعت آرام (کمتر از ۱٫۵ °/s) بنابراین از تاثیر سرعت زاویه ای بر نتایج صرف نظر می شود. جاروب کننده ممکن است بکار رود اگر در تونل باد سرعت باد در محدوده ۰٫۵٪ از مقدار نامی سرعت باد برای همه زوایای کج شدگی باشد.

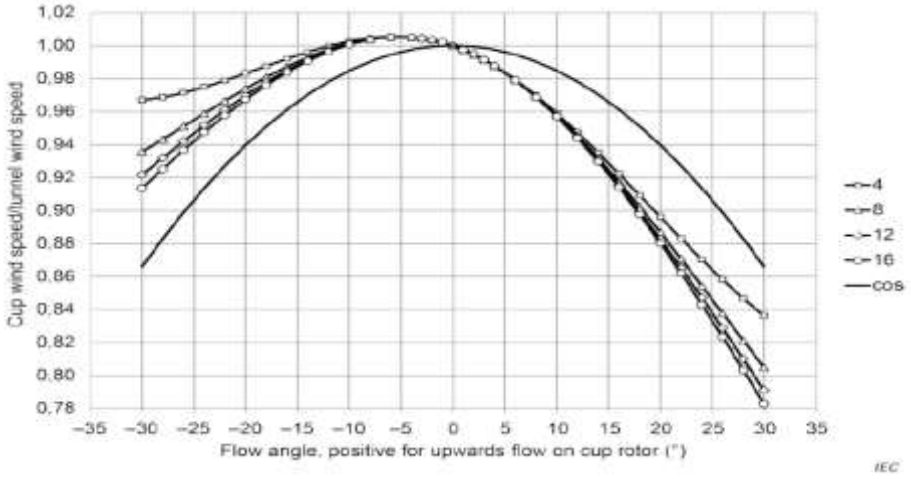
جریان اگر مورب نگردد، در حقیقت زاویه کج شدگی باید ثابت باشد و اندازه گیری باید برای ۳۰۰ ثانیه باشد تا داده های کافی برای سری صفر (±0,5°) فراهم شود (مقدار زاویه کج شدگی یعنی کمتر یا مساوی ۰٫۵ درجه باشد). این داده های سری صفر برای نرمال سازی زاویه کج شدگی پاسخ بکار می رود. ضبط زاویه کج شدگی، سرعت باد در تونل باد و خروجی بادسنج باید همزمان متوسط گیری شده و ارائه شوند. معنادار خواهد بود که وضوح ظریف تری ارائه شود و با الگوریتم متوسط گیری سریها بتوانیم گرادیان بالاتری برای پاسخ زاویه کج شدگی در نزدیک صفر بیابیم. زاویه پاسخ کج شدگی توصیه می شود که بصورت جایگزین اندازه گیریهای موقعیت ثابت تعیین گردد، بطوریکه پاسخ در هر زاویه بوسیله پیوست F که مربوط به کالیبراسیون تونل باد است در سرعتهای نامی باد انتخاب شده در دامنه سرعت باد باشد.

ماتریس اندازه گیری پیشنهادی:

a) تعیین زاویه جریان: مثبت برای جریان به بالا روی فنجان روتور.
b) دامنه و مراحل زاویه کج شدگی: حداقل ۳۰− درجه تا ۳۰+ درجه (برای نمونه: ±0°, ±1°, ±2°, ±3°, ±4°, ±6°, ±8°...±30°).
c) دامنه و مراحل زاویه کج شدگی: ۴ تا ۶ m/s (برای نمونه ۴، ۸، ۱۲، و ۱۶ m/s).
d) دامنه متوسط گیری سری برای روش جاروبی، پهنای سری حداکثر ۲ درجه است.

یک مثال از زاویه پاسخ کج شدگی (شامل شکل کسینوسی که ایده آل است) در شکل J.1 نشان داده شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل J- ۱ : پاسخ کج شدگی زاویه ای بادسنج فنجانی بصورت تابعی از زاویه α در مقایسه با کسینوس پاسخ.

J-۲-۲ اندازه گیری در تونل باد برای مشخصات پاسخ جهت یک باد سنج فنجانی

طراحی قطعی بادسنجها (مانند شکل نامتقارن بدنه، کابلهای ورودی نامتقارن، و غیره) ممکن است یک تاثیر متقابل از سیگنال سرعت باد بادسنج نسبت به جهت جریان افقی و جهت مرجع بکار رفته برای کالیبراسیون(حساسیت نسبت به یای) داشته باشد. این تاثیر مطلوب نیست چونکه معمولا نمی توان برای تصحیح بکار ببریم. ممکن است به عدم قطعیت قابل ملاحظه ای در اندازه گیریسرعت باد منجر شود. حساسیت اندازه گیری یای باید در سرعتهای باد ۴، ۸، ۱۲، و ۱۶ متر بر ثانیه باشد.

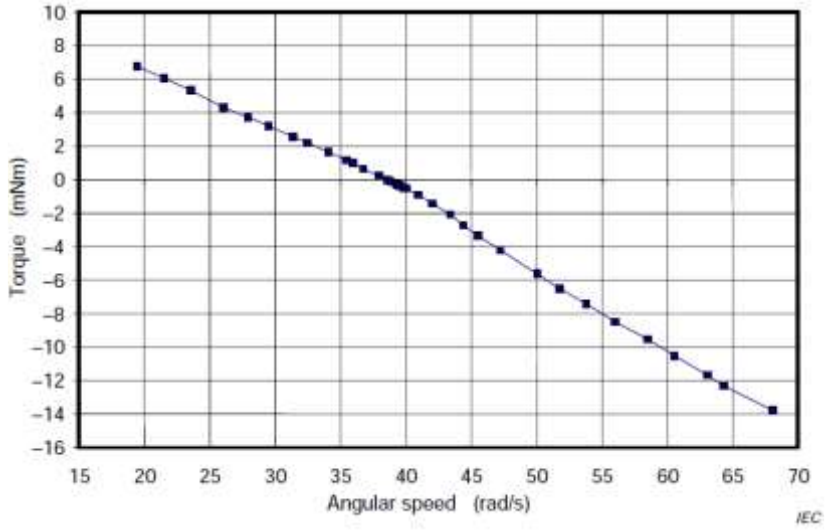
J-۲-۳ اندازه گیری در تونل باد برای مشخصات گشتاور محور یک باد سنج فنجانی

پاسخ دینامیک بادسنج فنجانی به باد با معادله (J.1) بدست می آید، که I ممان اینرسی، ω سرعت زاویه ای، t زمان است، Q_A گشتاور آیرودینامیک و Q_F گشتاور ناشی از اصطکاک است (اصولا یاتاقانهاست).

$$I\frac{\mathrm{d}w}{\mathrm{d}t} = Q_A - Q_F \qquad (J.1)$$

گشتاور خالص، $Q_A - Q_F$ روی روتور بادسنج فنجانی، و بنابراین مشخصات گشتاور روتور، در تونل باد قابل اندزه گیری است. گشتاور آیرودینامیک را میتوان اندازه گیری نمود با به حرکت درآوردن روتور در خارج از تعادل سرعتهای زاویه ای مخصوص مادامیکه گشتاور با حسگر گشتاور اندازه گیری شود. گشتاور آیرودینامیک روتور بادسنج فنجانی معادل با گشتاور عکس العمل روی محور اندازه گیری شده با حسگر گشتاور منهای گشتاور اصطکاک است. اندازه گیریهای نزدیک به سرعت زاویه ای تعادل توصیه می شود بسیار دقیق و مفصل باشد. یک نمونه از اندازه گیری گشتاور، بطوریکه سرعت باد در تونل در مقدار ثابت ۸ متر بر ثانیه نگه داشته شود و سرعت زاویه ای روتور متغیر باشد، در شکل J.2 نشان داده شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل J- ۲ : اندازه گیری گشتاور QA - QF در تونل باد بصورت تابعی از ω سرعت زاویه ای روتور بادسنج فنجانی در ۸ متر بر ثانیه.

J-۲-۴ اندازه گیری در تونل باد برای مشخصات پاسخ مرحله ای یک بادسنج فنجانی

مشخصات گشتاور روتور ممکن است با اندازه گیری با پاسخ مرحله ای در تونل باد جایگزین شود. این روش دقت کمتری نسبت به روش J.2.3 دارد زیرا مشخصات گشتاور خطی روی یک طرف از نسبت سرعت تعادل (ضریب گشتاور مساوی صفر باشد، J.3.2 را ببینید) فرض می شود. پاسخ مرحله ای یک روشی است که بادسنج فنجانی، در یک تونل باد با سرعت جریان ثابت مجبور به یک سرعت دورانی نامتعادل شود، بالاتر وپایین تر از سرعت تعادل باد، که بازیابی شود تا سرعت زاویه ای تعادل که پایش می شود. منطقه بازیابی نزدیک به نقطه تعادل مهم است قسمتی از بازیابی باشد. پیشنهاد می گردد با استفاده از داده های منطقه بازیابی بین ۵۰٪ و ۹۸٪ از سرعت روتور متعادل در مدت تستهای شتاب گیری باشد، و بین ۱۵۰٪ و ۱۰۲٪ در مدت کاهش شتاب تستها وقتی که ضریب گشتاور با خطوط متناسب است باشد. روش اجبار بادسنج به کار در منطقه خارج از تعادل می تواند بوسیله نصب محور نازکی بالای روتور بادسنج فنجانی صورت گیرد، و ادامه آن در سوراخی در دیواره تونل به موتوری وصل باشد. سرعت دورانی با موتور کنترل می شود، که بطور مکانیکی از روتور جدا می شود وقتی که اندازه گیری افزایش و کاهش شتاب شروع می گردد. جایگزین، حالت خارج از تعادل می تواند بوسیله بکارگیری یک جت کمپرسور هوا یا بیشتر به یک طرف روتور بادسنج فنجانی یا طرف دیگر فراهم گردد. اگرچه، دقت باید نمود که جریان بالادست در تونل باد مزاحم نگردد. شروع حالت نامتعادل توصیه می شود خارج از محدوده دورانی برای آنالیز (۵۰٪ تا ۱۵۰٪ سرعت تعادل روتور باشد) تا اطمینان حاصل شود وسایل تحریک کننده داده ها را تحت تاثیر قرار نمی دهند. در این حالت مشخصات گشتاور با ارتباط خطی روی طرف دیگر گشتاور تعادل قابل بیان است (گشتاور برابر با صفر)، پس پاسخ مرحله ای با معادله زیر قابل بیان است :

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$$u(t) = u_t - \Delta u \cdot \exp\left(\frac{t - t_0}{\tau}\right) \qquad (J.2)$$

بطوریکه:

U(t) سرعت باد اندازه گیری شده بوسیله بادسنج فنجانی در زمان t با بکارگیری تابع کالیبراسیون معمولی بدست می آید. u(t) سرعت باد در تونل است.

Δu اختلاف بین سرعت باد تونل باد و سرعت باد بادسنج فنجانی است، در شروع پاسخ مرحله اندازه گیری، در زمان t_0.

t زمان است.

τ ثابت زمانی است که با پاسخ مرحله ای در دو حالت پایین و بالا تعیین می شود.

در مناسب سازی داده ها به دو ثابت نامعلوم τ و t_0 مفید است معادله (J.2) بازنویسی شود و با بکار گیری رگرسیون خطی ثابت زمانی τ تعیین شود :

$$\ln\left(\frac{u_t - u(t)}{\Delta u}\right) = \frac{t - t_0}{\tau} \qquad (J.3)$$

یک مثال از بکار بردن روش پاسخ مرحله ای منتج به تعیین گشتاور خطی از ثابت زمانی در J.3.2 شرح داده شده است.

J-۲-۵ اندازه گیری تاثیر درجه حرارت بر عملکرد یک باد سنج فنجانی

تاثیر اثرات دمای القا شده بر عملکرد بادسنج باید ارزیابی گردد.

J-۲-۵-۱- اندازه گیری گشتاور اصطکاکی بادسنج فنجانی

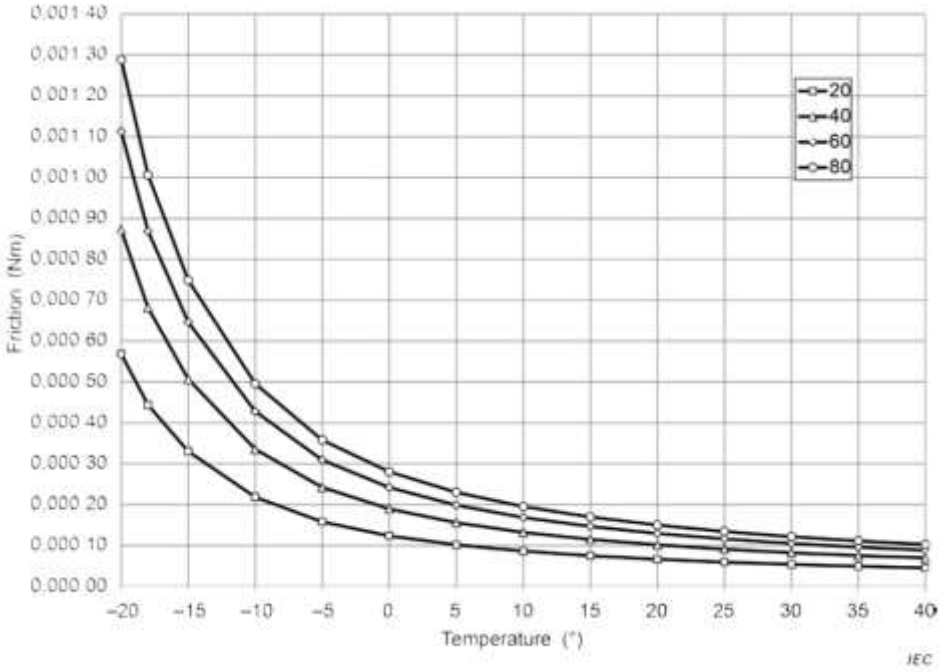
اثرات وابستگی دما ناشی از اصطکاک یاتاقان باید بوسیله تست چرخ طیار در محفظه آب و هوایی ارزیابی گردد[11]. اندازه گیری گشتاور اصطکاکی باید با جایگزینی روتور بادسنج فنجانی با یک چرخ طیار و بوسیله اندازه گیری کاهش سرعت دورانی متناسب تا ۲۰ متر بر ثانیه است. دو گشتاور بر روی روتور عمل می کنند، گشتاور اصطکاک در یاتاقان[۱] و گشتاور اصطکاک هوا روی چرخ طیار (که باید از گشتاور اندازه گیری شده کم گردد) هستند. تستها باید در دمای ۲۰- درجه سانتیگراد تا ۴۰+ با افزایش ۵ درجه همراه باشد. برای هر درجه حرارتی، اصطکاک ممکن است با چند جمله ای درجه دوم با سه ثابت F_0 , F_1 , F_2 بیان شود.

[۱] ممکن است گشتاور اصطکاک ناشی از دیگر اثرات که باعث گشتاور اصطکاک یاتاقان می شود، برای مثال اصطکاک ناشی از چنین گشتاوری باید در اندازه گیری گشتاور اصطکاک لحاظ گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$$Q_F = F_0 + F_1\omega + F_2\,\omega^2 \qquad (J.4)$$

شکل J.3 یک مثال از گشتاور اصطکاک یاتاقان بصورت تابعی از دمای برای سرعتهای زاویه ای ثابت را نشان می دهد.



شکل J- ۳ : مثالی از گشتاور اصطکاک QF بصورت تابعی از دما برای یک دامنه از ω سرعتهای زاویه ای است.

J-۲-۵-۲- تست تونل باد در دماها و سرعت بادهای متفاوت

تاثیر دما بر تمام بادسنجها (بادسنج فنجانی همچنین صوتی) ممکن است با بررسی تست آب و هوای تونل باد بدست آید. تستها ممکن است برطبق جدول I.1 اجرا شود از دمای ۲۰- تا ۴۰+ درجه با پله افزایشی ۵ درجه باشد. تستها ممکن است در ۴، ۸، ۱۲، و ۱۶ متر برثانیه انجام شود. انحراف سرعت باد از کالیبراسیون استاندارد بادسنج سپس باید تعیین گردد. احتیاط باید گردد تا اینکه مقادیر بدست آمده از تست تونل باد اطمینان لازم را بدهد و اینکه با اثرات ناخواسته بایاس نشده باشد(مانند افزودن حلقه به روتور بادسنج).
نتایج توصیه می شود با مقادیر شبیه سازی شده که با مدل در J-3-2 محاسبه شده است مقایسه گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

J-۲-۶ اندازه گیری در تونل باد برای مشخصات جهت یک باد سنج صوتی

تاثیر جهت روی خروجی بادسنج صوتی باید در تونل بادی اندازه گیری شود که الزامات شرح داده شده در پیوست F را ارضاء نماید. تعیین پاسخ بادسنج به تقریباً مورب استاتیکی و یا یای شده هوای جریان باید اجرا گردد با کمک یک وسیله که در تونل نصب شده کج کردن و یای کردن را اتوماتیک انجام دهد. در مدت اندازه گیری، بادسنج در زاویه کج ثابت شده قرار می گیرد. جهت یای ممکن است با موقعیتهای یای درست شده با اندازه گیری برای ۳۰ ثانیه متوسطها مشخص گردد، یا آن ممکن است بصورت پیوسته با نرخ در حدود ۱ °/s انجام شود[۱]. عمل یائینگ برای پیش تعیین اندازه گیری بخشهای بادسنج صوتی باید اجرا گردد. زاویه کج شدگی بادسنج صوتی بهتر است برای زوایای کج شدگی درست شده باشد: 0°, ±2°, ±5°, ±10°, ±15°, ±20°, ±30° . زاویه کج شدگی باید اضافه یا حذف گردد اگر ثابت شود که نیاز داریم یا نیاز نیست. اندازه گیریها باید برای سرعتهای باد اجرا گردد: ۴، ۸، ۱۲، و ۱۶ متر بر ثانیه. برای هر جهت، انحراف از سرعت بادمشخص شده بادسنج صوتی از کالیبراسیون معمول در جهت مرجع باید گرفته شده باشد.

J-۳ روش طبقه بندی بادسنج فنجانی بر مبنای تونل باد و آزمایش لابراتواری و مدلسازی بادسنج فنجانی

J-۳-۱ روش

روش طبقه بندی یک مدل مناسب بادسنج فنجانی را باید برای تعیین انحراف ناشی از تاثیر پارامترها بر طبق جدول I-1 بکار ببرد. مدل بادسنج فنجانی باید تاثیر تمام پارامترها را شامل شود و بازبینی نماید. روش باید بر اساس تونل باد و اندازه گیری آزمایشگاهی شرح داده شده در J-2 را در بر بگیرد. پیشتر، روش باید یک تولید کننده باد مجازی را بمنظور تولید سه بعدی داده ها باد ورودی بر پایه زمان را برای یک مدل بادسنج فنجانی را ایجاد کند. انحرافات ε_i باید از طریق اختلاف بین متوسط ۱۰ دقیقه سرعت باد ورودی افقی که بوسیله سیستم با مجازی تولید می شود و متوسط پاسخ مدل بادسنج فنجانی تعیین شود.

[۱] بکارگیری جهات یای تثبیت شده دقت اندازه گیری را بهبود می دهد مادامیکه بکاربردن یک نرخ آهسته حرکت که یک متوسط است انجام می شود تا بنمایاند که تغییرات مفصل ممکن است اتفاق بیفتد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

J-۳-۲ مثالی از یک باد سنج فنجانی

J-۳-۲-۱- کلیات

مدل بادسنج فنجانی یک مدل فیزیکی است که پاسخ بادسنج فنجانی بر پایه زمان راشبیه سازی نماید، مراجع [7] و [8] را ببینید. بعضی از مشخصات فیزیکی بادسنج فنجانی باید اندازه گیری شود و از طریق ارزیابی بکار رود. وجود دارد : اینرسی روتور I، سطح پیشانی یک فنجانی A ، و شعاع R از مرکز محور تا مرکز فنجانها است. پاسخ بادسنج فنجانی به باد سه بعدی از یک معادله دیفرانسیل تعادل گشتاور بدست می آید، که گشتاور روتور شامل گشتاور آیرودینامیک منهای گشتاور اصطکاک است(سمت راست معادله)، معادله (J-1) را ببینید. از معادله دیفرانسیل سرعت زاویه ای بادسنج ω فنجانی بدست می آید، و با بکار بردن مقادیر کالیبراسیون باد، پاسخ گشتاور آیرودینامیک و گشتاور اصطکاک ناشی از تغییرات باد تعیین می شود. گشتاور آیرودینامیک Q_A تابع بردار لحظه ای باد $U = \{u,v,w\}$ چنانکه بوسیله باد مجازی تعیین می شود. از بردار باد زاویه جریان به بالا و پراکندگی بردار باد تعیین می شود :

$$\alpha = \arctan\left(\frac{w}{\sqrt{u^2+v^2}}\right) \qquad (J.5)$$

$$\left|\vec{U}\right| = \sqrt{u^2+v^2+w^2} \qquad (J.6)$$

یک سرعت باد افقی معادل با ضرب اسکالر بردار باد با یک زاویه پاسخ اندازه گیری شده در تونل باد برای زاویه لحظه ای جریان رو به بالا بدست می آید :

$$U_{eq} = F_\alpha\left(\alpha,\left|\vec{U}\right|\right)\cdot\left|\vec{U}\right| \qquad (J.7)$$

اینجا $F_\alpha\left(\alpha,\left|\vec{U}\right|\right)$ پاسخ انحراف زاویه ای بادسنج فنجانی چنانچه در شکل J-1 نشان داده شده است می باشد. گشتاور آیرودینامیک با یک منحنی کلی گشتاور قابل بیان است که برای همه سرعتهای باد و همه سرعتهای دورانی معتبر قابل تایید است [11]:

$$Q_A = \frac{1}{2}\rho A R U_{eq}^2 C_{QA}(\lambda) \qquad (J.8)$$

بطوریکه:

ρ چگالی هوا است.

A مساحت فنجان یک فنجان است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

R شعاع فنجان است.

U_{eq} سرعت باد معادل افقی است.

C_{QA} ضریب گشتاور آیرودینامیک کلی روتور است.

ضریب گشتاور آیرودینامیک کلی روتور از اندازه گیری گشتاور تونل باد در J-2-3 یا J-2-4 بدست می آید بطوریکه U_{eq} دراین حالت با سرعت باد تونل باد جایگزین گردد:

$$C_{QA} = C_{QA}(\lambda) = \frac{Q_Q}{\frac{1}{2}\rho A R U_{eq}^2} \qquad (J.9)$$

ضریب گشتاور آیرودینامیک کلی روتور تابعی از نسبت سرعت است :

$$\lambda = \frac{\omega R}{U_{eq} - U_t} \qquad (J.10)$$

بطوریکه :

U_t آستانه سرعت باد است (بعنوان انحراف کالیبراسیون بدست می آید وقتی که تاثیر اصطکاک از آن کسر گردد، اگر اصطکاک صفر باشد، آستانه سرعت باد معادل انحراف کالیبراسیون است).

در حالتی که ضریب گشتاور بتواند با دو منحنی خطی روی هر دو طرف گشتاور معادل مشخص شود پس دو ثابت زمانی متناظر می تواند با پاسخ مرحله ای تونل باد تعیین شود، J-2-4 و [9] را ببینید. مشخصات گشتاور خطی می تواند با تعیین مقادیر τ تعیین شود، برای نسبتهای سرعت بالا و پایین متناسباً، از معادله :

$$K = -\frac{2I(u_0 + \Delta u - U_t)}{\rho A R^2 (u_0 + \Delta u)^2 \tau} \qquad (J.11)$$

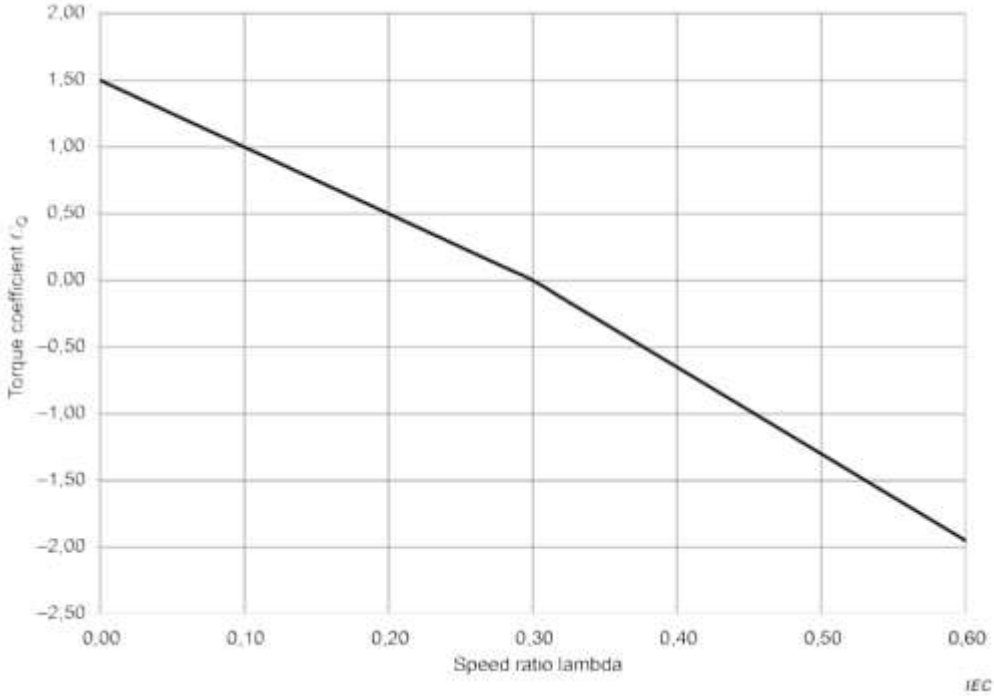
ضریب گشتاور آیرودینامیک کلی روتور می تواند بصورت زیر بیان شود:

$$\text{for } \lambda \le \lambda_0 : C_{QA} = K_{low}(\lambda - \lambda_0) \text{ and for } \lambda > \lambda_0 : C_{QA} = K_{high}(\lambda - \lambda_0) \qquad (J.12)$$

λ_0 نسبت سرعت برای $C_{QA} = 0$ است.

یک نمونه از ضریب گشتاور روتور است که در شکل J-4 نشان داده شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل J- ۴ : مثالی از ضریب گشتاور روتور CQA بصورت تابعی از λ نسبت سرعت برگرفته از پاسخهای مرحله با Klow معادل ۵,۵- Khigh مساوی ۶,۵- است.

گشتاور اصطکاک بصورت تابعی از درجه حرارت و سرعت دورانی از اندازه گیریهای اصطکاک در J-2-5-1 است:

$$Q_F = Q_F(T, \omega) \qquad (J.13)$$

J-۳-۲-۲- تاثیر تغییرات دامنه پارامتر ها و مثالی از تعیین کلاس

تاثیر دامنه پارامترها باید با بکار گیری مدل آشفتگی که سری های زمانی ۱۰ دقیقه ای سه بعدی مجازی سرعت باد با یک نمونه حداقل ۱۰ هرتز تولید می کند تغییر یابد. مدل بادسنج فنجانی در برابر چنین بادهای مجازی قرار می گیرد، پاسخهای بادسنج فنجانی را بدست آورده و انحرافات سرعت باد افقی از بادهای مجازی را پیدا می کنیم. انحرافات برای همه تاثیرات دامنه پارامترها را بوسیله فرآیند مونت کارلو بدست می آوریم. انحرافات کلاس را چنانچه در معادله (I.1) بیان شده است تعیین می کند. یک مثال از طبقه بندی بادسنج فنجانی در شکل J.5 نشان داده شده است و با مشخصات نشان داده شده در شکل J.3 و J.4 و با داده های معرفی شده در جدول J.1 و جدول J.2 مشاهده می شود. دیگر داده ها مربوط به طبقه بندی در جدول J.3 آمده است. انحرافات برای کلاس‌های A، B، C و D و تاثیر همه پارامترها در شکل‌های J.5 و J.6 آمده است. نتایج کلاس‌ها 1,69A, 6,56B, 8,01C and 9,94D هستند. بادسنج فنجانی با کلاس A۱,۶۹ بنابراین الزامات A۱,۷۰ را برای بکار گیری در زمین که الزامات پیوست B و زمین نوع A در C.3.1 برای درجه حرارت بالای

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

صفر درجه سانتیگراد را می خواهد برآورده می کند، اما برای درجه حرارت زیر صفر با کلاس C۸,۰۱ را برآورده نمی نماید. بادسنج فنجانی الزامات پیشنهادی کلاس B۲,۵ یا D۲,۵ برای زمینی که الزامات پیوست B را دارد برآورده نمی نماید.

جدول J-۱: پاسخ انحراف زاویه ای بادسنج فنجانی.

