



پژوهشگاه نیرو

Niroo Research Institute

NRI-ER-907-PDTPN09-1-00-F

ارائه طرح توجیهی و مدل کسب و کار برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی پایلوت استان کرمان - شهر جیرفت



کارفرما : پژوهشگاه نیرو

DOI: 10.30503/nripress.2020.343

طرح اکتساب دانش فنی طراحی و ساخت الکتروموتورهای پربازده با کاربری عمومی

واحد مجری:

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



ارائه طرح توجیهی و مدل کسب و کار برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی پایلوت استان کرمان - شهر جیرفت

مدیر پروژه: حسین عزیزی مقدم

مجری: ایمان صادقی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۱

کد گزارش: NRI-ER-907-PDTPN09-1-00-F

DOI: 10.30503/nripress.2020.343

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی ماشین‌های الکتریکی دوار
ارائه طرح توجیهی و مدل کسب و کار برق رسانی به چاه‌های کشاورزی پایلوت استان کرمان-
شهر جیرفت / مدیر پروژه: حسین عزیزی مقدم. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۱.

۲۴۳ ص: مصور، نمودار، جدول

۱. صادقی، ایمان، مجری.



انتشارات پژوهشگاه نیرو
گروه ماشین‌های الکتریکی دوار

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دامن، پژوهشگاه نیرو، کد پستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۰۱-۹

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب حسین عزیزی مقدم متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب و همکاران به شرح زیر است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

همکاران :

۱. محمد حسین نادى زاده (همکار پاره وقت)
۲. محمد حسین اصغرى نژاد (همکار پاره وقت)
۳. محمد نظرى (همکار پاره وقت)

به نام خدا
پژوهشگاه نیرو

نام گزارش: ایجاد بانک داده و مطالعات پتانسیل سنجی جهت برق رسانی به چاه های
کشاورزی پایلوت استان کرمان - شهر جیرفت

کد گزارش - ویرایش: PDTPN09-1/TO-1 - ویرایش یکم

عنوان پروژه: ارائه طرح توجیهی و مدل کسب و کار برق رسانی به چاه های کشاورزی
پایلوت استان کرمان - شهر جیرفت

واحد مجری پروژه طرح اکتساب دانش فنی طراحی و ساخت الکتروموتورهای پربازده با
کاربری عمومی

مدیر واحد مجری طرح / پروژه: مجتبی گیلوا نژاد

مجری طرح / پروژه: ایمان صادقی

مدیر طرح / پروژه : حسین عزیزی مقدم

تاریخ: مهر ۱۴۰۰

پیشگفتار

بر اساس داده های شرکت مدیریت منابع آب ایران، در حال حاضر بیش از ۲۱۹۰۰۰ حلقه چاه کشاورزی دارای مجوز برداشت آب با متوسط دیمانده ۳۰ الی ۴۰ کیلو وات در بخش کشاورزی شناسایی شده است. به منظور افزایش نرخ رشد برق رسانی به چاه های کشاورزی، شورای عالی اقتصاد مصوبه شماره ۱۵۷۱۵۶۱۰ (موضوع بند ق تبصره ۲ قانون بودجه سال ۱۳۹۳ کل کشور و با استناد ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت پذیر و ارتقاء نظام مالی کشور) طرحی را با عنوان "طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی" به تصویب رسانده است. هدف از این طرح جذب و حمایت از سرمایه گذاران بخش خصوصی به منظور سرعت بخشیدن به اجرای طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی بوده است.

طبق موارد مندرج در متن مصوبه شورای عالی اقتصاد، بهره گیری از منابع تجدید پذیر و تولید پراکنده به عنوان یک راهکار فن آورانه جهت تامین برق مورد نیاز، بخصوص در نقاط دور دست از شبکه، پیشنهاد گردیده است. عدم نیاز به توسعه زود هنگام زیر ساخت های شبکه بخصوص در نقاط دور دست از فیدرهای توزیع، کاهش پیک بار در سطح توزیع، بازدهی اقتصادی بیشتر و افزایش ضریب نفوذ منابع تجدید پذیر در حوزه کشاورزی از جمله مزایای توسعه منابع تجدید پذیر و تولید پراکنده در این طرح می باشد. با توجه به وابستگی منابع تجدید پذیر به شرایط اقلیمی و همچنین تاثیر توزیع مکانی و پارامترهای مصرفی الکترو پمپ های کشاورزی بر روی شاخص های فنی و اقتصادی طرح، دستیابی به اهداف طرح و پیاده سازی بهترین سناریوی برق رسانی در هر منطقه مستلزم انجام مطالعات پتانسیل سنجی، امکان سنجی و برنامه ریزی بهینه می باشد. بر همین اساس در این پروژه با هدف ارائه سناریو های بهینه برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر یکی از راهکارهای خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال به شبکه اهداف اصلی به شرح دنبال گردیده است:

- ایجاد بانک جامع از داده های مورد نیاز جهت طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی و تهیه نقشه GIS با بهره گیری از قابلیت های نرم افزار ARC-GIS
- انجام مطالعات پتانسیل سنجی برای هر یک از راهکارهای خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه بر اساس روش های تصمیم گیری چند معیاره
- شناسایی و اولویت بندی ساختگاه های احداث واحد های تجدید پذیر و تولید پراکنده مختص طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی با فرمت پیکسل بندی شده در نرم افزار ARC-GIS
- هزینه یابی و مدلسازی اقتصادی طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی برای هر یک از راهکارهای خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه در قالب یک بسته سرمایه گذاری
- ارائه یک الگوریتم خوشه یابی بهینه مختص طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر یک روش ابتکاری
- مدلسازی عدم قطعیت موجود در داده های ورودی و در نظر گرفتن در آن در مرحله بهینه سازی
- پیشنهاد بسته های سرمایه گذاری برای سناریو های بهینه در سه دسته سناریو های محتمل، ریسک پذیر و ریسک گریز

این مراحل از پروژه با همکاری تیم کارشناسی متشکل از آقایان حسین عزیزی مقدم، سامان نادی زاده، محمد حسین اصغری نژاد کسیمی و محمد نظری انجام گردید. همچنین آقای دکتر سعید حسن زاده در ارزیابی نهایی گزارش تهیه شده به عنوان ناظر این پروژه همکاری نموده اند.

فهرست مطالب

۱- فصل اول: کلیات تحقیق و بررسی تمامی مدل‌های مورد استفاده در بحث انرژی‌های

تجدیدپذیر و مقایسه آنها ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مسئله ۲

۱-۳- پیشینه تحقیق ۳

۱-۴- سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور ۴

۵-۱- مروری بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ۵

۵-۱-۱ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ۵

۱-۵-۲ فرآیند تحلیل شبکه‌ای ۶

۵-۱-۳ روش آنتروپی ۷

۵-۱-۴ روش بهترین-بدترین ۷

۵-۱-۵ روش مجموع ساده وزنی ۸

۵-۱-۶ روش ویکور ۸

۵-۱-۷ روش تاپسیس ۹

۵-۱-۸ روش ترکیب خطی وزنی ۹

۵-۱-۹ روش فازی ۱۰

۵-۱-۱۰ روش الکره ۱۰

۱-۵-۱۱ روش OWA ۱۱

۱-۶- مقایسه مزایا و معایب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ۱۱

۲- فصل دوم: شناخت پایلوت و معرفی معیارهای مورد استفاده ۱۶

۲-۱- مقدمه ۱۷

۲-۲- پایلوت مورد مطالعه ۱۷

۲-۳- بررسی مشخصات چاه‌های کشاورزی ۱۸

۲-۴- معیارهای مورد استفاده ۲۰

۲-۴-۱ فاصله از غسل ۲۰

۲-۴-۲ فاصله از نقاط زمین لغزش ۲۰

۲-۴-۳ دمای سطح زمین ۲۱

۲-۴-۴ فاصله از شبکه راه ۲۲

۲-۴-۵ فاصله از چاه‌های کشاورزی ۲۳

۲-۴-۶ ارتفاع و شیب ۲۴

۲-۴-۷ تابش خالص ۲۵

۲-۴-۸ فاصله از شبکه آبراهه ۲۶

۲-۴-۹ ساعات آفتابی ۲۷

۲۸	۴-۱۰ فاصله از شبکه توزیع، فیدرها و ترانس‌ها.....
۲۹	۴-۱۱ سرعت باد.....
۳۱	۳- فصل سوم: مشخصات داده‌ها و روش‌شناسی.....
۳۲	۳-۱- مقدمه.....
۳۲	۳-۲- داده‌های مورد استفاده.....
۳۳	۳-۳- روش پژوهش.....
۳۴	۳-۳-۱ پیش‌پردازش.....
۳۵	۳-۳-۲ تحلیل‌های مکانی در GIS.....
۳۶	۳-۳-۳ آنترپی شانون.....
۳۷	۳-۳-۴ رتبه‌بندی گزینه‌های مناسب با استفاده از روش تاپسیس.....
۳۹	۴- فصل چهارم: پیاده‌سازی و نتایج.....
۴۰	۴-۱- مقدمه.....
۴۰	۴-۲- استخراج وزن معیارها.....
۴۲	۴-۳- استخراج مناطق دارای محدودیت.....
۴۴	۴-۴- استخراج نقشه معیارها.....
۴۷	۴-۵- منطقه‌بندی پابلوت.....
۴۸	۴-۶- تهیه نقشه پتانسیل انرژی خورشیدی.....
۶۴	۴-۷- تهیه نقشه پتانسیل انرژی بادی.....
۷۶	۴-۸- تهیه نقشه پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه.....
۸۰	۴-۹- تهیه نقشه پتانسیل تولید پراکنده.....
۸۵	۴-۱۰- نتیجه‌گیری.....
۸۸	۵- فصل پنجم: مدل‌سازی عدم قطعیت در داده‌های ورودی.....
۸۹	۵-۱- مقدمه.....
۹۰	۵-۲- مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها.....
۹۰	۵-۲-۱ روش‌های مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها.....
	۵-۲-۱-۱ روش‌های احتمالی ۹۰
۹۱	۵-۲-۱-۲ روش‌های خوشه‌بندی.....
۹۱	۵-۲-۱-۳ روش‌های مبتنی بر ریسک.....
۹۱	۵-۲-۲ انتخاب نوع مدل‌سازی.....
۹۲	۵-۲-۲-۱ مدل‌سازی ورودی‌ها.....
۹۳	۵-۲-۲-۲ تخصیص توابع توزیع احتمال.....
۹۴	۵-۲-۲-۳ نمونه برداری از تابع توزیع نرمال.....
۹۶	۵-۲-۲-۴ نمونه برداری از تابع توزیع بتا.....

۵-۲-۲-۵	نمونه برداری از تابع توزیع ویبول	۹۷
۵-۳	روال ایجاد نمونه ها	۹۸
۵-۴	کاهش سناریوها توسط خوشه بندی	۱۰۵
۵-۵	نتیجه گیری	۱۱۰
۶- فصل ششم: مطالعه و بررسی نرم افزار ها و ابزار محاسباتی مورد کاربرد در حل بهینه		
مسأله برق رسانی به چاه های کشاورزی		
۱۱۱		
۱-۶-۶	مقدمه	۱۱۲
۲-۶-۶	نرم افزار ها و الگوریتم های مورد کاربرد در حل مسأله	۱۱۲
۱-۲-۶	RETSscreen نرم افزار	۱۱۲
۲-۲-۶	LEAP نرم افزار	۱۱۴
۳-۲-۶	MESSAGE نرم افزار	۱۱۵
۴-۲-۶	HOMER نرم افزار	۱۱۷
۵-۲-۶	الگوریتم ژنتیک GA	۱۱۹
6-2-6	بهینه سازی ازدحام ذرات PSO	۱۲۱
۳-۶-۶	روشهای خوشه بندی	۱۲۲
۱-۳-۶	مقدمه	۱۲۲
۲-۳-۶	خوشه بندی تفکیکی	۱۲۳
۳-۳-۶	خوشه بندی سلسله مراتبی	۱۲۴
۴-۳-۶	خوشه بندی مبتنی بر تراکم	۱۲۵
۵-۳-۶	خوشه بندی مبتنی بر مدل	۱۲۶
۶-۳-۶	مقایسه خوشه بندی سخت و خوشه بندی نرم (فازی)	۱۲۶
۴-۶-۶	نتیجه گیری	۱۲۸
۷- فصل هفتم: مطالعات امکان سنجی و خوشه بندی بهینه اقتصادی در مقیاس پایلوت		
۱-۷-۷	مقدمه	۱۳۱
۲-۷-۷	خوشه بندی و سناریو سازی برق رسانی به چاه های کشاورزی پایلوت سیرجان	۱۳۳
۱-۲-۷	خوشه بندی چاه ها ی پایلوت سیرجان با استفاده از روش فازی	۱۳۵
۲-۲-۷	محاسبه طول خطوط	۱۳۹
۳-۲-۷	هزینه یابی اجرای طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی	۱۴۰
۱-۳-۲-۷	مدل هزینه ایی برق رسانی با استفاده از راهکار نیروگاه خورشیدی	۱۴۴
۲-۳-۲-۷	مدل هزینه ایی برق رسانی با استفاده از راهکار نیروگاه تولید پراکنده	۱۴۹
۳-۳-۲-۷	تحلیل نتایج محاسبات در حالت اتصال مستقیم به شبکه	۱۵۰
۳-۷-۷	خوشه بندی بهینه چاه های کشاورزی مبتنی بر یک روش ابتکاری	۱۵۴
۱-۳-۷	خوشه بندی اولیه مبتنی بر روش خوشه بندی DBSCAN	۱۵۹