Wsp V (m/s)	4	8	12	16
Angle α (°)	$V_\alpha/V_{\alpha=0}$	$V_\alpha/V_{\alpha=0}$	$V_\alpha/V_{\alpha=0}$	$V_\alpha/V_{\alpha=0}$
−30	0,967 005	0,935 689	0,921 815	0,913 545
−28	0,968 769	0,943 307	0,932 028	0,925 304
−26	0,971 484	0,951 098	0,942 067	0,936 683
−24	0,974 941	0,958 908	0,951 805	0,947 569
−22	0,978 933	0,966 583	0,961 111	0,957 850
−20	0,983 253	0,973 974	0,969 863	0,967 413
−18	0,987 695	0,980 930	0,977 934	0,976 148
−16	0,992 055	0,987 304	0,985 199	0,983 945
−14	0,996 131	0,992 948	0,991 538	0,990 698
−12	0,999 722	0,997 717	0,996 829	0,996 301
−10	1,002 628	1,001 468	1,000 954	1,000 648
−8	1,004 651	1,004 057	1,003 793	1,003 637
−6	1,005 594	1,005 344	1,005 233	1,005 166
−4	1,005 262	1,005 188	1,005 155	1,005 136
−3	1,004 558	1,004 526	1,004 513	1,004 505
−2	1,003 462	1,003 452	1,003 448	1,003 446
−1	1,001 951	1,001 950	1,001 949	1,001 949
0	1,000 000	1,000 000	1,000 000	1,000 000
1	0,997 595	0,997 594	0,997 593	0,997 593
2	0,994 750	0,994 740	0,994 736	0,994 734
3	0,991 490	0,991 458	0,991 445	0,991 437
4	0,987 838	0,987 764	0,987 731	0,987 712
6	0,979 458	0,979 208	0,979 097	0,979 030
8	0,969 803	0,969 209	0,968 945	0,968 789
10	0,959 068	0,957 908	0,957 394	0,957 088
12	0,947 450	0,945 445	0,944 557	0,944 029
14	0,935 147	0,931 964	0,930 554	0,929 714
16	0,922 359	0,917 608	0,915 503	0,914 249
18	0,909 287	0,902 522	0,899 526	0,897 740
20	0,896 133	0,886 854	0,882 743	0,880 293
22	0,883 101	0,870 751	0,865 279	0,862 018
24	0,870 397	0,854 364	0,847 261	0,843 025
26	0,858 228	0,837 842	0,828 811	0,823 427
28	0,846 801	0,821 339	0,810 060	0,803 336
30	0,836 325	0,805 009	0,791 135	0,782 865

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

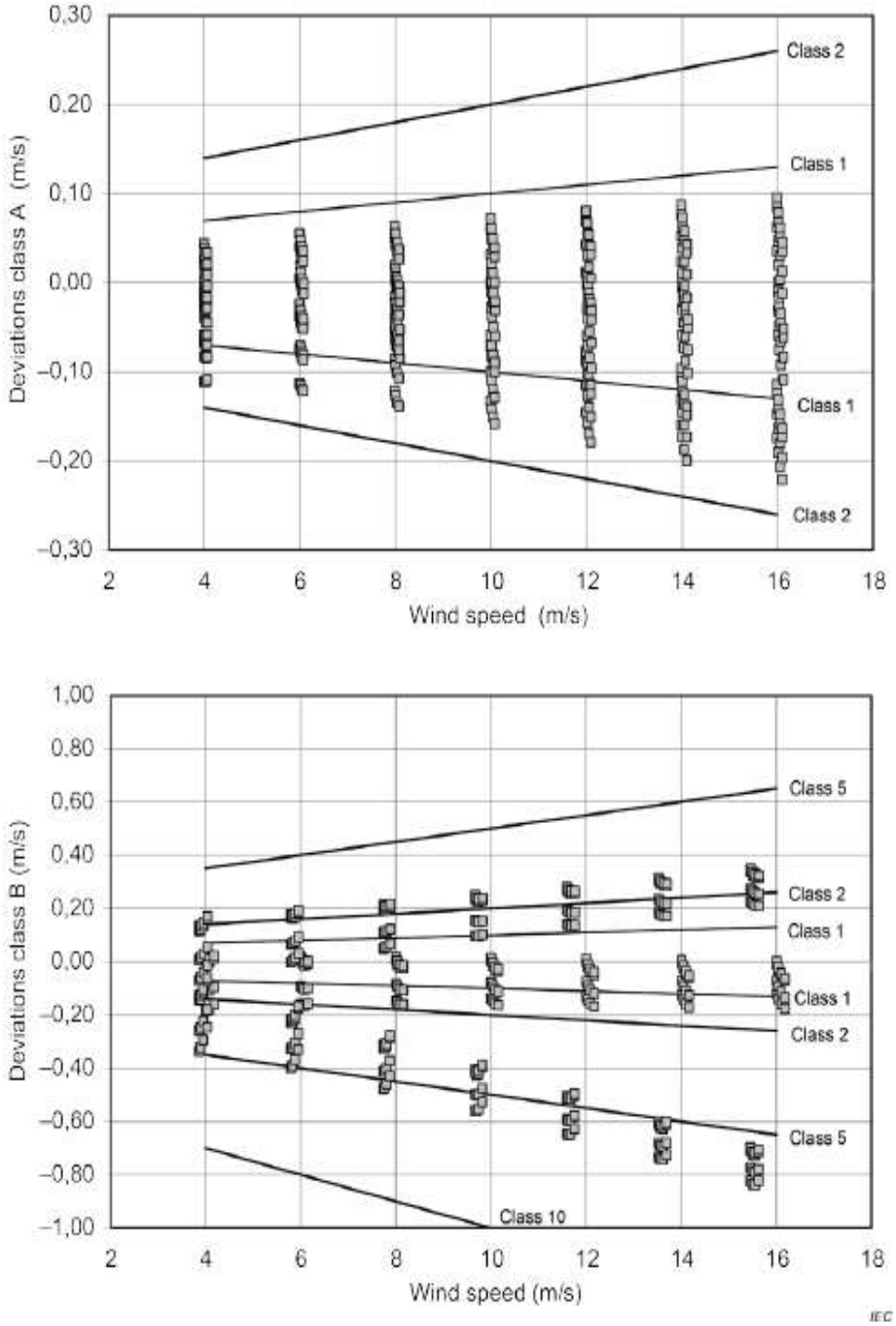
جدول J-۲: ضریب اصطکاک بادسنج فنجانی نمونه

Temp	F0	F1	F2
(°C)	(Nm)	(Nms)	(Nms^2)
−20	2,000E-04	2,000E-05	−8,000E-08
−18	1,563E-04	1,563E-05	−5,714E-08
−15	1,163E-04	1,163E-05	−4,000E-08
−10	7,692E-05	7,692E-06	−3,077E-08
−5	5,556E-05	5,556E-06	−2,222E-08
0	4,348E-05	4,348E-06	−1,739E-08
5	3,571E-05	3,571E-06	−1,429E-08
10	3,030E-05	3,030E-06	−1,212E-08
15	2,632E-05	2,632E-06	−1,053E-08
20	2,326E-05	2,326E-06	−9,302E-09
25	2,083E-05	2,083E-06	−8,333E-09
30	1,887E-05	1,887E-06	−7,547E-09
35	1,724E-05	1,724E-06	−6,897E-09
40	1,587E-05	1,587E-06	−6,349E-09

جدول J-۳: داده های متفرقه مرتبط به طبقه بندی بادسنج فنجانی نمونه

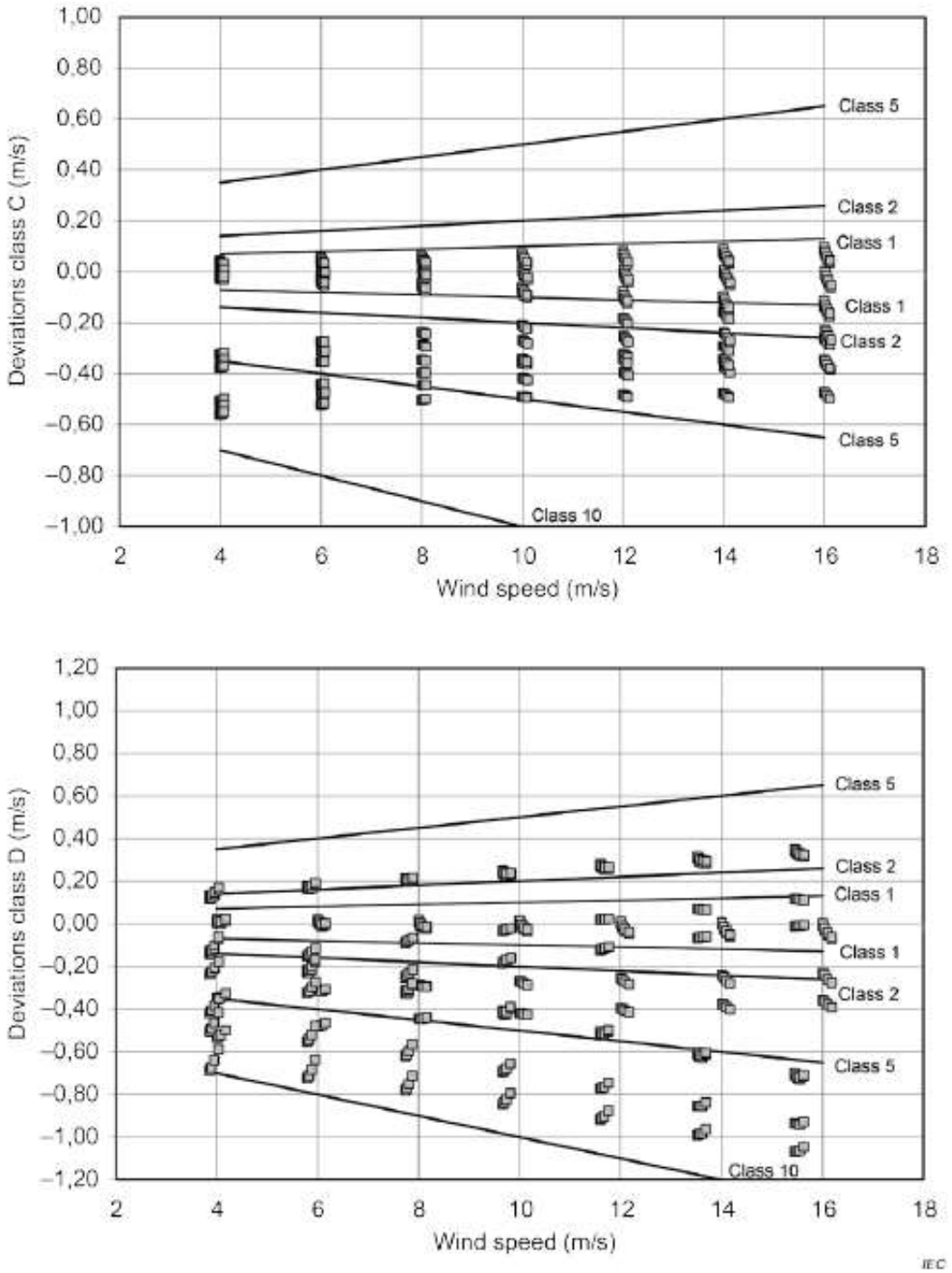
Cup diameter	75 mm
Cup area A	0,004 417 87 m^2
Radius to cup centre R	65 mm
Rotor inertia I	0,000 2 kgm^2
Equilibrium speed ratio λ_0	0,3
Calibration temperature	20 °C
Calibration barometric pressure	1 013 hPa
Calibration air density ρ	1,203 821 kg/m^3
Calibration turbulence intensity	0,003
Calibration turbulence structure	Isotropic $\sigma_u/\sigma_v/\sigma_w$ = 1/1/1
Calibration coefficients A and B	0,679 55 and 0,258 70
Calibration friction coefficients F_0, F_1 and F_2 at 20 °C	see Table J.3 for 20 °C
Torque coefficient slopes K_{low} and K_{high}	−5,0 and −6,5

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل J- ۵ : انحرافات طبقه بندی بادسنج فنجانی نمونه کلاس A۱,۶۹ (بالا) و کلاس B۶,۵۶ (پایین) را نشان می دهد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل J- ۶ : انحرافات طبقه بندی بادسنج فنجانی نمونه کلاس 8.01 C (بالا) و کلاس 9.94D (پایین) را نشان می دهد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

J-۴ روش طبقه بندی بادسنج صوتی بر مبنای مدلسازی و تونل باد و آزمایش لابراتواری

روش طبقه بندی که بادسنج صوتی را برای انحرافات ناشی از تاثیر پارامترها بکار می برد. روش بر اساس تونل باد و اندازه گیری آزمایشگاهی چنانچه در J.2.6 و J.2.5.2 پیشتر گفته شد، روش طبقه بندی بادسنج صوتی یک تولید کننده باد مجازی مشابه با یکی از مدل‌های بادسنج فنجانی بکار می برد، J.3.2 را ببینید، بمنظور تولید داده های ورودی باد سه بعدی دامنه زمانی برای بادسنج صوتی بکار می رود. پاسخ بادسنج صوتی تابع لحظه ای بردار باد $U = \{u,v,w\}$ است چنانچه تولید کننده باد مجازی تعیین می شود. از بردار باد زاویه جریان بالا و مقدار اسکالر بردار باد با معادلات J.5 و J.6 تعیین می شود. پاسخ سپس بوسیله میان یابی در داده های اندازه گیری شده از طریق تونل باد بدست می آید:

$$U_{\text{sonic}} = F_{\alpha,\gamma}\left(\alpha,\gamma,\left|\vec{U}\right|\right)\cdot\left|\vec{U}\right| \qquad \text{(J.14)}$$

$F_{\alpha,\gamma}(\alpha,\gamma,\left|\vec{U}\right|)$ تابع پاسخ یای و کج شدگی برای بادسنج صوتی است.

انحرافات از طریق اختلافات بین پاسخهای مدل بادسنج صوتی و متوسط داده های باد مجازی بدست می آید، J.3.2.2 را ببینید. پارامترهای موثر مرتبط پاسخهای زاویه ای کج شدگی و یای و تاثیرات درجه حرارت می باشند.

J-۵ مقایسه میدانی آزاد اندازه گیری ها

در اندازه گیری مقایسه ای میدان آزاد، دو بادسنج قابل مقایسه هستند. مقایسه اندازه گیری برای راستی آزمایی روشهای بکار رفته در طبقه بندی تجهیزات برقرار هستند، J.3 و J.4 را ببینید. مقایسه بادسنجها به دو بادسنج که در یک تونل باد کالیبره شده باشند نیاز دارد. برپایی در میدان توصیه می شود طبق رویه اجرایی نصب برای دو بادسنج که بالای دکل نصب می شوند همانطور که در پیوست G است، باید حداکثر فاصله بین آنها رعایت شود. یک بادسنج صوتی سه بعدی (U, V, and W) باید روی یک تیرک زیر دو حسگر که برای اندازه گیری تاثیرات محیطی هستند نصب گردد (زاویه جریان، آشفتگی، طیف آشفتگی)، برای یک کلاس S آنالیز طبقه بندی پویش اندازه گیری انجام شده است. علاوه بر این دمای هوا باید روی همان تیرک اندازه گیری شود که برای تعیین دامنه درجه حرارت بکار می رود، و فشار هوا برای تعیین چگالی هوا باید اندازه گیری شود. آثار زمانی برای صوت سه بعدی باید ضبط گردد، مادامیکه ۱۰ دقیقه اندازه گیری متوسط در یک بخش عمود به تیرک برای مقایسه دو بادسنج قابل قبول باشد. یک پایگاه داده قابل قبول (حداقل ۱۸۰ ساعت) باید برای سرعتهای باد در دامنه ۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه باشد و یک محدوده از شدت آشفتگی (برای لحظه ۰٫۰۴ تا ۰٫۱۴) را دارا باشد. مقایسه دو بادسنج بر مبنای یک طبقه بندی کلاس S از دو بادسنج گردد، که از تستهای آزمایشگاهی، و مقایسه اینها با اندازه گیری های میدانی صورت گیرد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست K : مقایسه بادسنجها درجا(مکان اصلی آزمون)

(الزامی)

K-۱ کلیات

می بایست ثابت شده باشد که یک بادسنج که برای تست عملکرد توانی بکار میرود در مدت اندازه گیری کالیبراسیون آن تغییر نخواهد کرد. بادسنج می تواند در تونل باد بعد از دوره اندازه گیری کالیبره گردد تا اختلافها با کالیبراسیون قبل از دوره اندازه گیری روشن گردد. روش دیگر این است که در محل آزمایش مقایسه صورت گیرد بوسیله مقایسه با بادسنج اولیه تا کنترل بادسنج نصب شده در محل نزدیک نصب در دوره اندازه گیری باشد. بهتر است متذکر گردیم که این روش تضعیف تدریجی کالیبراسیون بادسنج را نشان نمی دهد اگر بادسنج کنترلی با همان نرخ تنزل یابد. توصیه می گردد مقایسه در محل بر یک اساس مقرر تکرار شود تا مشکلات در مراحل ابتدایی شناسایی شوند.

K-۲ پیش برآورد

در دوره اندازه گیری دو بادسنج بر روی دکل هواشناسی بر طبق پیوست G باید نصب گردند. بادسنج اولیه برای اندازه گیری عملکرد توان بکار می رود. دیگری بادسنج کنترلی است، و در محل برای مقایسه بکار می رود. بادسنج در سه حالت مختلف می تواند نصب گردد:

a) گزینه ۱: نصب در بالای دکل برطبق بخش G-2 .
b) گزینه ۲ : جایگزین نصب در بالای دکل برطبق بخش G-3 .
c) گزینه ۳ : هر دو بادسنج در کناره دکل نصب شوند مطابق بخش G-4 .

K-۳ روش آنالیز

دو پایگاه داده برای یک دوره ۱۰ دقیقه ای با مقادیر متوسط ضبط شده در دوره اندازه گیری عملکرد توانی مقایسه خواهند شد. اولین پایگاه داده شامل داده هایی است که مستقیماً بعد از نصب بادسنجها شروع می شوند. دومین پایگاه داده شامل داده ها برای قسمت آخر از دوره اندازه گیری عملکرد توانی است. هر پایگاه داده باید الزامات ذیل را برآورده نماید:

a) دامنه ۴ تا ۱۲ متربر ثانیه را بپوشاند.
b) جهت های باد باید در بخش اندازه گیری معتبر باشند.
c) هر سری عددی سرعت باد ۳ نقطه داده حداقل باید داشته باشد. دو انتخاب ممکن ازسری عددی داده ها بصورت ذیل می باشند

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۱) سری عددی گزینه ۱ : سری های عددی سرعت باد با پهنای ۱ متر بر ثانیه، مرکز شده روی ۱ متر بر ثانیه، بر اساس بادسنج کنترل کننده سرعت باد از یک سری عددی جهت باد نه پهن تر از $\pm 15°$ باشد.

۲) سری عددی گزینه ۲ : سری های سرعت باد پهنای(فواصل) ۴ متر بر ثانیه که از ۲ با فواصل ۴ شروع می شود یعنی ۲، ۶، ۱۰، ۱۴ متر بر ثانیه را در بر می گیرد[۱]، بر اساس بادسنج ناظر یعنی کنترل کننده سرعت باد و سری های جهت باد ۱۰ درجه ای می باشد.

d) بخش جهت باد شامل دکل هواشناسی رها از گردابه هر توربین بادی و با بادسنجهای رها از گردابه دکل هواشناسی مانند ذیل:

۱) در حالت بادسنج نصب کنار در کنار (گونه ۲) و بکار گیری فقط سری عددی سرعتهای باد برای یک جهت باد (سری گزینه ۱)، بخش جهت باد باید در برگیرنده جهت بادهایی باشد که ۹۰ درجه به جهت تیرک و در جهات باد قابل قبول باشند.

۲) در حالت نصب بادسنج در بالای دکل (گونه ۱)، سری جهت باد باید خارج از گردابه دکل هواشناسی باشد. بنابراین خطوط اتصال افقی(شکلهای K.1 و K.2 را ببینید) بین مرکز بادسنج کنترل و هر قسمت از دکل هواشناسی باید یک فاصله زاویه ای حداقل برابر ۴۵ درجه تا مرز آن داشته باشند.

e) حداکثر طول دوره ۸ هفته باید باشد.

سری های جهت باد بکار رفته برای آنالیز باید بطور واضح در استاندارد گزارش گردند. اگر دسته سری ۱ متر بر ثانیه و یک سری جهت باد ۳۰ درجه(سری گزینه های ۱) بکار روند، یک رگرسیون خطی به بادسنج اولیه اجرا می نماییم مانند متغیر وابسته و بادسنج کنترلی مانند متغیر مستقل عمل می کند. این رگرسیون خطی بکار می رود تا سرعت باد بادسنج اولیه تخمین زده شده محاسبه گردد، یعنی $V_{primary_est}$.

$$V_{primary_est} = m \cdot V_{control} + b \qquad (K.1)$$

بطوریکه:

[۱] توجه کنید که محدوده سرعت باد ازصفر تا ۱۶ متر بر ثانیه برای آنالیز موقت و برای آنالیز نهایی از ۴ تا ۱۲ متر بر ثانیه می باشد

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

m شیب خط رابط بین $V_{control}$ تا $V_{primary_est}$ است.

b انحراف خط رابط بین $V_{control}$ تا $V_{primary_est}$ است.

$V_{control}$ سرعت باد بادسنج کنترلی است.

مقصود این است که تغییر در طول زمان رفتار یک بادسنج را نشان دهیم، نه اینکه یک کالیبراسیون مطلق صورت گیرد.

اگر پهنای سری سرعت باد ۴ متر بر ثانیه باشد و سری جهت باد ۱۰ درجه باشد(گزینه سری ۲)، یک میان یابی خطی بین سری سرعت باد در هر سری جهت باد از اولین پایگاه داده ها بتوانیم بکار ببریم تخمین سرعت باد بادسنج اولیه بر اساس رابطه زیر خواهد بود:

$$V_{primary_est} = \frac{V_{primary,i} - V_{primary,i-1}}{V_{control,i} - V_{control,i-1}} \left(V_{control} - V_{control,i-1}\right) + V_{primary,i-1} \qquad (K.2)$$

در این حالت، داده های بادسنج کنترلی فقط در درون سری های عددی سرعت باد که بوسیله پایگاه داده های اولیه در هر جهت باد باید برای ارزیابی در محل مقایسه با پایگاه داده های ثانویه بکار رود. معادله (K.2) ممکن است برای برون یابی تا مرزها سری های سرعت باد پوشش دهد. اگر فقط یک سری سرعت باد که جهت باد را پوشش دهد، نسبت متوسطهای سری سرعت باد اندازه گیری شده بوسیله بادسنج اولیه و بادسنج کنترلی باید برای فاکتور تصحیح اندازه گیری بادسنج کنترلی است.

K-۴ شاخص ارزیابی

اجرای رگرسیون یا میان یابی خطی قطعه ای از اولین پایگاه داده تا اندازه گیریهای بادسنج کنترلی از دومین پایگاه داده در نتیجه سرعت باد دوره ۱۰ دقیقه ای یک تخمین بادسنج اولیه باشد. محاسبه متوسط اختلافها (انحرافات سیستماتیک) در اندازه گیری شده و تخمین زده شده بادسنج اولیه سرعت باد برای پهنای ۱ متر بر ثانیه در سری عددی از ۱ متر بر ثانیه شروع گردد. انحرافات سیستماتیک هست:

$$y = \frac{\sum \left(V_{primary_est} - V_{primary}\right)}{n} \qquad (K.3)$$

محاسبه عدم قطعیت اختلاف سرعت باد (انحرافات سیستماتیک) از تخمینات بادسنج اولیه و سرعتهای باد اندازه گیری شده بادسنج اولیه برای سری عددی سرعت باد صورت می گیرد. عدم قطعیت اختلافات سرعت باد انحراف معیار اختلافات سرعت باد تقسیم بر ریشه دوم تعداد نقاط داده اندازه گیری شده است. این عدم قطعیت هست:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

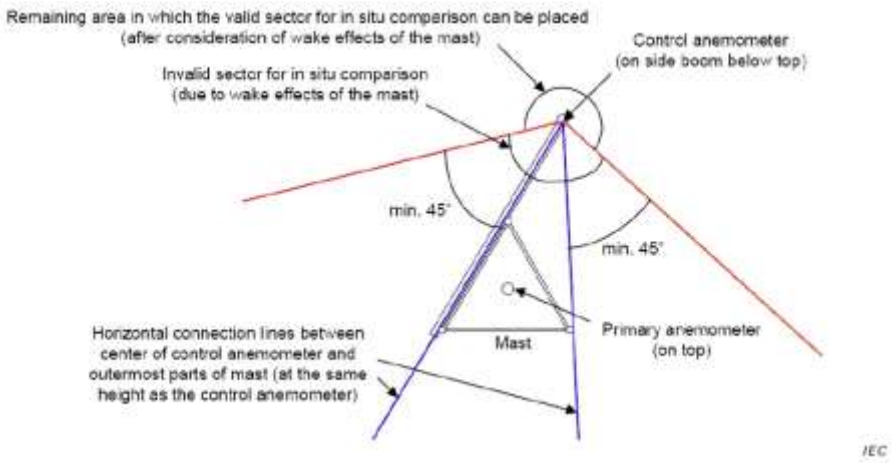
$$\sigma = \frac{\text{stdev}(\gamma)}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum \left(V_{\text{primary_est}} - V_{\text{primary}}\right)^2}{n}}}{\sqrt{n}} \qquad \text{(K.4)}$$

اگر ریشه دوم مجموع از متوسط اختلافات (انحراف سیستماتیک) و عدم قطعیت اختلافات سرعت باد (انحراف آماری) نباید از ۰٫۱ متر بر ثانیه در هر سری عددی بین ۴ و ۱۲ متر بر ثانیه است، تست در محل انجام شود.

$$\delta = \sqrt{\gamma^2 + \sigma^2} < 0{,}1 \text{ m/s} \qquad \text{(K.5)}$$

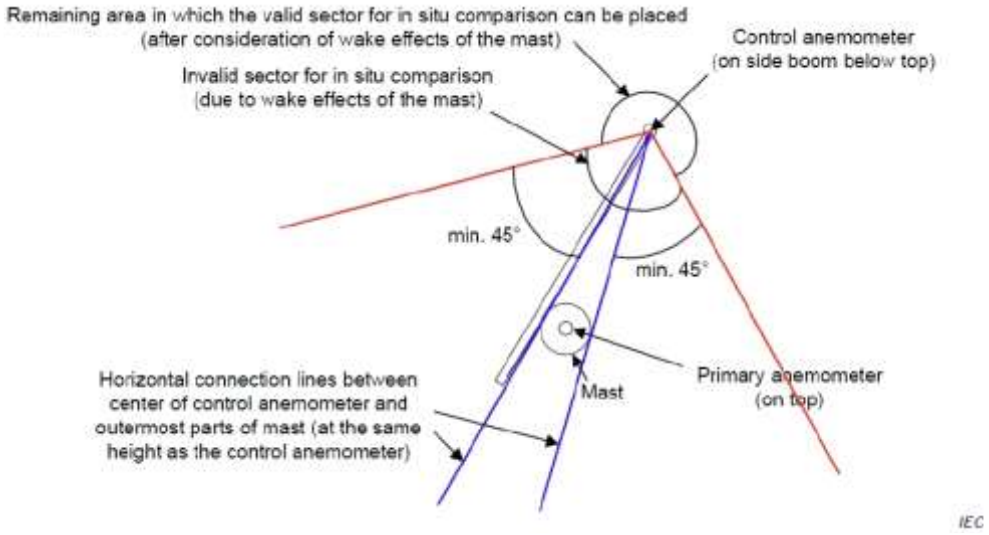
اگر مقدار δ بیش از ۰٫۱ متر بر ثانیه در حداقل یک سری عددی و نباید بیش از ۰٫۲ متر بر ثانیه در همه سری های عددی بین ۴ و ۱۲ متر بر ثانیه است، عدم قطعیت کالیبراسیون بادسنج $u_{V1,I}$ باید حداقل با حداکثر مقدار δ در سرعت باد در محدوده ۴ تا ۱۲ متر بر ثانیه باشد. اگر مقدار δ بیش از ۰٫۲ متر بر ثانیه در هر سری عددی بین ۴ و ۱۲ متر بر ثانیه باشد، تست در محل بهتر است به یک دوره زمانی زودتر منتقل شود تا اینکه δ از ۰٫۲ متر بر ثانیه به هیچ وجه افزایش نیابد. داده های منحنی توان بعد از این دوره زمانی باید حذف گردد، و عدم قطعیت کالیبراسیون بادسنج $u_{V1,I}$ از باقیمانده داده های منحنی توان باید بصورت عدم حذف داده ها عمل گردد.

توجه داشته باشید : تست در محل می تواند اغلب در طی پویش اندازه گیری تکرار شود تا کمک به شناسایی موقت عوامل تخریب کننده بادسنج نماید.



شکل K- ۱: مثالی از دکل هواشناسی خرپایی مثلثی.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل K- ۲ : مثالی از دکل هواشناسی لوله ای.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست L : بکارگیری سیستم سنجش از راه دور

(الزامی)

L-۱ کلیات

پیوست L به تشریح الزامات برای کارکرد وسایل سنجش از راه دور سرعت باد است بطوریکه با تابش نور و شناسایی و محدوده اثر (LIDARS) و تشخیص صدا و محدوده اثر (SODARS) وقتیکه در ارتباط با تست منحنی توان توربین باد بکار گرفته می شود. این فرآیند ترتیب داده شده است تا اطمینان دهد که رصد اندازه گیری ها با استاندارد های بین المللی در هم آمیخته و نمایان می سازد که عدم قطعیت اجزاء مرتبط با بکار گیری ارزیابی منحنی توان است. در این نسخه، فرآیند ب طبق محدودیتهای ذیل صورت می گیرد:

a) یک دکل هواشناسی به ارتفاع حداقل ۴۰ متر یا ارتفاع کمتر برای توربین باد متناسب باید در هنگام تست منحنی توان برای پایش عملکرد وسایل سنجش از راه دور بکار رود (مثال اگر یک نوک پایینی روتور به ارتفاع ۳۰ متر است نیاز است که تا پایش ارتفاع حداقل ۳۰ متر بکار رود، مدامیکه برای ارتفاع پایینی روتور ۵۰ متر نیازمند یک دکل با ارتفاع حداقل ۴۰ متر هستیم).
b) فقط وسایل سنجش از راه دور زمین پایه بکار گرفته می شوند (نصب بر روی ناسل مورد نظر نیست).
c) بکار گیری روش سنجش از راه دور فقط محدود به ارزیابی عملکرد توانی زمینهای صاف است، به اینکه موقعیت بگونه ای است گه به کالیبراسیون محل آزمون برطبق پیوست B نیاز نمی باشد.

وقتی که اندازه گیری های بادسنج فنجانی دکل هواشناسی، با وسایل اندازه گیری از راه دور مقایسه شود نوعاً پراکندگی چند درجه ای مشاهده می شود. تعدادی از این پراکندگی ناشی از حساسیت وسایل سنجش از راه دور به محیطهای متفاوت (مانند درجه حرارت و برش باد) ناشی شود. وظیفه این است که طبقه بندی تست (بخش L.2) برای شناسایی و مقدار دهی این حساسیتها برای یک تعداد ارتفاعات گسسته که دامنه ای از اندازه گیری مورد نظر را بپوشاند. مانند بادسنج فنجانی فرض می شود که این حساسیتها نیاز به طبقه بندی تست و نوع خاص دارد تا برای هر نوع از وسایل سنجش از راه دور برای حداقل دو ابزار از هر نوع و در حداقل دو موقعیت صورت گیرد. پراکندگی باقی مانده در مقایسه بادسنج فنجانی بصورت نویز اتفاقی در نظر گرفته می شود. این از منابع مختلف ناشی می شود. برای مثال، آشفتگی همبستگی در باد ناشی از فاصله بین دکل‌های هواشناسی به پراکندگی منجر می شود. همچنین، فاصله بین حجمهای پویشگر خاص از حسگر سنجش از راه دور خودش می تواند به چنین پراکندگی ارجاع شود. نویز اتفاقی واحد برای محل آزمون خاص فرض می شود، می تواند بین ارزشیابیهای متفاوت همان وسایل سنجش از راه دور تغییر نماید. قبل از اینکه در یک منحنی توان بکار رود، یک مجموعه از وسایل سنجش از راه دور باید تحت تست و بازبینی قرارگیرند

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

(بخش L.3). بصورت جایگزین، تایید تست می تواند همچنین در طی تست منحنی توان اجرا شود. این تست مقایسه ای است از اندزه گیری وسایل سنجش از راه دور با بادسنجهای فنجانی کالیبره شده روی دکل هواشناسی که مجموعه ای از ارتفاع ها را در بر می گیرد. مقصود از این تست انتقال قابلیت ردیابی استانداردهای بین المللی به این وسایل خاص است، در شکل یک عدم قطعیت است. معمولا تست منحنی توان در موقعیت‌های محتلف و در زمانهای متفاوت و بنابراین شرایط محیطی با توزیع متفاوت انجام می شود پس به یک بررسی تست نیاز دارد. وابسته به حساسیتهای شناسایی شده در طی طبقه بندی تست، شرایط محیطی متفاوت عملکرد وسایل سنجش از راه دور را متاثر می سازد، افزایش عدم قطعیت در ارتباط با آن در بازبینی تست تعیین می شود. اصطلاحات برای عدم قطعیت وسایل سنجش از راه دور و چگونه اینها بهتر است در ارزیابی عدم قطعیت منحنی توان بکار رود در بخش L.4 داده شده است. بخش L.5 چگونگی اندازه گیری بادسنج فنجانی از دکل هواشناسی کوتاه برای پایش عملکرد وسایل سنجش از راه دور را تشریح می نماید. با اطمینان داشتن از حداقل یک ارتفاع مشترک اندازه گیری، امکان دارد ارزیابی چگونگی عدم قطعیت در طبقه بندی بدست آید و بررسی تست با وسایل سنجش از راه دور در طی تست منحنی توان پیوستگی را بررسی نماییم. اگر ناپیوستگی از این پایش شناسایی شود، عدم قطعیتهای متناظر بکار رفته در تست منحنی توان افزایش می یابد. این یک "ایمنی خالص" مفید برای روش شناسی و مکانیزم بازگشت که بهتر است ارزیابیهای عدم قطعیت واقعی ترویج نماید. جزئیات خاص از چگونگی بکار گیری وسایل سنجش از راه دور در تست منحنی توان در بخش L.6 داده شده است. ارتباط ویژه موقعیت و ابعاد پویشگرهای وسایل سنجش از راه دور در ارتباط با توربین باد تست گردیده اند. گزارش دهی الزامات برای روش کامل در بخش L.7 داده شده است.

L-۲ طبقه بندی وسایل سنجش از راه دور

L-۲-۱ کلیات

دقت RSD ممکن است تحت تاثیر متغیرهای هواشناسی قرار گیرد. چنانچه شرایط هواشناسی در طی تست منحنی توان ممکن است متفاوت از دوره بررسی عملکرد RSD باشد، این تاثیرات به عدم قطعیت اضافی مرتبط می گردد. بنابراین نیاز است تا حساسیت عملکرد وسایل سنجش از راه دور با تغییرات هواشناسی تحقیق گردد. نتایج اینچنین تستهایی باید متغیرهایی که وسایل سنجش از راه دور را تحت تاثیر قرار می دهند را شناسایی نماید و طبقه بندی تجهیزات را مشخص نماید. ساده ترین ارزیابی با در نظر گرفتن اختلاف بین اندازه گیری وسایل سنجش از راه دور و یک اندازه گیری مرجع است مانند تابعی از یک متغیر هواشناسی در یک زمان است. کلاس دقت وسایل سنجش از راه دور باید برای محدوده های مشخص از متغیرهای محیطی مختلف مشابه طبقه بندی بادسنج فنجانی بر طبق پیوست I صورت گیرد، بر اساس آنالیز تجربی حساسیتهای مشاهده شده در طی طبقه بندی تستهاست. دقت بهتر است صورت گیرد تا وابستگی متقابل متغیرهای محیطی (مانند برش باد و شدت آشفتگی) ممکن باشد بطوریکه حساسیتها ناخواسته دو بار بحساب نیایند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

عدم قطعیتها ناشی از طبقه بندی وسایل سنجش از راه دور بتوانند سپس ارزیابی گردند. یک کلاس دقت خاص ممکن است بر اساس حساسیتهای سیستم سنجش از راه دور ارزیابی گردد و تغییرات متغیرهای محیطی در طی تستهای منحنی توان و عملکرد مشاهده گردد. بهتر است بوضوح بیان شود آیا یک طبقه بندی نتیجه چندین واحد بوده است یا بر اساس ارزیابی یک حالت خاص است.