۲-۳-۷	بررسی نتایج خوشه بندی تحت تاثیر مقادیر مختلف پارامترهای Minpoint و Epsilon و تعیین مقادیر بهینه
۱۶۱	این پارامترها.....
۱۶۷	۳-۳-۷ فصل نهم درون یابی برای تعیین تخمینی فاصله از فیدر.....
۱۶۸	۷-۴-۷ روش خوشه بندی بهینه ابتکاری.....
۱۷۲	۸- فصل هشتم: انجام محاسبات خوشه بندی بهینه برای پایلوت جیرفت.....
۱۷۳	۸-۱-۸ مقدمه.....
۱۷۴	۸-۲-۸ خوشه بندی اولیه چاه های کشاورزی پایلوت جیرفت بر اساس روش dbscan.....
۱۷۵	۸-۳-۸ سناریو برقرسانی به روش خورشیدی PV.....
۱۷۶	۱-۳-۸ نتایج الگوریتم خوشه بندی بهینه پیشنهادی.....
۱۷۸	۸-۳-۱-۸ سناریو برقرسانی به روش توربین بادی.....
۱۸۱	۸-۳-۲-۸ سناریو برق رسانی به روش تولید پراکنده DG.....
۱۸۵	۸-۳-۲-۸-۳ سناریو برقرسانی به روش اتصال به شبکه GC.....
۱۸۶	۸-۴-۸ خوشه یابی بهینه با در نظر گرفتن عدم قطعیت داده های ورودی.....
	۹- فصل نهم: ارائه بسته های سرمایه گذاری و تهیه RFP بر اساس نتایج مطالعات امکان
۱۹۰	سنجی.....
۱۹۱	۹-۱-۹ مقدمه.....
۱۹۱	۹-۲-۹ تهیه RFP در قالب بسته های سرمایه گذاری برای سناریو های بهینه.....
	۹-۳-۹ مشخصات بسته سرمایه گذاری ارائه شده پس از مطالعه و انجام محاسبات در پایلوت سیرجان
۱۹۴	با استفاده از روش فازی.....
۱۹۹	۹-۴-۹ مشخصات بسته های سرمایه گذاری مبتنی بر روش ابتکاری ارائه شده:.....
۱۹۹	۱-۴-۹ بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی با استفاده از راهکار خورشیدی برای پایلوت جیرفت.....
۲۰۰	۲-۴-۹ بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی با استفاده از راهکار بادی برای پایلوت جیرفت.....
۲۰۱	۳-۴-۹ بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی با استفاده از راهکار تولید پراکنده برای پایلوت جیرفت.....
۲۰۳	۴-۴-۹ بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی با استفاده از راهکار اتصال مستقیم به شبکه برای پایلوت جیرفت.....
۲۰۵	۱۰- فصل دهم: نتیجه گیری.....
۲۰۶	۱۰-۱-۱۰ نتیجه گیری.....
۲۱۲	مراجع:.....
۲۱۷	پیوست:.....

فهرست جداول

جدول ۱-۱: مقادیر اهمیت برای مقایسات زوجی	۶
جدول ۱-۲: مزایا و معایب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره	۱۱
جدول ۳-۱: مشخصات داده‌های مورد استفاده	۳۲
جدول ۴-۱: وزن و اهمیت معیارهای خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه با استفاده از روش آنتروپی	۴۱
جدول ۴-۲: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۱	۵۰
جدول ۴-۳: ماتریس نرمال‌شده پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۱	۵۱
جدول ۴-۴: رتبه‌بندی گزینه‌ها پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۱	۵۲
جدول ۴-۵: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۲	۵۵
جدول ۴-۶: ماتریس نرمال شده پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۲	۵۶
جدول ۴-۷: رتبه‌بندی گزینه‌ها پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۲	۵۷
جدول ۴-۸: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۳	۶۰
جدول ۴-۹: ماتریس نرمال شده پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۳	۶۲
جدول ۴-۱۰: رتبه‌بندی گزینه‌ها پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۳	۶۳
جدول ۴-۱۱: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی بادی منطقه ۱	۶۵
جدول ۴-۱۲: ماتریس نرمال شده پتانسیل انرژی بادی منطقه ۱	۶۵
جدول ۴-۱۳: رتبه‌بندی گزینه‌ها پتانسیل انرژی بادی منطقه ۱	۶۷
جدول ۴-۱۴: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی بادی منطقه ۲	۶۹
جدول ۴-۱۵: ماتریس نرمال شده پتانسیل انرژی بادی منطقه ۲	۶۹
جدول ۴-۱۶: رتبه‌بندی گزینه‌ها پتانسیل انرژی بادی منطقه ۲	۷۱
جدول ۴-۱۷: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی بادی منطقه ۳	۷۳
جدول ۴-۱۸: ماتریس نرمال شده پتانسیل انرژی بادی منطقه ۳	۷۴
جدول ۴-۱۹: رتبه‌بندی گزینه‌ها پتانسیل انرژی بادی منطقه ۳	۷۵
جدول ۴-۲۰: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه	۷۷
جدول ۴-۲۱: ماتریس نرمال شده پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه	۷۸
جدول ۴-۲۲: رتبه‌بندی گزینه‌ها پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه	۷۹
جدول ۴-۲۳: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل تولید پراکنده	۸۱
جدول ۵-۱: ورودی و خروجی‌های روش خوشه‌بندی K-MEANS و ویژگی‌های آن	۱۰۷
جدول ۶-۱: مقایسه نرم افزارهای کاربردی	۱۱۷
جدول ۶-۲: مقایسه سهم راه حل‌های بهینه	۱۱۹
جدول ۶-۳: مقایسه چند الگوریتم بهینه‌سازی	۱۱۹
جدول ۶-۴: مقایسه الگوریتم‌های مختلف روش خوشه‌بندی فازی	۱۲۷
جدول ۶-۵: مقایسه روش‌های مختلف خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، مبتنی بر تراکم، تفکیکی و فازی	۱۲۷
جدول ۷-۱: مولفه‌های هزینه‌ای اجرای طرح برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی	۱۴۳
جدول ۷-۲: هزینه‌ی ترانسفورماتور‌ها بر حسب توان	۱۴۳
جدول ۷-۳: نتایج محاسبات توجیه‌پذیری اقتصادی برای منابع تجدید تولید پراکنده گازسوز	۱۴۹
جدول ۷-۴: خروجی‌های مسئله برای سناریو ی برق‌رسانی از طریق اتصال به شبکه از دید سرمایه‌گذار	۱۵۱

جدول ۵-۷ هزینه های تحمیلی بر شبکه قدرت در صورت استفاده از راهکار اتصال به شبکه.....	۱۵۲
جدول ۶-۷ نتایج خروجی برای سناریو اتصال به شبکه از دیدگاه بهره بردار	۱۵۲
جدول ۷-۷: محاسبات توجیه پذیری اقتصادی راهکار پمپ خورشیدی برای کلاسترهای.....	۱۵۳
جدول ۸-۷: سناریو های خوشه بندی به ازای مقادیر مختلف MINPTS و EPSILON.....	۱۶۲
جدول ۸-۱: مشخصات چاه های کشاورزی پس از خوشه بندی بهینه بر اساس راهکار خورشیدی	۱۷۷
جدول ۸-۲: مشخصات بهترین خوشه بندی های شناسایی شده رتبه ۱	۱۷۸
جدول ۸-۳: مشخصات بهترین خوشه بندی های شناسایی شده رتبه ۲	۱۷۸
جدول ۸-۴: مشخصات بهترین خوشه بندی های شناسایی شده رتبه ۳	۱۷۸
جدول ۸-۵: مشخصات بهترین خوشه بندی های شناسایی شده رتبه ۱	۱۸۰
جدول ۸-۶: مشخصات بهترین خوشه بندی های شناسایی شده رتبه ۲	۱۸۰
جدول ۸-۷: مشخصات چاه های کشاورزی پس از خوشه بندی بهینه بر اساس راهکار بادی	۱۸۰
جدول ۸-۸: نتایج بهینه سازی برای سناریو تولید پراکنده خوشه ۱	۱۸۳
جدول ۸-۹: نتایج بهینه سازی برای سناریو تولید پراکنده خوشه ۱	۱۸۳
جدول ۸-۱۰: نتایج بهینه سازی برای سناریو تولید پراکنده خوشه ۱	۱۸۳
جدول ۸-۱۱: نتایج بهینه سازی برای سناریو تولید پراکنده خوشه ۱	۱۸۳
جدول ۸-۱۲: مشخصات چاه های کشاورزی پس از خوشه بندی بهینه بر اساس راهکار تولید پراکنده	۱۸۳
جدول ۸-۱۳: نتایج بهینه سازی برای سناریو اتصال به شبکه خوشه ۱	۱۸۵
جدول ۸-۱۴: نتایج بهینه سازی برای سناریو اتصال به شبکه خوشه ۱	۱۸۵
جدول ۸-۱۵: نتایج بهینه سازی برای سناریو اتصال به شبکه خوشه ۱	۱۸۵
جدول ۸-۱۶: نتایج بهینه سازی برای سناریو اتصال به شبکه خوشه ۱	۱۸۶
جدول ۸-۱۷: مشخصات چاه های کشاورزی پس از خوشه بندی بهینه بر اساس راهکار اتصال به شبکه.....	۱۸۶
جدول ۸-۱۸: نتایج خوشه یابی بهینه برای راهکار انرژی خورشیدی و بهترین خوشه از نظر شاخص NPV.....	۱۸۸
جدول ۸-۱۹: نتایج خوشه یابی بهینه برای راهکار انرژی بادی و بهترین خوشه از نظر شاخص NPV.....	۱۸۹
جدول ۹-۱: فرم در خواست پروپوزال جهت اجرای پیلوت برق رسانی به چاه های کشاورزی - پیلوت جیرفت.....	۱۹۱
جدول ۹-۲: مجموع دیمانده مصرفی و ظرفیت مورد نیاز جهت احداث نیروگاه خورشیدی	۱۹۴
جدول ۹-۳: نتایج آنالیز اقتصادی	۱۹۴
جدول ۹-۴: مجموع دیمانده مصرفی و ظرفیت مورد نیاز جهت احداث نیروگاه خورشیدی پیلوت رودبار جنوب (ویرایش اول)	
.....	۱۹۶
جدول ۹-۵: نتایج آنالیز اقتصادی	۱۹۶
جدول ۹-۶: مجموع دیمانده مصرفی و ظرفیت مورد نیاز جهت احداث نیروگاه خورشیدی (ویرایش سوم).....	۱۹۷
جدول ۹-۷: نتایج آنالیز اقتصادی	۱۹۷
جدول ۹-۸: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار خورشیدی	
.....(PILOT-PV1)	۱۹۹
جدول ۹-۹: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار خورشیدی	
.....(PILOT-PV2)	۱۹۹
جدول ۹-۱۰: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار خورشیدی	
.....(PILOT-PV3)	۲۰۰

جدول ۹-۱۱: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار بادی	۲۰۰
(PILOT-W T1).....	
جدول ۹-۱۲: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار بادی	۲۰۱
(PILOT-W T2).....	
جدول ۹-۱۳: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار تولید	۲۰۱
پراکنده (PILOT-DG1).....	
جدول ۹-۱۴: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار تولید	۲۰۲
پراکنده (PILOT-DG2).....	
جدول ۹-۱۵: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار تولید	۲۰۲
پراکنده (PILOT-DG3).....	
جدول ۹-۱۶: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار تولید	۲۰۳
پراکنده (PILOT-DG4).....	
جدول ۹-۱۷: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار اتصال به	۲۰۳
شبکه (PILOT-GC1).....	
جدول ۹-۱۸: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار اتصال به	۲۰۳
شبکه (PILOT-GC2).....	
جدول ۱۰-۱: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار خورشیدی	۲۱۰
.....	
جدول ۱۰-۲: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار بادی.....	۲۱۰
جدول ۱۰-۳: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار تولید	۲۱۱
پراکنده.....	
جدول ۱۰-۴: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار اتصال به	۲۱۱
شبکه.....	