L-۲-۲ دریافت داده ها

طبقه بندی تست براساس مقایسه اندازه گیری های همزمان بوسیله وسایل سنجش از راه دور با دکل هواشناسی مرجع در ارتفاع مشخص بدست می آید. اندازه گیری ها هم محل واقع خواهند شد، بطوریکه مشخصات جریان دارای حجم هوای یکسان باشند. درجه رقابت و هم محلی که برای اندازه گیری ها اجرا می شود باید بگونه ای باشد که بیشترین دقت و فهم ارتباط بین آنها درک شده باشد. بخصوص در موارد ذیل:

a) فواصل یکسان متوسط گیری برای وسایل سنجش از راه دور و حسگرهای مرجع در مقایسه بکار رود: ۱۰ دقیقه متوسط باید ضبط گردد. علاوه بر این ۱۰ دقیقه متوسط، انحرافات معیار و مقادیر اکسترم متغیرهای اندازه گیری در دوره ۱۰ دقیقه اندازه گیری ذخیره گردد.
b) تعداد نمونه های بدست آمده برای هر تجهیز در طی هر فاصله متوسط گیری تا بدست آمدن یک متوسط ذخیره گردد.
c) باید توجه شود آیا نمونه های تکی بدست آمده در داخل فواصل متوسط گیری بوسیله وسایل سنجش از راه دور مقادیر انباشته هستند، یا نمایندگی می کنند، برای مثال، یک طیف یکپارچه از شروع فاصله متوسط گیری تا لحظه ای که نمونه بدست آید. این نیاز به تاب آوری آماری دارد که نمونه های پشت سرهم باید مستقل باشند، به مانند انحراف معیار بکار روند، برای مثال، ارزیابی آشفتگی.
d) وسیله ای که برای تست و آنالیز بکار میرود باید بگونه ای باشد که ارتباط بین وسیله سنجش از راه دور و حسگر اندازه گیری مرجع را از تاثیرات خارجی به حداقل برساند. این تاثیرات ممکن است شامل شود، اما محدود به موارد زیر نیستند:
اغتشاشات جریان، پژواک ثابت، تغییرات واقعی در جریان بین ظرفیت اندازه گیری وسایل سنجش از راه دور و موقعیت اندزه گیری تجهیزات مرجع. فاصله بین دکل هواشناسی و وسیله سنجش از راه دور باید متناسب بوده و اجازه دهد همبستگی خوبی بدست آید مادامیکه بطور همزمان تاثیر دکل هواشناسی بر وسیله سنجش از راه دور را محدود و جلوگیری کند.
e) حسگرهای دکل هواشناسی مرجع باید الزامات این استاندارد را برآورده نماید. اینها خصوصاً به کالیبراسیون، طبقه بندی و نصب بر می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

f) دکل هواشناسی مرجع ترجیحاً دارای مقطع ثابت و صلبیت در امتداد ارتفاع باشد. در این راه تاثیر دکل هواشناسی روی بادسنج نصب شده بر روی تیرک با ارتفاع ثابت باقی بماند و اجازه دهد یک مقایسه دقیق از برش باد اندازه گیری شده بین دکل هواشناسی و وسیله سنجش از راه دور داشته باشیم.

وسیله سنجش از راه دور و حسگرهای مرجع در داخل ۱٪ فاصله متوسط گیری سنکرونیزه باشند، و این درجه از سنکرونیزاسیون برای انحرافات حداقل هر هفته بازبینی و تست بشود. اگر مقایسه زمان ثبت شده انحراف را برساند، ساعت وسیله سنجش از راه دور باید باز گردد به حالت اولیه تا سنکرون بودن با ساعت سیستم حسگر مرجع و زمان ثبت داده ها تنظیم شود تا جبران برای انحراف در دوره اندازه گیری با میان یابی خطی روشن گردد. داده ها جمع آوری می شوند تا داده های زیر الزامات مورد نظر را برآورده نمایند:

a) سرعت باد حسگر اندازه گیری مرج با سری عددی با فواصل ۰٫۵ متر بر ثانیه بدست می آید(یعنی اعداد صحیح ضرب در ۰٫۵ سری را تشکیل میدهد: ۰٫۵ ، ۱، ۱٫۵، ۲ و ...).
b) داده ها برطبق پیشنهادات سازنده وسایل و الزامات L.2.3 فیلتر خواهند شد. الزامات زیر باید بعد از فیلتر نمودن اجرا گردد.
c) الزامات داده های جمع آوری شده از یک طبقه بندی تست نباید برآورده شده قلمداد گردد مگر اینکه حداقل ۳ جفت داده همزمان، هم محل و فیلتر شده اندازه گیریها در هر سری سرعت باد بین ۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه ذخیره شده باشند.
d) مقادیر داده های بدست آمده باید حداقل ۱۸۰ ساعت را بپوشاند.
e) دوره جمع آوری داده ها حداقل ۳ ماه باشد و یک پهنه قابل ملاحظه ای از شرایط محیطی را بپوشاند (مانند زمستان و تابستان). پایگاه داده باید حداقل ۲۵٪ از سری های عددی شرح داده شده در جدول L.3 با یک حداقل داده نقاط چنانچه در معادله (L.2) مشخص شده است برای همه متغیرهایی که تاثیرشان بر RSD مشخص است را بپوشاند.

طبقه بندی و تایید وسیله سنجش از راه دور برای مقصود تست منحنی توان توربین باد معتبر در نظر گرفته می شود اگر بادسنجهای فنجانی مرجع بکار رفته برای طبقه بندی و تایید تستها حداقل در ۳ ارتفاع نصب گردند، شامل ارتفاع نوک پایینی پره توربین باد(% 25 ±) و ارتفاع هاب توربین باد(% 25 ±) باشد. الزامات این ارتفاعها برای طبقه بندی و تایید اجرا می گردد اگر وسیله بکار رفته برای اندزه گیریهای باد روی تمام دامنه ارتفاع از روتور توربین باد باشد یا فقط برای اندازه گیریهای باد تا ارتفاع هاب باشند.

L-۲-۳ آماده سازی داده ها

فیلترهای داده های ذیل باید اجرا گردد:

a) دکل هواشناسی مرجع باید آزاد از گردابه توربین باد باشد و موانع برطبق پیوست A مشخص گردند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

b) پویشگر تونها در داخل وسیله سنجش از راه دور یک اندازه گیری سرعت شعاعی را کسب می کند که باید آزاد از گردابه و اغتشاشات جریان از توربینهای باد و موانع بر طبق پیوست A مشخص شود. تاثیر گردابه از دکل هواشناسی مرجع روی اندازه گیریهای وسیله سنجش از راه دور باید بوسیله ترسیم نسبت وسیله سنجش از راه دور و حسگر اندازه گیری مرجع بصورت تابعی از جهت باد بازرسی گردد. شاخص با توجه به مقادیر مجاز از این نسبت ممکن است توسعه یابد با نظرات منتسب به بادسنج فنجانی مرجع که در بخش G.4 بحث شده است. اندازه گیری های وسیله سنجش از راه دور باید حذف گردد اگر آنها متاثر از دکل هواشناسی یا اتصالات کابلی باشد.

c) بادسنجهای فنجانی مرجع باید رها از تاثیر گردابه های دکل هواشناسی باشد، کابلهای اتصالات یا اتصال صاعقه چنانچه در این استاندارد مشخص شده است.

d) بادسنجهای فنجانی مرجع نباید تحت تاثیر یخ زدگی قرار گیرند. با تلقی موضوعات مناسب با نیازها که روش و نتایج را مستند سازد این امر بدست می آید.

e) اندازه گیری هایی که برای هر فاصله متوسط گیری برای هر دو وسیله سنجش از راه دور و حسگرهای مرجع معرف یک دوره پیوسته ای است که دوره معادل فاصله متوسط گیری است. اگرچه، در بخش L.2.4 بحث می شود که امکان دارد که الزامات در دسترس بودن داده ها آسان گردد. تاثیر آسان سازی این الزامات می تواند روی دقت اندازه گیری بوسیله آنالیز حساسیت بررسی گردد. اگر وسیله سنجش از راه دور دوره ۱۰ دقیقه متوسط گیری در طیمدتی که در دسترس بوده است را ذخیره ننماید، یک فاکتور عمومی کیفیت بهتر است ذخیره گردد تا قابلیت اعتماد اندازه گیری در روشی مشابه آن وسیله قابل دسترس را مشخص نماید. داده ها ممکن است سپس فیلتر شود یا یک آنالیز حساسیت ممکن است با ارجاع به فاکتور کیفیت اجرا گردد. راهنما باید بوسیله سازنده با توجه به فاکتور کیفیت فراهم گردد.

f) بطور کلی برای بارش فیلتر صورت نمی گیرد. بارش بهتر است مانند یک متغیر محیطی در طبقه بندی تست در نظر گرفته شود. اگر راهنمای سازنده یک وسیله سنجش از راه دور تمهیداتی برای فیلتر کردن ارجاع به بارش تهیه ببیند، این راهنما بهتر است دنبال گردد. اگر فیلتر نمودن با ارجاع به بارش باشد، داده های فیلتر شده توصیه می شود بعنوان پایگاه داده خاص در نظر گرفته شود، تایید و بکار بردن وسیله سنجش از راه دور به روشی پیوسته رهنمون شود.

اندازه گیری های حسگرهای نصب شده روی تیرک مرجع ممکن است برای تاثیرات دکل هواشناسی تصحیح گردد (تاثیرات مسدود کننده ها و تاثیرات شتاب جریان). قابل تذکر است که چنین تصحیحاتی از تاثیرات دکل هواشناسی باعث عدم قطعیت اضافی در مقایسه با حسگرهای مرجع نصب شده در بالای دکل می شود. تصحیح ممکن است بوسیله راهی مناسب برای کاهش عدم قطعیت کلی بکار رود، مشروط به نیازی که روش و نتایج دارند کاملا مستند گردد. عدم قطعیت همراه با بادسنجهای نصب بر روی تیرک در پیوست D و بخش G.4 بحث شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

تمام شاخصهای فیلتر نمودن بکار برده شود، و تاثیرات متقابل آن روی بسته داده ها باید ذخیره و گزارش گردد.

L-۲-۴ اصول و الزامات حساسیت آزمون

اختلاف مشاهده شده بین اندازه گیریهای وسایل سنجش از راه دور و حسگرهای مرجع باید در حساسیتشان به تغییرات محیطی آنالیز شوند. وابستگی بکار گیری وسایل سنجش از راه دور در مجموعه تست منحنی توان، کلاس دقت باید در اندازه گیری مطلق مولفه سرعت باد افقی ارزیابی گردد. یک کلاس دقت وسایل سنجش از راه دور برای کاربرد جایگزین که مستلزم دریافت دیگر پارامترهای جریان باد(مانند شدت آشفتگی یا جهت باد) است ممکن است در عبارات حساسیت اندازه گیریهای ایت پارامترها با متغیرهای محیطی متفاوت، تجهیزات مرجع مناسب بکار بگیرند. این بیشتر از محدوده یک تست ساده[۱] منحنی توان است، و فقط به ارزیابی کلاس دقت در عبارات سرعت باد افقی اینجا می پردازد. حساسیت اولیه تست شده باید مرتبط با آسان سازی معیار شرح داده شده در آیتم e در L.2.3 است. حساسیت انحراف بین حسگرهای مرجع و وسایل سنجش از راه دور بر مبنای در دسترس بودن وسایل سنجش از راه دور در محدوده متوسط گیری یا فاکتور کیفیت مرتبط با اندازه گیری(چنانکه سازنده تعیین کرده است) باید مورد بررسی قرار گیرد. داده های سنجش از راه دور باید قابل قبول قلمداد شود اگر با یک سطح از دسترس بودن مشخصات همراه باشد یا با فاکتور کیفیتی که نشان داده شده باشد تاثیر قابل ملاحظه ای روی انحراف بین اندازه گیری حسگرهای مرجع و وسایل سنجش از راه دور ندارد.

درصد انحراف بین ۱۰ دقیقه متوسطهای پارامتر خروجی تحت نظر بوسیله وسایل سنجش از راه دور (RSD) و حسگرهای مرجع در یک ارتفاع بعنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می شود که بصورت تابعی از یک متغیر محیطی بمنظور طبقه بندی تست آنالیز شود:

$$\text{Dependent variable:} \quad \frac{(v_{RSD} - v_{reference})}{v_{reference}} \times 100\,\% \qquad \text{(L.1)}$$

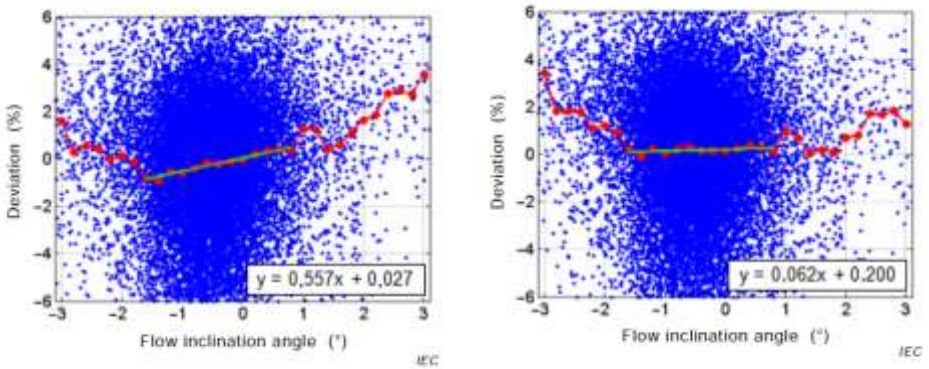
تمام متغیرهای محیطی در دسترس آمادگی اینکه در محدوده کار آنالیز حساسیت قرار بگیرند را دارند. یک لیست غیر جامع از متغیرها می تواند: نمایه برش باد، شدت آشفتگی، باران، جهت باد دمای هوا، چگالی هوا، اختلاف درجه حرارت در دو ارتفاع متفاوت، زاویه جریان به بالا، تغییر جهت باد در ارتفاع، و پوشش ابر. بعضی از پارامترهای مرتبط ممکن است خاص ابزار باشد، برای مثال در دسترس بودن داده ها یا فاکتور کیفیت، و ممکن است بوسیله سازنده مشخص گردد. حساسیت به یک پارامتر محیطی می تواند یک امر مصنوعی از یک

[۱] برای مثال، یک تست که تصحیح جهت باد در ارتفاع یا نرمالیزاسیون آشفتگی را نمی پوشاند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

خطای وسایل سنجش از راه دور باشد. برای نمونه، حساسیت به برش باد می تواند وقتی که یک خطای سیستماتیک در ارتفاع های اندازه گیری سرعت باد وسایل سنجش از راه دور باشد بوجود آید. اگر یک حساسیت شدیدی با وسایل سنجش از راه دور مشاهده گردید، یا یک تغییر در حساسیت بین تستها مشاهده شود، وسیله برای این خطا ها توصیه می شود بازرسی گردد. اگر خطاها آشکار و تصحیح شدند، تستهای حساسیت بهتر است تکرار گردند. جاییکه بادسنج فنجانی مرجع یک حساسیت معلوم به یک متغیر محیطی نمایان سازد، یک توجه باید به حذف تاثیر این حساسیت از تست حساسیت صورت گیرد. این عمل ممکن است بهر ترتیب که مناسب است با الزام روش و نتایج کافی مستند گردد. بطور مثال، شکل J.1 تاثیر زاویه جریان به بالا روی سرعت باد اندازه گیری شده بوسیله بادسنج فنجانی کلاس 1,7A چنانچه از استاندارد صنعتی تستهای تونل باد تعیین می شود را نشان می دهد. شکل L.1 a) پاسخ یک وسیله سنجش از راه دور به زاویه جریان بالا را نشان می دهد که نسبت به داده های بادسنج فنجانی که در شکل J.1 معرفی شده است می باشد.

در شکل L.1 b) یک مدل خطی به داده های در شکل J.1 در محدوده بین $3^{o} \pm$ و برای تنظیم بکار می رود تا نقاط داده ها اثر پاسخ بادسنج فنجانی را حذف نماید. از شکل مشاهده می گردد که حساسیت ضبط شده برای وسیله سنجش از راه دور در شکل L.1 a در این حالت بطور جزئی به بادسنج فنجانی مرجع قابل انتساب است.



a) before adjustment for cup anemometer response b) after adjustment for cup anemometer response

شکل L- ۱: انحراف در مقابل زاویه جریان به بالا برای یک وسیله سنجش از راه دور نسبت به بادسنج فنجانی در شکل J.1 تعیین شده است.

متغیرهای محیطی باید آنالیز شود تا هر وابستگی متقابل شناسایی شود. جاییکه این وجود دارد، آنالیز بیشتری باید برای شناسایی متغیرهای محیطی تاثیر گذار بر انحرافات اندازه گیری انجام شود. این ممکن است بهر ترتیب که مناسب است با الزام روش و نتایج کافی مستند گردد. مستند سازی توصیه می شود شامل جزئیات کافی برای تکرار نتایج از داده های بدست آمده در طی طبقه بندی تست باشد. روشهای پیشنهادی برای

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بدست آوردن این جزئیات در L.2.6 آمده است. فقط متغیرهای محیطی تاثیر مستقیم روی انحراف اندازه گیری تاثیر دارند که در آنالیز حساسیت به آن پرداخته می شود. این متغیرها مستقل در نظر گرفته می شوند. اگر هر متغیر محیطی که مستقیما انحراف اندازه گیری را باعث می شود از تست حساسیت حذف گردد، این به عدم قطعیت اضافی در مرحله کاربردی چنانچه در بخش L.5 آمده است منجر می شود. اگر متعاقب پایش وسیله سنجش از راه دور با یک بادسنج کوتاه دکل هواشناسی در طی تست منحنی توان نتایج تست حساسیت را بی دلیل محافظه کارانه نشان دهد، بازبینی متغیرهای محیطی که در تست حساسیت بکار می روند نیاز است.

آنالیز رگرسیون خطی یک بعدی از دو پارامتر مربع حداقل معمولی (OLS) باید برای هر جفت متغیر مستقل و غیر مستقل اجرا گردد. پارامترهای زیر از آنالیز رگرسیون محاسبه می شوند:

a) شیب : m
b) انحراف : c
c) ضریب تعیین، که در حالت OLS رگرسیون خطی ضریب همبستگی خواهد بود: r^2
d) انحراف معیار متغیر مستقل : std
e) مقدار متوسط متغیر مستقل : avg

تخمین شیب m و انحراف c باید روی سری عددی متوسط گیری شده داده های متغیرهای محیطی اندازه گیری شده اجرا گردد، که اندازه سری عدی در جدول L.1 داده شده است.

جدول L-۱: پهنای سری عددی نمونه برای لیستی از متغیرهای محیطی.

Independent variable	Bin width	Unit
Wind shear exponent	0,05	Dimensionless
Turbulence intensity	0,01	Dimensionless
Rain	0,1	mm
Remote sensing device availability	1	%
Wind direction	5	°
Air temperature	2	°C
Air density	0,05	kgm^{-3}
Temperature gradient	0,002	K/m
Upflow	0,2	°
Wind veer gradient	0,04	°/m

برای متغیرهایی که در آنالیز حساسیت بکار میروند و در جدول بالا نیستند، پهنای مناسب سری عددی بهتر است متناسب با محدوده و توزیع داده ها انتخاب گردد. برای یک متغیر محیطی خاص، سرس عددی توصیه می شود فقط شامل تست حساسیتی گردد که شاخص لیست شده در معادلات (L.2) و (L.3) را برآورده می نماید :

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

$$n_i > \frac{N}{2n_b} \qquad (L.2)$$

بطوریکه:

n_b تعداد سری عددی های بر طبق محدوده متغیرهای داده شده در جدول L.3 است.

N تعداد کل نقاط داده هاست.

n_i تعداد نقاط داده در سری عدی i است.

معادله (L.3) فقط وقتی اجرا می شود که حساسیت روی اندازه گیری سرعت باد آنالیز شود :

$$\frac{\sigma(d_i)}{\sqrt{n_i}} \frac{v_{ref,i}}{100} < 0{,}03\ \text{m/s} \qquad (L.3)$$

بطوریکه:

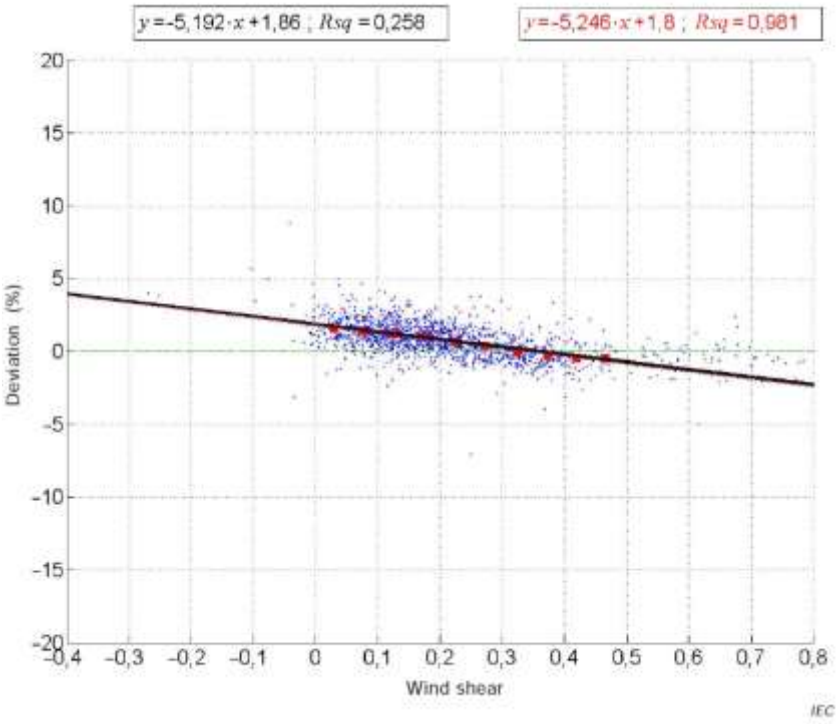
d_i داده های سری عددی است.

$\sigma(di)$ انحراف معیار از درصد انحرافات سرعت باد از ده دقیقه داده در سری i است.

$V_{ref,i}$ مقدار متوسط سرعت باد مرجع در سری i است.

ضریب همبستگی r^2 ، انحراف معیار متغیرهای مستقل (std) و مقدار متوسط متغیرهای مستقل (avg) باید تخمین زده شوند با بکار گیری ۱۰ دقیقه داده در سری هایی که شامل تست حساسیت می شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



رگرسیون خطی با رنگ سیاه برای ۱۰ دقیقه و داده های سری عددی متوسط گیری شده قرمز رسم شده است.

شکل L- ۲ : مثالی از آنالیز حساسیت در برابر برش باد.

حساسیت با ضرب شیب در انحراف معیار متغیرهای مستقل بدست می آید : $m \cdot std$ حساسیت وسعت را مشخص می کند، که بصورت درصد بیان می شود، با اینکه اختلاف بین وسیله سنجش از راه دور و حسگر مرجع اندازه گیری با تغییر متغیرهای مستقل یک انحراف معیار تغییر می کند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول L-۲: پارامترهای بدست آمده از آنالیز حساسیت یک وسیله سنجش از راه دور

Height above ground level	Independent variable	*avg* Independent variable	*std* Independent variable	*m*	Sensitivity *m* × *std*	r^2	Sensitivity × *r*
[m]	[-]	[unit variable]	[unit variable]	[%/unit variable]	[%]	[-]	[%]
135	Wind shear exponent	0,21	0,19	−2,324	−0,45	0,235	−0,218
104		0,21	0,2	−1,918	−0,38	0,085	−0,111
72		0,17	0,17	0,607	0,1	0,009	0,009
135	Turbulence intensity	0,07	0,03	8,855	0,26	0,08	0,074
104		0,07	0,03	13,902	0,39	0,093	0,119
72		0,08	0,03	15,812	0,4	0,133	0,146
135	Rain (yes=1, no=0)	0,02	0,13	0,205	0,03	0,001	0,001
104		0,04	0,19	1,168	0,22	0,028	0,037
72		0,03	0,18	0,499	0,09	0,007	0,008
135	Wind direction	247,28	31,62	−0,007	−0,22	0,059	−0,053
104		252,83	34,19	0,012	0,43	0,108	0,141
72		225,14	11,39	0,003	0,03	0,001	0,001
135	Air temperature at 131 m	14,66	2,7	0,044	0,12	0,016	0,015
104		14,56	2,66	−0,042	−0,11	0,008	−0,010
72		15,16	3,43	−0,091	−0,31	0,083	−0,089
135	Air density	1,23	0,01	−16,43	−0,24	0,065	−0,061
104		1,23	0,01	1,804	0,03	0	0,000
72		1,22	0,02	5,208	0,08	0,005	0,006
135	Temperature difference between 133 m and 10 m	−0,69	1,36	−0,112	−0,15	0,027	−0,025
104		−0,69	1,36	−0,444	−0,6	0,217	−0,279
72		−0,64	1,53	−0,281	−0,43	0,158	−0,171
135	Upflow angle	0,35	1,37	−0,085	−0,12	0,015	−0,015
72		−0,35	0,73	0,665	0,49	0,17	0,202
135	Wind veer between 133 m and 35 m	15,36	10,01	−0,036	−0,36	0,145	−0,137
104		15,26	10,05	−0,07	−0,71	0,298	−0,388
72		15	9,26	−0,036	−0,33	0,092	−0,100

یک مثال از آنالیز حساسیت وسیله سنجش از راه دور متناسب با پارامترهای محیطی در شکل L.2 و جدول L.2 نشان داده شده است. حساسیت وسایل در سه ارتفاع متفاوت باید آنالیز گردد. فقط داده های سنجش از راه دور که در داخل فواصل در دسترس ۸۰٪ متوسط گیری تست باشند در نظر گرفته می شوند. چنانچه از جدول L.2 مشاهده می گردد و شاخصهای معناداری که در دنباله مطالب L.2.5 مشخص می گردند، برش باد، شدت آشفتگی، جهت باد، اختلاف درجه حرارت (مانند مشخصه ساده ای از طبقه بندی)، زاویه جریان به بالا و تغییر جهت باد در ارتفاع تاثیر مهناداری در اختلاف بین سنجش از راه دور و بادسنج فنجانی مرجع در

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

اندازه گیری سرعت باد دارند. متغیرهای مستقل دیگر مهم نیستند. اگرچه تعدادی از این متغیرها عملکرد وسیله سنجش از راه دور را تحت تاثیر قرار می دهند اما تاثیر اساسی ندارند. اگر تغییراتشان با تغییر بعضی متغیرها همبسته شوند که تاثیر گذارند، این همبستگ ممکن است دلیلی بر تاثیر آشکار گردد. وابستگی متقابل بین متغیرها باید با شناسایی اینکه متغیرها چه تاثیر معناداری دارند چنانکه در L.2.6 بحث شده است آنالیز گردد، قبل از تخمین کلاس دقت نهایی وسیله سنجش از راه دور باید باشد. برای مثال، تکنیک رگرسیون چند متغیره ممکن است برای این منظور بخدمت گرفته شود. طبقه بندی مشابه طبقه بندی موجود برای بادسنجهای فنجانی و صوتی بر طبق این استاندارد و بر طبق پیوست I و پیوست J است. کلاس وسیله سنجش از راه دور می تواند با شرایط از پیش تعیین شده یا برای شرایط خاص در طی کاربرد وسیله سنجش از راه دور ارزیابی گردد. شرایط مشابه به طبقه بندی بادسنجهای صوتی و فنجانی بر طبق این استاندارد چنانچه در پیوست I و J آمده بود در جدول L.3 می آید.

جدول L-۳: دامنه پارامترهای محیطی برای آنالیز حساسیت.

Independent variable		Max	Min	Range	Source
Wind shear exponent	[-]	0,80	−0,40	1,20	N/A
Turbulence intensity	[-]	0,24	0,03	0,21	This standard
Rain (yes=1, no=0)	[-]	1	0	1	Definition of sensor
Availability	[%]	100	80	20	Definition of filter
Wind direction	[°]	360	0	180	Deviation of 2 directions has a maximum of 180°
Air temperature	[°C]	40	0	40	This standard
Air density	[kg/m^3]	1,35	0,90	0,45	This standard
Temperature gradient From 133 m to 10 m height	[K/m]	0,06	−0,02	0,08	N/A
Upflow angle	[°]	3	−3	6	This standard
Wind veer from 133 m to 35 m height	[°/m]	0,2	−0,2	0,4	N/A

دامنه در دسترس بودن وسیله سنجش از راه دور باید با دامنه ای که در میدان کار بکار میرود پیوستگی داشته باشد. مگر اینکه با شکل بندی حسگر مرجع تعیین شود، محدوده های لازم برای اختلاف درجه حرارت هوا بین دو سطح ارتفاع مشخص گردیده باید ۱۰ برابر نرخ استاندارد سپری شده بین سطوح ارتفاع باشد (نرخ سپری شده استاندارد 0,65 K/100 m است) و دامنه تغییر جهت باد در ارتفاع باید ۴ برابر انحراف استاندارد از اختلاف بین ۱۰ دقیقه متوسط جهت های باد در ارتفاع مشخص شده باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

L-۲-۵ ارزیابی متغیرهای محیطی معنادار

اهمیت یک متغیر با اندازه گیری درجه تاثیرش روی اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور ارزیابی می گردد. تستهای حساسیت ممکن است مشخص نماید که ارتباط معناداری بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل وجود ندارد. بنابراین فقط ارتباط متغیرهای مستقل باید در نظر گرفته شود. ارتباط تعیین می شود جاییکه:

a) یک حساسیت حداقل ۰٫۵ نشان داده شود یا یک ضریب همبستگی r و حساسیت حداقل ۰٫۱ پدیدار شود.
b) آنالیز حساسیت یک متغیر مستقل باید به همه ارتفاعهای اندازه گیری مرتبط باشد اگر یکی از شرایط بالا برای یک ارتفاع برآورده شده باشد.

برای یک حساسیت ۰٫۵ یا بیشتر یک تاثیر معنادار متغیر مستقل روی دقت وسیله سنجش از راه دور مستقیما در طی طبقه بندی تست باید در نظر گرفته شود. ضریب همبستگی ممکن است این شاخص را تغییر دهد چنانچه اهمیت ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته را مشخص می نماید. ضریب همبستگی و حساسیت هردو ارتباط یک متغیر مستقل را می نمایانند. بنابراین محصول هردو اندازه گیری دومی را می شناساند، شرایط جایگزین در اولین عبارت بالاست. متغیرهای محیطی برای هر دامنه اندازه گیری شده چنانچه حداقل ۲۵٪ از سری عددی شرح داده شده در جدول L.3 را با حداقل داده نقاط بر طبق معادله(L.2) نپوشاند بهتر است از آنالیز حساسیت کنار گذاشته شود. نتایج حساسیت بدست آمده برای این متغیرها نماینده ارتباط با انحراف اندازه گیری نخواهد بود. اگرچه یک متغیر ممکن است از آنالیز حساسیت حذف گردد ناشی از تغییر ناکافی برای برقراری یک ارتباط قابل اعتماد با انحراف اندازه گیری، این ممکن است تغییرات در هنگام تست عملکرد توانی باشد. در هر صورت اگر متغری که موثر است حذف گردد عدم قطعیت افزایش می یابد برطبق L.4 میتوان فهمید. متغرهای محیطی که که انحراف اندازه گیری را موجب می شوند فقط از طریق همبستگی با دیگر متغیرهای محیطی چنانکه در L.2.6 شرح داده شده است بهتر است از آنالیز حساسیت کنار گذاشته شود. متغیرهای مستقل مرتبط به وسیله سنجش از راه دور در جدول L.4 شرح داده شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

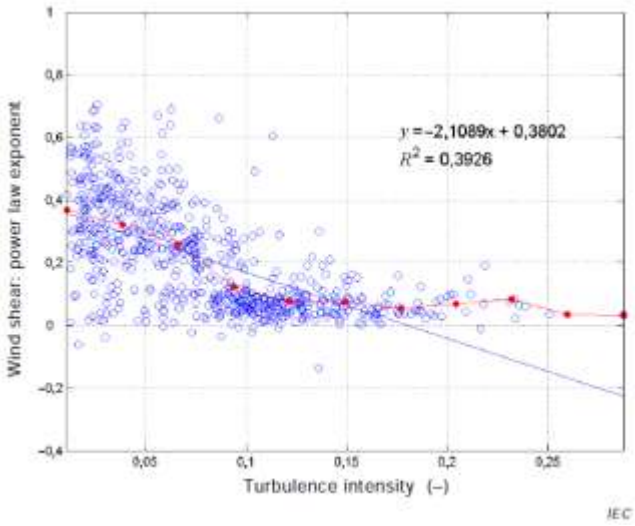
جدول L-۴: مثالی از متغیرهای محیطی که تاثیر معنادار دارند

Height above ground level	Independent variable	*avg* Independent variable	*std* Independent variable	*m*	Sensitivity *m* × *std*	r^2	Sensitivity × *r*
[m]	[-]	[unit variable]	[unit variable]	[%/unit variable]	[%]	[-]	[%]
135	Wind shear exponent	0,21	0,19	−2,324	−0,45	0,235	−0,218
104		0,21	0,2	−1,918	−0,38	0,085	−0,111
72		0,17	0,17	0,607	0,1	0,009	0,009
135	Turbulence intensity	0,07	0,03	8,855	0,26	0,08	0,074
104		0,07	0,03	13,902	0,39	0,093	0,119
72		0,08	0,03	15,812	0,4	0,133	0,146
135	Wind direction	247,28	31,62	−0,007	−0,22	0,059	−0,053
104		252,83	34,19	0,012	0,43	0,108	0,141
72		225,14	11,39	0,003	0,03	0,001	0,001
135	Temperature difference between 133 m and 10 m	−0,69	1,36	−0,112	−0,15	0,027	−0,025
104		−0,69	1,36	−0,444	−0,6	0,217	−0,279
72		−0,64	1,53	−0,281	−0,43	0,158	−0,171
135	Upflow angle	0,35	1,37	−0,085	−0,12	0,015	−0,015
72		−0,35	0,73	0,665	0,49	0,17	0,202
135	Wind veer between 133 m and 35 m	15,36	10,01	−0,036	−0,36	0,145	−0,137
104		15,26	10,05	−0,07	−0,71	0,298	−0,388
72		15	9,26	−0,036	−0,33	0,092	−0,100

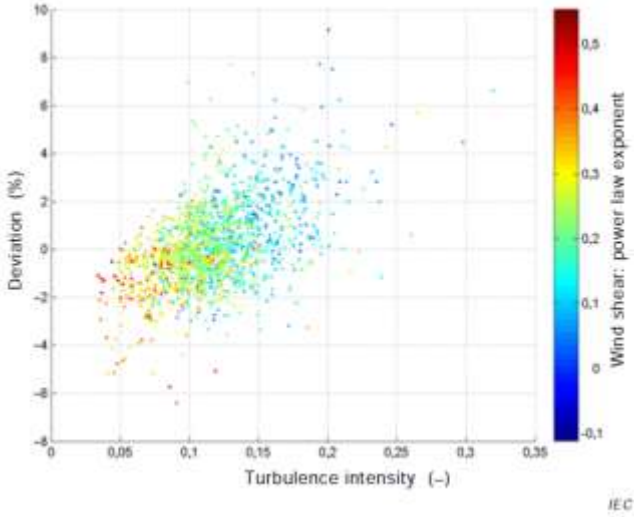
L-۲-۶ ارزیابی از وابستگی متقابل بین متغیرهای محیطی

آنالیز حساسیت در L.2.4 با این فرض است که متغیرهای محیطی مورد نظر مستقل هستند یعنی همبستگی ندارند. در عمل این مورد نظر نیست. بیشتر این مطلب به کلاس دقت بر می گردد برای متغیرهای خاص ناشی از همبستگی با دیگر متغیرها تا اینکه ارتباط مستقیم با انحراف اندازه گیری داشته باشند. تشریح تاثیر همبستگی بین متغیرهای محیطی را در شکل L.3 و شکل L.4 برای برش باد و شدت آشفتگی می توان دید. شکل L.3 ارتباط بین برش باد و شدت آشفتگی در طی طبقه بندی تست نشان می دهد. مشاهده می شود که برش باد و شدت آشفتگی در این تست کاملا در مدت اندازه گیری همبسته نیستند. این موضوع در شکل L.4 بصورت خوشه بندی نقاط داده ها در داخل ترسیمه پراکنده از انحراف اندازه گیری در برابر شدت آشفتگی بر طبق مقدار برش باد خود نمایی کند. این خوشه بندی ممکن است خط مماس را کج کند که حساسیت وسیله نسبت به شدت آشفتگی تعیین کرده است. اگر متغیرها متقابلا مستقل نباشند این تست حساسیت از یک متغیر محیطی که مستقیما همبسته با انحراف اندازه گیری نباشد قابل انتقال نخواهد بود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل L- ۳ : مثالی از برش باد در مقابل شدت آشفتگی.