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: مدل‌های مورد استفاده در رابطه با وزن‌دهی به معیارها ۱۴
- شکل ۱-۲: مدل‌های مورد استفاده در رابطه با ادغام معیارها ۱۵
- شکل ۱-۳: مدل‌های مورد استفاده در رابطه با رتبه‌بندی گزینه‌ها ۱۵
- شکل ۲-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و چاه‌های کشاورزی ۱۷
- شکل ۲-۲: وضعیت فعال و غیر فعال بودن چاه‌های کشاورزی مورد مطالعه ۱۸
- شکل ۲-۳: وضعیت کارکرد چاه‌های کشاورزی مورد مطالعه ۱۹
- شکل ۲-۴: وضعیت عمق چاه‌های کشاورزی مورد مطالعه ۱۹
- شکل ۲-۵: موقعیت چاه‌های کشاورزی به گسل‌های منطقه ۲۰
- شکل ۲-۶: موقعیت چاه‌های کشاورزی به نقاط زمین لغزش منطقه ۲۱
- شکل ۲-۷: موقعیت چاه‌های کشاورزی به دمای سطح زمین منطقه ۲۲
- شکل ۲-۸: موقعیت چاه‌های کشاورزی به شبکه راه منطقه ۲۳
- شکل ۲-۹: موقعیت چاه‌های کشاورزی در منطقه ۲۳
- شکل ۲-۱۰: موقعیت چاه‌های کشاورزی به ارتفاع منطقه ۲۴
- شکل ۲-۱۱: موقعیت چاه‌های کشاورزی به شیب منطقه ۲۵
- شکل ۲-۱۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی به تابش خالص منطقه ۲۶
- شکل ۲-۱۳: موقعیت چاه‌های کشاورزی به شبکه آبراهه منطقه ۲۷
- شکل ۲-۱۴: موقعیت چاه‌های کشاورزی به ساعات آفتابی منطقه ۲۸
- شکل ۲-۱۵: موقعیت چاه‌های کشاورزی به شبکه توزیع، فیدرها و ترانس‌ها منطقه ۲۹
- شکل ۲-۱۶: موقعیت چاه‌های کشاورزی به سرعت باد منطقه ۳۰
- شکل ۳-۱: فلوچارت مراحل اصلی اجرای پایلوت ۳۴
- شکل ۳-۲: نمونه‌های از تهیه نقشه معیار با استفاده از تحلیل مکانی ۳۶
- شکل ۴-۱: نقشه مناطق دارای محدودیت؛ الف) ارتفاع بیش از ۳۰۰ متر، ب) فاصله ۱۰۰۰ متر از گسل، ج) فاصله بیش از ۱۵ کیلومتر از فیدرها، د) فاصله ۱۰۰۰ متر از نقاط زمین لغزش، ه) فاصله ۱۰۰۰ متر از رودخانه، و) فاصله ۱۰۰۰ متر از شبکه راه، ز) فاصله بیش از ۱۰ کیلومتر از شبکه توزیع، ح) شیب بیش از ۲۰ درصد، ط) فاصله بیش از ۱۵ کیلومتر از ترانس‌ها، ی) فاصله بیش از ۱۰ کیلومتر از چاه‌های کشاورزی، ک) سرعت باد کمتر از ۴ متر بر ثانیه، ل) اجتماع مناطق دارای محدودیت برای انرژی خورشیدی، م) اجتماع مناطق دارای محدودیت برای انرژی بادی، ن) اجتماع مناطق دارای محدودیت برای تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه ۴۴
- شکل ۴-۲: نقشه معیارها؛ الف) ارتفاع، ب) فاصله از گسل، ج) فاصله از فیدرها، د) فاصله از نقاط زمین لغزش، ه) دمای سطح زمین، و) فاصله از شبکه آبراهه، ز) فاصله از شبکه راه، ح) فاصله از شبکه توزیع، ط) شیب، ی) تابش خالص، ک) ساعات آفتابی، ل) فاصله از ترانس‌ها، م) فاصله از چاه‌های کشاورزی، ن) سرعت باد ۴۷
- شکل ۴-۳: نقشه منطقه‌بندی پایلوت ۴۸
- شکل ۴-۴: نقشه پتانسیل انرژی خورشیدی در منطقه ۱ ۵۴
- شکل ۴-۵: نقشه پتانسیل انرژی خورشیدی در منطقه ۲ ۵۹
- شکل ۴-۶: نقشه پتانسیل انرژی خورشیدی در منطقه ۳ ۶۴
- شکل ۴-۷: نقشه پتانسیل انرژی بادی در منطقه ۱ ۶۸
- شکل ۴-۸: نقشه پتانسیل انرژی بادی در منطقه ۲ ۷۲
- شکل ۴-۹: نقشه پتانسیل انرژی بادی در منطقه ۳ ۷۶

- شکل ۱۰-۴: نقشه پتانسیل پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه..... ۸۰
- شکل ۱۱-۴: ماتریس نرمال شده پتانسیل تولید پراکنده..... ۸۲
- شکل ۱۲-۴: رتبه بندی گزینه ها پتانسیل تولید پراکنده..... ۸۳
- شکل ۱۳-۴: نقشه پتانسیل پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه..... ۸۴
- شکل ۱۴-۴: ترکیب دو نوع انرژی، الف) خورشیدی و بادی، ب) خورشیدی و تولید پراکنده، ج) خورشیدی و اتصال مستقیم به شبکه، د) بادی و تولید پراکنده، و) بادی و اتصال مستقیم به شبکه..... ۸۶
- شکل ۱۵-۴: ترکیب سه نوع انرژی، الف) خورشیدی، بادی و تولید پراکنده؛ ب) خورشیدی، بادی و اتصال مستقیم به شبکه؛ ج) خورشیدی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه؛ د) بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه..... ۸۷
- شکل ۱۶-۴: ترکیب هر چهار نوع انرژی..... ۸۷
- شکل ۱-۵: نمونه یک تابع توزیع احتمال $F(X)$ ۹۴
- شکل ۲-۵: تابع توزیع تجمعی $F(X)$ از روی $F(X)$ شکل قبل..... ۹۴
- شکل ۳-۵: تبدیل توزیع پیوسته به گسسته توسط نمونه برداری..... ۹۵
- شکل ۴-۵: نمودار توزیع بتا برای پارامترهای شکل مختلف..... ۹۷
- شکل ۵-۵: نمودار توزیع ویبول برای سرعت های باد پیش بینی شده مختلف..... ۹۸
- شکل ۶-۵: مقادیر نمونه برداری شده برای تقاضای مصرف یک چاه دلخواه..... ۱۰۰
- شکل ۷-۵: مقادیر نمونه برداری شده برای مجموع ساعات کارکرد یک چاه دلخواه..... ۱۰۰
- شکل ۸-۵: مقادیر نمونه برداری شده برای سرعت باد در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه..... ۱۰۱
- شکل ۹-۵: مقادیر نمونه برداری شده برای تابش خورشید در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه..... ۱۰۱
- شکل ۱۰-۵: مقادیر سناریوهای عدم قطعیت برای تقاضای مصرف یک چاه دلخواه..... ۱۰۲
- شکل ۱۱-۵: مقادیر سناریوهای عدم قطعیت برای مجموع ساعات کارکرد یک چاه دلخواه..... ۱۰۳
- شکل ۱۲-۵: مقادیر سناریوهای عدم قطعیت برای سرعت باد در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه..... ۱۰۳
- شکل ۱۳-۵: مقادیر سناریوهای عدم قطعیت برای تابش خورشید در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه..... ۱۰۳
- شکل ۱۴-۵: مقایسه توابع توزیع اصلی و تطبیق داده شده توسط سناریوها برای تقاضای مصرف یک چاه دلخواه..... ۱۰۴
- شکل ۱۵-۵: مقایسه توابع توزیع اصلی و تطبیق داده شده توسط سناریوها برای مجموع ساعات کارکرد یک چاه دلخواه..... ۱۰۴
- شکل ۱۶-۵: مقایسه توابع توزیع اصلی و تطبیق داده شده توسط سناریوها برای سرعت باد در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه..... ۱۰۵
- شکل ۱۷-۵: مقایسه توابع توزیع اصلی و تطبیق داده شده توسط سناریوها برای تابش خورشید در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه..... ۱۰۵
- شکل ۱۸-۵: الگوریتم حل روش خوشه بندی K-MEANS بصورت سودوکد..... ۱۰۷
- شکل ۱۹-۵: نتایج مربوط به خوشه های حاصل شده برای تقاضای مصرف یک چاه دلخواه..... ۱۰۸
- شکل ۲۰-۵: نتایج مربوط به خوشه های حاصل شده برای مجموع ساعات کارکرد یک چاه دلخواه..... ۱۰۸
- شکل ۲۱-۵: نتایج مربوط به خوشه های حاصل شده برای سرعت باد در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه..... ۱۰۹
- شکل ۲۲-۵: نتایج مربوط به خوشه های حاصل شده برای تابش خورشید در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه..... ۱۰۹
- شکل ۲۳-۵: نتایج مربوط احتمال وقوع هر یک از خوشه های ایجاد شده..... ۱۱۰
- شکل ۲۴-۵: نمودار تغییرات در شاخص اعوجاج در طول اجرای الگوریتم..... ۱۱۰
- شکل ۱-۶: محیط نرم افزار RETSCREEN برای وارد کردن اطلاعات..... ۱۱۳
- شکل ۲-۶: فلوچارت الگوریتم ژنتیک..... ۱۲۲
- شکل ۳-۶: فلوچارت الگوریتم PSO..... ۱۲۳

- شکل ۴-۶: خوشه‌بندی میانگین K برای داده‌های دو بعدی..... ۱۳۴
- شکل ۵-۶: مقایسه نتایج خوشه‌بندی تفکیکی با روش چگالی..... ۱۳۵
- شکل ۱-۷: راهکارهای تامین انرژی در طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی..... ۱۳۲
- شکل ۲-۷: مشخصات حل بهینه مسأله برق رسانی به چاه های کشاورزی..... ۱۳۲
- شکل ۳-۷: نمایش موقعیت چاه های کشاورزی پایلوت سیرجان بر روی نقشه استان کرمان..... ۱۳۵
- شکل ۴-۷: موقعیت مولد های خورشیدی و DG و نمایش همزمان آنها در کنار چاه های کشاورزی..... ۱۳۵
- شکل ۵-۷: مراحل خوشه بندی و شناسایی سناریو های بهینه برای پایلوت مورد مطالعه..... ۱۳۶
- شکل ۶-۷: مراحل خوشه بندی و شناسایی سناریو های بهینه برای پایلوت مورد مطالعه..... ۱۳۷
- شکل ۷-۷: مراحل خوشه بندی و شناسایی سناریو های بهینه برای پایلوت مورد مطالعه..... ۱۳۷
- شکل ۸-۷: فلوچارت محاسبات خوشه بندی فازی..... ۱۳۸
- شکل ۹-۷: خوشه بندی چاه ها بر اساس مختصات با استفاده از روش FCM..... ۱۳۸
- شکل ۱۰-۷: تعریف ماتریس کارایی..... ۱۳۹
- شکل ۱۱-۷: خطوط انتقال مورد نیاز..... ۱۳۹
- شکل ۱۲-۷: فلوچارت محاسبه ی طول خطوط داخل کلاستر..... ۱۴۲
- شکل ۱۳-۷: هزینه ی ترانسفورماتور ها بر حسب KVA..... ۱۴۳
- شکل ۱۴-۷: درونیابی تابع هزینه ی ترانس با استفاده از متلب..... ۱۴۴
- شکل ۱۵-۷: نتایج محاسبات توجیه پذیری اقتصادی برای منابع تجدید پذیر خورشیدی..... ۱۴۸
- شکل ۱۶-۷: مقایسه شاخص های NPV برای هر یک از ۲۵ کلاستر برای هر یک از راهکارهای خورشیدی ، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه..... ۱۵۳
- شکل ۱۷-۷: نتایج محاسبات نهایی توجیه پذیری اقتصادی برای پایلوت ۱۳۶ چاه محدوده سرجان..... ۱۵۴
- شکل ۱۸-۷: فلوچارت روش بهینه سازی تغییر یافته..... ۱۵۶
- شکل ۱۹-۷: محاسبه طول فیدر اصلی برای هر کلاستر..... ۱۵۸
- شکل ۲۰-۷: نتایج خوشه بندی فازی برای داده های دو بعدی..... ۱۶۰
- شکل ۲۱-۷: خطای روش خوشه بندی فازی برای داده های محدب روش خوشه بندی فازی (الف) روش خوشه بندی DBSCAN..... ۱۶۰
- شکل ۲۲-۷: نمودار فاصله K برای دیتای فرضی..... ۱۶۱
- شکل ۲۳-۷: نمودار فاصله K برای دیتای فرضی به ازای $MINPOINTS = 3$ ۱۶۲
- شکل ۲۴-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $MINPTS = 3$ و $EPSILON = 0.1$ ۱۶۳
- شکل ۲۵-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $MINPTS = 3$ و $EPSILON = 0.9$ ۱۶۳
- شکل ۲۶-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $MINPTS = 10$ و $EPSILON = 0.12$ ۱۶۴
- شکل ۲۷-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $MINPTS = 3$ و $EPSILON = 0.08$ ۱۶۴
- شکل ۲۸-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $MINPTS = 3$ و $EPSILON = 0.001$ ۱۶۴
- شکل ۲۹-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $MINPTS = 3$ و $EPSILON = 0.05$ ۱۶۵
- شکل ۳۰-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $MINPTS = 3$ و $EPSILON = 0.14$ ۱۶۵
- شکل ۳۱-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $MINPTS = 3$ و $EPSILON = 0.01$ ۱۶۵
- شکل ۳۲-۷: محاسبه تبدیل فاصله به ازای اپسیلن های ۰/۱ (الف) و ۰/۱۰ به طول و عرض جغرافیایی..... ۱۶۶
- شکل ۳۳-۷: نتایج یکسان حاصل از تکرار خوشه بندی به ازای $MINPTS = 3$ و $EPSILON = 0.1$ بعد از سه بار تکرار خوشه بندی..... ۱۶۷