شکل L- ۴: مثالی از درصد انحراف وسیله سنجش از راه دور و حسگر اندازه گیری مرجع در برابر شدت آشفتگی.

بمنظور کاهش بیش از حد تخمین زدن عدم قطعیت، لازم است آنالیز حساسیت هر متغیری که تاثیر مستقیم بر همبستگی متغیرهای محیطی ندارد حذف گردد. یک مثال در شکل L.4 نشان داده شده است، که نقص هر دو شدت آشفتگی و برش باد در محاسبه تخمین عدم قطعیت نتیجه دوبار بحساب آوردن توزیع عدم قطعیت ناشی از ارتباط روشن بین آنها نباشد. حذف متغیرهای محیطی همبسته ممکن است با هر روشی که مناسب است بر طبق مستندات ذکر شده در L.2.4 مبحث عدم قطعیت انجام شود. مستندات توصیه می شود شامل جزئیات کامل داده های بدست آمده در طی طبقه بندی تست و نتایج را دارا باشد. وابستگی بین متغیرهای محیطی برای داده های بکار رفته در جدول L.4 آنالیز گردد. متغیریهایی که تاثیر مستقیم روی انحراف اندازه گیری که همبسته با یک یا بیشتر از یک متغیر ندارند از تست حساسیت حذف می شوند. بعد از حذف اثر برش باد از بسته داده ها، تاثیر باقی مانده از شدت آشفتگی مرتبط نیست. متغیرهای باقی مانده

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

در جدول L.5 نشان داده شده اند. فقط برش باد، زاویه جریان به بالا و تغییر جهت باد در ارتفاع تاثیر قابل ملاحظه ای روی انحراف بین سنجش از راه دور و بادسنج فنجانی مرجع برای اندزه گیری باد دارند.

جدول L-۵: آنالیز حساسیت پارامترهای باقی مانده بعد از آنالیز متغیرهای وابسته متقابل

Height above ground level	Independent variable	*avg* Independent variable	*std* Independent variable	*m*	Sensitivity *m* × *std*	r^2	Sensitivity × *r*
[m]	[-]	[unit variable]	[unit variable]	[%/unit variable]	[-]	[-]	[-]
135	Wind shear exponent	0,21	0,19	−2,324	−0,45	0,235	−0,218
104		0,21	0,2	−1,918	−0,38	0,085	−0,111
72		0,17	0,17	0,607	0,1	0,009	0,009
135	Upflow angle	0,35	1,37	−0,085	−0,12	0,015	−0,015
72		−0,35	0,73	0,665	0,49	0,17	0,202
135	Wind veer between 133 m and 35 m	15,36	10,01	−0,036	−0,36	0,145	−0,137
104		15,26	10,05	−0,07	−0,71	0,298	−0,388
72		15	9,26	−0,036	−0,33	0,092	−0,100

L-۲-۷ محاسبه کلاس دقت

اصول کلی محاسبه کلاسهای دقت در زیر بیان شده اند:

a) دامنه های مشخص همه متغیرهای باقی مانده که تاثیر قابل ملاحظه بر طبق جدول L.5 شرح داده شده است.
b) حداکثر انحراف از هر متغیر مستقل روی دقت وسیله سنجش از راه دور بوسیله ضرب رگرسیون شیب m و دامنه متغیر مستقل محاسبه می شود، چنانچه از جدول L.3 گرفته می شود. یک مثال تشریحی در جدول L.6 آمده است.
c) تاثیر حداکثر جمع آوری شده همه متغیرهای مستقل روی دقت وسیله سنجش از راه دور بوسیله درنظر گرفتن متغیرهای متفاوت چنانچه هریک کاملا از دیگری مستقل است محاسبه می شود، بطوریکه حداکثر خطاهای اندازه گیری باعث می شوند بوسیله هر متغیر منفردا به یک چهارم نقاط اضافه گردد.

در ارتباط با آیتم (c، اذعان باید کرد که متغیرهای محیطی در نظر گرفته کاملا مستقل از همدیگر نیستند. اگرچه، با توجه به ارزیابیهای عدم قطعیت، اختلافات بین شرایط محیطی در طی بکار گیری وسیله سنجش

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

از راه دور برای تست منحنی توان و طی بررسی عملکرد یک نکته کلیدی است. این اختلافات بسیار وابسته به تست منحنی توان و کارآیی RSD در محل آزمون تست هستند. این وابستگی به محل آزمون منجر به جدا کردن متغیرها از همدیگر با توجه به محاسبات عدم قطعیت می شوند. بنابراین برای تخمین تاثیر انباشت حداکثر، استقلال بین متغیرها یک فرض لازم است، با وجود تلاشی که در L.2.6 برای تاثیر متقابل متغیرها انجام شده است. کلاسهای اولیه دقت منتج از این طرح در جدول L.7 ارائه شده است. اینها محاسبه گردیده اند مانند مجموع یک چهارم حداکثر انحرافات از هر دو کلا و فقط متغیرهای محیطی منحصر بفرد قابل ملاحظه مطابق با جدول L.6 و جدول L.4 هستند. مقادیر نتیجه نهایی طبقه بندی را ارائه نمی نمایند.

جدول L-۶: مثالی برای محاسبه تاثیر حداکثر متغیرهای محیطی

Height above ground level	Independent variable	Range variable	*m*	*m* × range
[m]	[-]	[unit variable]	[%/unit variable]	[-]
135	Wind shear exponent	1,20	−2,324	2,79
104		1,20	−1,918	2,30
72		1,20	0,607	0,73
135	Turbulence intensity	0,21	8,855	1,86
104		0,21	13,902	2,92
72		0,21	15,812	3,32
135	Rain (yes=1, no=0)	1,00	0,205	0,21
104		1,00	1,168	1,17
72		1,00	0,499	0,50
135	Remote sensing device availability	20,00	0,017	0,34
104		20,00	−0,068	1,36
72		20,00	−0,318	6,37
135	Wind direction	180,00	−0,007	1,28
104		180,00	0,012	2,24
72		180,00	0,003	0,51
135	Air temperature at 131 m	40,00	0,044	1,76
104		40,00	−0,042	1,69
72		40,00	−0,091	3,65
135	Air density	0,45	−16,430	7,39
104		0,45	1,804	0,81
72		0,45	5,208	2,34
135	Temperature difference between 133 m and10 m	8,00	−0,112	0,90
104		8,00	−0,444	3,55
72		8,00	−0,281	2,25
135	Upflow angle	6,00	−0,085	0,51
72		6,00	0,665	3,99
135	Wind veer between 133 m and 35 m	40,00	−0,036	1,45
104		40,00	−0,070	2,81
72		40,00	−0,036	1,42

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول L-۷: کلاسهای دقت اولیه وسیله سنجش از راه دور با در نظر گرفتن دو حالت همه متغیرها و فقط متغیرهایی که تاثیر قابل ملاحظه دارند

Height	Accuracy classes	
	Considering all variables	Considering only significant influential variables
[m]	[-]	[-]
135	8,6	3,2
104	7,1	3,6
72	9,7	4,3

محاسبه کلاس دقت نهایی با تقسیم کلاس دقت اولیه بر جذر عدد ۲ بدست می آید. حداکثر تاثیرات که در جدول L.6 محاسبه شده است با فرض اینکه تست بررسی عملکرد وسیله سنجش از راه دور به یک دامنه حد نهایی از متغیرهای محیطی رهنمون می شود مادامیکه تست منحنی توان به یک حد نهایی مخالف رهنمون می گردد، که سناریویی بعید بنظر می رسد. یک فرض محتمل این است که متغیرها x در طی اندازه گیریها نزدیک به به حداکثر دامنه بماند با حداکثر انحراف نصف دامنه باشد:

$$x_{\text{application}} \in \left[x_{\text{centre}} - \frac{x_{\text{range}}}{2} ; x_{\text{centre}} + \frac{x_{\text{range}}}{2} \right]$$

$$x_{\text{verification_test}} \in \left[x_{\text{centre}} - \frac{x_{\text{range}}}{2} ; x_{\text{centre}} + \frac{x_{\text{range}}}{2} \right] \qquad \text{(L.4)}$$

اگر شرایط در طی تایید تست عملکرد و منحنی توان مستقل از یکدیگر در نظر گرفته شود، انحرافات متغیرهای محیطی حداکثر دامنه را خواهند داشت:

$$d\left(x_{\text{application}} - x_{\text{verification_test}}\right) = \sqrt{\left(\frac{x_{\text{range}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{x_{\text{range}}}{2}\right)^2} = \frac{x_{\text{range}}}{\sqrt{2}} \qquad \text{(L.5)}$$

نتایج کلاسهای دقت برای تاثیرات متغیرها بصورت نمونه در جدول L.6 و جدول L.8 داده شده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول L-۸: مثالی از کلاس دقت نهایی وسیله سنجش از راه دور

Height	Final accuracy class
[m]	[-]
135	2,3
104	2,5
72	3,0

L-۲-۸ نحوه پذیرش و قبولی داده ها

تست طبقه بندی باید برای حداقل دو وسیله از نوع خاص وسایل سنجش از راه دور در حداقل دو محل آزمون متفاوت اجرا شود. این امکان طبقه بندی نوع خاص را می دهد تا نتایج این تستها کاملا همگرا بشوند. حداقل تست وسایل در دو محل آزمون مختلف باید باشد، در نتیجه حداقل سه تست برای طبقه بندی نیاز است. اگر نتایج یک واحد مجزا بسیار واگرا شود از تست وسایل کنار گذاشته می شود. خارج کردن یک واحد از برنامه تابع الزامات ذکر شده در بالاست با توجه به حداقل تعداد واحد مجزای تست شده برای طبقه بندی نوع خاص می باشد. طبقه بندی نوع خاص ممکن نیست اگر واحد خارج شده از آزمایش نتایج غیر عادی در تستهای انجام شده داشته باشد. اگر واحدها از برنامه خارج شوند، توجه به تعداد واحدهای خارج شده در مقایسه با تعداد قبول شده توصیه می شود. دلیل برای خارج کردن یک واحد از تست حساسیت باید ارائه و گزارش گردد. نتایج این طبقه بندی کاملا همگرا در نظر گرفته می شود اگر مرتبه بزرگی متغیرهای محیطی موثر با تستهای مختلف طبقه بندی منسجم باشند (مانند: برای هر متغیر مستقل مهم، مقدار حساسیت بدست آمده از هر تست مجزا با بقیه بیش از ۵۰٪ از مقدار متوسط نباشد).

L-۲-۹ طبقه بندی RSD

کلاس با حداقل سه تست طبقه بندی تعیین می شود(۲ واحد در یک موقعیت و یک واحد در دو موقعیت). شیب حساسیت نهایی توصیه می شود در معادله (L.7) برای محاسبه عدم قطعیت بکار رود. شیبهای نهایی از ترکیب شیبهای تستهای طبقه بندی مختلف بصورت ذیل بدست می آیند:

a) هر متغیر مستقل مهم حاصل تست طبقه بندی توصیه می شود در نظر گرفته شود (یعنی اگر یک متغیر در یکی از این سه تست قابل ملاحظه و مستقل باشد، آن بهتر است در کلاس نهایی در نظر گرفته شود).

b) برای هر متغیر مستقل قابل ملاحظه:

۱) میان یابی شیب به ارتفاع برای هر تست طبقه بندی.

۲) ترکیب شیبها از تست طبقه بندی مختلف با بکار گیری معادله (I.3).

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

L-۳ بازبینی عملکرد وسایل سنجش از راه دور

اندازه گیری‌های بدست آمده بوسیله وسایل سنجش از راه دور باید در برابر اندازه گیری های رقیب و هم محل برای پارامترهای هم جریان باد بوسیله حسگرهای مرجع دکل هواشناسی کالیبره گردد که تشخیص ای است که مناسب برای تست منحنی توان می باشند. وابسته به بکار گیری وسیله سنجش از راه دور در تست منحنی توان، دقت باید در ارتباط با همان وسیله سنجش از راه دور ارزیابی گردد که پارامترهای خروجی در نظر گرفته شده را در طی طبقه بندی تست و مرتبط با تست منحنی توان بکار می برد. کالیبراسیون نباید زودتر از یک سال قبل از شروع تست منحنی توان (یا در طی تست عملکرد توانی) انجام شود برای اینکه نتایجش، در ارتباط با تست منحنی توان بوسیله وسیله سنجش از راه دور معتبر در نظر گرفته شود. با توجه به جمع آوری و تهیه داده ها، تست کالیبراسیون به همان روش که آنالیز حساسیت چنانکه در L.2.2 و L.2.3 تشریح گردیده است هدایت گردد، به استثنای معیار مشخص شده در (L.2.2 e ، بطوریکه ۱۸۰ ساعت داده برای اینکار کافی است. الزامات در مورد حسگرهای مرجع در ارتفاعهای شرح داده شده در L.2.2 در ارتباط با طبقه بندی تست همچنین به تستهای تایید جاری می گردد. فرآیند متوسط سری عددی باید بکار رود تا مقایسه اندازه گیری ها بدست آمده با وسیله سنجش از راه دور و حسگرهای مرجع صورت گیرد. انحراف سری عدی بین اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور و اندازه گیری حسگر مرجع کلید نتایج در نظر گرفته می شود. پهنا و نقطه شروع سری های عددی باید طبق زیر دنبال گردد[۱]:

a) برای باد افقی سری عددی سرعت باد با مرتبه ۰٫۵ متر بر ثانیه افزایش می یابد(۰٫۵ ،۱، ۱٫۵ ، ...). و انحراف معیار نیز به همین حالت است.

b) جهت باد با ۵ درجه افزایش سری شکل می گیرد و از ۵ درجه شروع می شود.

داده های خام، که متوسط‌های ده دقیقه ای هستند، باید بصورت ترسیمه های پراکنده از اندازه گیری های بدست آمده با وسیله سنجش از راه دور در برابر اندازه گیریهای حسگر مرجع قرار گیرند. علاوه بر این، انحرافات بین اندازه گیری های وسیله سنجش از راه دور و اندازه گیری های مرجع در برابر هم ترسیم شوند. اینها باید در یک نمودار نشان داده شوند، یک مثال از این در شکل L.5 آمده است. برای ترسیمه اول، ضریب همبستگی باید محاسبه گردد. برای ترسیمه دوم، مقدار متوسط و انحراف معیار از انحرافات باید محاسبه گردد. برای هر دو ترسیمه، مقادیر متوسط و انحراف معیارها برای هر سری عددی متغیر وابسته محاسبه گردد (جدول L.9). متوسطهای سری عددی اندازه گیری های سنجش از راه دور بصورت تابعی از متوسطهاسی سری عددی اندازه گیریهای حسگر مرجع ترسیم می گردند(شکل L.6). رگرسیون خطی دو پارامتره حداقل مربع (OLS) باید

[۱] مقایسه پارامترهای دیگر جدا از این لیست در راستای روشهای جایگزین وسیله سنجش از راه دور ممکن است مطلوب باشد. برای مثال، ۰٫۱ متر بر ثانیه پهنای سری(فاصله بین دو عدد پشت سر هم) برای مقایسه سرعتهای باد عمودی و مقایسه انحراف معیار سرعت باد افقی با ضرب عدد صحیح در ۰٫۱ متر بر ثانیه بدست آید. در صورتیکه ۰٫۰۱ پهنای سری برای شدت آشفتگی بکار میرود با ضرب عد صحیح در ۰٫۰۱ بقیه سری بدست می آید.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

برای نقاط داده های سرعت باد مرجع از ۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه ترسیم گردد. عدم قطعیت کلی وسیله سنجش از راه دور که حاصل از تست کالیبراسیون است باید مطابق L.4.3 ارزیابی گردد (شکل L.6 و جدول L.6). انحرافات سری متوسط گیری شده اندازه گیری های RSD و مرجع باید مقایسه گردند تا عدم قطعیت تست کالیبراسیون با انحرافات متوسط گیری شده سری عددی بر طبق رابطه ای که در زیر آمده است قابل بیان باشد:

$$\sqrt{u_{\mathrm{ver},i}^2 - \left(\overline{V}_{\mathrm{RSD},i} - \overline{V}_{\mathrm{Ref},i}\right)^2}$$

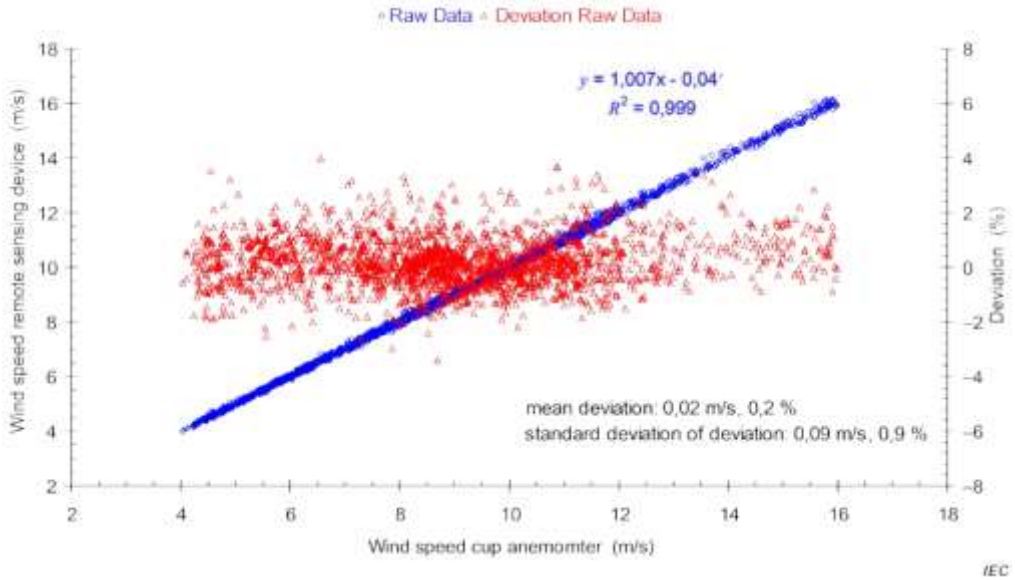
بطوریکه:

$\overline{V}_{\mathrm{RSD},i}$ متوسط سری RSD در تست کالیبراسیون در سری i است.

$\overline{V}_{\mathrm{Ref},i}$ متوسط سری اندازه گیری مرجع در کالیبراسیون سری i است.

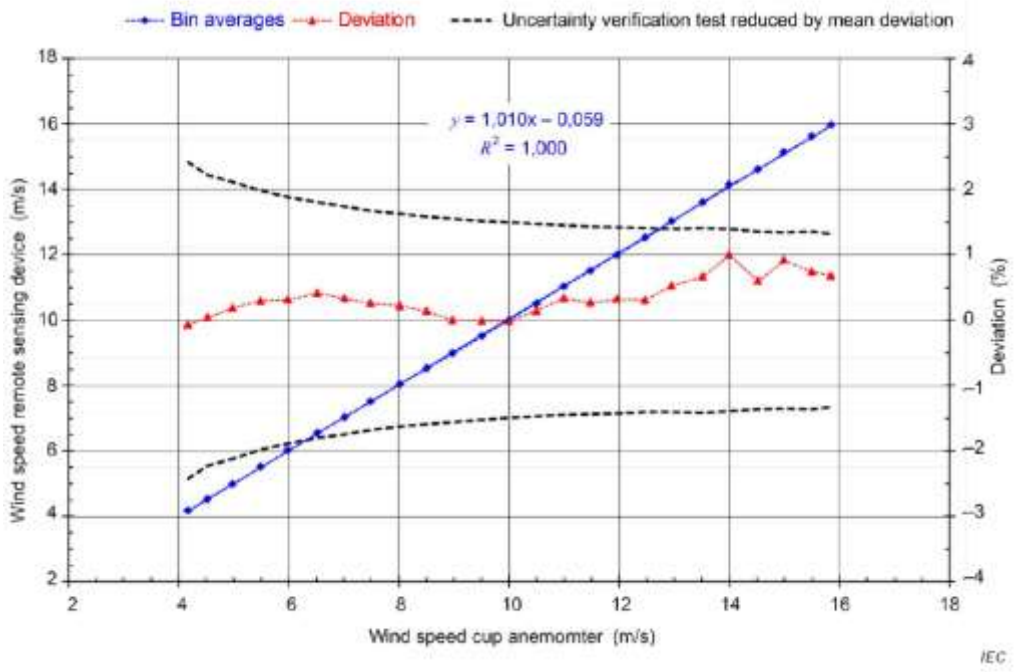
$u_{\mathrm{ver},i}$ عدم قطعیت تست کالیبراسیون در سری i برطبق L.4.3 است.

اندازه گیری های سرعت باد RSD ممکن است بر اساس نتایج تست کالیبراسیون تصحیح گردد تا بایاس را حذف نماید. اینچنین تصحیحی پیشنهاد می گردد اگر انحرافات متوسط گیری شده سری بیش از مطالب بالا باشد(حداقل در یک سری). تصحیح سرعت باد ممکن است شامل یک رگرسیون خطی از سری متوسط گیری شده اندازه گیریهای حسگر مرجع در مقابل اندازه گیریهای RSD باشد.



شکل L- ۵: مقایسه متوسطهای۱۰ دقیقه ای مولفه سرعت باد افقی اندازه گیری شده با RSD و بادسنج فنجانی.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل L- ۶: مقایسه مولفه سرعت باد افقی بین اندازه گیری با وسیله سنجش از راه دور و بادسنج فنجانی (bin-wise).

ملاحظات بحث شده در L.2.4 در ارتباط با خطاها و حساسیتهای شناسایی شده در طی طبقه بندی تست که ساخته شکل بندی ناصحیح وسیله سنجش از راه دور هستند، خصوصاً، خطاها و حساسیتهای برش باد در نتیجه ارتفاعهای ناصحیح اندازه گیری، بهتر است همچنین در تستهای کالیبراسیون در نظر گرفته شود، مرجع [10] را ببینید.

L-۴ ارزیابی عدم قطعیت وسایل اندازه گیری از راه دور

L-۴-۱ کلیات

موارد ذیل برای ارزیابی عدم قطعیت اندازه گیری های وسیله سنجش از راه دور باید در نظر گرفته شوند:

a) عدم قطعیت در نتیجه تست کالیبراسیون RSD مطابق با L.4.3 .
b) عدم قطعیت در نتیجه طبقه بندی وسیله سنجش از راه دور مطابق L.4.4.
c) عدم قطعیت ناشی از جریان ناهمگن در محدوده اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور مطابق L.4.5.
d) عدم قطعیت ناشی از تاثیرات نصب وسیله سنجش از راه دور مطابق L.4.6.
e) عدم قطعیت ناشی از تغییرات جریان در محل آزمون تست منحنی توان مطابق L.4.7.
f) امکان عدم قطعیت ناشی از نتایج ناخواسته پایش دقت وسیله سنجش از راه دور در محل آزمون مطابق با بخش L.5.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

اجزاء مختلف عدم قطعیت باید با فرض مستقل بودن از همدیگر و باید به یک چهارم اضافه یابد.

L-۴-۲ مرجع عدم قطعیت

موارد عدم قطعیت ذیل در نظر گرفته می شوند برای ارزیابی عدم قطعیت حسگر مرجع (در حالتی که بادسنج فنجانی باشد) و باید مستقل از همدیگر و بنابراین به یک چهارم اضافه گردد:

a) کالیبراسیون تونل باد.
b) تاثیرات بادسنج فنجانی مطابق طبقه بندی بادسنج.
c) تاثیرات نصب بادسنج فنجانی.
d) عدم قطعیت هر بکار گیری تصحیح دکل هواشناسی به اندازه گیری بادسنج فنجانی مرجع.
e) عدم قطعیت در سیستم جمع آوری داده ها برای ابزار مرجع اندازه گیری سرعت باد در سری عددی i.

L-۴-۳ عدم قطعیت ناشی از کالیبراسیون سنجش از راه دور

اندازه گیری های وسیله سنجش از راه دور به عدم قطعیتهای سیستماتیک ذیل وصل است (گروه B عدم قطعیت‌ها) منتج از تست کالیبراسیون، که باید برای هر سری عددی اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور محاسبه گردد:

a) عدم قطعیت استاندارد حسگر مرجع مطابق L.4.2.
b) انحراف متوسط اندازه گیری های وسیله سنجش از راه دور و اندازه گیری های حسگر مرجع، اگر یک تصحیح از اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور اجرا شود، انحراف متوسط بین اندازه گیری های تصحیح شده وسیله سنجش از راه دور و اندازه گیری های حسگر مرجع ارزیابی بشوند.
c) عدم قطعیت استاندارد اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور بصورت انحراف معیار اندازه گیری ها تقسیم بر جذر تعداد داده های ذخیره شده برای هر سری عددی است(گروه A عدم قطعیت تست کالیبراسیون).
d) عدم قطعیت وسیله سنجش از راه دور ناشی از تاثیرات نصب در طی تست کالیبراسیون.
e) عدم قطعیت وسیله سنجش از راه دور ناشی از جریان ناهمگن در داخل اندازه گیری در طی تست کالیبراسیون مطابق L.4.5.

تاثیرات محل آزمون ممکن است بعنوان یک عدم قطعیت اضافه در نظر گرفته شود اگر وسیله سنجش از راه دور و حسگر دکل هواشناسی مرجع بطور جداگانه از همدیگر با یک فاصله معنادار قرار گیرند که با بند L.2.2 (d همخوانی داشته باشد. خصوصاً، یک عدم قطعیت اضافی در سرعت باد از ۱٪ ضرب در فاصله جدایش تقسیم بر ارتفاع اندازه گیری باید اجرا شود. فاصله جدایش فاصله بین مرکز فضای اندازه گیری و حسگر مرجع که برای تست بکار می رود می باشد. ارتفاع اندازه گیری ارتفاعی است که در آن ارتفاع مقایسه بین حسگر مرجع

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

و وسیله سنجش از راه دور انجام می شود. این ارتفاع به ارتفاع هاب یا قطر روتور توربین در حال تست برنمی گردد چنانکه ممکن نیست در زمان طبقه بندی یا تستهای کالیبراسیون معلوم باشند. عدم قطعیتهای اضافی مرتبط با مسائل مشابه در طی تست منحنی توان ناشی از فاصله وسیله سنجش از راه دور نسبت به توربین باد در حال تست در L.4.7 بحث شده است. عدم قطعیتهای سیستم جمع آوری داده های وسیله سنجش از راه دور بطور خودکار با نتایج تست کالیبراسیون یکچارچه می گردد و نباید بصورت اضافی در نظر گرفته شود. اجزاء متفاوت عدم قطعیت باید مستقل از همدیگر فرض شوند و باید به یک چهارم هر سری سرعت باد اضافه گردد. یک مثال از محاسبات در جدول L.9 نشان داده شده است. کل عدم قطعیت گروه B از اندازه گیری های وسیله سنجش از راه دور حاصل تست کالیبراسیون باید درمحاسبات مانند عدم قطعیت گروه B از تست منحنی توان در هر مورد لحاظ شوند.

به این امر اشاره گردد که عدم قطعیت استاندارد آماری اندازه گیری یک وسیله سنجش از راه دور مربوط به ۱۰ دقیقه متوسطهای اندازه گیری متغیر منتج از تست کالیبراسیون با انحراف معیار انحرافات اندازه گیریهای وسیله سنجش از راه دور و حسگر مرجع داده خواهند شد. این عدم قطعیت بالاتر از عدم قطعیت آماری سری متوسطهای تست کالیبراسیون شرح داده شده در بخش (c بالاست. اگرچه، عدم قطعیت آماری یک متوسط ۱۰ دقیقه ای بطور خودکار عدم قطعیت گروه A از سری عددی متوسطهای منحنی توان ارزیابی شده را شامل می شود و باید بنابر این در محاسبات کنار گذاشته شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول L-۹: مثالی از عدم قطعیت محاسبات ناشی از کالیبراسیون وسیله سنجش از راه دور (RSD) در عبارات عدم قطعیتهای سیستماتیک

V_{cup}	V_{RSD}	Number of data sets	V_{RSD} max	V_{RSD} min	V_{RSD} std	V_{RSD} std/$\sqrt{n}$	Mean deviation	V_{cup} uncertainty	Mounting uncertainty RSD	V_{RSD} uncertainty
[m/s]	[m/s]	[-]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[%]	[%]	[%]	[%]
4,133	4,148	15	4,30	4,00	0,090	0,023	0,4	2,3	0,5	2,4
4,528	4,525	33	4,85	4,28	0,139	0,024	0,0	2,2	0,5	2,3
5,064	5,086	26	5,31	4,74	0,141	0,028	0,4	2,0	0,5	2,2
5,538	5,593	47	5,92	5,28	0,166	0,024	1,0	1,9	0,5	2,2
5,985	6,025	44	6,27	5,72	0,141	0,021	0,7	1,9	0,5	2,0
6,513	6,546	45	6,80	6,26	0,158	0,024	0,5	1,8	0,5	1,9
6,995	7,019	87	7,33	6,73	0,151	0,016	0,3	1,7	0,5	1,8
7,500	7,501	109	7,83	7,14	0,156	0,015	0,0	1,7	0,5	1,7
8,010	8,013	118	8,41	7,69	0,160	0,015	0,0	1,6	0,5	1,6
8,512	8,537	145	8,97	8,22	0,183	0,015	0,3	1,6	0,5	1,6
8,993	9,033	146	9,45	8,71	0,176	0,015	0,4	1,5	0,5	1,6
9,498	9,554	121	9,97	9,16	0,171	0,016	0,6	1,5	0,5	1,6
10,008	10,059	166	10,57	9,63	0,181	0,014	0,5	1,5	0,5	1,6
10,506	10,536	106	10,91	10,25	0,141	0,014	0,3	1,5	0,5	1,5
11,003	11,037	78	11,52	10,68	0,185	0,021	0,3	1,4	0,5	1,5
11,502	11,510	59	11,92	11,13	0,188	0,025	0,1	1,4	0,5	1,4
12,000	12,035	63	12,62	11,68	0,217	0,027	0,3	1,4	0,5	1,5
12,519	12,521	68	12,97	12,15	0,182	0,022	0,0	1,4	0,5	1,4
12,957	12,998	64	13,40	12,64	0,186	0,023	0,3	1,4	0,5	1,4
13,469	13,470	40	13,87	13,17	0,177	0,028	0,0	1,4	0,5	1,4
14,011	14,014	25	14,36	13,67	0,192	0,038	0,0	1,3	0,5	1,4
14,444	14,490	30	14,83	14,21	0,172	0,031	0,3	1,3	0,5	1,4
14,983	14,951	14	15,48	14,62	0,246	0,066	−0,2	1,3	0,5	1,4
15,509	15,585	17	15,92	15,38	0,135	0,033	0,5	1,3	0,5	1,4
15,990	16,038	16	16,24	15,77	0,130	0,032	0,3	1,3	0,5	1,4
16,475	16,479	10	16,69	16,22	0,149	0,047	0,0	1,3	0,5	1,3
17,066	17,140	12	17,50	16,75	0,227	0,065	0,4	1,3	0,5	1,4
17,515	17,682	13	17,91	17,44	0,153	0,042	1,0	1,3	0,5	1,6
18,001	18,020	8	18,32	17,82	0,157	0,056	0,1	1,3	0,5	1,3
18,430	18,549	13	18,82	18,25	0,173	0,048	0,6	1,3	0,5	1,5
18,849	18,980	4	19,16	18,80	0,149	0,075	0,7	1,3	0,5	1,5
19,415	19,430	3	19,67	19,23	0,223	0,129	0,1	1,3	0,5	1,4
The uncertainty due to non-homogenous flow within the measurement volume is assumed to be zero.										

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

L-۴-۴ عدم قطعیت ناشی از طبقه بندی وسایل سنجش از راه دور

حساسیت وسیله سنجش از راه دور ناشی از تغییر شرایط القاء شده در عدم قطعیت ناشی از حقیقتی است که شرایط هواشناسی در طی بکار گیری وسیله سنجش از راه دور ممکن است از شرایط حاضر در طی تست کالیبراسیون منحرف شود. عدم قطعیت استاندارد بوجود آمده از کلاس دقت بطوری که در L.2.7 تعیین شده است، تعداد کلاس دقت نهایی تقسیم بر $\sqrt{3}$ خواهد شد. کلاس دقت مطابق با L.2.7 معرف حداکثر خطای اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور است که ناشی از تاثیر شرایط محیطی در دوره ۱۰ دقیقه ای می باشد(بعد از تست کالیبراسیون مرتبط). این عدم قطعیت شامل عدم قطعیتهای ناشی از تغییر متغیرهای محیطی حول مقادیر میانگین چنانچه در هر سری عددی سرعت باد برای تست منحنی توان ارائه شده است. اگرچه، عدم قطعیت ناشی از این تغییر متغیرهای محیطی در تست منحنی توان یک موضوع آماری است و کاملا در عدم قطعیت گروه A سری عددی متوسطها منحنی توان منعکس می شود (گروه A عدم قطعیت منحنی توان) و بهتر است بنابراین برای گروه B عدم قطعیت اندازه گیری سرعت باد بحساب نیاید. گروه B عدم قطعیت اندازه گیری سرعت باد ناشی از تاثیر متغیرهای محیطی بر عملکرد وسیله سنجش از راه دور توصیه می شود فقط انحرافات مقادیر میانگین متغیرهای محیطی در طی تست کالیبراسیون و تست منحنی توان در نظر بگیرد و بهتر است برای هر سری سرعت باد محاسبه گردد مانند:

$$u_{VR,\mathrm{class},i} = v_i \sqrt{\sum_{j=1}^{M} \left(\frac{m_j}{100} \cdot \left| \bar{x}_{PC,j,i} - \bar{x}_{\mathrm{ver},j,i} \right| \right)^2} \qquad \text{(L.6)}$$

بطوریکه:

$u_{VR,\mathrm{class},i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه B اندازه گیری سرعت باد در سری i سرعت باد است ناشی از تاثیر متغیرهای محیطی بر عملکرد وسیله سنجش از راه دور.

M تعداد متغیرهای محیطی که مرتبط به دقت وسیله سنجش از راه دور بر طبق تست طبقه بندی است.

m_j شیب است که حساسیت اندازه گیری سرعت باد در وسیله سنجش از راه دور روی متغیر محیطی j که از ترکیب حداقل نتایج سه تست طبقه بندی بدست می آید.

$\bar{x}_{PC,j,i}$ مقدار میانگین متغیر محیطی j در سری سرعت باد i است مانند اینکه در طی تست منحنی توان آمده است.

$\bar{x}_{\mathrm{ver},j,i}$ مقدار میانگین متغیر محیطی j در سری سرعت باد i است مانند اینکه در طی تست کالیبراسیون وسیله سنجش از راه دور آمده است.

برای متغیرهای محیطی مرتبط که در هنگام تست منحنی توان اندازه گیری نشده است، حداکثر دامنه متغیر که در تست منحنی توان باید تخمین زده شود، و انحراف مقادیر متوسط متغیرهای محیطی در طی تست

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

منحنی توان و در طی تست کالیبراسیون در معادله بالا باید جایگزین شود با حداکثر انحراف مطلق متغیر مورد انتظار چنانچه در طی تست منحی توان از مقادیر میانگین در طی تست کالیبراسیون بر $\sqrt{3}$ تقسیم می گردد. اگرچه، مانند طبقه بندی بر اساس فرض پاسخ خطی به اغتشاشات در متغیرهای مستقل، که مقادیر حداکثر و حداقل متغیرهای مستقل در طی منحی توان یا تست کالیبراسیون از دامنه های بدست آمده در طی تستهای طبقه بندی حساسیت تجاوز نماید، مواظبت لازم بهتر است بشود که تفسیر نتایج طبقه بندی عدم قطعیت بخوبی صورت گیرد. اگر تست کالیبراسیون شامل همان داده باشد مانند تست منحنی توان، عدم قطعیت مطابق L.4.4 معادل با صفر می شود.

L-۴-۵ عدم قطعیت ناشی از جریان غیرهمگن درون مجموعه اندازه گیری

وسایل سنجش از راه دور باد شرایط باد معادل در مناطق درون حجم اندازه گیری که جدایش فضایی قابل ملاحظه دارد فرض می نمایند. این فرض در زمین پیچیده رعایت نمی شود. حتی در زمینی که مطابق این استاندارد پیچیده طبقه بندی نشده است، خطاهای قابل ملاحظه می تواند ناشی از جریان غیر همگن اتفاق افتد. عدم قطعیت مرتبط به فرض شرایط باد معادل در حجم پویشگر فضای جدا از هم باید ارزیابی گردد. توصیه می شود وسایل سنجش از راه دور در معرض جریانهای غیر یکنواخت که تاثیر بر بایاس اندازه گیری دارند با ارجاع به شکل بندی ویژه بشوند. برای نمونه، ترکیبی از مدل جریان مناسب و یک مدل باز تولید وسیله سنجش از راه دور برای الگوریتم سرعت باد افقی باید بکار رود تا ارزیابی عدم قطعیت ناشی از جریان غیر همگن ممکن شود. یک جایگزین ساده برای تخمین این عدم قطعیت بر بسیاری از سیستمهای استاتیک اجرا شده است بوسیله مشاهدات اثر داپلر با روش بکار رفته بوسیله بینگول و دیگران، مرجع [11]، با اضافات بوسیله آلبر و دیگران، مرجع [12]. استفاده کننده بهتر است از سازنده وسیله سنجش از راه دور مشاوره بگیرد برای بهترین روش برای ارزیابی عدم قطعیت برای این وسایل خاص در محل آزمون تست باشد.

L-۴-۶ عدم قطعیت ناشی از اثرات نصب

عدم قطعیت وسیله سنجش از راه دور ناشی از غیر ایده آل بودن ارتفاع نصب وسیله باید تخمین زده شود. عدم قطعیت بشدت به نوع ابزاری که بکار می رود وابسته است.

L-۴-۷ عدم قطعیت ناشی از تغییرات جریان در محل آزمون

همان عدم قطعیت مانند آنچه در دکل بکار برده شد باید برای این عدم قطعیت فرض گردد، یعنی یک عدم قطعیت استاندارد از ۲٪ موارد مولفه های افقی سرعت باد برای یک فاصله دامنه ۲ تا ۳ برابر قطر روتور و یک عدم قطعیت استاندارد ۳٪ برای یک فاصله با دامنه بالای ۳ برابر قطر روتور باشد. وقتی که یک RSD بکار رود، فاصله افقی بین مرکز پویشگر حجم وسیله سنجش از راه دور و موقعیت توربین در حال تست باید در نظر گرفته شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

L-۵ بازرسیهای اضافی

L-۵-۱ پایش عملکرد وسایل سنجش از راه دور در محل آزمون

یک دکل هواشناسی با حداقل ۴۰متر یا ارتفاع نوک کمتر تست توربین باد باید در تست منحنی توان برای پایش عملکرد وسیله سنجش از راه دور استفاده شود. برپایی دکل هواشناسی و وسیله سنجش از راه دور و آماده سازی داده ها باید با الزامات شرح داده شده در L.2.2 و L.2.3 بجز اینکه دکل هواشناسی فقط یک ارتفاع نسبتا کوتاه دارد و ممکن است به حسگرهای مرجع فقط در بالای آن مجهز شده باشد. آنالیز داده در L.5.1 و L.5.3 تشریح شده است.

L-۵-۲ شناسایی بد عمل کردن وسایل سنجش از راه دور

نمودار های سری های زمانی اندازه گیری باد(سرعت باد و جهت باد) بین وسیله سنجش از راه دور و حسگر دکل هواشناسی باید با هم مقایسه شوند. علاوه براین پراکندگی نمودارهای اندازه گیری بین این دو ابزار باید بازرسی گردند. دوره ها با داده های پرت یا دیگر موارد غیر عادی باید از منحنی توان حذف گردد.

L-۵-۳ ارزیابی پیوستگی بازرسی در عدم قطعیت سیستماتیک وسایل سنجش از راه دور

توجه نمایید که این زیر بخش اجرا نمی شود اگر کالیبراسیون RSD همزمان با اندازه گیری عملکرد توانی انجام شود. مقایسه و آنالیز اندازه گیری های وسیله سنجش از راه دور و حسگرهای مرجع در ارتفاع اندازه گیری مشترک برای تست کالیبراسیون بر طبق L.3 اجرا گردد و باید برای دکل در تست منحنی توان برای تمام دوره اندازه گیری منحنی توان تکرار گردد. انتظار میرود که مقدار مطلق میانگین انحراف اندازه گیری های وسیله سنجش از راه دور و حسگر مرجع هر سری سرعت باد در تست منحنی توان از جذر مجموع مربعات مولفه های عدم قطعیت ذیل تجاوز ننماید:

a) عدم قطعیت استاندارد گروه B از اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور منتج از تست کالیبراسیون که قبل از تست منحنی توان اجرا شده است باید بطور کامل طبق L.4.3 ارزیابی گردد.
b) تاثیرات سیستماتیک متغیرهای محیطی بر عملکرد وسیله سنجش از راه دور در تست منحنی توان چنانچه طبق معادله داده شده L.4.4 ارزیابی گردد، فقط انحرافهای میانگین متغیرهای محیطی تاثیر گذار بر تست منحنی توان و اندازه گیری کالیبراسیون قبل از تست منحنی توان بحساب آید.

اگر مقدار مطلق انحراف میانگین از اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور و حسگر مرجع از این استثنا در بعضی سری سرعت باد تجاوز نماید، اختلاف واقعی و انتظاری انحراف بعنوان یک عدم قطعیت اضافی گروه B مولفه اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور در تست منحنی توان در آن سری سرعت باد در نظر گرفته می

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

شود. برای اندازه گیری ارتفاعهای وسیله سنجش از راه دور که با دکل هواشناسی در محل آزمون تست منحنی توان قابل حصول نیست، این عدم قطعیت اضافه باید مطابق رابطه زیر محاسبه گردد:

$$u_{\text{added_systematic},j,i} = u_{\text{added_systematic},1,i} \frac{u_{\text{systematic},j,i}}{u_{\text{systematic},1,i}} \qquad \text{(L.7)}$$

بطوریکه:

$u_{\text{added_systematic},j,i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه B در ارتفاع اندازه گیری j اضافه شده است (دکل هواشناسی را نمی پوشاند).

$u_{\text{added_systematic},1,i}$ عدم قطعیت استاندارد گروه B در ارتفاع نوک دکل هواشناسی اضافه شده است.

$u_{\text{systematic},j,i}$ تجمیع دیگر عدم قطعیت گروه B وسیله سنجش از راه دور در ارتفاع j است.

$u_{\text{systematic},1,i}$ تجمیع دیگر عدم قطعیت گروه B وسیله سنجش از راه دور در ارتفاع نوک دکل هواشناسی است.

عدم قطعیت اضافی گروه B باید با دیگر عدم قطعیتهای گروه B از اندازه گیری های وسیله سنجش از راه دور در یک چهارم تجمیع گردد.

L-۵-۴ آزمون درجا وسایل سنجش از راه دور

بمنظور بررسی پیوستگی دقت اندازه گیری های وسیله سنجش از راه دور در پروسه اندازه گیری منحنی توان، دکل هواشناسی حاضر در محل آزمون تست ممکن است بکار گرفته شود تا یک تست در محل وسیله سنجش از راه دور مشابه با تست در محل مشخص شده در پیوست K اجرا گردد. اگر تست در محل اجرا شود، آن باید برای همه ارتفاعهای مشترک اندازه گیری دکل هواشناسی و وسیله سنجش از راه دور را بپوشاند. یک تست در محل موفق می تواند جایگزین یک تکرار تست کالیبراسیون بعد از تست منحنی توان بشود.

L-۶ دیگر نیازمندیهای خاص برای آزمون منحنی توان

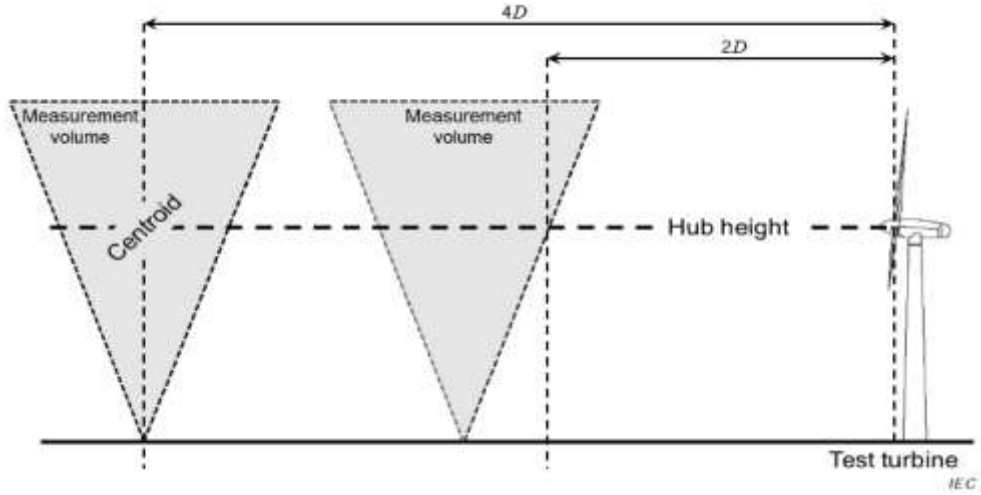
قبل از اینکه برای اندازه گیری منحنی توان وسیله سنجش از راه دور یکارگرفته شود، یک تست طبقه بندی مطابق بخش L.2 و یک تست کالیبراسیون مطابق L.3 باید انجام شود. از سوی دیگر، تست کالیبراسیون می تواند در طی تست منحنی توان اجرا گردد. اگر تست کالیبراسیون در محل آزمون تست منحنی توان انجام نشود، وسیله سنجش از راه دور باید حفظ گردد یا مستقیما به محلی که منحنی توان تست می شود حمل گردد که در پایان تست کالیبراسیون انجام شود. تکرار تست کالیبراسیون باید بعد از تست منحنی توان انجام شود. بعنوان جایگزین، تست در محل وسیله سنجش از راه دور در برابر دکل هواشناسی حاضر در محل آزمون

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

تست منحنی توان می تواند انجام شود. انحرافات روش تست کالیبراسیون یا انحرافاتی که در تست در محل پدید می آید باید مشابه انحرافات کالیبراسیون بادسنج فنجانی بر طبق این استاندارد بررسی گردد.

اگر یک ارتفاع اندازه گیری برای تست منحنی توان نیاز باشد که بین دو ارتفاع اندازه گیری موجود باشد که در تست کالیبراسیون یا طبقه بندی آن باشد، میان یابی خطی ارتفاعهای موجود باید انجام گردد. برون یابی خطی[۱] نتایج تست کالیبراسیون یا تست طبقه بندی توصیه نمی گردد انجام شود.

اگر اندازه گیریهایی برای محاسبه سرعت باد معادل روتور بیشتر از دامنه پوشش داده شده بوسیله تست کالیبراسیون یا تست طبقه بندی ارتفاع مورد نیاز باشد، یک عدم قطعیت بالاتر از عدم قطعیت مربوط به نزدیکترین ارتفاع پوشش داده شده بوسیله تست کالیبراسیون باید در نظر گرفته شود. در بعضی حالتها مفید است که کالیبراسیون محل آزمون در زمینی که کاملا پیچیده نیست انجام شود تا الزامات پیوست B را برآورده نماید. اگر وسیله سنجش از راه دور بهمراه اندازه گیری کالیبراسیون محل آزمون بکار رود، حجم اندازه گیری باید مرکزش در امتداد افقی درون ۱۰ متر یا ۱۰ ٪ از ارتفاع هاب دکل هواشناسی مرجع باشد، هر کدام بزرگتر است. جاییکه نیاز به کالیبراسیون محل آزمون نداریم، وسیله سنجش از راه دور ممکن است متناسب با الزامات 6.3.2 مستقر گردد. در هر دو حالت، وقتی که اندازه گیریهای سرعت باد ارتفاع هاب قابل حصولند، حداکثرهای حجم اندازه گیری در ارتفاع هاب نباید نزدیک به توربین در حال تست از 2D باشد، که D قطر روتور، و مرکز حجم اندازه گیری نباید بیشتر از 4D قطر روتور توربین در حال تست باشد. این مطلب در شکل L.7 شرح داده شده است، که یک هندسه اسکن شده مخروط وارونه برای شرح این موضوع بکار میرود: این راهنمایی محدود به این مطلب خاص نیست. حدود حداکثر حجم اندازه گیری در همه ارتفاعها برای تست منحنی توان باید خارج یک کره که مرکزش در ارتفاع هاب توربین باد با شعاعی برابر ۲ قطر روتور توربین مورد نظر باشد.



شکل L- ۷: مثالی از دامنه مجاز موقعیتهای حجم اندازه گیری.

[۱] انواع دیگر برون یابی را مجاز به انجام هستیم هر چند محافظه کارانه است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پویشگری که حجم اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور را در بر می گیرد یک سرعت شعاعی اندازه گیری دارد و باید از گردابه و اغتشاشات جریان ناشی ازتوربینهای باد و موانع چنانکه در پیوست A مشخص گردیده است آزاد باشد. برای روشن شدن مطلب به :

a) حجم اندازه گیری منطقه ای است که درون آن مشخصات جریان باد بتواند اندازه گیری سرعت باد را تحت تاثیر قرار دهد بوسیله اسکن هندسی مشخص می گردد، شکل بندی وسیله یا ترتیب پرتوهای چندگانه که درون حجم نفوذ نموده بمنظور حصول اندازه گیری پویش می شوند.

b) حجم پویشگر منطقه ای است که از آن یک اندازه گیری فیزیکی پیوسته تنها بدست آید، برای مثال، انحراف داپلر، شعاع یا خط سرعت دید، حاصل شود، چندتا از آن نوعا برای اندازه گیری سرعت باد نیاز است. پویشگر حجم مشخصه‌ای از اصل فیزیکی اثر متقابل وسیله سنجش از راه دور با اتمسفر است، ترجیحاً اندازه گیری سرعت باد از این اثر متقابل بدست می آید، که با جریان درون حجم اندازه گیریتعیین می شود.

وسیله خاص اندازه گیری بهتر است با راهنمایی سازنده وسیله سنجش از راه دور باشد. هدف این است که الزامات اندازه گیری در ارتفاع را برآورده نماید. مشابه شکل بندی وسیله سنجش از راه دور، پارامترهای عملکردی، نرم افزار- سخت افزار و عملکرد مرتبط به سخت افزار اجزاء باید در طی تست منحنی توان بکار رود مانند آنچه در طی طبقه بندی و طی تست کالیبراسیون بکار می رود. تغییرات اصلی نباید صورت گیردکه منحر به تحت تاثیر قرار دادن عملکرد بین کالیبراسیون، طبقه بندی و تست منحی توان بشود. اگر دکل هواشناسی موجود برای تست منحنی توان به ارتفاع هاب نرسد، فشار جو اندازه گیری شده با تجهیزات دکل هواشناسی باید برای ارتفاع هاب مطابق این استاندارد تنظیم شود. پیشتر، درجه حرارت هوا برای ارتفاع هاب تنظیم گردد که تغییرات جوی مطابق ایزو ISO 2533:1975 را رعایت نماید. یک روش جایگزین نصی حسگر درجه حرارت روی نلسل توربین باد است. حسگر باید حداقل در فاصله ۱ متری بالای ناسل و رو به باد با هر سیستم هوا دهی نصب گردد. تاثیرات ناسل روی حسگر باید بر طبق استاندارد IEC 61400-12-2 باشد. اندازه گیریهای ذیل برای تست منحنی توان مورد نیاز است، تست کالیبراسیون و برای تست طبقه بندی اگر وسیله سنجش از راه دور داده های متناسب نیاز داشته باشد که فیلتر کردن آنها برای اندازه گیری های دقیق بهتر است فراهم شود:

a) اندازه گیری بارش؛
b) اندازه گیری ارتفاع ابر؛
c) اندازه گیری سطح سرو صدای آکوستیک محیط.

نیاز برای چنین اندازه گیری ها باید در طی تست طبقه بندی ارزیابی شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

L-۷ گزارش دهی

L-۷-۱ گزارش دهی مشترک روی کالیبراسیون، طبقه بندی و پایش وسایل سنجش از راه دور در زمان بکارگیری

گزارشهای تست طبقه بندی، روی تست کالیبراسیون و روی پایش وسیله سنجش از راه دور در طی بکار گیری باید شامل مطالب ذیل باشد:

a) تمام جزئیات برپایی اندازه گیری مرجع و تمام جزئیات محل آزمون تست همانطور که برای تست منحنی توان مورد نیاز است.
b) تمام جزئیات برپایی وسیله سنجش از راه دور، شامل موقعیت دقیق وسیله سنجش از راه دور، موقعیت نسبت به دکل هواشناسی، جهت، نسخه عملیاتی نرم افزار برپایی، زوایای پیچ و چرخش و پایش اینها مشخص گردد.
c) شماره سریال و نوع وسیله سنجش از راه دور.
d) دوره اندازه گیری.
e) تشریح آنالیز داده ها شامل فیلتر نمودن.
f) معرفی خام داده ها مانند آنچه در بخش L.3 تشریح شده است.
g) آنالیز سری عددی اندازه گیری وسیله سنجش از راه دور در برابر اندازه گیری مرجع شامل جدول و نمودار مستند چنانچه در بخش L.3 و L.4.3 آمده است.
h) آنالیز عدم قطعیت اندازه گیریهای مرجع، که برطبق L.4.2 اجرا گردد.
i) شرایط محیطی در طی تست بقیه موضوعات بعد از فیلتر نمودن داده ها: حداقل همه متغیرها تاثیر معنادار روی دقت وسیله سنجش از راه دور در نتیجه تست طبقه بندی باید مستند گردد. هر یک از این متغیرها باید بصورت تابعی از سرعت باد در هر ارتفاع ارزیابی رسم گردد و باید متوسط سری عددی در برابر این سرعت باد با بکار گیری سریهای با پهنای متر برثانیه که با ضرب اعداد صحیح در آن بدست می آیند. علاوه بر این توزیع این متغیرها باید نشان داده شود. برای پایش عملکرد در تست منحنی توان، این مستندات به اندازه گیریهای در دسترس از شرایط محیطی محدود می گردد.
j) تمام تاییدیه های کالیبراسیون برای حسگرهای مرجع و سیستم جمع آوری داده ها ارائه گردد.

L-۷-۲ گزارش دهی اضافی بر روی طبقه بندی آزمون

گزارش در مورد تست طبقه بندی باید علاوه بر موارد داده شده در L.7.1 مطالب ذیل را نیز در بر بگیرد:

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

a) نمودارهای پراکنده ۱۰ دقیقه دادهها و متوسط‌های سری عددی مرتبط به آنالیز حساسیت برای تمام متغیرهای مورد نظر طبق L.2.4 باشد.
b) شرح و استدلال انتخاب متغیرهای محیطی در نظر گرفته شده ارائه گردد.
c) مستندات کامل فرآیند شناسایی و حذف متغیرهای محیطی بی اهمیت ارائه گردد.
d) مستندات کامل فرآیند تحقیق همبستگی درونی متغیرهای محیطی در نظر گرفته شود.
e) پارامترهای حساسیت، حساسیتها، ضرایب همبستگی، مقادیر میانگین و انحراف معیار تمام متغیرها برطبق بخش L.2 در نظر گرفته شود.
f) محدوده متغیرهای محیطی برای طبقه بندی در نظر گرفته شود.
g) انتخاب روش طبقه بندی.
h) نتایج طبقه بندی برای دامنه پارامتر ها در جدول L.3 مشخص گردیده است.

L-۷-۳ گزارش دهی اضافی بر روی کالیبراسیون

گزارش در مورد تست کالیبراسیون باید علاوه بر L.7.1 شامل موارد ذیل باشد:

a) عدم قطعیت استاندارد وسیله سنجش از راه دور حاصل تست کالیبراسیون طبق L.4.3 باشد.
b) اگر تست کالیبراسیون بعد از تست منحنی توان تکرار گردد : مقایسه نتایج تستهای کالیبراسیون و نتیجه مقایسه ارائه گردد.
c) گزارش اضافی روی پایش وسیله سنجش از راه دور در طی کاربرد ارائه گردد.
d) هر وضعیت غیر عادی اندازه گیری طبق L.5.2 ارائه گردد.
e) مقدار و مدت فیلتر کردن داده ها بر اساس بازبینی داده ها طبق L.5.2 ارائه گردد.
f) آنالیز عدم قطعیت طبق L.4.3 و L.4.4 ارائه شود.
g) نمایندگی سری عددی منطقی از ارزیابی طبق L.5.3 و عدم قطعیت اضافی ارائه گردد.
h) دوره تست و آموزش، نتایج و عواقب تست برپایی، باید اجرا شود.

L-۷-۴ گزارش دهی اضافی روی کاربرد

گزارش در مورد کاربرد باید در برگیرنده مطالب ذیل علاوه بر بخش L.7.1 باشد:
a) ارزیابی کامل عدم قطعیت اندازه گیری های وسیله سنجش از راه دور بر طبق بخش L.4 باشد.
b) اجرای اندازه گیری چگالی هوا و تشریح تصحیحات داده های مرتبط به ارتفاع هاب انجام شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست M : نرمال سازی داده های منحنی توان بر مبنای شدت آشفتگی

(آگاهی دهنده)

M-۱ کلیات

منحنی توان توربین باد تحت تاثیر شدت آشفتگی است. یک بخش معنادار اثر شدت آشفتگی تاثیر متوسط گیری خروجی توان اندازه گیری شده و سرعت باد اندازه گیری شده در مدت ۱۰ دقیقه است. این از غیر خطی بودن ارتباط بین توان خروجی و سرعت باد میتواند فهمیده شود : در دامنه سرعت باد که توان خروجی متناسب با سرعت باد افزایش می یابد (بخش خمیده منحنی توان)، ۱۰ دقیقه متوسط گیری یک افزایش توان خروجی با افزایش شدت آشفتگی را نشان می دهد. این نوعا در حالت سرعتهای پایین باد و در سرعتهای نزدیک به حداکثر توان است. در دامنه سرعت بادی که توان خروجی کمتر از سرعت باد متناسبش افزایش می یابد (منحنی توان قبل از سرعت نامی توربین)، ۱۰ دقیقه متوسط گیری به کاهش توان خروجی با افزایش شدت آشفتگی رهنمون می گردد. همانطور که گفته شد قبل از سرعت نامی باد است.

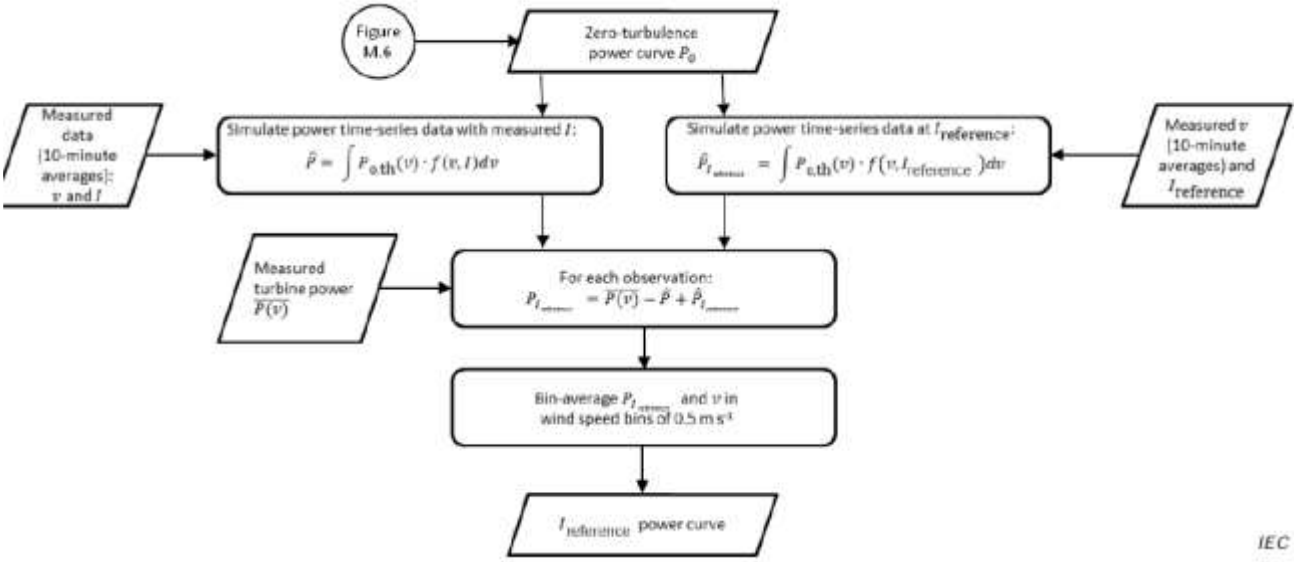
پیوست M فرآیند نرمال سازی داده های منحنی توان به یک شدت آشفتگی مرجع را تشریح می نماید (مراجع [13] و [14] را ببینید). شدت آشفتگی مرجع بصورت تابعی از سرعت باد می تواند مشخص گردد. فرآیند مورد نظر صرفا اثر ۱۰ دقیقه متوسط گیری داده های اندازه گیری است. دیگر تاثیرات آشفتگی روی توان خروجی توربین باد با این روش قابل بیان نیست. پیشنهاد می گردد تا فرآیند نرمال سازی آشفتگی اجرا گردد تا منحنی توان اندازه گیری شده در آشفتگی های متفاوت با همدیگر بیشتر قابل مقایسه باشند. فرآیند نرمال سازی آشفتگی اینجا با فرضهای ساده سازی ساخته می شود مانند آنچه توربین باد دنبال کرد، در هر لحظه، در بخشی از منحنی توان، که مستقل از شدت آشفتگی است، و فرض اینکه نوسانات سرعت باد مرتبط به تمام سطح روتور در مدت ۱۰ دقیقه به میزان کافی با شدت آشفتگی در ارتفاع هاب مشخص می گردد. با وجود ساده سازی فرضها، روش قادر به تنظیم تاثیر ۱۰ دقیقه متوسط گیری برای انواع متفاوت توربینهای باد، اندازه های متفاوت روتور و دامنه های متفاوت آشفتگی خواهد بود.

یک فرآیند برای تخمین عدم قطعیتها متصل به تاثیرات آشفتگی روی منحنی توان برای هر دو حالت نرمال سازی آشفتگی و برای حالت بدون نرمال آن در بخش M.5 اجرا گردیده است. محاسبه عدم قطعیت پیشنهادی همچنین تنها عدم قطعیتهای تست منحنی توان ناشی از تاثیرات آشفتگی را پوشش می دهد و به ۱۰ دقیقه متوسط گیری مرتبط نمی باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

M-۲ فرآیند نرمال سازی آشفتگی های جریان

پیشنهاد می گردد برای نرمال سازی آشفتگی در هر لحظه توربین باد که یک بخش منحنی توان را در بر می گیرد، اینجا بعنوان آشفتگی منحنی توان صفر مشخص می گردد. تعیین آشفتگی صفر منحنی توان در بخش



M.3 تشریح شده است. شکل M.1 فرآیند نرمال سازی آشفتگی را شرح می دهد.

شکل M- ۱ : فرآیند برای بدست آوردن یک منحنی توان برای یک شدت آشفتگی خاص ($I_{refrence}$).

بر اساس منحی توان آشفتگی صفر، و توزیع سرعت باد در ۱۰ دقیقه دوره زمانی، متوسط ۱۰ دقیقه ای توان خروجی با معادله زیر قابل بیان است :

$$\overline{P_{\mathrm{sim}}(v)} = \int_{v=0}^{\infty} P_{I=0}(v) \cdot f(v) dv \qquad \text{(M.1)}$$

بطوریکه:

$f(v)$ توزیع سرعت باد در مدت ۱۰ دقیقه است.