- شکل ۸-۱: نقاط دارای پتانسیل احداث همزمان نیروگاه خورشیدی و بادی به ترتیب اولویت ۱۷۳
- شکل ۸-۲: موقعیت چاه های کشاورزی شهر جیرفت ۱۷۴
- شکل ۸-۳: خوشه بندی چاه های کشاورزی و تخمین فیدر های اصلی ۱۷۵
- شکل ۸-۴: نتایج پتانسیل سنجی انرژی خورشیدی در پایلوت جیرفت ۱۷۵
- شکل ۸-۵: کاندیدا های احداث نیروگاه خورشیدی در پایلوت جیرفت ۱۷۶
- شکل ۸-۶: نمودار NPV برای محتمل ترین حالت برای سناریو PV در ۱۵۰ دوره (ITERATION) ۱۷۷
- شکل ۸-۷: نقاط مستعد احداث نیروگاه بادی در پایلوت جیرفت ۱۷۹
- شکل ۸-۸: کاندیدا های انتخاب شده جهت احداث نیروگاه بادی ۱۷۹
- شکل ۸-۹: نتایج خروجی الگوریتم خوشه بندی بهینه برای سناریو بادی ۱۸۰
- شکل ۸-۱۰: نقشه ی پتانسیل سنجی برای احداث نیروگاه DG ۱۸۲
- شکل ۸-۱۱: کاندیدا های پر پتانسیل برای احداث نیروگاه DG ۱۸۲
- شکل ۸-۱۲: نتایج مربوط به بهینه سازی NPV برای برق رسانی به روش DG ۱۸۳
- شکل ۸-۱۳: نقشه پتانسیل سنجی سناریوی اتصال به شبکه ۱۸۵
- شکل ۸-۱۴: محیط نرم افزار تولید سناریو ی عدم قطعیت ۱۸۷
- شکل ۹-۱: مشخصات جغرافیایی چاه های کشاورزی و محل احداث نیروگاه خورشیدی ۱۹۵
- شکل ۹-۲: مشخصات جغرافیایی چاه های کشاورزی و محل احداث نیروگاه خورشیدی در محدوده روبار جنوب (نازدشت کرمان) ۱۹۶
- شکل ۹-۳: نتایج مطالعات میدانی وضعیت چاه های کشاورزی در محدوده روبار جنوب (نازدشت کرمان) - ویرایش اول ۱۹۶
- شکل ۹-۴: مشخصات جغرافیایی چاه های کشاورزی و محل احداث نیروگاه خورشیدی در محدوده روبار جنوب (نازدشت کرمان) ۱۹۷
- شکل ۹-۵: مراحل نهایی سازی پایلوت مطالعاتی با استفاده از روش خوشه بندی فازی ۱۹۸
- شکل ۹-۶: فراخوان عمومی پایلوت رودبار جنوب پس از انجام مطالعات امکان سنجی ۱۹۸
- شکل ۱۰-۱: ترکیب دو نوع انرژی، الف) خورشیدی و بادی، ب) خورشیدی و تولید پراکنده، ج) خورشیدی و اتصال مستقیم به شبکه، د) بادی و تولید پراکنده، و) بادی و اتصال مستقیم به شبکه ۲۰۷
- شکل ۱۰-۲: ترکیب سه نوع انرژی، الف) خورشیدی، بادی و تولید پراکنده؛ ب) خورشیدی، بادی و اتصال مستقیم به شبکه؛ ج) خورشیدی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه؛ د) بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه ۲۰۸
- شکل ۱۰-۳: ترکیب هر چهار نوع انرژی ۲۰۸

مقدمه

در حال حاضر برق رسانی به چاه های کشاورزی بر اساس یکی از راهکار های مولد خورشیدی، مولد بادی، مولد تولید پراکنده گازسوز و اتصال مستقیم به شبکه میسر می باشد. بکار گیری انرژی های تجدید پذیر و تولید پراکنده، بخصوص در شرایطی که موقعیت چاه های کشاورزی در فواصل دور از شبکه قرار گرفتند، می تواند یک انتخاب ایده آل جهت تامین انرژی مورد نیاز در برقرسانی به چاه های کشاورزی باشد. شرایط اقلیمی متنوع و الگوی تصادفی توزیع چاه های کشاورزی ایجاب می کند تا بر اساس یک روش مهندسی شده نقاط پرتانسیل جهت احداث واحد های نیروگاه های تجدید پذیر و تولید پراکنده با توجه به مشخصات مکانی و مصرفی چاه های کشاورزی شناسایی و به صورت بسته های سرمایه گذاری دراختیار مجریان این طرح قرار گیرد. بر همین اساس در این پروژه مراحل مختلف مطالعات امکان سنجی برق رسانی به چاه های کشاورزی در مقیاس پایلوت در محدوده شهر جیرفت اجرا گردیده است. دستیابی به یک سناریوی بهینه برق رسانی به چاه های کشاورزی مستلزم انجام گام های پیچیده می باشد که مهمترین آنها شامل :

- ایجاد بانک جامع داده های مورد نیاز (اطلس باد، اطلس خورشید، موقعیت چاه ها، دیماند، ساعت کارکرد، مشخصات شبکه توزیع در دسترس، مولفه های هزینه ایی...)

- انجام مطالعات پتانسیل سنجی برای هر یک از راهکارهای خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه

و تهیه نقشه GIS

- هزینه یابی اجرای طرح و محاسبه جریان های نقدی ورودی و خروجی در قالب یک بسته سرمایه گذاری

- استفاده از الگوریتم های داده کاوی جهت خوشه بندی و تخصیص بهینه منابع تامین انرژی برای آن خوشه از چاه های

کشاورزی

- ارائه یک الگوریتم ابتکاری به منظور خوشه بندی و انتخاب سناریوی بهینه با در نظر گرفتن شاخص سرمایه گذاری

ارزش خالص فعلی (NPV)

دستیابی به یک الگوی تحلیلی با هدف حل بهینه مساله برق رسانی به چاه های کشاورزی، مستلزم انجام گام های فوق در مقیاس پایلوت می باشد. به همین منظور در این پروژه مراحل فوق الذکر برای پیاده سازی در مقیاس پایلوت در شهر جیرفت استان کرمان اجرا گردیده است. گزارش ارائه شده، ادامه مطالعات انجام گرفته در مرحله ۱ (فصل های ۱ تا ۴) می باشد.

۱- فصل اول: کلیات تحقیق و بررسی تمامی مدل‌های مورد استفاده در بحث انرژی‌های تجدیدپذیر و مقایسه آنها

۱-۱- مقدمه

در این فصل به کلیات پژوهش شامل بیان مسئله، پیشینه تحقیق، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور، مروری بر کلیه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و مقایسه این مدل‌ها پرداخته شده است.

۱-۲- بیان مسئله

سوخت‌های فسیلی در حال حاضر منابع قابل‌دسترس اولیه هستند که نیازهای انرژی رو به افزایش جهان را تامین می‌کنند. استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، باعث افزایش دی اکسید کربن و ایجاد اثرات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی ناشی از آن است [۱]. منابع سوخت فسیلی محدود هستند و در آینده به پایان می‌رسند. دسترسی محدود به سوخت‌های فسیلی در آینده باعث افزایش قیمت خواهد شد. پیش بینی می‌شود تقاضای جهانی انرژی در ۲۵ سال آینده ۴۹ درصد افزایش یابد [۲]. همچنین، پیش بینی می‌شود میزان مصرف جهانی نفت از ۸۶ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۰۷ به ۱۰۴ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۳۰ افزایش یابد [۳].

کاهش سریع منابع سوخت فسیلی در سراسر جهان، نیاز به جستجوی منابع انرژی جایگزین برای تامین نیازهای حال حاضر را ضروری ساخته است. از طرف دیگر، یکی از دلایل اصلی عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی در آینده، پدیده گرم شدن جهانی کره زمین است [۴]. بنابراین، یافتن منابع انرژی جایگزین برای به حداقل رساندن اثرات منفی زیست محیطی و تامین نیاز روزافزون انرژی ضروری است. علاوه بر موارد ذکر شده، انرژی‌های تجدیدپذیر شامل مزایای از جمله؛ ۱- احیای اراضی تخریب شده [۵]؛ ۲- کاهش وابستگی به شبکه برق [۶]؛ ۳- بهبود کیفیت و ذخیره بیشتر آب [۷]؛ ۴- افزایش سرعت دسترسی به شبکه برق در مناطق روستایی [۸] می‌باشد.

از زمان بحران‌های نفتی اوایل دهه ۱۹۷۰ استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به طور فزاینده‌ای مهم و مورد توجه قرار گرفته است [۹]. امروزه پتانسیل زیادی در بکارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر وجود دارد [۱۰]. از جمله این انرژی‌ها، انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، زیست توده، جزر و مد، هیدروژن و غیره می‌باشد. در این میان انرژی‌های خورشیدی و بادی یکی از سریع‌ترین فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر در حال رشد در سراسر جهان هستند [۱۱].

در حال حاضر در ایران عمده‌ی انرژی مورد استفاده، از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. در ایران برق عمدتاً ۹۴ درصد توسط سوخت‌های فسیلی، حدود ۶ درصد توسط نیروگاه‌های آبی و کمتر از ۱ درصد توسط منابع انرژی تجدیدپذیر تولید می‌شود [۱۲]. ایران با تولید سالانه ۸۵۰ میلیون تن گازهای گلخانه‌ای یکی از کشورهای بزرگ جهان در زمینه تولید گازهای گلخانه‌ای است [۱۳].

اقدامات مثبتی که در سال‌های اخیر با ساخت سدهای متعدد و اتمام پروژه‌ی نیروگاه هسته‌ای بوشهر انجام گرفت، باعث افزایش سهم انرژی هسته‌ای و انرژی برقابی در سبد انرژی ایران شد. ایران به دلیل قرارگیری در کمربند خشک جهان بیش از نیمی از آن دارای آب و خشک و نیمه خشک می‌باشد. این کشور دارای بیش از ۳۰۰ روز آفتابی و ۲۸۰۰ ساعت آفتابی می‌باشد [۱۴]. به همین دلیل تولید برق از نیروگاه‌های آبی منبع پایدار برای تأمین انرژی به حساب نمی‌آید. از طرفی هم اکنون به دلیل زیان بسیار انرژی هسته‌ای به محیط زیست،

ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای جدید می‌توان مشکلات بسیاری ایجاد کند. براساس آخرین اطلاعات سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر در تابستان ۱۳۹۸، کل ظرفیت نصب شده تجدیدپذیر به ۷۰۰ مگاوات رسیده است. که از این تعداد ۴۳۰ مگاوات در حال احداث هستند. از این ظرفیت، ۹۸ نیروگاه بزرگ مگاواتی و ۲۸۶۳ نیروگاه تولید پراکنده و کوچک هستند [۱۵]. این موارد نشان می‌دهد که در ایران انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش گازهای گلخانه‌ای داشته باشد، که باید در دستور کار برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران قرار گیرد.

از آنجا که اتخاذ تصمیم صحیح و به موقع می‌تواند تأثیر بسزایی در انتخاب گزینه‌های مناسب با استفاده از معیارهای مختلف داشته باشد، ضرورت وجود یک تکنیک قوی، کاملاً محسوس می‌باشد. براساس این رویکرد، تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی می‌تواند به عنوان فرآیند ترکیب و تبدیل داده‌های مکانی (نقشه‌های معیار) و ارزش‌های مربوط به داوری افراد (اولویت تصمیم‌گیران) به منظور بدست آوردن اطلاعات ارزشمند برای تصمیم‌گیری، محسوب شود [۱۶]. از طرفی، GIS ابزاری عالی برای ذخیره‌سازی، دستکاری، تجزیه و تحلیل، تحلیل تناسب اراضی و مدیریت داده‌های مکانی است [۱۷، ۱۸]. از این رو ادغام GIS و MCDA به تصمیم‌گیر کمک می‌کند که توابع آنالیز تصمیم نظیر رتبه‌بندی گزینه‌ها را برای انتخاب پهنه مناسب انجام دهد. کارایی ادغام GIS و MCDA در زمینه مدل‌سازی مکانی جهت انتخاب مکان بهینه مزرعه انرژی‌های تجدیدپذیر در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است [۱۹].

در این پروژه ما به دنبال این هستیم که با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مناطق بهینه جهت تاسیس نیروگاه‌های خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه با هدف برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی انجام دهیم. جهت نیل به این هدف ما از یک مجموعه پایگاه داده مکانی متشکل از داده‌های وکتوری و رستری (مناطق دارای محدودیت و مناطق بهینه) استفاده می‌کنیم که این داده‌ها کمک به انتخاب مناطق بهینه با در نظر گرفتن شرایط مختلف می‌کند. خروجی این مطالعه می‌تواند در برنامه‌ریزی تولید و شبکه توزیع استفاده شود.

۳-۱- پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر مطالعاتی در مورد مکانیابی و بهینه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و در مقیاس‌های مکانی مختلف در صورت گرفته است.

هوفر^۱ و همکاران [۲۰] با ارائه رویکرد جامع تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی، مطالعه‌ای را براساس روش تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مکان‌سنجی بهینه مزرعه انرژی بادی در آخن انجام داده‌اند؛ نتایج این مطالعه حاکی از آن است هرچند در ۹/۴٪ از منطقه مورد مطالعه می‌توان مبادرت به توسعه انرژی بادی نمود اما تنها ۱/۷۴٪ بدین منظور بسیار مناسب است.

نورالهی و همکاران [۲۱] با استفاده از ادغام GIS و MCDA به انتخاب سایت مناسب جهت ایجاد نیروگاه‌های بادی در استان مرکزی با استفاده از مجموعه معیارهای محیطی و فیزیوگرافیکی پرداختند. نتایج نشان داد که فقط ۲۸ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای ظرفیت نصب مزارع بادی بزرگ است.

¹ Höfer

القرانی و اواستی^۱ [۱۱] به روشی مشابه با مطالعات هوفر و همکاران، پتانسیل ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی را در عربستان بررسی نموده‌اند. این مطالعه با بهره‌گیری از معیارهای تابش ورودی سطح، دمای هوا، شیب، فاصله از خطوط انتقال نیرو، فاصله از شهرها و فاصله از بزرگراه‌ها نشان می‌دهد که به دلیل قرارگیری این کشور در منطقه خشک بیش از ۸۰٪ آن برای ایجاد پانل‌های خورشیدی مناسب می‌باشد.

علی و همکاران^۲ [۲۲] از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی برای ارزیابی معیارهای مختلف فیزیولوژیکی، محیطی و اقتصادی در جنوب تایلند استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها جنوب تایلند را دارای پتانسیل بالایی برای انرژی‌های بادی و خورشیدی ارزیابی می‌کند، به‌طوری‌که از مجموع مساحت قابل دسترس در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۳۸/۷۴۹ و ۶۹/۵۰۹ کیلومترمربع برای انرژی‌های بادی و خورشیدی در طبقه بسیار مناسب ارزیابی شده‌اند.

فیروزجایی و همکاران [۲۳] در مطالعه‌ای با استفاده از AHP-OWA با در نظر گرفتن تابش ورودی سطح، شیب، پوشش گیاهی، فاصله از جاده و فاصله از شهرها به پتانسیل‌یابی مکان‌های مناسب احداث انرژی‌های خورشیدی در ایران پرداختند. مدل به کار گرفته شده در این پژوهش میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی گزینه‌های تصمیم‌گیران را در انتخاب گزینه نهایی لحاظ نموده است. نتایج نشان می‌دهد که در حالت خوشبینانه ۶۴٪ و در حالت بدبینانه تنها ۷٪ از ایران برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی مناسب می‌باشد.

کولاک و همکاران^۳ [۲۴] به بررسی انتخاب مکان‌های بهینه جهت تاسیس نیروگاه‌های خورشیدی در استان ملطیه ترکیه پرداختند. در این مطالعه از مجموع ۱۱ معیار مکانی استفاده شده بود. نتایج آن‌ها نشان داد که مناطق مناسب بیشتر در شرق شهرستان ملطیه قرار دارند. همچنین ارزیابی نتایج نشان داده بود که ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند کارایی بالایی داشته باشند.

شورابه و همکاران [۱۴] در پژوهشی به پتانسیل‌یابی مناطق مناسب جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در شرق ایران پرداختند. در این مطالعه از ۱۹ معیار مکانی در دو دسته محیطی و اقتصادی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که که ۵۴۶۵ کیلومترمربع از منطقه مورد مطالعه پتانسیل خیلی بالایی جهت ساخت مزرعه انرژی‌های تجدیدپذیر (بادی و خورشیدی) دارا می‌باشد. براساس شواهد علمی موجود می‌توان نتیجه گرفت که با وجود پتانسیل ایران در تولید انرژی تجدیدپذیر، این پتانسیل در گستره کشور از تجانس فضایی برخوردار نمی‌باشد بلکه اگر حالت بدبینانه را در نظر بگیریم ضرورت مکانیابی بیش‌ازپیش آشکار می‌گردد چرا که توسعه و استقرار فناوری‌های مرتبط برای تولید این نوع انرژی نیازمند سرمایه‌گذاری است.

۴-۱- سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور

سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل منابع انرژی در کشورهای آسیایی بالا بوده اما سهم انرژی‌های تجدیدپذیر مدرن و برق آبی از کل انرژی‌های تجدیدپذیر در برخی از کشورها منجمله ایران بسیار پایین می‌باشد. هر چند که سهم انرژی‌های تجدیدپذیر مدرن در ترکیب انرژی کشورهای در حال توسعه آسیایی رو به افزایش باشد افزایش

¹ Al Garni and Awasthi

² Ali

³ Colak

این سهم نه تنها امنیت انرژی را بالا می‌برد بلکه با محیط زیست نیز سازگار بوده و به سلامتی مردم منجر می‌شود.

بسیاری از کشورهای آسیایی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر اهداف ملی را تعیین نموده‌اند و این اهداف به مرور زمان بازنگری و تحکیم یافته معهدا برای تحقق این اهداف، دولت‌ها باید برای استفاده گسترده از انرژی‌های تجدیدپذیر به تدوین سیاست‌ها و ایجاد مشوق‌ها اقدام نمایند در این رابطه بانک‌های توسعه چند جانبه می‌توانند در حمایت و توسعه انرژی‌های پاک و به تبع آن کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از تولید و مصرف انرژی نقش حیاتی داشته لیکن این بانک‌ها می‌بایستی به تامین مالی و حمایت‌های تکنولوژیکی برای شتاب بخشیدن به توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش راندمان انرژی تاکید بیشتری نمایند. ضرورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی برای آینده کشور الزامی می‌باشد.

نمونه‌های مختلف انرژی از جمله انرژی باد که توسط توربین‌های بادی استحصال می‌گردد نیز صرفاً از ذخیره شدن انرژی خورشیدی که ظرفیت‌های حرارتی ایجاد شب و روز می‌باشد بوجود می‌آید بنابراین منشاء انرژی‌های تجدیدپذیر باد نیز چیزی جز خورشید نیست منشاء انرژی برقابی نیز بخارشدن آب اقیانوس‌ها و دریاها در اثر تابش خورشید صعود بخار آب به لایه‌های بالای هوا و حرکت آن به همراه هوا و نزول باران و برف به هنگام صعود هوا به ارتفاعات که انرژی پتانسیل صعود خود را از گرمای خورشید دریافت کرده‌اند استحصال انرژی برقی و آبی توسط زدن سدها یکی از منابع دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر محسوب می‌شود.

انرژی زیست‌توده نیز چیزی جز استحصال باقیمانده انرژی ارگانیک اولیه ذخیره شده فتوسنتزی توسط گیاهان از ضایعات موجودات و گیاهان تبدیل شده به زباله در محیط بی‌هوازی بصورت گاز متان نیست در زمینه انرژی هسته‌ای که انرژی حاصل از شکست اتمی اورانیوم می‌باشد یکی از نمونه‌های تامین انرژی می‌باشد باید برای بلندمدت، تعیین اولویت‌ها را مشخص و کلیه عوامل فنی، اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و سیاسی بصورت مثبت و منفی طی بررسی‌های مورد لزوم در قالب مطالعات استراتژیک امکان سنجی شده و تدوین شود.

بدیهی است که جایگاه منابع فسیلی و اورانیوم در رابطه با تولیدات پتروشیمی و سایر محصولات و تولید صلح آمیز هسته‌ای در ایران ضرورت داشته و این منابع اهمیت خود را بعنوان سوخت بتدریج و بدلائل عدیده از جمله محدودیت منابع، علل زیست محیطی، سیاسی و اجتماعی و اقتصادی از دست داده و سایر نیازهای دیگر بکار گرفته خواهند شد.

۵-۱- مروری بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

۵-۱-۱ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره است. زیرا امکان فرموله کردن مسائل پیچیده طبیعی را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مساله دارد در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بیشترین وزن به لایه‌ای تعلق می‌گیرد که بیشترین تاثیر را در تعیین هدف دارد. به عبارت دیگر معیار وزن‌دهی به هر واحد اطلاعاتی نیز براساس بیشترین نقشی است که آن عامل در داخل لایه ایفاء می‌کند [۲۵]. با توجه به تحقیقاتی که توسط ساعتی انجام گرفت یک دامنه برای مقایسه معیارها پیشنهاد شد که شامل مقادیر عددی ۱ تا ۹ می‌شود. هر کدام از این اعداد نشان دهنده

درجه اهمیت هستند به طوری که مقدار ۱ نشان‌دهنده اهمیت برابر و مقدار ۹ نشان‌دهنده اهمیت فوق‌العاده قوی یک شاخص نسبت به شاخص دیگر است (جدول ۱-۱)

جدول ۱-۱: مقادیر اهمیت برای مقایسات زوجی

توضیح	مقدار عددی
اهمیت برابر	۱
اهمیت متوسط	۳
اهمیت قوی	۵
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت فوق‌العاده قوی	۹
اهمیت بین فواصل	۲-۴-۶-۸

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای وزن‌دهی به معیارها شامل چهار مرحله است [۲]:
 ایجاد ساختار سلسله مراتبی: این مرحله مهمترین مرحله فرآیند سلسله مراتبی می‌باشد زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، می‌توان آنها را به شکل ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل نمود. ساختار سلسله مراتب یک نمایش گرافیکی از مسئله پیچیده واقعی می‌باشد که در راس آن هدف کلی مساله و در سطوح بعدی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها قرار دارند.
 مقایسات زوجی: اساس این مدل، بر مبنای مدل وزن‌دهی زوجی هر یک از متغیرها با یکدیگر می‌باشد. در این مرحله یک ماتریس مقایسه زوجی ($n \times n$) برای شاخص‌ها تشکیل می‌شود.
 تهیه ماتریس نرمالیزه و محاسبه بردار وزن: در این مرحله ابتدا مقادیر هر یک از ستون‌های ماتریس مقایسه زوجی با هم جمع شده و سپس مقدار هر عنصر در ماتریس مقایسه زوجی به جمع ستون خودش تقسیم می‌گردد. محاسبه سازگاری و ناسازگاری وزن مقادیر: اگر نرخ ناسازگاری کوچک‌تر یا مساوی ۰.۱ باشد سازگاری سیستم قابل قبول است و اگر بیشتر از ۰.۱ باشد بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند.

۲-۵-۱ فرآیند تحلیل شبکه‌ای

به دلیل عدم توانایی AHP در لحاظ کردن وابستگی‌های بین شاخص‌ها و گزینه‌ها، ساعتی در سال ۱۹۹۶ رویکرد ANP را معرفی کرد. مزیت این رویکرد در مقایسه با AHP این است که عناصر موثر در تصمیم‌گیری را در نظر می‌گیرد [۲۶]. فرایند AHP اجزای یک سیستم را به صورت سلسله مراتبی سازماندهی می‌کند، به طوری که هر عنصر سلسله مراتبی می‌تواند به عنصر سطح بالای خود وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد. به عبارت دیگر در یک سلسله مراتب وابستگی‌ها باید به صورت خطی (از بالا به پایین و برعکس) باشد. مدل ANP برای غلبه بر مشکلات ناشی از وابستگی و بازخورد میان معیارها و رهاسازی از محدودیت ساختار سلسله مراتبی طرحی گردید. بنابراین مهمترین وجه تمایز میان روش ANP و AHP در نحوه تأثیرپذیری و تأثیرگذاری معیارها بر روی یکدیگر است. روش ANP قادر است همبستگی‌ها و بازخوردهای موجود بین عناصر موثر در تصمیم‌گیری را مدلسازی کرده و تمامی تأثیرات درونی اجزای موثر در

تصمیم‌گیری را محاسبه کند [۲۷]. در حقیقت روش ANP می‌تواند به عنوان ابزاری سودمند در مسائلی که تعامل بین عناصر سیستم، تشکیل ساختار شبکه‌ای می‌دهد به کار گرفته شود. مدل تحلیل شبکه‌ای نمایش دهنده تصمیم‌سازی بر اساس شبکه‌ای از معیارها و گزینه‌ها به صورت گروه‌بندی در خوشه‌ها است. تمام عناصر در شبکه می‌توانند به هر طریق ممکن با یکدیگر ارتباط داشته باشند که در اینگونه مدلسازی دقیق شرایط پیچیده‌ای بوجود می‌آید. بازخورد و وابستگی بین هر دوی عناصر خوشه‌ها و بین خود خوشه‌ها امکان‌پذیر است. مدل ANP از دو بخش که بخش اول آن شامل کنترل سلسله مراتبی یا شبکه‌ای از معیارها و زیرمعیارها و بخش دوم شامل شبکه‌ای از تأثیرات متقابل بین عناصر و خوشه‌ها است تشکیل می‌شود [۲۸].

۳-۵-۱ روش آنترופی

روش آنترופی (Entropy) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای محاسبه وزن معیارها می‌باشد. در این روش نیازمند به ماتریس معیار-گزینه می‌باشد. این روش توسط شانون و ویور ارائه شد. آنترופی بیان‌کننده مقدار عدم اطمینان در یک توزیع احتمال پیوسته است. ایده اصلی این روش آن است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است.

مراحل روش آنترופی به شرح زیر می‌باشد [۲۹]:

ابتدا ماتریس تصمیم را تشکیل می‌دهیم. برای تشکیل این ماتریس تصمیم کفایت اگر معیارها کیفی هستند از عبارات کلامی ارزیابی هر گزینه را نسبت به هر معیار بدست آوریم و اگر معیارها کمی هستند عدد واقعی آن ارزیابی را قرار دهیم.

✓ نرمال سازی ماتریس تصمیم‌گیری

✓ محاسبه آنترופی هر شاخص (E_j)

✓ محاسبه فاصله هر شاخص از آنترופی آن (d_j) ، که در این مرحله باید فاصله هر یک از شاخص‌ها را از مقدار آنترופی آن که در مرحله قبل محاسبه شد بدست آوریم.