$P_{I=0}(v)$ منحنی توان با آشفتگی صفر است.

$P_{\mathrm{sim}}(v)$ ۱۰ دقیقه متوسط شبیه سازی شده توان خروجی اندازه گیری شده است.

معادله (M.1) باید به داده های منحنی توان اعمال شود (هر دوره ۱۰ دقیقه ای) تا دو خروجی توان شبیه سازی شده برای شرایط زیر بدست آید :

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۱) توزیع سرعت باد چنانچه در ۱۰ دقیقه در ارتفاع هاب اندازه گیری شود. توزیع گوسین (Gaussian) $f(v)$ فرض نماییم، که کاملا با متوسط سرعت باد و انحراف معیار سرعت باد در ۱۰ دقیقه دوره زمانی ذخیره گردیده است. در حالتی که توربین باد کنترل اکتیو داشته باشد، معادله (M.1) باید برای چگالی هوای نرمالیزه شده سرعت باد ارتفاع هاب ارزیابی گردد. انحراف معیار اعمال شده بصورت حاصل شدت آشفتگی اندازه گیری شده (انحراف معیار سرعت باد تقسیم بر متوسط سرعت باد در ارتفاع هاب است) و چگالی هوای نرمال شده متوسط سرعت باد در ارتفاع هاب است.

۲) یک توزیع سرعت باد گوسین با متوسط ۱۰ دقیقه ای سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاع هاب و یک انحراف معیار معادل با حاصل متوسط ۱۰ دقیقه سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاع هاب و شدت آشفتگی مرجع است. در حالتی که توربین باد با کنترل اکتیو است، معادله (M.1) باید برای چگالی هوای نرمالیزه شده سرعت باد ارتفاع هاب ارزیابی گردد.

توان خروجی اندازه گیری شده سپس به شدت آشفتگی مرجع با رابطه زیر نرمالیزه می شود :

$$\overline{P_{I_{\text{ref}}}(v)} = \overline{P(v)} - \overline{P_{\text{sim},I}(v)} + \overline{P_{\text{sim},I_{\text{ref}}}(v)} \qquad \text{(M.2)}$$

بطوریکه :

$\overline{P(v)}$ متوسط توان خروجی اندازه گیری شده در ۱۰ دقیقه است.

$\overline{P_{\text{sim},I}(v)}$ متوسط شبیه سازی شده توان خروجی اندازه گیری شده در ۱۰ دقیقه مطابق شرط بالا ۱: معادله (M.1) برای توزیع سرعت باد اندازه گیری شده(سرعت باد متوسط اندازه گیری شده و شدت آشفتگی اندازه گیری شده) اعمال گردد.

$\overline{P_{\text{sim},I_{\text{ref}}}(v)}$ متوسط شبیه سازی شده توان خروجی اندازه گیری شده در ۱۰ دقیقه مطابق شرط بالا ۲: معادله (M.2) برای توزیع سرعت باد متوسط اندازه گیری شده و برای شدت آشفتگی مرجع I_{ref} با فرض توزیع سرعت باد گوسین اجرا شود.

در حالتی که توربین باد نوع استالی باشد، معادله (M.2) باید با چگالی هوای و توان خروجی نرمال شده اندازه گیری اجرا گردد. داده های ضریب توان (چنانکه فقط برای نمایش گرافیکی اندازه گیری ها اعمال گردید) باید بر اساس توان خروجی نرمال شده به شدت آشفتگی مرجع محاسبه گردد. در حالت توربین باد استال تنظیم، داده های ضریب توان باید بر مبنای توان خروجی نرمال شده به شدت آشفتگی مرجع و بر اساس چگالی هوای مرجع (بر اساس چگالی هوای اندازه گیری شده نباشد) محاسبه گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

M-۳ تعیین منحنی توان با آشفتگی جریان صفر

یک منحنی توان با آشفتگی صفر بر مبنای سری متوسط گیری شده نرمالایز شده منحنی توان مطابق چگالی هوا، اما نرمالایز نشده بر طبق شدت آشفتگی و تصحیح نشده بر طبق برش باد محاسبه شود. یک منحنی توان با آشفتگی صفر با اولین رویکرد مانند ذیل تعیین می گردد (همچنین شکل M.2 و شکل M.3 ببینید):

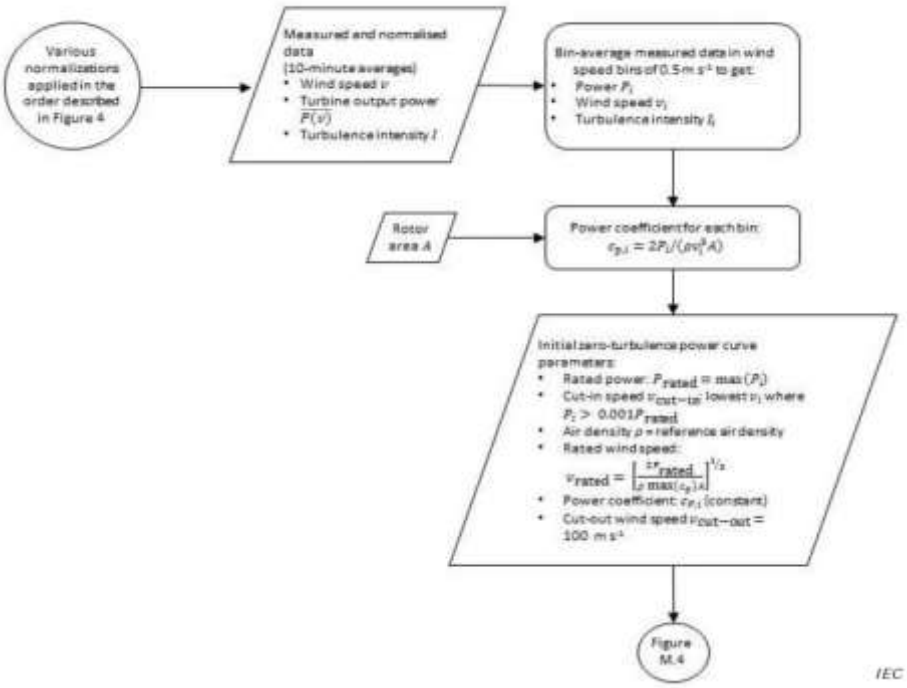
a) با فرض اینکه توان خروجی زیر سرعت باد شروع بکار توربین باد صفر است. رویکرد اول، سرعت باد شروع بکار توربین بر مبنای متوسط سرعت باد از سری سرعت باد است، بطوریکه توان خروجی اندازه گیری شده به حداقل ۰٫۱٪ توان نامی برسد.

b) با فرض اینکه ثابت ضریب توان c_P معادل با حداکثر ضریب توان $c_{P,max}$ بین سرعت باد شروع و سرعت باد نامی باشد. این فرض با یک افزایش توان خروجی معادل با توان سوم سرعت باد خواهد بود. منحنی توان با آشفتگی اولیه صفر باید با این فرض محاسبه گردد و بر اساس چگالی هوای مرجع بین سرعت باد شروع بکار و نامی در افزایشی نه بیشتر از ۰٫۱ متر بر ثانیه باشد. مانند اولین رویکرد، حداکثر ضریب توان $c_{P,max}$ باید با حداکثر ضریب توان از منحنی توان سری متوسط اندازه گیری شده تنظیم گردد.

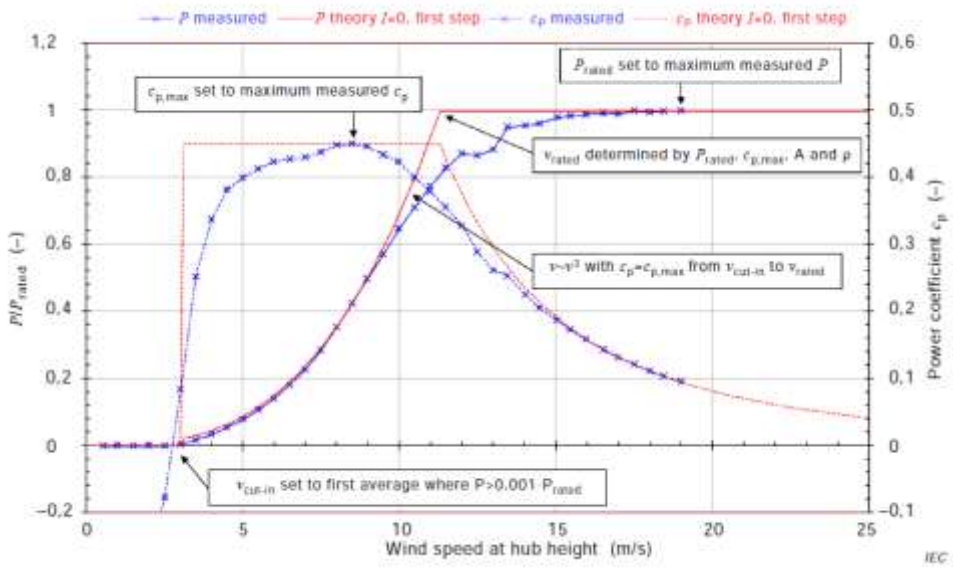
c) محاسبه سرعت باد نامی v_{rated} از توان نامی P_{rated} ، مساحت جاروب شده روتور A ، حداکثر ضریب توان $c_{P,max}$ و چگالی هوای مرجع ρ بوسیله : $v_{rated} = \left(\frac{2 \cdot P_{rated}}{\rho \cdot c_{P,max} \cdot A} \right)^{\frac{1}{3}}$.
مانند اولین رویکرد، توان نامی با بالاترین توان خروجی متوسط سری عددی از همه سری های سرعت باد تنظیم می گردد.

d) خروجی توان معادل با توان نامی برای سرعتهای باد بالاتر از سرعت باد نامی است. مانند اولین رویکرد، توان نامی به بالاترین خروجی توان متوسط گیری شده سری عددی از همه سری های سرعت باد منحنی توان اندازه گیری شده است. این خروجی توان نامی برای سرعت باد بسیار بالاتر از سرعتهای باد توقف توربین فرض می گردد (مانند ۱۰۰ متر بر ثانیه) برای تعیین منحنی توان با آشفتگی اولیه صفر می باشد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل M- ۲ : فرآیند بدست آوردن پارامترهای منحی توان آشفتگی اولیه صفر از داه های اندازه گیری شده است.



شکل M- ۳ : رویکرد اولیه برای منحنی توان آشفتگی صفر.

در مرحله بعد، توان نامی، سرعت باد شروع و حداکثر ضریب توان از منحنی توان با آشفتگی اولیه صفر باید تنظیم گردد زیرا این سه پارامتر بستگی به شدت آشفتگی دارند و زیرا مقادیر این پارامترها در مرحله قبل بجای مقادیر متناسب با شدت آشفتگی صفر اجرا شوند. متوسط سری شدت آشفتگی اندازه گیری شده بصورت

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

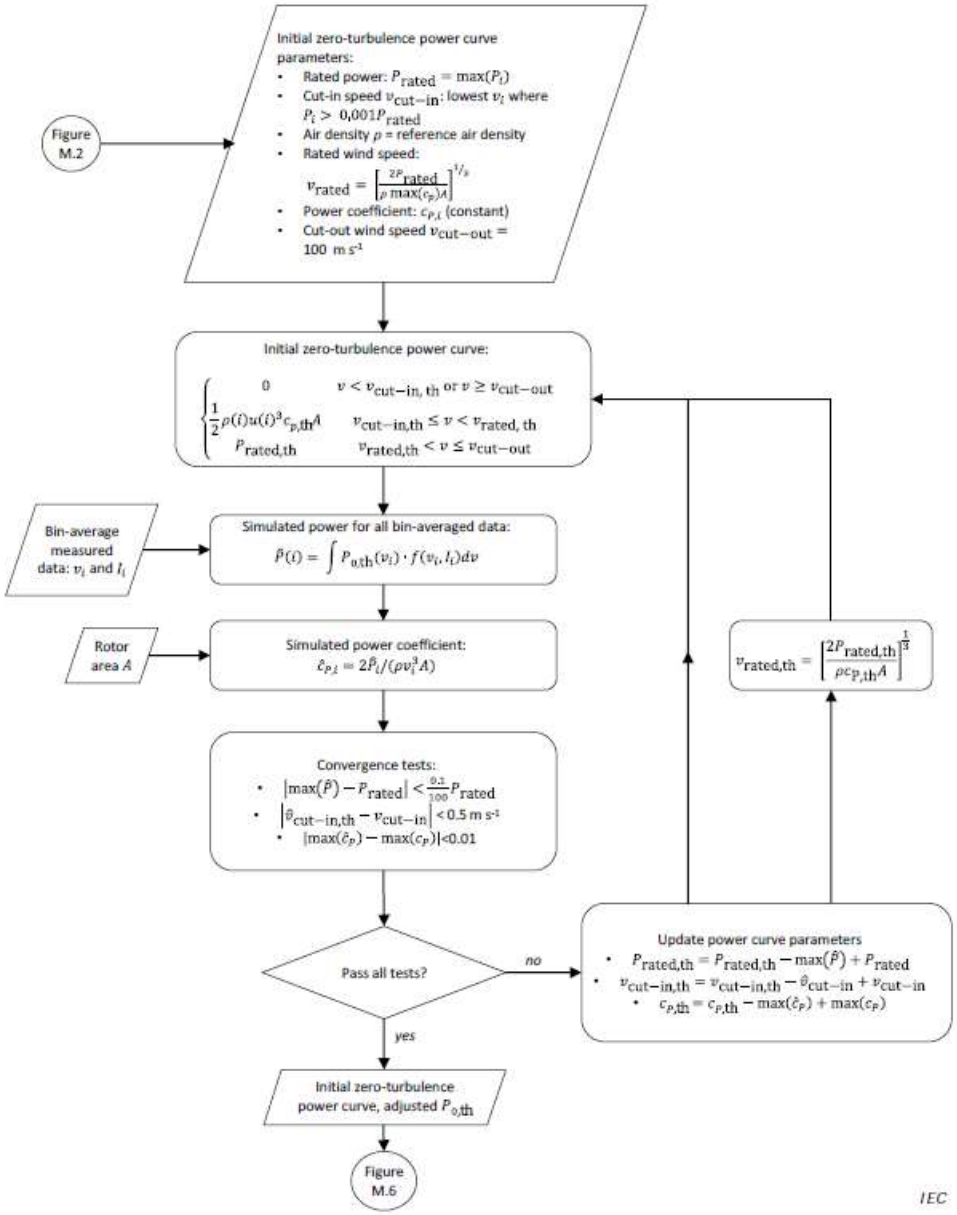
تابعی از سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاع هاب باید اجرا گردد. در حالت توربین باد با کنترل توان اکتیو، شدت آشفتگی باید متوسط سری بر طبق چگالی هوای سرعت باد نرمالایز شده در ارتفاع هاب باشد. منحنی توان با آشفتگی اولیه صفر باید روی سرعت باد توزیع شده گوسین طبق معادله (M.1) با متوسط سرعت باد معادل با متوسط سری منحنی توان اندازه گیری شده و با انحراف معیار محاسبه شده که حاصل سری متوسط گیری شده سرعت باد و متوسط گیری شده سری شدت آشفتگی است یکپارچه شوند. چگالی هوای سرعت باد نرمالایز شده در ارتفاع هاب باید در حالت کنترل اکتیو توان توربین باد بکار رود. با این فرآیند، منحنی توان برای هر سری سرعت باد برای شدت آشفتگی اندازه گیری شده شبیه سازی می گردد، مادامیکه منحنی توان شبیه سازی شده به همان سری سرعت باد دقیقا برمیگردد بجای اینکه به منحنی توان اندازه گیری شده برگردد. توان نامی، سرعت باد شروع بکار توربین و حداکثر ضریب توان برای منحنی توان با شدت آشفتگی اولیه صفر باید طبق مراتب ذیل تنظیم گردد (شکل M.4 را ببینید) :

a) توان نامی باید بصورتی تنظیم گردد که حداکثر توان از منحنی توان شبیه سازی شده متناسب با حداکثر توان متوسط گیری شده سری عددی از منحنی توان اندازه گیری شده باشد.
b) سرعت باد شروع بکار توربین باید بصورتی باید تنظیم گردد که سرعت باد شروع منحنی توان شبیه سازی شده متناسب با سرعت باد شروع بکار توربین در سری عددی متوسط گیری شده منحنی توان اندازه گیری شده باشد. سرعت باد شروع برای هر دو منحنی توانها از پایین ترین سری عددی سرعت باد که توان خروجی آن به حداقل ۰٫۱٪ توان نامی برسد.
c) حداکثر ضریب توان باید بصورتی تنظیم گردد که حداکثر ضریب توان منحنی توان شبیه سازی شده متناسب با حداکثر ضریب توان منحنی توان اندازه گیری شده باشد.

مراحل ذکر شده بالا هر سه باید در هر حلقه برنامه تکرار گردد، بر طبق ترتیب، تا اینکه هر سه پارامتر همگرا بصورت زیر گردند :

a) حداکثر توان از منحنی توان شبیه سازی شده از حداکثر توان سری متوسط گیری شده منحنی توان اندازه گیری شده بیش از ۰٫۱٪ منحرف نشود.
b) سرعت باد شروع بکار توربین باد در منحنی توان شبیه سازی شده از سرعت باد شروع بکار توربین در سری عددی متوسط گیری شده منحنی توان اندازه گیری شده بیش از ۰٫۵ متر بر ثانیه منحرف نشود.
c) حداکثر ضریب توان منحنی توان شبیه سازی شده از حداکثر ضریب توان منحنی توان اندازه گیری شده بیش از ۰٫۰۱ منحرف نگردد.

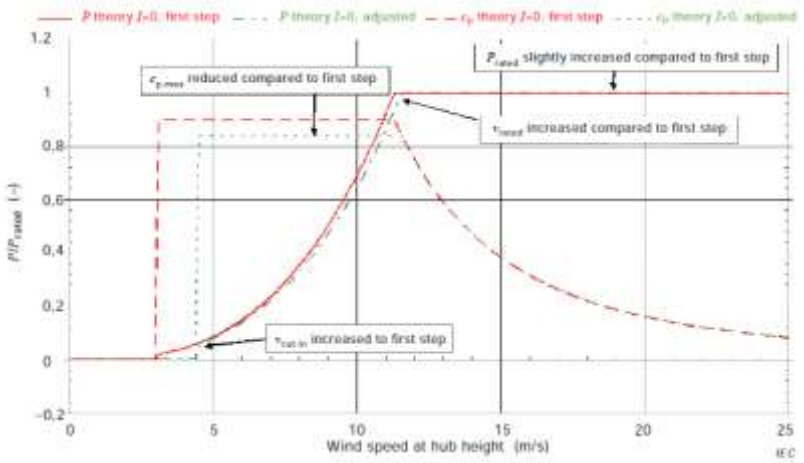
DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل M- ۴ : فرآیند نظری برای بدست آوردن منحنی توان با آشفتگی صفر از داده های اندازه گیری شده است.

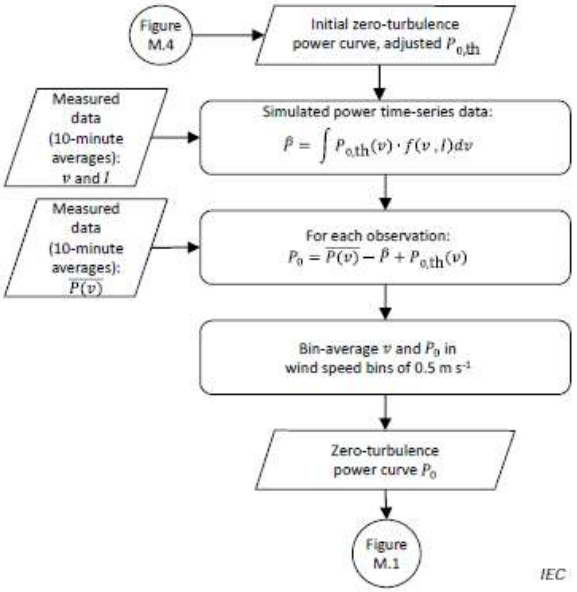
همگرایی کافی بعد از اولین یا دومین حلقه تکرار برنامه معمولا بدست می آید. شکل M.5 شرح اینکه چگونه تنظیمات تغییر طبیعی منحنی توان با آشفتگی اولیه صفر از مرحله اول صورت می گیرد را بیان می دارد.
منحنی توان با آشفتگی صفر باید سپس با بکار گیری فرآیند نرمال سازی داده ها شرح داده شده در بخش M.2 تعیین گردد، این کار با تنظیم منحنی توان با آشفتگی صفر به منحنی توان آشفتگی اولیه صفر در معادله (M.1) و با فرض اینکه شدت آشفتگی صفر است صورت می گیرد (سرعت باد در طی ۱۰ دقیقه ثابت است).

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل M- ۵ : مقایسه منحنی توان تنظیم شده با آشفتگی اولیه صفر (سبز) با اولین رویکرد (قرمز).

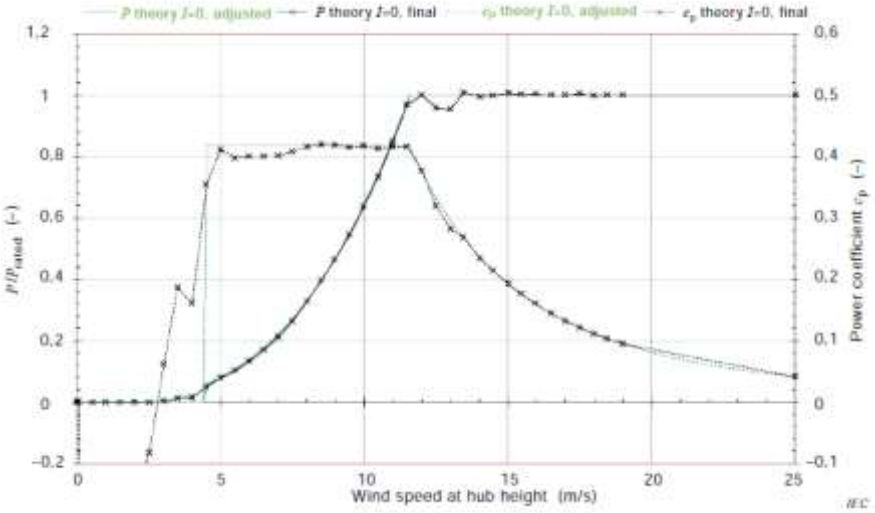
منحنی توان با آشفتگی نهایی صفر با متوسط سری بدست می آید بطوریکه داده های خام منحنی توان نرمال شده چنانچه در شکل M.6 آمده است. این منحنی توان سری متوسط گیری شده باید با خروجی توان از بالاترین سری سرعتهای باد بسیار بالاتر از سرعت باد توقف (۱۰۰ متر بر ثانیه) وقتی معادلات (M.1) و (M.2) برای آشفتگی نرمال شده است گسترش یابد.



شکل M- ۶ : فرآیند بدست آوردن منحنی توان با آشفتگی نهایی صفر از داده‌های اندازه گیری شده

شکل M.7 به تشریح منحنی توان با آشفتگی نهایی صفر که نوعا با منحنی توان با آشفتگی اولیه صفر مقایسه می گردد می پردازد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل M- ۷ : مقایسه منحنی توان آشفتگی اولیه صفر (سبز) با منحنی توان آشفتگی نهایی صفر (سیاه).

M-۴ ترتیب تصحیح برش باد و آشفتگی نرمال شده

دستور بکار گیری تصحیح برش باد یا تغییر جهت باد در ارتفاع (یا نرمال سازی شده) و نرمال سازی آشفتگی معمولا تاثیر اساسی روی منحنی توان ندارد. بسیار معمول است فقط نرمال سازی آشفتگی بر اساس سرعت باد در ارتفاع هاب انجام شود، چنانکه در بخش M.2 و M.3 تشریح شده است، اگرچه آن می تواند همچنین بر اساس سرعت باد که با برش باد یا تغییر جهت باد در ارتفاع تصحیح شده (یا نرمال شده) اجرا گردد وقتی که اندازه گیری سرعت باد روی کل ارتفاع روتور مجاز به بکار گیری برش باد تصحیح شده باشد. در انتها، توان نهایی باید بوسیله سری متوسط گیری شده توان خروجی با آشفتگی نرمالایز شده محاسبه گردد در مقابل سرعت باد با برش باد یا تغییر جهت باد در ارتفاع تصحیح شده یا نرمالایز شده محاسبه گردد. در حالتی که یک توربین باد با کنترل توان اکتیو باشد، سرعت باد با برش باد یا تغییر جهت باد در ارتفاع تصحیح شده یا نرمالایز شده باید بر طبق چگالی هوا پیش از متوسط گیری سری عددی نرمال گردد. در حالتی که یک توربین باد از نوع استالی داریم، توان خروجی برای آشفتگی نرمال شده مطابق بخش M.2 قبلا برای چگالی هوا تصحیح گردد.

M-۵ عدم قطعیت نرمال سازی آشفتگی و یا منحنی توان در اثر آشفتگی

نرمال سازی آشفتگی که در بخش M.2 و M.3 آمده است برای بررسی اثرات متوسط گیری ۱۰ دقیقه‌ای داده‌ها روی منحنی توان ارزیابی شده طراحی گردیده است. تاثیرات دیگری از شدت آشفتگی بر منحنی توان توربین باد وجود دارد، که می تواند، الآن، ناشی از تاثیر مستقیم شدت آشفتگی روی آیرودینامیک یا ناشی از ماهیت سه بعدی آشفتگی باشد. در انتها، نرمال سازی شدت آشفتگی قویاً میتواند یک رویکرد ساده برای

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

مشخص کردن تلاطمات سرعت باد باشد. بنابراین، یک عدم قطعیت از منحنی توان ارزیابی شده باقی می ماند ناشی از تاثیرات آشفتگی، حتی اگر فرآیند نرمال سازی آشفتگی اجرا گردد. نرمال سازی آشفتگی اغلب از نصف تاثیر مشاهده شده شدت آشفتگی روی اندازه گیری منحنی توان توربین باد حذف می گردد. بنابراین، مراحل زیر توصیه می شود بمنظور محاسبه عدم قطعیت نرمال سازی آشفتگی اجرا گردد:

a) منحنی توان سری نهایی متوسط گیری شده باید بر اساس توان خروجی نرمالایز شده دارای آشفتگی و بدون آشفتگی ارزیابی گردد.
b) انحراف این دو منحنی توان باید با فرض حداکثر عدم قطعیت منحنی توان نرمال شده با آشفتگی برای هر سری سرعت باد که حاصل از نرمال سازی آشفتگی است ارزیابی شود. عدم قطعیت استاندارد حاصل از نرمال سازی آشفتگی برای هر سری سرعت باد باید مانند انحراف منحنیهای توان با تقسیم بر $\sqrt{3}$ محاسبه گردد. عدم قطعیت استاندارد باید با دیگر عدم قطعیتهای اندازه گیری عملکرد توان برای تعیین عدم قطعیت استادارد کلی طبق پیوست D ترکیب گردد.

عدم قطعیت تاثیرات آشفتگی روی اندازه گیری باید همچنیندر نظر گرفته شود اگر نرمال سازی آشفتگی اجرا نگردد، عدم قطعیت بالاتر است، مانند منحنی توان که فقط برای وجود شرایط آشفتگی در طی تست عملکرد توان است و نه برای یک شدت آشفتگی مرجع که از شرایط تست منحرف گردد. بنابراین، اگر نرمال سازی آشفتگی اجرا نگردد، تخمین ذیل برای عدم قطعیت ناشی از تاثیرات آشفتگی پیشنهاد می گردد :

۱) هر دو منحنی توان نرمال شده با آشفتگی باید طبق بخش M.2 و M.3 فقط برای تعیین عدم قطعیت ارزیابی گردد. اول، منحنی توان باید به پایین ترین حد شدت آشفتگی نرمال گردد، ثانیاً، منحنی توان باید به بالاترین حد شدت آشفتگی نرمال گردد. اگر کاربر محدوده شدت آشفتگی در حدود بالا و پایین را مشخص نکرده باشد، شدت آشفتگی ۰,۰۵ و ۰,۱۵ برای این دو حد بالا و پایین در نظر گرفته می شود.
۲) انحراف از دو منحنی توان نرمال شده باید با فرض نصف حداکثر عدم قطعیت ناشی از تاثیرات آشفتگی باشد. عدم قطعیت استاندارد منتج از نرمال سازی آشفتگی برای هر سری سرعت باد باید مانند انحراف از دو منحنی توان نرمال شده با ضرب در فاکتور $2/\sqrt{3}$ محاسبه گردد. عدم قطعیت استاندارد باید با دیگر عدم قطعیتها برای تعیین عدم قطعیت کلی منحنی توان طبق پیوست D ترکیب گردد.
۳) اگر منحنی توان اندازه گیری شده با منحنی توان که به شدت آشفتگی (مانند یک منحنی توان تضمین شده) مشخص (امکان وابستگی به سرعت باد) برمیگردد باید مقایسه شود و اگر منحنی توان نرمال سازی نمی شود، دو حد نهایی شدت آشفتگی اجرا شده در مرحله ۱ بالا باید با سری شدت آشفتگی اندازه گیری متوسط شده و همچنین با شدت آشفتگی مرجع از منحنی توان برای محاسبه عدم قطعیت مقایسه شده جایگزین گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست N : فرآیند کالیبراسیون سنجشگرهای جهت باد در تونل باد

(آگاهی دهنده)

N-۱ کلیات

این فرآیند به تشریح روش کالیبراسیون وسایل سنجش جهت باد می پردازد که شامل جهت سنج پره ای و بادسنج صوتی هستند که بعنوان سنجشگران جهت باد عمل می نمایند.

N-۲ الزامات عمومی

الزامات عمومی برای کالیبراسیون حسگرهای جهت باد در زیر خلاصه شده اند :

a) کالیبراسیون حسگر جهت باد باید در تونل بادی اجرا گردد که برای کالیبراسیون حسگرهای جهت باد مناسب باشد.
b) مجری کالیبراسیون باید طبق ISO/IEC 17025 تاییدیه داشته باشد، لابراتوار، استاندارد لازم برای تست و کالیبراسیون را دارا باشد.
c) تمام ترانسدیوسرها و تجهیزات اندازه گیری مرتبط به کالیبراسیون حسگرهای جهت باد باید قابل رهگیری باشند. تاییدیه های کالیبراسیون و گزارشها باید تمام اطلاعات مرتبط قابل رهگیری را دارا باشند. تمام استاندارد های مرجع بکار گرفته شده در طی کالیبراسیون حسگرهای جهت باد باید در گزارش کالیبراسیون بیایند.
d) قبل از هر برنامه کالیبراسیون (وقتی که یک بسته از حسگرهای جهت باد کالیبره می گردند) کلیت برپایی تجربی کالیبراسیون بوسیله یک حسگر کنترل کیفی جهت باد مقایسه گردند.
e) اندازه گیری کیفیت جریان باید طبق بخش N.3 انجام شود.
f) تکرار پذیری کالیبراسیون باید طبق بخش N.3 بازبینی گردد.
g) کالیبراسیون حسگرهای جهت باد باید بوسیله ارزیابی عدم قطعیت کالیبراسیون حمایت شود، و بر طبق ISO/IEC Guide 98-3 انجام شود، عدم قطعیت اندازه گیری– قسمت ۳ : راهنمای عدم قطعیت اندازه گیری (GUM 1995).

N-۳ الزامات تونل باد

تونل باد باید الزامات بخش F.2 را رعایت نماید. حضور حسگر جهت باد نباید جهت جریان (میدان) را در تونل باد متاثر سازد. حضور حسگر جهت باد در مدت کالیبراسیون ممکن است باعث انحراف جریان گردد، نباید بحساب آید، چونکه این موضوع در هنگامی که در میدان آزاد کار می کند اتفاق نمی افتد. برای اینکه این اثر در حد قابل قبولی بماند، نسبت انسداد که نسبت سطح جلویی حسگر جهت باد با جهت دهی ظریف در امتداد

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

با جریان باضافه سیستم نصبش به مساحت مقطع کلی تست است- نباید بیش از صفر باشد، برای یک مقطع باز تست و برای یک مقطع بسته تست بیش از ۰٫۰۵ باشد. دقت خاص باید برای بررسی توازی جهت افقی جریان تونل باد کاملا با خط مرکز مقطع تست برقرار باشد. یکنواختی جریان باد میدان (چنانچه در پیوست F نیاز است) و جهت جریان قبل از کالیبراسیون حسگر جهت باد ارزیابی گردد. جهت جریان باید نسبت به خط مرکز مقطع تست در محل حسگر جهت باد با بکار گیری وسایل اندازه گیری حساسیت جهت جریان نظارت گردد (یعنی دو سوراخ مخروطی یای سنج). امتداد افقی جریان اندازه گیری شده باید موازی با خط مرکز سطح مقطع تست با ۰٫۲ درجه انحراف باشد، انحراف باید در ارزیابی داده ها در نظر گرفته شود. مجموعه باید یک آزمایش دقیق تکرار پذیری کالیبراسیون حسگر جهت باد را بگذراند. مجموعه تست باید حداقل یک جهت باد مرجع برای تست داشته باشد. حسگرهای جهت باد مرجع باید فقط برای بازرسی عملکرد این حسگر و دیگر حسگر جهت باد مجموعه کالیبراسیون بکار روند. بررسی تکرار پذیری باید شامل حداقل ۱۰ کالیبراسیون کنترل کیفی حسگر جهت باد باشد. تکرار پذیری تست نباید بطور پشت سرهم اجرا شود. بسیار بهتر است که کالیبراسیونها در دوره زمانی طولانی تری اجرا شود. این باعث می شود در طی تست شرایط جوی محدوده بیشتری داشته باشد. حداکثر اختلاف بین کالیبراسیونها دارای یک مرجع توصیه می شود کمتر از ۰٫۵ درجه در سرعت باد ۸ متر بر ثانیه باشد در محدوده اندازه گیری حسگر جهت باد بدون در نظر گرفتن باند شمال (جهت سنج پره ای) که معمولا شرایط تعریف نشده وجود دارد. این فرآیند باید بعد از هر تغییر یا کالیبراسیون مجدد مجموعه تکرا گردد. مجموعه باید از طریق آزمایشهای مهارتی ثابت نماید که نتایجش قابل مقایسه با دیگر مجموعه های کالیبراسیون بادسنج می باشد، مطابق با ISO 17043.