✓ سپس مقدار وزن W_j محاسبه می‌گردد. در واقع وزن معیار برابر با هر d_j تقسیم بر مجموع d_j ها می‌باشد.

۴-۵-۱ روش بهترین-بدترین

روش بهترین-بدترین یکی از جدیدترین و کاراترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به منظور وزن‌دهی عوامل و معیارهای تصمیم‌گیری به کار می‌رود. این روش اولین بار توسط رضایی (۲۰۱۵) ارائه شده است. در این روش، بهترین و بدترین معیار توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و مقایسه زوجی بین هر یک از این دو معیار (بهترین و بدترین) و دیگر معیارها صورت می‌گیرد؛ سپس یک مسئله حداکثر-حداقل برای مشخص کردن وزن معیارهای مختلف فرموله و حل می‌شود. همچنین در این روش، فرمولی برای محاسبه نرخ ناسازگاری به منظور بررسی اعتبار مقایسات زوجی معیارها در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که روش بهترین-بدترین به داده‌های مقایسه‌ای کمتری نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نیاز دارد و منجر به مقایسه‌های استوارتر شده و نتایج قابل اطمینان‌تری را ارائه می‌دهد. همچنین هنگامی که تعداد معیارها زیاد باشد، جایگزین مناسبی

برای روش AHP است. برای مثال، در تحقیق حاضر که شامل ۷ معیار است، تعداد مقایسات زوجی در پرسشنامه AHP برابر با $n*(n-1)/2$ است یعنی ۲۱ مقایسه زوجی، اما در روش بهترین-بدترین برابر با $2n-3$ است یعنی ۱۱ مقایسه زوجی می‌باشد. در نتیجه تعداد مقایسات زوجی به شدت کاهش یافته که این باعث می‌شود زمان کمتری نیاز باشد و نتایج نیز دقیق‌تر شوند (Rezaei, 2015).

این روش نیز مانند روش AHP از یک مقیاس ۹ امتیازی برای بیان ترجیحات و قضاوت‌ها استفاده می‌کند. بدین صورت که ابتدا از بین معیارهای مورد استفاده در پژوهش، بهترین (یا مهم‌ترین) و بدترین (یا کم‌اهمیت‌ترین) معیار تعیین می‌گردد. سپس ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها و ارجحیت تمامی معیارها نسبت به بدترین معیار بررسی می‌شوند.

۵-۵-۱ روش مجموع ساده وزنی

روش وزن دهی ساده یا مجموع ساده وزنی (SAW)، ساده‌ترین روش تصمیم‌گیری چند معیاره است. روش SAW به دلیل سهولتی که دارد محبوب‌ترین و رایج‌ترین روش در MCDA است. روش SAW را می‌توان ساده‌ترین و مستقیم‌ترین روش مواجهه با مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره در نظر گرفت. چرا که در این روش از یک تابع افزایش خطی برای نمایش ترجیحات تصمیم‌گیرندگان استفاده می‌شود. با این حال این تکنیک زمانی کاربرد پیدا میکند که فرض کنیم ترجیحات مستقل یا مجزا از هم هستند. مراحل این روش به شرح زیر می‌باشد [۳۰]:

تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم این روش شامل جدول است که ستون‌های آن را معیارها یا زیرمعیارها و سطرها آن را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند و هر سلول این ماتریس ارزیابی هر گزینه نسبت به هر معیار است.

✓ بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم: برای بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم در روش SAW به طریق زیر عمل می‌کنیم.

- ✓ اگر معیار مثبت باشد: تک تک اعداد آن ستون را بر بزرگترین عدد تقسیم می‌کنیم.
- ✓ اگر معیار منفی باشد: مینیمم آن ستون تقسیم بر تک تک اعداد می‌شود.
- ✓ تشکیل ماتریس وزن‌دار: در این گام با توجه به وزن‌های محاسبه شده از روش‌های دیگر ماتریس وزن دار را بدست می‌آوریم.
- ✓ انتخاب گزینه برتر: با جمع سطری ماتریس وزن‌ها امتیاز هر گزینه محاسبه می‌شود. و بر اساس آن گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

۵-۶ روش ویکور

روش ویکور مانند تکنیک تاپسیس است یعنی برای رتبه‌بندی کردن گزینه‌ها بر اساس معیارهای مختلف (معمولاً متضاد و با واحد اندازه‌گیری متفاوت) استفاده می‌شود. این روش جهت دست‌یابی به یک یا چند راهکار سازشی برای یک مساله با معیارهای متضاد کاربرد دارد بطوری که قادر است تصمیم‌گیرنده را برای دست‌یابی به یک تصمیم نهایی یاری دهد. در اینجا راهکار سازشی نزدیک‌ترین جواب موجه به ایده آل است که یک توافق متقابل بین مطلوبیت گروهی و میزان مخالفت‌های انفرادی بوجود می‌آورد. مراحل آن به صورت زیر می‌باشد [۳۱]:

- ✓ تشکیل ماتریس تصمیم

- ✓ تعیین بردار وزن معیارها (به کمک یکی از روش‌های تصمیم‌گیری مانند AHP، نظر خبرگان و ...)
- ✓ تعیین نقطه ایده آل مثبت و ایده آل منفی
- ✓ محاسبه مقدار سودمندی (S_i) و مقدار تأسف (R_i) برای هر راهکار
- ✓ محاسبه شاخص ویکور (Q_i) برای هر راهکار
- ✓ مرتب کردن راهکارها بر اساس مقادیر Q_i ، R_i و S_i

۱-۵-۷ روش تاپسیس

تکنیک تاپسیس (Topsis) یا اولویت بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده آل از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره است، از این تکنیک می‌توان برای رتبه بندی و مقایسه گزینه‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین فواصل بین گزینه‌ها و گروه بندی آنها استفاده نمود. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند. به عبارات دیگر می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این تکنیک استفاده نمود. بر اساس این روش، بهترین گزینه یا راه حل، نزدیک ترین راه حل به راه حل یا گزینه ایده آل و دورترین از راه حل غیر ایده آل است. راه حل ایده آل، راه حلی است که بیشترین سود و کمترین هزینه را داشته باشد، در حالی که راه حل غیر ایده آل، راه حلی است که بالاترین هزینه و کمترین سود را داشته باشد. به طور خلاصه، راه حل ایده آل از مجموع مقادیر حداکثر هر یک از معیارها به دست می‌آید، در حالی که راه حل غیر ایده آل از مجموع پایین‌ترین مقادیر هر یک از معیارها حاصل می‌گردد. مراحل اصلی روش تاپسیس به شرح زیر می‌باشد [۳۲]:

- ✓ تشکیل ماتریس تصمیم: گام اولیه این روش تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم این روش شامل یکسری معیار و گزینه می‌باشد یک ماتریسی که معیارها در ستون‌ها قرار می‌گیرند و گزینه‌ها در سطر هستند. و هر سلول ماتریس ارزیابی هر گزینه نسبت به هر معیار است.
- ✓ بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم (نرمال سازی ماتریس تصمیم): بی‌مقیاس کردن در روش تاپسیس با استفاده از روش نرم صورت می‌گیرد و به اینصورت انجام می‌شود که هر درایه بر جذر مجموع مربعات درایه‌های آن ستون معیار تقسیم می‌شود.
- ✓ تعیین ماتریس بی‌مقیاس وزن دار: در این گام باید وزن معیارها که از روش‌های دیگر بدست آمده است را در ماتریس نرمال ضرب کنیم تا ماتریس وزن دار حاصل شود.
- ✓ تعیین راه حل ایده آل مثبت و راه حل ایده آل منفی
- ✓ بدست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی
- ✓ تعیین ضریب نزدیکی برای هر یک از گزینه‌ها
- ✓ رتبه بندی گزینه‌ها بر اساس ضریب نزدیکی

۱-۵-۸ روش ترکیب خطی وزنی

روش WLC رایج‌ترین تکنیک در آنالیزهای تصمیم‌گیری چندمعیاره است. این روش بر مفهوم میانگین وزنی استوار و شامل دو جزء است: وزن معیارها و مقادیر معیارها. تحلیلگر یا تصمیم‌گیرنده مستقیماً بر مبنای اهمیت

نسبی هر یک از معیارهای مورد بررسی، وزن‌هایی به آن‌ها می‌دهد. سپس از طریق ضرب وزن نسبی هر یک از معیارها در مقادیر آن‌ها، مقدار نهایی هر گزینه محاسبه می‌شود [۳۳].

۹-۵-۱ روش فازی

تصمیم‌گیری جز جدایی ناپذیر عملکرد مدیریت است که بر داده‌ها و روابط منطقی حاکم بر محیط تصمیم‌گیری مبتنی است. حال آن که در غالب شرایط، عدم قطعیت در این مبنای اجتناب ناپذیر است [۳۴]. عدم دسترسی به منابع دقیق داده‌ها، عدم امکان اندازه‌گیری داده‌ها، و هزینه‌ی غالباً توجیه ناپذیر در کسب دقیق داده‌ها را می‌توان از مهم‌ترین دلایل لزوم به کارگیری داده‌های غیردقیق در بسیاری از شرایط برشمرد. به شکل مشابه، کشف روابط منطقی حاکم بر محیط تصمیم‌گیری نیز همواره امکان‌پذیر نیست. تخمین داده‌ها و روابط منطقی مورد نیاز، ابتدایی‌ترین و رایج‌ترین راه حل در مواجهه با این شرایط عدم قطعیت و پیشبرد فرایند تصمیم‌گیری است. هر چند که این روش می‌تواند با خطای فراوان همراه باشد و به تصمیم‌گیری نامطلوب منجر شود، به دلیل سهولت، بیشترین استفاده را دارد [۳۵]. راه حل علمی‌تر در مواجهه با این مساله، استفاده از تئوری احتمالات است که خصوصاً از طریق روش‌های شبیه‌سازی، در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به کار گرفته می‌شود. لیکن دشواری این راهکار در لزوم کشف یا تخمین احتمالات مربوط به وقوع پیشامدهای امکان‌پذیر است. تشخیص دقیق این احتمالات در قریب به اتفاق شرایط عملی، امکان‌پذیر نیست، از این رو می‌بایست به آمار وقوع پیشامدهای مورد نظر مراجعه کرد که این آمار نیز همواره در اختیار نیست [۳۶].

در راستای حل این مشکل در برخورد با شرایط عدم قطعیت، تئوری فازی شکل داده شده است. این تئوری در سال ۱۹۶۵ توسط پروفیسور لطفی زاده ابداع گردیده است. پایه‌ی این تئوری، فرض مجموعه‌هایی است که تعلق اجزا به آن‌ها نه به طور دقیق، بلکه به شکل مدرج قابل تعریف است. بر اساس این مجموعه‌ها، اعداد فازی را می‌توان تعریف نمود و از آنها برای اندازه‌گیری کمیت‌های غیردقیق استفاده کرد. این اعداد، مبنای به کارگیری نوعی منطق تحت عنوان منطق فازی هستند که استدلال و نتیجه‌گیری در شرایط غیردقیق را امکان‌پذیر می‌سازند [۳۷]. محققان تا به امروز توانسته‌اند که این منطق را به انواع روش‌های تکامل یافته‌ی تصمیم‌گیری نظیر مدل‌های بهینه‌سازی، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و شبکه‌های عصبی بسط دهند.

۱۰-۵-۱ روش الکتره

در این روش کلیه گزینه‌ها با استفاده از مقایسات غیر رتبه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و بدان طریق گزینه‌های غیر موثر حذف می‌شوند. کلیه این مراحل بر اساس یک مجموعه هماهنگ و یک مجموعه ناهم‌انگ پایه ریزی می‌شوند که به دلیل این موضوع این روش معروف به آنالیز هماهنگی نیز می‌باشد. روش الکتره دارای نسخه‌های مختلفی است از جمله روش الکتره ۱ (ELECTRE 1)، الکتره ۲ و ۳ و ۴. اختلاف نسخه‌های مختلف این روش در نوع عملیات ریاضی و نوع مسائلی است که این روش‌ها قادر به حل آن می‌باشند.

اساس کار این روش بر مبنای روابط غیررتبه‌ای است؛ بنابراین جواب‌های به دست آمده به صورت مجموعه‌ای از رتبه‌ها خواهد بود. مراحل انجام آن به صورت زیر می‌باشد [۳۸]:

- ✓ تشکیل ماتریس تصمیم
- ✓ بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم

- ✓ تعیین ماتریس وزن معیارها
- ✓ تعیین ماتریس تصمیم وزن دار نرمال شده
- ✓ تشکیل مجموعه معیارها موافق و مخالف
- ✓ تشکیل ماتریس توافق
- ✓ تعیین ماتریس مخالف
- ✓ تشکیل ماتریس تسلط موافق
- ✓ تشکیل ماتریس تسلط مخالف
- ✓ تشکیل ماتریس تسلط نهایی
- ✓ انتخاب بهترین گزینه

۱-۵-۱۱ روش OWA

در یک مساله تصمیم‌گیری، افراد ریسک‌پذیر بر روی خواص خوب یک گزینه و افراد ریسک‌گریز بر روی خواص بد یک گزینه تاکید می‌کنند و آنرا ملاک انتخاب خود قرار می‌دهند. روش OWA قادر است تا میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی افراد را محاسبه و آنرا در انتخاب گزینه نهایی وارد نماید [۳۹]. روش OWA برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ توسط Yager (۱۹۸۸) برای توصیف یک رده از روش‌های MCDA ارائه شد. توانایی روش OWA در این است که منجر به درجه‌بندی پیوسته سناریوهای بین عملگر اشتراک (ریسک‌ناپذیر) و عملگر اجتماع (ریسک‌پذیری) می‌شود [۴۰].