متوسط کالیبراسیون حسگر جهت باد مرجع مجموعه تست کالیبراسیون (چنانکه از تستهای تکرار پذیری در بالا تشریح شد) توصیه می شود با متوسط نتایج دیگر مجموعه های کالیبراسیون مطابق باشد و انحراف در حد جهت جریان معادل کمتر از ۱ درجه باشد، بدون در نظر گرفتن باند شمال، سرعت باد ۸ متر بر ثانیه است.

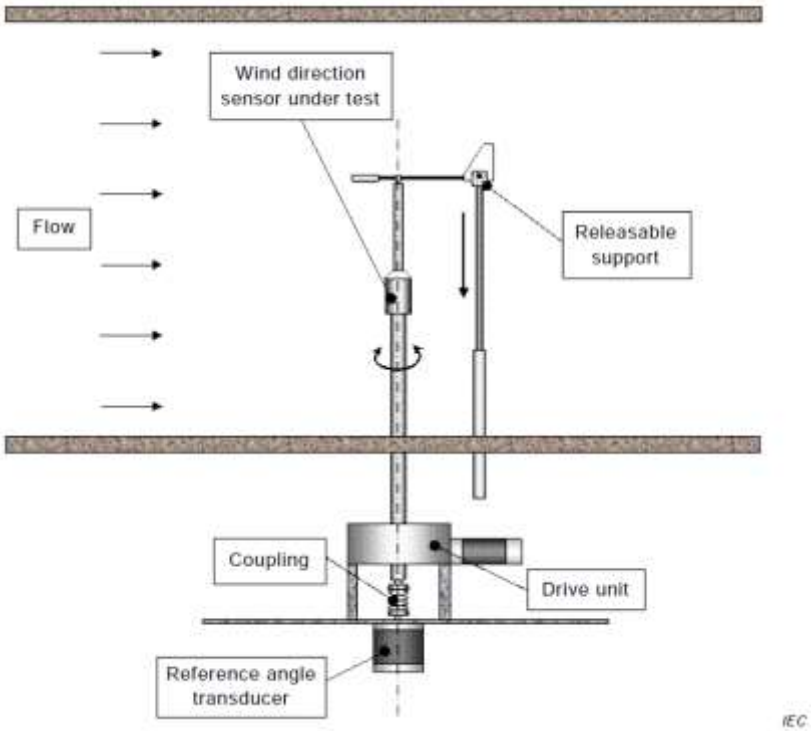
N-۴ الزامات اجرایی ابزارهای سنجش و کالیبراسیون

تجهیزات وضعیت دهی سیگنال خروجی مانند تجهیزات تقویت کننده و غیره باید جدا از حسگر جهت باد کالیبره گردند، بطوریکه کالیبراسیون حسگر جهت باد بتواند جدا از تجهیزات وضعیت دهنده سیگنال اجرا شود، و گزارش گردد. وضوح سیستم جمع آوری داده ها باید حداقل ۱۲ بایتی باشند. مراقبت همچنین باید از یک وسیله آنالوگ ولتاژ صورت گیرد تا اطمینان بدست آید که سیگنال کاملا بافر شده و از کاهش آن بوسیله امپدانس پایین تجهیزات واقع نگار (logging) جلوگیری نماید. اینچنین اثرات براحتی قابل مشاهده است چونکه سیگنالهای قابل قبول هنوز ثبت می گردند. سیستم اندازه گیری زاویه مرجع باید از نوع مستقیم باشد (کد کردن مستقیم زاویه، شمارنده افزایشی، اندازه گیری مقدار تناسبی مانند مغناطیس، روشهای القایی یا پتانسیومتری). محور سیستم اندازه گیری زاویه مرجع باید به محور مکانیزم چرخش حسگر جهت باد متصل

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

گردد تا بدین وسیله ارتباط فارغ از بک لش فراهم شود. اتصال دو جفت مکانیزم باید مقاوم در برابر پیچش و قابل انعطاف نسبت به خمش (انعطاف الاستیک) داشته باشد تا حداکثر امکان تاثیرات مونتاژ حذف گردد (تلرانسهای هم مرکزی و زوایای هر دو محور). محورهای دوران باید هم مرکز و هم محور دوران نمایند. پوسته سیستم اندازه گیری زاویه مرجع باید بطوری تثبیت گردد که از پشت لقی (backlash) رها باشد. حسگر اندازه گیری زاویه مرجع باید با دقت ممکن در تونل قرار گیرد، و نباید مزاحم حسگر جهت باد تحت تست باشد. حداکثر انحراف مجاز ۰,۱ درجه است. شکل N.1 یک نمونه از برپایی کالیبراسیون در تونل باد را نشان می دهد. در طی کالیبراسیون، حسگر جهت باد باید بالای یک لوله بمنظور حداقل رساندن انحراف جریان نصب گردد. این لوله باید به همان اندازه ای باشد که حسگر جهت باد در حالت سرویس دهی در محل آزمون روی آن نصب می گردد. مهم است که اطمینان حاصل شود که میدان جریان اطراف حسگر جهت باد تحت تاثیر تجهیزات اندازه گیری سرعت باد مرجع قرار نگیرد. متقابلاً وجود حسگر جهت باد نباید جهت جریان را بصورت قابل ملاحظه ای متاثر سازد. حسگر جهت باد باید در مقطع تست بصورت عمود به میدان حریان تونل باد با دقت تا حد امکان نصب گردد. حداکثر انحراف مجاز ۰٫۲ درجه است. باله حسگر باید نسبت به خط مبنا جهت شمال تنظیم شود و اینجا در موقعیتش نگه داشته شود با یک پایه محکم کننده تا فرآیند کالیبراسیون انجام شود. یک تنظیم دقیق حسگر جهت باد و بالک آن ممکن است با وسیله مناسبی مانند یک نگهدارنده مکانیکی فراهم شود که تنظیم آن با ابزار لیزری (یعنی سطح سنج لیزری ۲ بعدی) انجام گیرد. سیگنال خروجی حسگر جهت باد باید در طی کالیبراسیون امتحان گردد تا اطمینان لازم از اینکه در معرض نویز (نوفه) نمی باشد حاصل شود. تعیین سرعت جریان تونل باد باید طبق پیوست F باشد. مراقبت شدید باید در هنگام تنظیم حسگر جهت باد نسبت به خط مبنا (خط مرکز) تونل باد صورت گیرد. مشخص کننده مرجع مکانیکی (معمولا نشانه شمال) از حسگر جهت باد باید بطور مناسبی در ارتباط با خط مبنا از تونل باد تنظیم گردد. قابل قبول نیست که تنظیم زاویه ای حسگر جهت باد فقط با سیگنال خروجی الکتریکی اجرا گردد. این باعث تحریک به یک انحراف زاویه ای بین نشانه مرجع خارجی و مقدار مشخص شده از ترانسدیوسر زاویه ای داخلی حسگر جهت باد می گردد. شناسایی این انحراف بعداً مشکل خواهد بود چونکه تنظیم پره در دکل هواشناسی معمولا بوسیله نشانه شمال انجام می شود. تنظیم کامل زائیه ای برای کالیبراسیون باید با یک روش مطمئن اندازه گیری نشانه مرجع خارجی صورت گیرد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223



شکل N- ۱ : مثالی از برپایی کالیبراسیون حسگر جهت باد در یک تونل باد.

N-۵ فرآیند کالیبراسیون

عموماً حسگر جهت باد باید جهت دار بوسیله یک مکانیزم دوران دهنده (یعنی میز چرخشی) موقعیت دهی شود مادامیکه جهت و سرعت جریان بدون تغییر می مانند. سیگنال خروجی حسگر جهت باد سپس در ارتباط با سیستم اندازه گیری زاویه مرجع در مکانیزم دورانی ارزیابی گردد. فرآیند برای کالیبراسیون حسگرهای جهت باد بصورت زیر است :

حسگر جهت باد با یک نرخ ثابت یای یا گام به گام می چرخد. زاویه یای نشان (مقدار اندازه گیری شده حسگر جهت باد) همزمان با زاویه یای مرجع (مقدار اندازه گیری شده از مکانیزم چرخش) ضبط می گردد. نرخ چرخش انتخاب شده یک هماهنگی بین اندازه گیری دقیق و زمان اندازه گیری قابل انجام می باشد. نرخ پیشنهادی ۰٫۵ درجه بر ثانیه است. برای یک فرآیند گام به گام، مهم است یک افزایش ظریف کمتر از ۳ درجه بمنظور داشته باشیم تا داده ها به سمت خطا نروند. فرکانس نمونه گیری باید به اندازه کافی بالا باشد (معمولا ۱ هرتز یا سریع تر) تا بایاس نمونه گیری در حد قابل قبول باشد. درجه حرارت حسگر جهت باد نباید تغییر معنادار در طی کالیبراسیون داشته باشد برای اینکه عدم قطعیت اضافی ناشی از تاثیر درجه حرارت روی جهت باد به حداقل برسد. یک اجرا بیش از یک دقیقه باید اضافه کنیم تا انحراف در اثر درجه حرارت بین حسگر جهت باد و جریان در تونل باد قبل از اجرای کالیبراسیون حداقل شود. فرآیند کالیبراسیون باید شامل حداقل دو مسیر کامل یای باشد (شامل پرش شمال) برای هر فرآیند بالا همینطور است. هر مسیر باید جهت

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

های مخالف را بحساب آورد تا اثرات هیسترزیس در نظر گرفته شود. باید یک همپوشانی زاویه ای حداقل ۱۰ درجه ای در نقاط شروع و پایان داده ها برای هر بار مسیر طی کردن انجام شود. یک توالی ممکن در مسیر جهت عقربه ساعت از۱۰- درجه تا ۳۷۰ درجه صورت گیرد و یک اجرای خلاف عقربه ساعت از ۳۷۰ درجه تا ۱۰- درجه اجرا گردد. کالیبراسیون باید با سرعت ثابت (۸ ± ۱۰٪) متر بر ثانیه انجام گردد. متوسط سرعت باد توصیه نمی شود در طی کالیبراسیون حسگر جهت باد تغییر نماید.

N-۶ آنالیز داده ها

بردار باد افقی فقط باید در هنگام ارزیابی داده های حسگر جهت باد در نظر گرفته شود. ارزیابی سیگنال جهت باد باید برای جهت سنج پره ای و بادسنج صوتی، با بکارگیری روش متوسط گیری بردار چنانکه در ISO 16622 و ۷,۳ شرح داده شده است بکار گرفته شود[4]. همه داده های مرتبط باید مانند داده های سری متوسط گیری شده ارزیابی گردد.

داده های حسگر یای مرجع مانند یک مبنا بکار می روند تا فاصله سری عددی برای بقیه داده های پایه تعیین شود. پهنای سری عددی (قدر فاصله عددی در سری) باید حداقل یک وضوح ۱۰ درجه ای داشته باشد، از ۵ درجه شروع و ۱۰ تا ۱۰ تا اضافه شود: یعنی ۵، ۱۵، و ... ازیای نمودن وسیله بدست آید. پهنای سری عددی (قدر فاصله عددی در سری) باید به اندازه کافی کاهش یابد تا ارزیابی رفتار انواع مشخص حسگر (یعنی بادسنج صوتی) یا مشخصات حسگر بهتر مشخص گردد (یعنی بیش از اندازه غیر خطی باشد).

N-۷ آنالیز عدم قطعیت

مهم است که عدم قطعیت اندازه گیری جهت جریان افقی در ارتباط با حسگر جهت جریان را شناسایی نماییم. نیاز است که یک آنالیز عدم قطعیت طبق راهنمای ایزو ISO guide 98-3 انجام شود تا بیان عدم قطعیت در گروههای A و B را در بر بگیرد. مقدار خالص عدم قطعیت باید آماری ارزیابی شود و باید برای موارد ذیل بحساب آید :

a) عدم قطعیت اندازه گیری از سیستم اندازه گیری زاویه مرجع (ترانسدیوسر مرجع، کوپلینگ، نصب، ترانسدیوسر الکتریکی، مبدل دیجیتال، و غیره).
b) عدم قطعیت سنجش جهت جریان با حسگر جهت باد، شامل یک ارزیابی از انحراف جریان ناشی از حضور حسگر جهت باد.
c) عدم قطعیت نصب حسگر جهت باد (تنظیم نشانه شمال و بالک نسبت به خط مرکز تونل باد).
d) عدم قطعیت گروه A ناشی از پراکندگی عبارات کوتاه (سیگنال حسگر جهت باد ممکن است در دوره زمانی ناشی از ناپایداری شرایط جریان تغییر نماید).

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

e) عدم قطعیت گروه A ناشی از پراکندگی عبارات طولانی (پراکنده/ انحراف نتایج کالیبراسیون از حسگر جهت باد مرجع در بازه زمانی برای یک تعداد کالیبراسیونهاست).
f) عدم قطعیت هنگام اندازه گیری سیگنال الکتریکی حسگر جهت باد (ترانسدیوسر الکتریکی، مبدل دیجیتال، و غیره.).

N-۸ پیکربندی گزارش دهی

مستندات مرتبط باید اطلاعات فرآیند و مجموعه بکار رفته برای کالیبراسیون حسگر جهت باد (گزارش تست پویش کالیبراسیون) و کالیبراسیون حسگر جهت باد منفرداً را فراهم نماید (گزارش کالیبراسیون حسگر جهت باد). گزارش تست برای برپایی مجموعه کالیبراسیون اطلاعات ذیل را حداقل باید دارا باشد :

a) تشریح تونل باد (شامل مقطع تست، صاف کننده جریان، ترتیب قرار گیری دمنده).
b) شماتیک تونل باد که موقعیتهای حسگر جهت باد و لوله پیتوت در مقطع تست را نشان دهد.
c) اندازه گیری کیفیت جریان.
d) اندازه گیری آشفتگی.
e) تاییدیه تجهیزات.
f) فرآیند اندازه گیری.
g) فرآیند ارزیابی داده ها.
h) مستندات تکرار پذیری کالیبراسیون حسگر جهت باد.
i) آنالیز عدم قطعیت.
j) انحرافات از الزامات.

گزارش کالیبراسیون حسگر جهت باد باید حداقل اطلاعات ذیل را فرام نماید :

a) سازنده، نوع و شماره سریال تست حسگر جهت باد و شماره سریال بالک اگر آیتمی جداگانه قرار بگیرد.
b) قطر لوله سیستم نصب.
c) سازنده، نوع و شماره سریال مبدلهای خروجی، اگر گرفته شده (یعنی فرکانس به ولتاژ مبدل).
d) اسم و آدرس مشتری.
e) امضای فردی که کالیبراسیون را انجام می دهد، بررسی نتایج و انتشار گزارش را تایید مینماید.
f) نام تونل باد.
g) شرایط محیطی در طی کالیبراسیون (دمای هوا، فشار بارومتریک هوا و رطوبت)
h) پارامترهای رگرسیون (انحراف و شیب)، برای ارائه بصورت نموداری یا تابلویی از همه نقاط کالیبراسیون باشد.
i) اطلاعات پهنای باند مرده شمال اندازه گیری شده.
j) جدول باید موارد ذیل را شامل شود :

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

۱) تعداد سری عددی.
۲) متوسط جهت جریان مرجع برای هر سری عددی.
۳) متوسط سیگنال مشخص کننده جهت از حسگر جهت جریان برای هر سری عددی.
۴) عدم قطعیت برای هر سری عددی.
۵) سرعت جریان تونل باد برای هر سری عددی.

k) ارائه نموداری باید موارد زیر را شامل شود :

۱) سیگنال حسگر جهت باد بصورت تابعی از زاویه یای مرجع برای هر سری عددی مشخص گردد.
۲) نمودار پراکندگی سیگنال جهت باد در برابر زاویه یای مرجع اگر روش پویش بکار رود.
۳) نمودار پراکندگی سیگنال پسماند در برابر زاویه یای مرجع.
۴) پسماند هر سری عددی (انحراف بین سیگنال حسگر جهت باد مشخص و نتیجه تابع کالیبراسیون حسگر جهت باد).
۵) عدم قطعیت مشترک با هر نقطه اندازه گیری.

l) ارجاع به گزارش مجموعه کالیبراسیون مورد نظر و تاریخ اجرای کالیبراسیون.

m) عکس که نشان دهنده حسگر جهت باد و نصب آن در تونل باد باشد.

n) نرخ سرعت زاویه ای، داده های پهنای سری و تعداد نقاط داده بدست آمده برای هر سری عددی.

N-۹ مثالی از روش محاسبه عدم قطعیت

N-۹-۱ کلیات

تعیین عدم قطعیت اندازه گیری بر مبنای این فرض است که سه منبع اصلی که در زیر می آیند شامل کل عدم قطعیت می شوند :

a) تعیین جهت جریان در تونل باد (نوع B).
b) عدم قطعیت ناشی از حسگر جهت باد که باید کالیبره گردد (جهت سنج پره ای، بادسنج صوتی) (گروه B).
c) تکرار پذیری (گروه A).

در دنباله فقط عدم قطعیتهای گروه B مورد نظرند. برای تعیین کل عدم قطعیت، اجزاء گروه A نیز اضافه می شوند.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

N-۹-۲ عدم قطعیت اندازه گیری جهت جریان در تونل باد

N-۹-۲-۱- کلیات

برای ارزیابی عدم قطعیت اندازه گیری در تعیین جهت جریان، عدم قطعیتهای ذیل بطور مجزا باید در نظر گرفته شوند :

N-۹-۲-۲- مشارکت عدم قطعیت بوسیله عدم قطعیتها در تعیین مرکز خط هندسی α_{CL} (خط مرکز تونل باد)

فرض نمایید که خط مرکز با روشهای هندسی ساده مشخص گردد و دقت خطوط ۲ میلیمتر برای مقطع تست ۱۰۰ و ۲۰۰ متر باشند، عدم قطعیت خط مرکز هندسی ۰,۱ درجه خواهد بود. با قبول توزیه مربعی، مشارکت با کل عدم قطعیت استاندارد ۰,۰۶ درجه است.

N-۹-۲-۳- مشارکت عدم قطعیتها در تعیین جهت جریان α_{dir}

کالیبراسیون جهت جریان با یک پویشگر نوع لبه ای انجام می شود. یک تونل باد مناسب نشان می دهد که عملاً انحراف جهت جریان از خط مرکز هندسی تونل باد وجود ندارد. مشارکت عدم قطعیت در حدود ۰,۱ درجه بنظر میرسد. با قبول توزیع مربعی مشارکت به کل عدم قطعیت استاندارد ۰,۰۶ درجه است.

N-۹-۲-۴- مشارکت عدم قطعیتها در کالیبراسیون حسگر یای مرجع α_{sensor}

زاویه مرجع با بکار بردن حسگر یای الکترونیک مشخص می گردد. مشارکت عدم قطعیت منتج از کالیبراسیون حسگر ۰,۳۵ درجه فرض می گردد. با فرض اینکه یک توزیع مربعی داشته باشیم، مشارکت کل عدم قطعیت استاندارد ۰,۲ درجه است.

N-۹-۲-۵- مشارکت با تنظیم خط مرکز به نشانه شمال حسگر جهت باد α_{set}

با بکار گیری یک لیزر، حسگر (نشان گذاری شمال، بالک، خط مرکز تونل باد) می تواند تنظیم شود. با فرض اینکه امتداد نور لیزر یک حداکثر انحراف ۱ میلیمتر از خط مرکز دارد، مشارکت عدم قطعیت کمتر از ۰/۱ درجه است. مشارکت کل عدم قطعیت ۰/۱ درجه فرض می شود. با فرض اینکه یک توزیع مربعی داشته باشیم، مشارکت کل عدم قطعیت استاندارد ۰/۰۶ درجه است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

N-۹-۲-۶- مشارکت ناشی از تاثیر زاویه بین محورهای دوران $\alpha_{incl.1}$

وقتی که سازه مرجع را روی محرک دوران دهنده نصب نمودیم، خطاها در زاویه بین محورهای چرخش محرک دوران دهنده و واحد مرجع اتفاق می افتد (کج شدگی عضو کالیبره شده نسبت به کج شدگی وسایل کالیبره). محورهای دوران در یک راستا نیستند، اما یک کوپلینگ بین محورها مرجع و عضو کالیبره شده در حد مشخص برای اثر موقعیت صفحه های اندازه گیری زاویه جبران کننده است. خطای زاویه ای می تواند با بکار گیری معادله زیر محاسبه گردد :

$$\delta\alpha_{incl.1} = 0{,}125 \cdot (2 \cdot p / r)^2 \cdot \sin\alpha \qquad (N.1)$$

بطوریکه، طبق VDI/VDE 2648 ، مرجع [5] :

α زاویه اندازه گیری شده است (مقدار کالیبره شده).
ρ انحراف خارج از مرکز محوری است.
r شعاع موثر زاویه اندازه گیری است.

با یک انحراف فرضی در سطح ۱ میلیمتر و شعاع ۵۰ میلیمتر برای حسگر یای، در حالت حدی α =۰ منتج به یک عدم قطعیت ۰٫۰۱ درجه می شود.

N-۹-۲-۷- مشارکت عدم قطعیت بوسیله خارج از مرکزی بین حسگر جهت باد و واحد مرجع α_{Exz}

وقتی که حسگر جهت باد را روی محرک دوران دهنده نصب نمودیم، خارج از مرکز اتفاق می افتد، که به عدم همراستایی توازی بین محورهای دوران بر می گردد. محورهای دوران همراستا نمی شوند. خطای زاویه ای ممکن است ایجاد شود زیرا ناموازی بودن می تواند با رابطه زیر محاسبه گردد :

$$\delta\alpha_{Exz} = 2 \cdot (e / r) \cdot \sin(\alpha / 2) \qquad (N.2)$$

بطوریکه، طبق VDI/VDE 2648 ، مرجع [5] :

α زاویه اندازه گیری شده است (مقدار کالیبره شده).
e خارج از مرکز است.
R شعاع موثر زاویه اندازه گیری است.

بر اساس یک خارج از مرکز فرضی محور دوران به اندازه ۰٫۲ میلیمتر و شعاع ۵۰ میلیمتر، در حالت حدی α =۱۸۰ منتج به یک عدم قطعیت ۰٫۲ درجه می شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

N-۹-۳ عدم قطعیت مربوط به سنجشگر جهت باد اندازه گیری شده

N-۹-۳-۱- کلیات

حسگرهای جهت باد ممکن است سیگنالهای متفاوت داشته باشند. همچنین حسگرهای دیجیتالی وجود دارند که مستقیماً زاویه با افق را به درجه نشان می دهند. معمولا نمونه ای از حسگر جهت باد با یک سیگنال خروجی آنالوگ (جریان یا ولتاژ) یا یک حسگر پتانسیومتر داریم.

N-۹-۳-۲- مشارکت عدم قطعیت با سیگنال خروجی دیجیتال α Digital

نصف وضوح دیجیتال فرض می شود که به عدم قطعیت اندازه گیری تعلق دارد.

N-۹-۳-۳- مشارکت عدم قطعیت اندازه گیری با سیگنال خروجی آنالوگ α Analog

حسگرهای با یک سیگنال آنالوگ (نوعاً ۱۰ ولت یا۲۰ میلی آمپر) فرض می شوند که مشارکت با عدم قطعیت وضوح تبدیل آنالوگ به دیجیتال دارند. فرض نمایید سیستم اندازه گیری با وضوح ۱۲ بیت، مشارکت با عدم قطعیت °360/4 096=0,1 دارد. با فرض اینکه یک توزیع مربعی داشته باشیم، مشارکت کل عدم قطعیت استاندارد ۰٫۰۶ درجه است.

N-۹-۳-۴- مشارکت عدم قطعیت برای تعیین مقاومت اهمیک یک حسگرجهت باد α_Ω

مقاومت یک جهت سنج پره ای پتانسیومتری فقط با اندازه گیری معلوم ولتاژ به جریان قابل تعیین نمودن است. وقتی که مقاومت یک جهت سنج پره ای پتانسیومتری (نوعاً چندین کیلو اهم است) با اندازه گیری غیر مستقیم مقاومت از ولتاژ و جریان ثابت صورت می گیرد، عدم قطعیت های زیر اتفاق می افتد :

- درصد خطا شانت ابزار ۰٫۰۳٪ است.
- خطای جریان از طریق اندازه گیری سیستم ۰٫۰۲٪ است.
- وضوح تبدیل آنالوگ به دیجیتال ۰٫۰۲۵٪ است.
- عدم قطعیت اندازه گیری ۰٫۰۵٪ فرض می شود که تقریبا برابر ۰٫۱۶ درجه است.

با فرض اینکه یک توزیع مربعی داشته باشیم، مشارکت کل عدم قطعیت استاندارد ۰٫۱ درجه است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

N-۹-۳-۵- مشارکت عدم قطعیت نصب حسگر جهت باد α_{item}

حسگرهای جهت باد دارای یک قطر تقریبی ۵۰ میلیمتر هستند. نشانه شمال اغلب یک وسعت ۱ میلیمتر دارد و بنابراین نوعاً ۲ درجه است. برای تنظیم نشانه شمال با بکار گیری یک لیزر، با فرض اینکه امتداد نور لیزر یک عدم قطعیت ۰٫۲۵ میلیمتر دارد، مشارکت عدم قطعیت ۰٫۲۵ درجه است. با فرض اینکه یک توزیع مربعی داشته باشیم، مشارکت کل عدم قطعیت استاندارد ۰٫۱۵ درجه است.

N-۹-۳-۶- مشارکت عدم قطعیت در اثر عدم قرار گیری صحیح حسگر جهت باد

وقتی که حسگر جهت باد روی محرک دوران دهنده واحد مرجع نصب گردد، خطاهای زاویه ای در همراستا نمودن زاویه بین محورهای دوران بوجود می آید. خطای زاویه ۰٫۰۵ درجه فرض می شود.

N-۹-۴ نتیجه محاسبه عدم قطعیت

برای تعیین عدم قطعیت استاندارد کلی، عدم قطعیتهای مجزا ذیل در نظر گرفته شوند (جداول N.1 و N.2 را ببینید) :

جدول N-۱: مشارکت عدم قطعیت در کالیبراسیون حسگر جهت باد

Factor	Uncertainty category	Uncertainty distribution	Sensitivity coefficient	Measurement uncertainty	Standard deviation	Contribution to uncertainty	Unit
Reproducibility	A	1	1	-		0.1	°
Determination of geometrical centreline	B	2	1	0,1	$u_{CL} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot CL$	0,06	°
Determination of flow direction	B	2	1	0,1	$u_{DIR} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot DIR$	0,06	°
Reference yaw sensor	B	1	1	0,35	$u_{REF} = \frac{1}{2} \cdot REF$	0,2	°
Inclination angle	B	2	1	0,01	$u_{Incl.1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot INCL.1$	0,01	°
Eccentricity	B	2	1	0,2	$u_{EXZ} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot EXZ1$	0,12	°
1 = normal distribution; 2 = rectangular distribution							

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری استاندارد در تعیین جهت جریان بوسیله تجمیع یک چهارم صورت می شود :

$$u_{Flow_dir} = (u_{CL}{}^2 + u_{DIR}{}^2 + u_{REF}{}^2 + u_{Incl.1}{}^2 + u_{EXZ1}{}^2)^{0,5} \qquad (N.3)$$

$$u_{Flow_dir} = (0,06^2 + 0,06^2 + 0,2^2 + 0,01^2 + 0,12^2)^{0,5} = 0,25° \qquad (N.4)$$

جدول N-۲: مشارکت عدم قطعیت و کل عدم قطعیت استاندارد در کالیبراسیون حسگر جهت باد

Factor	Uncertainty category	Uncertainty distribution	Sensitivity coefficient	Measurement uncertainty	Standard deviation	Contribution to uncertainty	Unit
Digital output signal	B	2	1	half of digital resolution	$u_{Digital} = \frac{1}{2} \cdot LSB$	-	°
Or analogue output signal	B	2	1	0,1	$u_{Analog} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot ANALOG$	0,06	°
Or potentiometric sensor	B	1	1	0,2	$u_{\Omega} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \Omega$	0,12	°
Mounting of sensor	B	1	1	0,25	$u_{Mounting} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot Mounting$	0,15	°
Inclination angle	B	2	1	0,01	$u_{INCL.2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot INCL.2$	0,01	°
Eccentricity	B	2	1	0,2	$u_{EXZ2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot EXZ2$	0,12	°
1 = normal distribution; 2 = rectangular distribution							

کل عدم قطعیت استاندارد برای یک جهت سنج پره ای پتاسیومتری می شود :

$$u_{Total} = (u_{Flow_dir}{}^2 + u_{\Omega}{}^2 + u_{Mounting}{}^2 + u_{Incl.2}{}^2 + u_{Exz2}{}^2)^{0,5} \qquad (N.5)$$

$$u_{Total} = (0,25^2 + 0,12^2 + 0,15^2 + 0,01^2 + 0,12^2)^{0,5} = 0,34° \qquad (N.6)$$

مشارکت کل عدم قطعیت استاندارد بوسیله منابع عدم قطعیت منفرد منتج به عدم قطعیت استاندارد کل ۰٫۳۴ درجه برای k=1 برای یک جهت سنج پره ای پتانسیومتری می شود. معمولا این مقدار در فاکتور پوشش k=2 ضرب می گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست O : آزمون عملکرد توانی در آب و هوای سرد

(آگاهی دهنده)

O-۱ کلیات

تست عملکرد توانی در دمای زیر صفر درجه سانتیگراد ممکن است بدلایلی مطلوب باشد. برای مثال، دماهای پایین ممکن است اغلب اتفاق بیافتد یا یک نیاز به تعیین عملکرد توانی ناشی از یخ زدن پره ها بشود. پیوست O راهنمای آنچه مهم است که هنگام اجرای تست عملکرد توانی در آب و هوای سرد در نظر گرفته شود را فراهم وپیشنهاد می نماید.

O-۲ پیشنهادات

O-۲-۱ کلیات

پیشنهاد می گردد که حسگرهای اندازه گیری سرعت باد بکار رفته مشکوک به یخ زدگی نباشند، بادسنج فنجانی گرم کن دار باشند، بادسنج صوتی دارای گرم کن، و وسیله سنجش از راه دور مناسب با آشکار کننده یخ زدگی تا پایش قابل اعتناد از حضور یخ را نشان دهد و داده ها را بر این مبنا فیلتر نماید. تجهیزات تست عملکرد توانی برای آب و هوای سرد بهتر است شامل آشکار کننده یخ زدگی باشند. چندین راه برای آشکار نمودن یخ وجود دارد، شامل آشکار کننده یخ برای یخ زدگی جوی، ابزاز آشکار ساز یخ زدگی، مشاهده چشمی یا مشابه آن باشد. یخ زدگی در دمای پایین، یا حدود صفر درجه اتفاق می افتد. تست عملکرد توانی در دمای پایین تر از صفر درجه سانتیگراد بدون هیچ مشکلی قابل اجراست، باید روش و تجهیزات مناسب بکار برد. یخ زدگی سازه نصب و پایه ها می تواند تاثیر قابل ملاحظه ای روی شرایط جریان برای بادسنج بگذارد. مهم است که از چنین وضعیتی دوری گردد. ارزیابی یا پایش شرایط مورد نیاز است. پیشنهاد می گردد که سازه به اندازه کافی گرم گردد تا تجهیزات یخ نزند.

O-۲-۲ بادسنجهای صوتی

بادسنجهای صوتی برای تست عملکرد توانی مجاز می باشند که فرآیند کالیبراسیون و طبقه بندی طبق پیوست F و پیوست I و بخش J.4 آورده شده است. بادسنجهای صوتی که دارای قابلیت لازم برای گرم نمودن را دارند ممکن است بکار روند چون دارای قطعات متحرک نیستند و بنابراین مناسب شرایط سرد می باشند.

O-۲-۳ باد سنجهای فنجانی

محدوده درجه حرارت پایین برای بادسنج کلاس A ممکن است از صفر به ۳۰- درجه سانتیگراد در حالتی که گرم کن برای یاتاقان محورش فراهم شده است صورت گیرد. این امر نیاز برای آشکار ساز یخ را از بین نمی برد. گسترش دامنه دما پایین یا پایین تر برای کلاس می تواند اثرات اصطکاکی را در نظر بگیرد، ارزیابی و

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بحساب آورد. طبقه بندی بادسنج با دامنه دمای گسترش یاقته می تواند با گسترش دامنه دما در پیوست فراهم گردد که اندازه گیری ها از اصطکاک یاتاقان که تمامی دامنه تمامی دما را بپوشاند.

O-۳ عدم قطعیتها

دامنه درجه حرارت توسعه یافته : با کلاس S داده می شود.

O-۴ گزارش دهی

علاوه بر الزامات گزارش معمول، موارد احتیاط که پذیرفته شده است تا اطمینان دهد که تجهیزات بکار رفته برای اندازه گیری سرعت باد تحت تاثیر یخ قرار نمی گیرند و اثرات دمای پایین روی اندازه گیری سرعت باد بحساب خواهد آمد. فیلتر نمودن برای شرایط یخ زدگی توصیه می شود بطور مجزا مستند گردد. نتایج تست عملکرد توانی با و بدون گسترش دما در نظر گرفته شود و باید گزارش گردد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست P : فرآیند نرمال سازی برش باد

(آگاهی دهنده)

P-۱ کلیات

برای بدست آوردن منحنی توان یک آب و هوای خاص، تاثیر برش باد و تغییر جهت باد در ارتفاع بر منحنی توان باید با نرمال سازی سرعت باد در ارتفاع هاب با یک مرجع برش باد و تغییر جهت باد در ارتفاع از پیش تعیین شده محاسبه گردد. پروفایل برش باد و تغییر جهت باد در ارتفاع مرجع می تواند هر شکلی داشته باشد و ممکن است بصورت تابعی از سرعت باد در ارتفاع هاب تعیین شود. برش باد و تغییر جهت باد در ارتفاع مرجع می تواند برای لحظه ای انعکاس شرایط مورد نظر در محل آزمون تست منحنی توان را به ما بنمایاند اگر مقصود از تست منحنی توان بررسی منحنی توان تضمین شده باشد که برای همان شرایط مرجع مختص گردیده باشد. اگر اینگونه مشخص نگردیده باشد، یک پروفایل قانون توان برش باد با نمایه برش باد ۰٫۲ و یک تغییر جهت باد در ارتفاع صفر درجه از میان تمام دامنه ارتفاع روتور توربین باد باید اجرا گردد. نرمال سازی سرعت باد در ارتفاع هاب به مرجع برش باد و تغییر جهت باد در ارتفاع باید بوسیله سرعت باد معادل روتور اجرا گردد. انرژی جنبشی باد در محدوده ارتفاع روتور می شود:

$$P_{\text{kin}} = \int_A \frac{1}{2}\rho(V\cos(\varphi - \varphi_{\text{hub}}))^3 \, \mathrm{d}A \qquad \text{(P.1)}$$

و سرعت باد معادل روتور متناسب با انرژی جنبشی می شود:

$$V_{\text{eq}} = \left(\frac{1}{A}\int_i (V_i\cos(\varphi_i - \varphi_{\text{hub}}))^3 \, \mathrm{d}A_i\right)^{1/3} \qquad \text{(P.2)}$$

نسبت باد معادل روتور و سرعت باد در ارتفاع هاب شکل پروفایل برش باد و پروفایل تغییر جهت باد در ارتفاع را مشخص می نماید که مرتبط با انرژی جنبشی در دسترس در سرعت باد مشخص در ارتفاع هاب است. این نسبت فاکتور تصحیح برش باد نامیده می شود:

$$f_r = \frac{V_{\text{eq}}}{V_h} \qquad \text{(P.3)}$$

سرعت باد معادل روتور می تواند با ترکیبات متفاوت از سرعت باد در ارتفاع هاب و شرایط برش باد/تغییر جهت باد در ارتفاع بیان شود، مانند برش باد/ تغییر جهت در سرعت باد در ارتفاع هاب در دوره ۱۰ دقیقه ای

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

که تست منحنی توان بخوبی با برش باد مرجع/ تغییر جهت باد در اراتفاع و سرعت باد متناسب با ارتفاع هاب (اینجا سرعت باد نرمالایز شده نامیده می شود):

$$V_{eq} = f_{r,measured} \cdot V_{h,measured} = f_{r,reference} \cdot V_{h,normalised} \qquad (P.4)$$

در نتیجه، سرعت باد در ارتفاع هاب نرمالایز شده باید برای هر ۱۰ دقیقه دوره زمانی محاسبه گردد:

$$V_{h,normalised} = \frac{V_{eq}}{f_{r,reference}} \qquad (P.5)$$

یا اینچنین :

$$V_{h,normalised} = \frac{f_{r,measured}}{f_{r,reference}} \cdot V_{h,measured} \qquad (P.6)$$

برای یک فاکتور تصحیح برش باد مرجع از ۱ ($f_{r,reference} = 1$)، یعنی در حالت برش و تغییر جهت صفر، سرعت باد نرمالایز شده در ارتفاع هاب برابر سرعت باد معادل روتور است. عدم قطعیت اندازه گیری سرعت باد نرمالایز شده برش و تغیر جهت باد باید طبق بخش E.8, E.11.2.2 و E.11.2.3 ارزیابی گردد. با اشاره به سرعت باد معادل روتور ممکن است بیش از حد تخمین زده شود که انرژی باد موثر قابل استفاده برای توربینهای باد بزرگ در حالتی برش باد بالا وجود داشته باشد. بنابراین، یک روش عدم قطعیت از یک سوم تصحیح سرعت باد ارتفاع هاب باید اجرا گردد مانند عدم قطعیت اضافه بر عدم قطعیت اندازه گیری سرعت باد نرمالایز شده برای برش و تغییر جهت باشد. تحت شرایط مشخص، ارزیابی برش باد و تغییر جهت باد در ارتفاع بر روی دامنه ارتفاع روتور توربین بادی ممکن نباشد، چونکه اندازه گیری در این حالت در دسترس نباشد یا اینکه کالیبراسیون محل آزمون از سرعت باد و جهت باد در دیگر ارتفاع ها ارتفاع هاب امکان پذیر نیست. در این حالت، نبود برش باد/ تغییر جهت در ارزیابی منحنی توان باید طبق E.11.2.2.2 و E.11.2.3.2 برای شرایط برش باد / تغییر جهت مرجع مطلوب بحساب آید. علاوه بر این، یک روش عدم قطعیت، باید یک سوم تصحیح سرعت باد مجازی از شرایط مفروض برش باد/تغییر جهت در تست منحنی توان مرجع مطلوب شرایط برش باد/تغییر جهت در نظر گرفته شود.

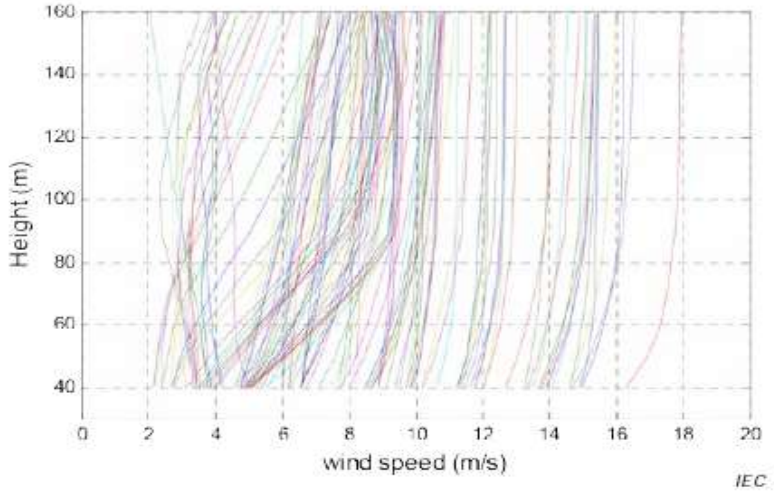
DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست Q : تبیین سرعت باد معادل روتور با در نظر گرفتن تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع

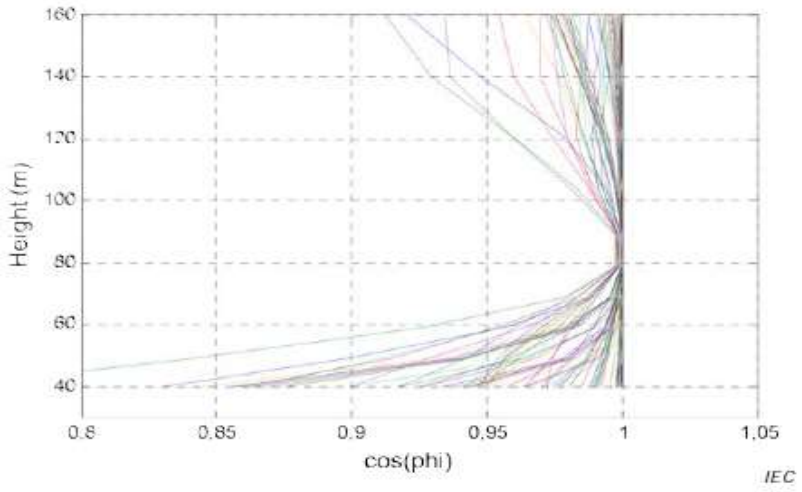
(آگاهی دهنده)

Q-۱ کلیات

سرعت باد در ارتفاع هاب همیشه معرف باد بر روی کل روتور نیست. تغییرات بزرگ سرعت باد و جهت ممکن است در نتیجه پایداری جوی و یا تاثیر زمین باشد. شکل Q.1 پروفایل باد بوسیله LIDAR روی زمین تخت و همچنین کسینوس تغییر جهت باد نسبت به ارتفاع هاب فرضی را نشان می دهد. بنظر میرسد مولفه عمودی سرعت باد به روتور توربین باد در ارتفاع مشخص کمتر از سرعت باد در ارتفاع مشخص خواهد بود.



a) Lidar wind profiles



b) Cosine of wind direction variation angle relative to a height

شکل Q- ۱ : پروفایل باد اندازه گیری شده با لیدار بر روی زمیت تخت.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

بنابراین، بازده انرژی روتور توربین باد به پروفایل خاص برش باد و تغییر جهت باد بستگی دارد. بکار گیری منحنی توان بر اساس سرعت باد در ارتفاع هاب برش باد و تغییر جهت باد در ارتفاع را در نظر نمی گیرد. منحنی توان بدست آمده با سرعت باد معادل روتور به برش و تغییر جهت باد نسبت به منحی توان با سرعت باد در ارتفاع هاب بستگی کمتری دارد.

Q-۲ تبیین سرعت باد معادل روتور با در نظر گرفتن تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع

سرعت باد معادل روتور متناسب با انرژی جنبشی جریان عبوری از سطح جاروب شده روتور می باشد، که برش باد و تغییر جهت باد را در نظر گرفته است. برای حالتی که حداقل سه اندازه گیری در ارتفاع ها در دسترس است (۷،۲،۶ را ببینید) سرعت باد معادل روتور با رابطه زیر مشخص می گردد:

$$v_{eq} = \left(\sum_{i=1}^{n} (v_i \cos(\varphi_i))^3 \frac{A_i}{A} \right)^{1/3} \qquad (Q.1)$$

بطوریکه :

- n تعداد ارتفاعهای اندازه گیری در دسترس است ($n \geq 3$).
- v_i سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاع i است.
- ϕi اختلاف زاویه بین جهت باد در ارتفاع هاب و قسمت i است.
- A مساحت جاروب شده بوسیله روتور (یعنی πR^2) است.
- A_i مساحت قسمت i است، این قسمت سرعت باد v_i را معرفی می کند (به معادله (۶) از بخش ۹،۱،۳،۲مراجعه نمایید).

Q-۳ اندازه گیری تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع

سرعت باد معادل روتور چنانکه در معادله (Q.1) مشخص گردیده است متاثر از اختلاف اندازه گیری های جهت باد در ارتفاع های متفاوت نسبت به ارتفاع هاب می باشد. بمنظور فراهم نمودن اندازه گیری دقیق جهت‌های مختلف باد، مهم است که جهت باد در ارتفاعهای مختلف با همان حسگر اندازه گیری شود، یعنی یک وسیله سنجش از راه دور همه اندازه گیری را انجام دهد، یا همه را به حسگر دکل اندازه بگیریم.

Q-۴ ترکیب نرمال برش باد و تغییر جهت باد در امتداد ارتفاع

فرآیند تشریح شده در پیوست P ممکن است به مرجع اندازه گیری منحنی توان با حفظ شرایط برای برش باد و تغییر جهت باد در ارتفاع بر گردد. یکپارچه سازی پروفایلهای مرجع روی سطح روتور باید طبق معادله (Q.1) انجام شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

پیوست R : در نظر گرفتن عدم قطعیت با توجه به وجود چندین توربین باد

(آگاهی دهنده)

R-۱ کلیات

پیوست R عدم قطعیت نتایج تست چندین توربین را مورد بررسی قرار می دهد. وقتی که چندین توربین تست

می شوند، مقادیر مورد علاقه متوسط AEP است و نیز نوعا عدم قطعیت در متوسط مورد نظر است. متوسط AEP می تواند بسادگی از طریق متوسط AEP توربین بطور مجزا بدست آید. تعیین عدم قطعیت در متوسط AEP توربین سرراست نیست. در این موقعیت شرایط بحساب می آید، این استاندارد اطلاعات لازم برای چگونه عدم قطعیت تخمین زده شود فراهم می نماید. چارچوب ریاضی این رویکرد دقیقاً در IEC 61400-12-2:2013 پیوست I و J آمده است و اینجا تکرار نمی گردد. بصورت یک مقدمه مبحث کوتاهی از این مشکل تکرار می گردد. یک رویکرد در ترکیب عدم قطعیتها یک متوسط ساده از عدم قطعیتهای تست مجزا ارائه می شود. اگرچه، متوسط ساده مردود خواهد بود برای منفعت اصلی تستهای چندگانه یعنی کاهش عدم قطعیت ترکیبی تست را می دهد. رویکرد دوم محاسبه عدم قطعیت استاندارد از متوسط عدم قطعیتها می شود:

$$u_{AEP_{AVG}} = \frac{1}{L}\sqrt{\sum_{i=1}^{L} u_{AEP,i}^2} \qquad (R.1)$$

بطوریکه:

u_{AEPAVG} عدم قطعیت در متوسط AEP است[1].

$u_{AEP,i}$ عدم قطعیت AEP برای توربین i است.

L تعداد توربینهای تحت تست است.

معادله (R.1) با این فرض است که استقلال کامل برای نتایج تست توربین مجزا داریم، بدین معنی که در نتایج تست مجزا از واحدهای دیگر هیچ همبستگی وجود ندارد. در نتیجه بکار گیری معادله (R.1) به یک تخمین پایین تر از عدم قطعیت در متوسط AEP منجر می شود. بنابراین، بمنظور ارزیابی دقیق یک روش عملی برای همبستگی اجزاء عدم قطعیت اجرا می شود. یک رویکرد پیشنهاد می گردد که بر اساس ایزو در مورد عدم قطعیت در اندازه گیری با تغییرات کوچکی برای تنظیم همبستگی ارائه می شود.

[1] توجه کنید که معادله اینجا تفاوت کمی با معادله IEC 61400-12-2 دارد. در این عدم قطعیت از یک متوسط و تقسیم بر 1/L یک تبدیل خطی است، جذر $1/L^2$ یا یک 1/L در جلوی جذر قرار می گیرد

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

جدول R-۱: لیست مولفه های عدم قطعیت مرتبط با هم

Measured parameter	Source	Correlation coefficient	Condition	Value range	Notes
Electric power	Current transformers	$\rho_{up1,m,n}$	Same instrument make Different instrument make	0,9 0,1	C_{Ts} of the same make tend to have similar cat B error values relative to the true value.
	Voltage transformers	$\rho_{up2,m,n}$	Same instrument make Different instrument make	0,9 0,1	V_{Ts} of the same make tend to have similar cat B error. Direct measurement of voltage eliminates this uncertainty.
	Power transducer or power measurement device	$\rho_{up3,m,n}$	Same instrument make Different instrument make	0,9 0,1	Power measurement devices of the same make tend to have similar cat B error.
	Dynamic power measurement	$\rho_{up4,m,n}$	Same instrument make Different instrument make	0,9 0,1	Power measurement devices of the same make tend to have similar cat B error.
	Data acquisition	$\rho_{udp,m,n}$	Same instrument make Different instrument make	0,9 0,1	Data acquisition devices of the same make tend to have similar cat B errors relative to the true value.
Wind speed	Anemometer calibration	$\rho_{uv1,m,n}$	Shared instrument (same met mast) Different masts, same make/model, same calibration lab Different masts, different make/model, same calibration lab Different masts, same make/model, different calibration labs Different masts, different make/model, different calibration labs	1,0 0,9 0,7 0,4 0,1	Calibration reference and method produces similar cat B error.
	PostCal / In-situ cal	$\rho_{uv2,m,n}$	Shared instrument (same met mast) Same instrument make Different instrument make	1,0 0,9 0,7	Anemometers of the same make tend to have similar cat B errors relative to the true value.
	Operational uncertainty	$\rho_{uv3,m,n}$	Shared Instrument (same masts) Same instrument make Different instrument make	1,0 0,9 0,8	Anemometers of the same make tend to have similar cat B errors relative to the true value.
	Mounting effects	$\rho_{uv4,m,n}$	Per specification in this standard	0,9	Similar mounting required for use of a given transfer function drives a correlated uncertainty.
	DAQ	$\rho_{uv5,m,n}$	Shared DAQ Different DAQ of same make, same design Different DAQ of different make, same design Different DAQ of same make, different design Different DAQ of different make, different design	1,0 0,9 0,7 0,5 0,2	DAQ will be correlated the more similar the setup is.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

Measured parameter	Source	Correlation coefficient	Condition	Value range	Notes
	Flow distortion due to terrain without site cal	$\rho_{uv6,m,n}$	Both turbines 2*D* to 3*D* (or 3*D* to 4*D*) from met mast One turbine 2*D* to 3*D* and one turbine 3*D* to 4*D*	0,9 0,6	Increased terrain complexity and variation in terrain amongst test units will tend to have dis-similar cat B errors on the wind speed relative to the true value, distance plays an important role.
	Flow distortion due to terrain amongst test units with site cal, anemometer calibration	$\rho_{uv7,m,n}$	Shared instrument (same met mast) Different masts, same make/model, same calibration lab Different masts, different make/model, same calibration lab Different masts, same make/model, different calibration labs Different masts, different make/model, different calibration labs	1,0 0,9 0,7 0,4 0,1	
	Flow distortion due to terrain amongst test units with site cal, operational uncertainty	$\rho_{uv7,m,n}$	Shared instruments (same masts) Different masts, same make/model) Different masts, different make/model	1,0 0,9 0,7	
	Data acquisition for site calibration	$\rho_{udv,m,n}$	Shared DAQ Different DAQ of same make, same design Different DAQ of different make, same design Different DAQ of same make, different design Different DAQ of different make, different design	1,0 0,9 0,7 0,5 0,2	Data acquisition devices of the same make tend to have similar cat B error.
Tempera-ture	Temperature sensor	$\rho_{ut1,m,n}$	Shared instruments(same met mast) Same instrument make Different instrument make	1,0 0,9 0,1	Temperature measurement devices of the same make tend to have similar cat B error.
	Radiation shielding	$\rho_{ut2,m,n}$	Shared instruments(same met mast) Same instrument make Different instrument make	1,0 0,9 0,6	Radiation shields tend to have the same method errors relative to the true value.
	Mounting effects	$\rho_{ut3,m,n}$	Shared instruments(same met mast) Same location and mounting Different location or mounting	1,0 0,9 0,1	
	Data acquisition	$\rho_{udt,m,n}$	Shared instruments(same met mast) Same instrument make Different instrument make	0,9 0,1	Data acquisition devices of the same make tend to have similar cat B error.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

Measured parameter	Source	Correlation coefficient	Condition	Value range	Notes
Pressure	Pressure sensor	$\rho_{ub1,m,n}$	Shared instrument (same met mast)	1,0	Pressure measurement devices of the same make tend to have similar cat B error.
			Same instrument make	0,9	
			Different instrument make	0,1	
	Mounting effects	$\rho_{ub2,m,n}$	Shared instrument (same met mast)	1,0	If using multiple instruments, mounting will likely be similar.
			Same instrument make	0,9	
			Different instrument make	0,1	
	Data acquisition	$\rho_{udb,m,n}$	Shared instrument (same met mast)	1,0	Data acquisition devices of the same make tend to have similar cat B error.
			Same instrument make	0,9	
			Different instrument make	0,1	
Method	Air density correction	$\rho_{um1,m,n}$	Same correction methodology for all turbines	1,0	
	Wind Conditions	$\rho_{um2,m,n}$	Same conditions for different turbines	1,0	
	Seasonal variation	$\rho_{um3,m,n}$	Testing occurs during the same time of year	1,0	
			Testing occurs during different time of year	0,6	
Statistical	Variance in electrical power	$\rho_{sp,m,n}$		0,0	Inherently random and independent.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

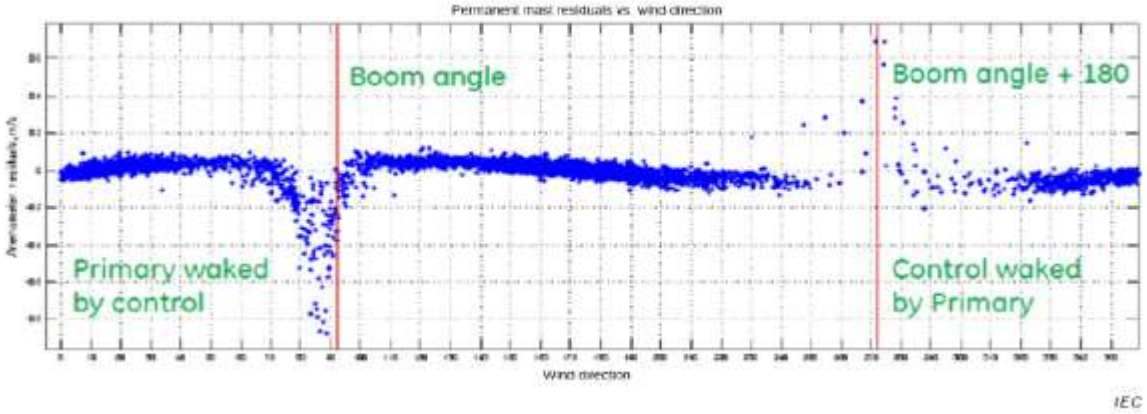
پیوست S : تصحیح انحراف جریان باد برای دکل خرپایی

(آگاهی دهنده)

پیوست S راهنما برای روش ممکن برای تعیین یک تصحیح انحراف جریان از بادسنجهای نصب کناری است. اینچنین تصحیحی قبلا در ۷,۲,۴ و ۹,۱,۲ بحث شده است. در این پیوست، یک رویکرد جزئی تر برای دکل خرپایی ارائه شده است. یک روش مشابه برای دیگر نوع های دکل ممکن است ارائه گردد اما باید تغییراتی نمای تا قابل ارائه باشد. دیگر روشها برای تعیین یک تصحیح ممکن است بکار رود اما باید مستند گردد تا برای ناظر سومی قابل بررسی باشد. شروع کار با یک رگرسیون خطی است که بین دو بادسنج نصب شده روی دو تیرک متفاوت در یک ارتفاع اندازه گیری صورت می گیرد. پسماندهای رگرسیون با ترسیم در برابر جهت باد از 0° تا 360° ارائه می شود. فیلترهای دیگر ممکن است برای اطمینان کیفیت داده ها اجرا گردد. این نمودارها طبیعتاً دو مطلب را بیان می نمایند:

a) برای اینکه انحرافهای بزرگ جریان جهات مشخص قابل مشاهده باشند، گردابه از سمت دکل، کابلهای نگهدارنده یا دیگر حسگرهاست مشخص می گردد.
b) یک تغییر سینوس موج با یک دوره 360° قابل مشاهده است.

یک مثال از این حالت در شکل S.1 آمده است. این مثال برای یک طرح پسا هدف برای بالای دکل رفتار سیگنال مورد انتظار را شرح می دهد. چنانکه در نمودار نشان داده شده است، ممکن است مفید باشد که نمودار گردابه های مورد انتظار ترسیم گردد چنانکه از هندسه برپایی تعیین می شود که به تفسیر صحیح ترسیمه کمک می نماید. احتیاط بشود که هنگامی که گردابه های زیادی یا بسیار قوی وجود دارند، از دکلها، پایه ها و دیگر حسگرها بطوریکه گردابه ها را تحت الشعاع قرار می دهند مثل موج سینوسی دوری شود، ما علاقه مند هستیم به آن و بنابر این روش غیر تجربی یا اجرای آن ناممکن نشود.



شکل S- ۱: مثالی از انحراف جریان دکل.

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

موج سینوسی انحراف جریان است از دکل و دیگر سخت افزارها در همان ارتفاع اندازه گیری که ما می خواهیم تصحیح کنیم. این با پیدا کردن مقادیر مناسب برای پارامترها در این معادله انجام می شود:

$$V_1 = m \cdot V_2 + B + A\sin(\mathrm{WD} + Centre) \qquad (S.1)$$

بطوریکه :

V_1 سرعت باد از حسگر اول است.
V_2 سرعت باد از حسگر دوم است.
m شیب خط رگرسیون بین دو سرعت است.
B فاصله از مبدا بین دو سرعت است.
A پارامتر مقیاس نمودن است.
WD جهت باد است.

Centre جهت بادی است که پسماند آن صفر است، در مثال بالا که زاویه تیرک ۹۲° و ۲۷۲° است، *Centre* = 182°. شکل G.3 ، شکل G.6 و شکل G.8 ممکن است در ارزیابی جهاتی که انحراف جریان در هر دو موقعیتهای حسگر برابرند مفید می باشد. راه حلهای دورن بخش اندازه گیری (یا نزدیکترین به) اغلب مفید هستند. A پارامتر مقیاس کردن است که نیاز است تا برای آن حل صورت گیرد. A را با حلقه تکرار پیدا مینماییم، با تنظیم اولیه از صفر و دادن نقاط دیگر داده ها (از داده های گردابه دور نگه داشته شود) ، ما می توانیم مقادیر فعلی را برای پسمانها تعیین نماییم. در نمودار بالا ما یک مقدار پسماند می بینیم از ۰٫۰۳ در ۱۵۰° و مقدار پسماند صفر در۱۸۲° است. حالا ما *Centre* = 182° تعیین می نماییم و با یک مقدار صفر برای سرعت اول در ۱۵۰° نیاز داریم. این مقدار A را از ۰٫۰۶ (توجه کنید که علامت منفی برای سینوس در یک زاویه ۱۵۰+۱۸۰= ۳۳۰°) تعیین می کند. بررسی بیشتر دیگر نقاط پیشنهاد می گردد تا اطمینان دهد که ما مقادیر درست را داریم و اینکه بر اساس داده های اتفاقی نیست. A منعکس کننده مقدار اثر مجموع انحراف جریان روی هر دو بادسنج است. بنابراین، هر بادسنج سرعت باد باید با نیم دامنه طبق معادلات (S.2) و (S.3) زیر تصحیح گردد :

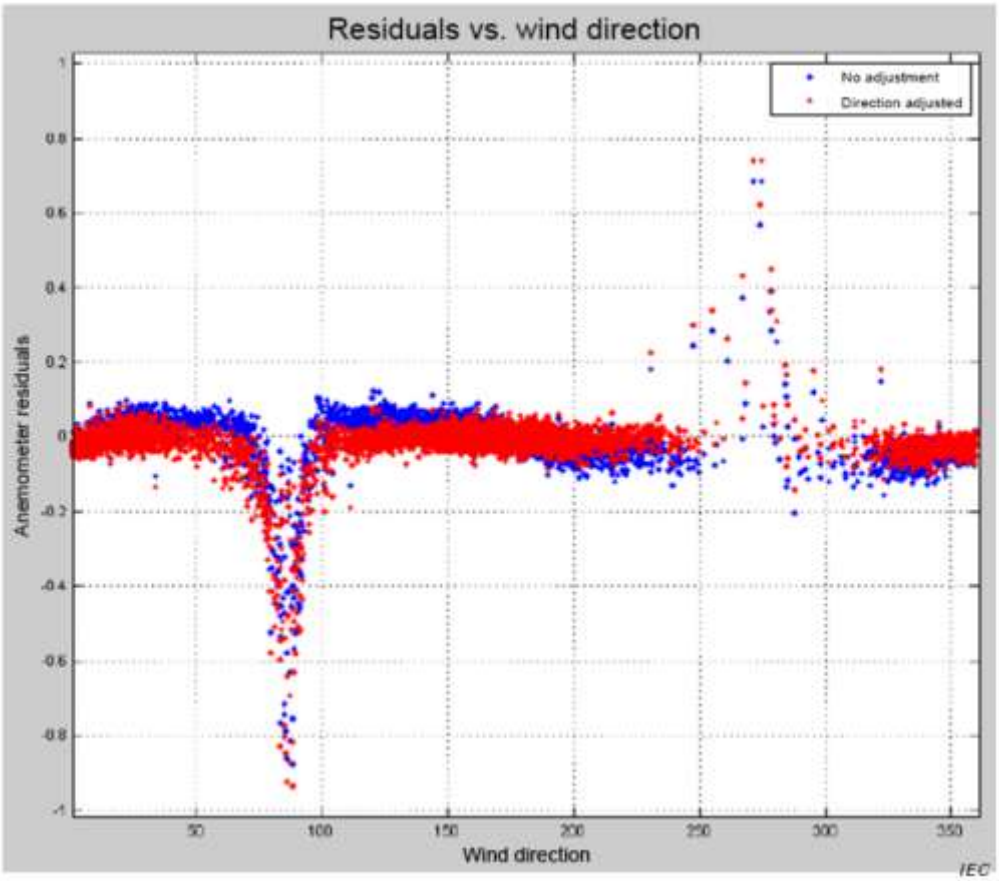
$$V_{1\mathrm{corr}} = V_1 + \frac{A}{2}\sin(\mathrm{WD} + Centre) \qquad (S.2)$$

$$V_{2\mathrm{corr}} = V_2 - \frac{A}{2}\sin(\mathrm{WD} + Centre) \qquad (S.3)$$

تصحیح انحراف جریان نشان داده شده در اینجا تصحیح انحراف جریان را صفر نمی کند اما فقط به جهتی که تاثیر انحراف جریان در دو بادسنج است نرمالایز می کند. جهتی که انحراف جریان صفر است ممکن است از

DOI: 10.30503/nripress.2020.223

نمودار سرعت جریان در بخش G.4 تخمین زده شود، و تصحیح نهایی جریان بر طبق آن تنظیم شود. سرعتهای باد تصحیح شده می تواند حالا برای محاسبه پسماندها بکار رود، که در همان نمودار برای بهبود وضعیت ترسیم گردد. پسماندهای سیگنال تصحیح شده به رنگ قرمز هستند که کمتر وابسته به جهت باد می باشند نسبت به اصلی ها رنگ آبی، در شکل S.2 نشان داده شده است.



شکل S- ۲: پسماندهای انحراف جریان در برابر جهت باد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.*223*

۱۱- مراجع

[1] IEC 61400-1:2005, *Wind turbines – Part 1: Design requirements*
IEC 61400-1:2005/AMD1:2010
IEC 61400-1:2005/AMD1:2010

[2] IEC 61400-2:2013, *Wind turbines – Part 2: Small wind turbines*

[3] IEC 61400-12-2, *Wind turbines – Part 12-2: Power performance of electricity-producing wind turbines based on nacelle anemometry*

[4] ISO 16622, *Meteorology – Sonic anemometers/thermometers – Acceptance test methods for mean wind measurements*

[5] VDI/VDE 2648, *Transducers and measuring systems for measurement of angle*

[6] JCGM 200:2012, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM),* 3rd edition

[7] ACCUWIND – *Methods for classification of cup anemometers,* J-Å DAHLBERG, T.F. PEDERSEN, P. BUSCHE, Risø-R-1555 (EN), May 2006

[8] ACCUWIND – *Classification of five cup anemometers according to IEC61400-12-1*, T.F. PEDERSEN, J-Å DAHLBERG, P. BUSCHE, Risø-R-1556 (EN), May 2006

[9] *Quantification of linear torque characteristics of cup anemometers with step responses*, T.F. PEDERSEN, Risø-I-3131 (EN), February 2011

[10] *Wind shear proportional errors in the horizontal wind speed send by focused range gated lidars*, LINDELOW et al., IOP conf. Series: Earth and Env. Sc., Vol. 1, 2008

[11] *Modelling conically scanning lidar error in complex terrain with WAsP engineering*, BINGÖL, F., MANN, J., and FOUSSEKIS, D., Riso-R-1664(EN), 2008

[12] *How to Gain Acceptance for Lidar Measurements,* ALBERS, A., JANSSEN, A.W., Mander, J., Proceedings of German Wind Energy Conference, 2010

[13] *Turbulence and Shear Normalisation of Wind Turbine Power Curve*, ALBERS, A, Proceedings of European Wind Energy Conference, 2010

[14] *Turbulence Normalisation of Wind Turbine Power Curve Measurements*, ALBERS, A., Report PP09037, Deutsche WindGuard