۱-۶-مقایسه مزایا و معایب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

در جدول (۱-۲) مزایا و معایب هر کدام از روش‌های مورد استفاده در مطالعات پیشین مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر نشان داده شده است.

جدول ۱-۲: مزایا و معایب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

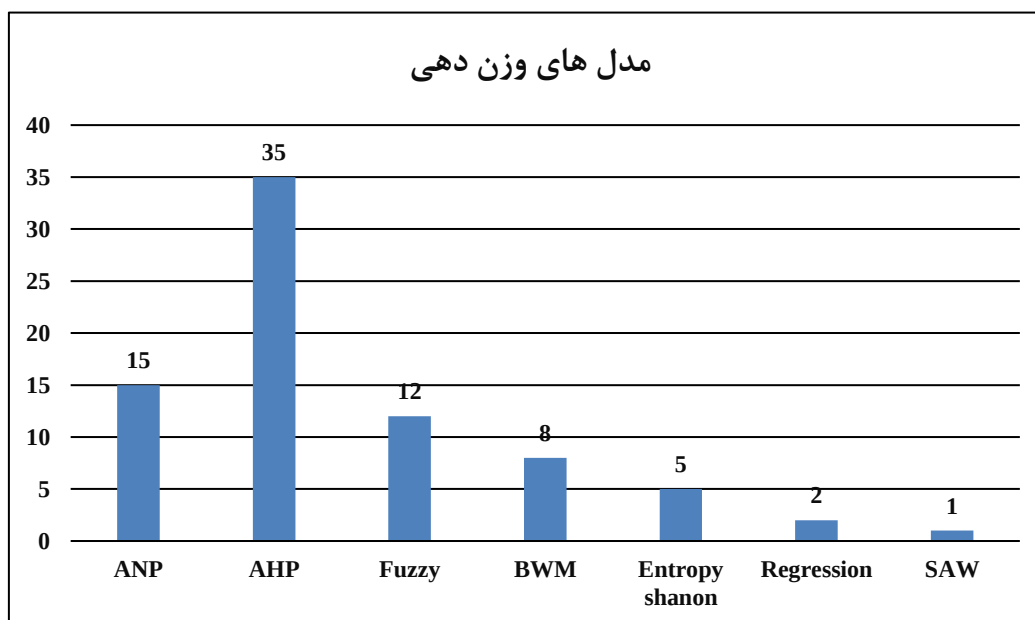
روش	مزایا	معایب
فرآیند تحلیل سلسله مراتبی	۱- انعطاف پذیری و توانایی بررسی ناسازگاری معیارها را دارد.	۱- بی نظمی در رتبه بندی
	۲- از آنجا که مسئله در ساختار سلسله مراتبی ساخته می‌شود، اهمیت هر معیار روشن می‌شود.	۲- زمانی که مقایسات زوجی از یه حد بیشتر باشد مدل کارایی مناسبی ندارد.
	۳- بایاس در تصمیم‌گیری کاهش می‌دهد.	۳- وقتی که چندین تصمیم گیرنده نظرات مختلفی بدهند تعیین وزن پیچیده می‌شود.
	۴- با هر دو معیار کمی و کیفی سروکار دارد.	۴- عدم قطعیت در وزن معیارها
	۵- مناسب ترین و سازگارترین روش برای تعیین وزن معیارها.	

فرآیند تحلیل شبکه‌ای	۱- یک تکنیک جامع است که امکان درج همه معیارهای مربوطه را فراهم می‌آورد. ۲- امکان ایجاد روابط پیچیده تری را در بین سطوح تصمیم‌گیری و ویژگی‌ها می‌دهد زیرا نیازی به یک ساختار سلسله‌مراتبی دقیق ندارد. ۳- امکان بررسی وابستگی‌های متقابل بین سطح معیارها را فراهم می‌کند. ۴- رابطه متقابل غیر خطی در بین معیارها مورد توجه قرار می‌گیرد.	۱- زمان بر بودن ۲- عدم قطعیت رو ساپورت نمی‌کند. ۳- زمانی که مقایسات زوجی از یه حد بیشتر باشد مدل کارایی مناسبی ندارد.
روش آنتروپی	۱- زمانی که معیارها از تغییرپذیری بیشتری برخوردار باشند کارایی مناسبی خواهد داشت. ۲- استفاده از مقادیر واقعی خود معیارها جهت به دست آوردن وزن آنها. ۳- لحاظ نشدن نظر کاربر جهت به دست آوردن وزن معیارها	۱- در مواقعی که مساحت منطقه مورد مطالعه زیاد باشد گزینه‌های به دست آمده زیاد خواهد بود که در این صورت باعث زمان‌بر بودن انجام محاسبات می‌شود. ۲- نیاز به داده‌های دقیق می‌باشد.
روش بهترین-بدترین	۱- به داده‌های مقایسه‌ای کمتری نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نیاز دارد. ۲- هنگامی که تعداد معیارها زیاد باشد، جایگزین مناسبی برای روش سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. ۳- کم بودن تعداد مقایسات زوجی ۴- نیاز به زمان کمتری برای محاسبه می‌باشد.	۱- عدم در نظر گرفتن عدم قطعیت در وزن معیارها
روش مجموع ساده وزنی	۱- پیاده سازی ساده ۲- کارآمد زمانی که تعداد مقایسات زوجی زیاد باشند.	۱- عدم قطعیت در وزن‌ها ۲- عدم محاسبه ناسازگاری بین متخصصان

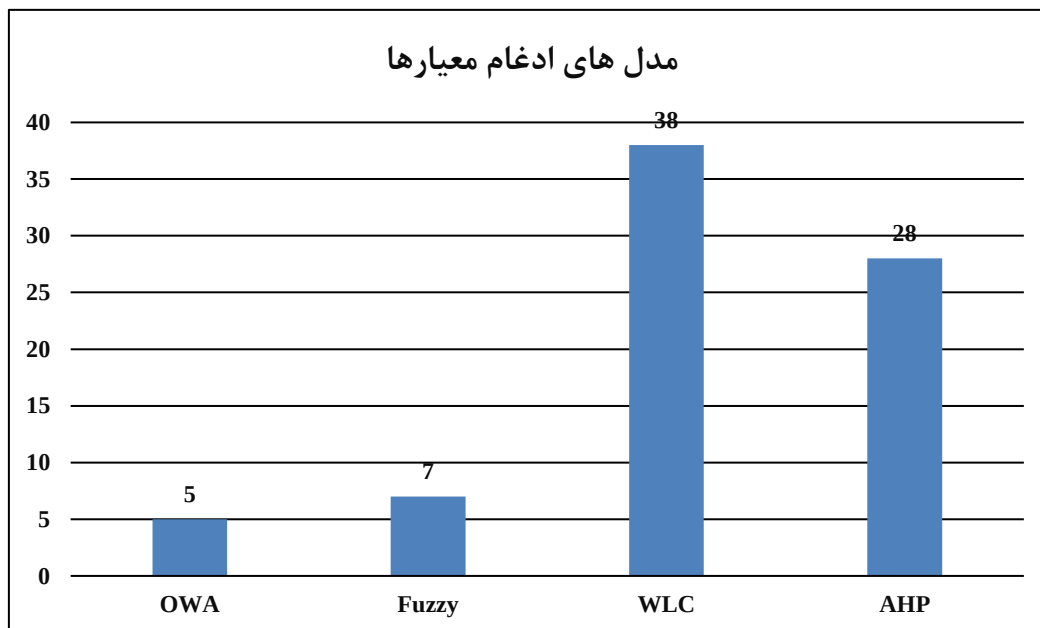
روش ویکور	۱- در این مدل مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها صورت نمی‌گیرد و هر گزینه مستقلاً توسط یک معیار سنجیده و ارزیابی می‌گردد. ۲- در این مدل جهت ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارها، نیازی به استفاده از نظرات کارشناسان نیست بلکه می‌توان از داده‌های خام استفاده کرد. ۳- نداشتن فرمول‌های پیچیده	۱- در مواقعی که مساحت منطقه مورد مطالعه زیاد باشد گزینه‌های به دست آمده زیاد خواهد بود که در این صورت باعث زمان‌بر بودن انجام محاسبات می‌شود. ۲- نیاز به داده‌های دقیق می‌باشد.
تاپسیس	۱- معیارهای کمی و کیفی در ارزیابی به صورت همزمان دخالت دارند. ۲- زمانی که تعداد گزینه‌ها زیاد باشد می‌توان از این مدل استفاده کرد. ۳- امکان استفاده از داده‌های واقعی و تجربی.	۱- امکان مقایسه زوجی و دودویی بین گزینه‌ها و عوامل وجود ندارد. ۲- از آنجا که از فاصله اقلیدسی استفاده می‌کند، بین مقادیر منفی و مثبت تفاوتی قائل نمی‌شود.
روش ترکیب خطی وزنی	۱- ساده بودن ۲- انعطاف‌پذیری در تعداد معیارها	۱- عدم کارایی بالا در مناطق نامووار ۲- لحاظ نکردن عدم قطعیت
روش الکترو	۱- با هر دو معیار کمی و کیفی سروکار دارد. ۲- نتایج نهایی با دلایلی تأیید می‌شوند.	۱- علی‌رغم داشتن ۴ نسخه، هنوز کامل نیست و گاهی اوقات نمی‌تواند یک گزینه بهینه را شناسایی کند. فقط با کنار گذاشتن گزینه‌های کمتر مطلوب، دید بهتری از گزینه‌های موجود فراهم می‌کند. ۲- زمان‌بر بودن.
روش فازی	۱- منطق فازی به تفکر و منطق انسان نزدیک است. ۲- برنامه‌های طراحی شده با منطق فازی سریع و کم‌هزینه هستند. ۳- به راحتی می‌تواند مدلسازی شوند.	۱- قوانین منطق فازی توسط تجربه متخصص تعیین می‌شوند. ۲- تجزیه و تحلیل یک سیستم با منطق فازی دشوار است یعنی نمی‌توان قبل از واکنش آن را تخمین زد. ۳- توابع توسط آزمون و خطا مشخص می‌شوند که زمان‌بر هستند.

۴- به طور گسترده ای در سیستم های کنترل و پیش بینی تصمیم قابل استفاده است.		
۵- برای توصیف پدیده های غیرقطعی و نامشخص به کار می روند.		
روش OWA	۱- علاوه بر در نظر گرفتن وزن معیارها، وزن‌های مرتب شده در خود مدل در نظر می‌گیرد.	۱- زمان بر مدن ران کردن مدل.
	۲- لحاظ کردن ریسک در تصمیم‌گیری	۲- تعیین نوع وزن‌های مرتب شده پیچیده می‌باشد.
	۳- تهیه سناریوهای مختلف جهت تصمیم‌گیری	

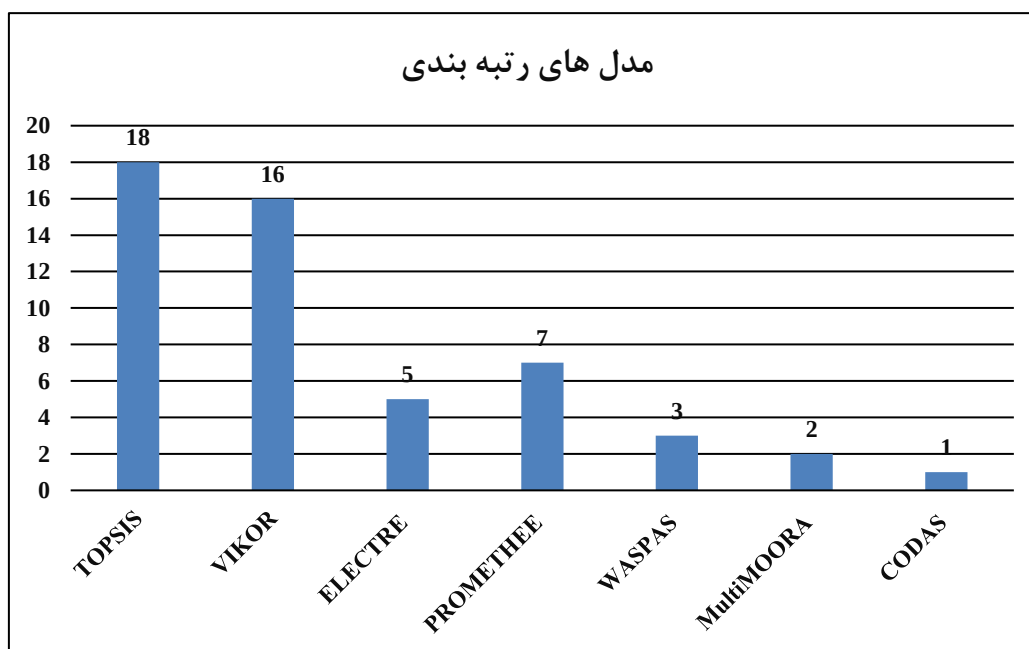
در شکل‌های (۱-۱)، (Error! Reference source not found.) و (۱-۳) تعداد استفاده از مدل‌های مورد استفاده در تمام مقالاتی که در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر انجام شده، نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شده است از بین مدل‌های وزن‌دهی مدل AHP، از بین مدل‌های ادغام مدل WLC و از بین مدل‌های رتبه‌بندی مدل TOPSIS دارای بیشترین استفاده بوده‌اند.



شکل ۱-۱: مدل‌های مورد استفاده در رابطه با وزن‌دهی به معیارها



شکل ۲-۱: مدل‌های مورد استفاده در رابطه با ادغام معیارها



شکل ۳-۱: مدل‌های مورد استفاده در رابطه با رتبه‌بندی گزینه‌ها

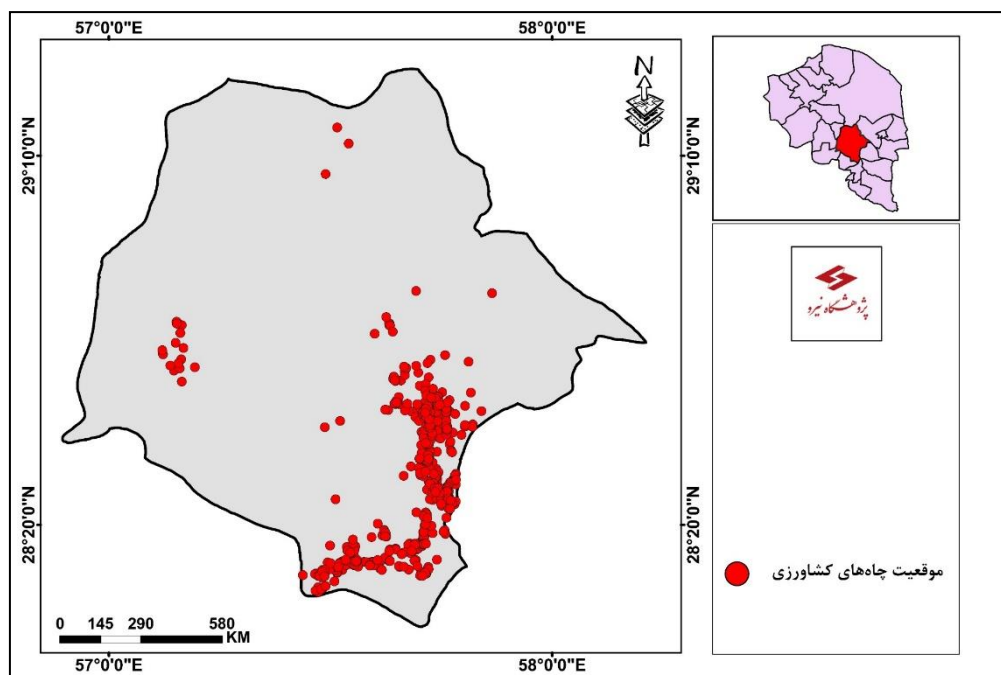
۲- فصل دوم: شناخت پایلوت و معرفی معیارهای مورد استفاده

۲-۱- مقدمه

در این فصل به معرفی منطقه مورد مطالعه و معرفی معیارهای مورد استفاده پرداخته شده است.

۲-۲- پایلوت مورد مطالعه

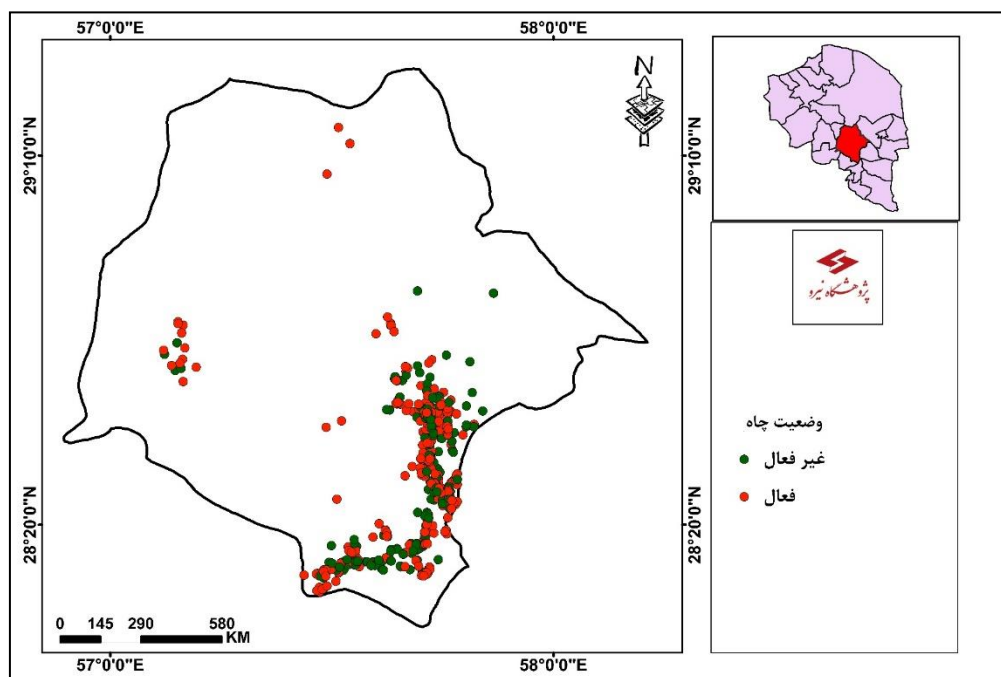
پایلوت مورد مطالعه در این پژوهش شهرستان جیرفت می‌باشد. جیرفت، شهری در استان کرمان، در موقعیت جغرافیایی $28^{\circ} 40' 13''$ شمالی و $57^{\circ} 44' 13''$ شرقی است. این شهر با ۶۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا و ۲۰۹۷۴۶ جمعیت، واقع در ۲۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر کرمان و ۱۳۷۵ کیلومتری جنوب شرق تهران است. نزدیکی به مدار راس السرطان موجب شده که جیرفت نیز مثل مناطق جنوبی در قسمت‌هایی از نواحی جلگه‌ای دارای هوای گرم باشد ولی عوامل دیگر نقش عرض جغرافیایی را خنثی می‌کنند. قسمت اعظم جیرفت معتدل و سرد است. یکی دیگر از عناصری که نقش عرض و جغرافیایی را خنثی می‌کند پستی و بلندی‌های نواحی مختلف منطقه است. در حالیکه دشت جیرفت با ارتفاع ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر از سطح دریا از جمله کم‌ارتفاع‌ترین دشت‌های داخل ایران است، در همین حال با فاصله ۱۰ تا ۳۰ کیلومتری کوه‌های سر به فلک کشیده با ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری نظم اقلیم گرم و خشک را به هم زده و اقلیم معتدل و در نهایت سرد و کوهستانی را جانشین آن می‌کند. جهت چین خوردگی کوه‌ها از دیگر عوامل تعیین‌کننده اقلیم نیز می‌باشد به طوری که در نواحی کوه‌های اطراف جیرفت اقلیم سرد و معتدل حاکم است. در این شهرستان بزرگترین رودخانه منطقه مرکزی و جنوب شرقی فلات ایران به نام رودخانه هلیل رود جاری می‌باشد. شهرستان جیرفت دارای اقلیم بیابانی گرم میانه می‌باشد. میانگین بارش سالانه در این شهرستان ۱۹۱/۱ میلی‌متر و دامنه تغییرات متوسط دمای آن از ۱۱/۸ الی ۳۵/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در شکل ۱-۲ **Error! Reference source not found.** موقعیت جغرافیایی شهرستان جیرفت و چاه‌های کشاورزی نشان داده شده است.



شکل ۲-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و چاه‌های کشاورزی

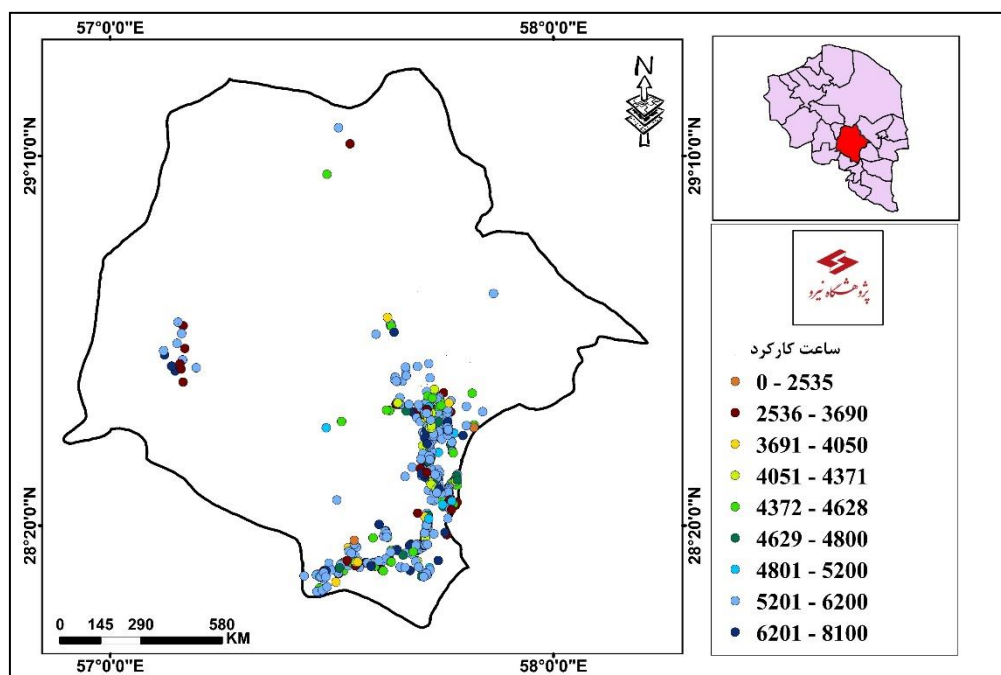
۲-۳- بررسی مشخصات چاه‌های کشاورزی

در این پژوهش مشخصاتی از جمله وضعیت، عمق و کارکرد چاه مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی وضعیت چاه‌های کشاورزی نشان داد که از مجموع چاه‌های کشاورزی (جمعاً ۵۶۹ چاه می‌باشند) در منطقه مورد مطالعه تعداد ۲۳۹ چاه غیرفعال و تعداد ۳۳۰ چاه فعال می‌باشند. در **Error! Reference source not found.** وضعیت فعال و غیر فعال بودن چاه‌های کشاورزی در منطقه نشان داده شده است.



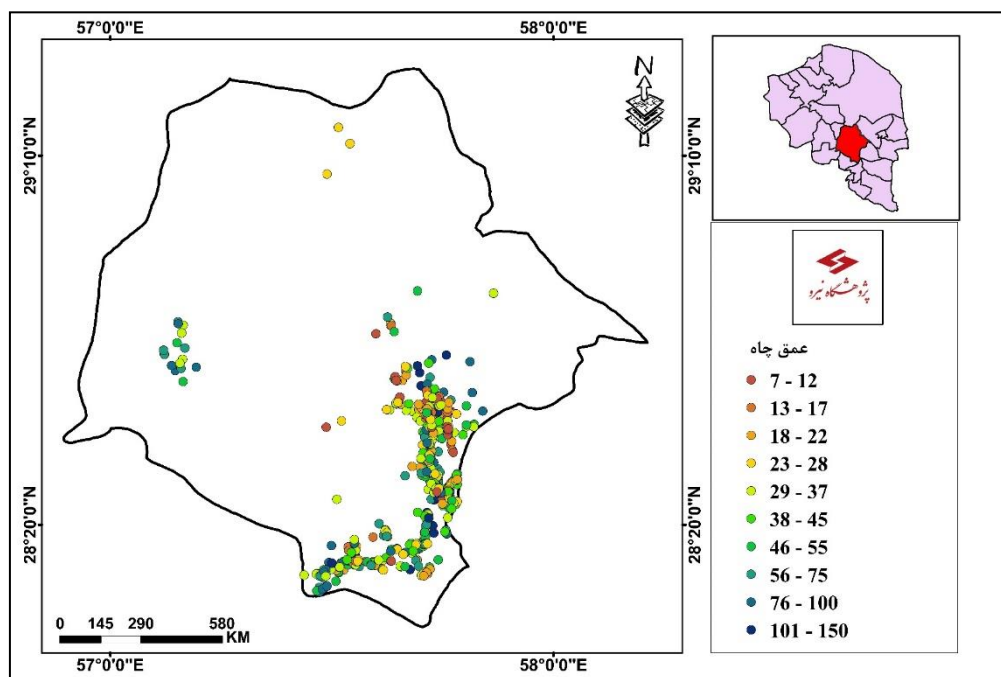
شکل ۲-۲: وضعیت فعال و غیر فعال بودن چاه‌های کشاورزی مورد مطالعه

بررسی کارکرد چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که محدوده ۵۲۰۱ تا ۶۲۰۰ دارای بیشترین چاه‌ها می‌باشند که در این محدوده فعالیت دارند. که در سراسر منطقه پراکنده می‌باشند. در شکل ۲-۳ وضعیت کارکرد چاه‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۳-۲: وضعیت کارکرد چاه‌های کشاورزی مورد مطالعه

بررسی عمق چاه‌های مورد مطالعه نشان داد که از عمق ۷ متر تا عمق ۱۵۰ متر متغیر می‌باشند. چاه‌های با عمق زیاد عمدتاً در شمال منطقه مورد مطالعه وجود دارند. زیرا ارتفاع از سطح دریا از جنوب به شمال منطقه افزایش می‌یابد. در شکل وضعیت عمق چاه‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



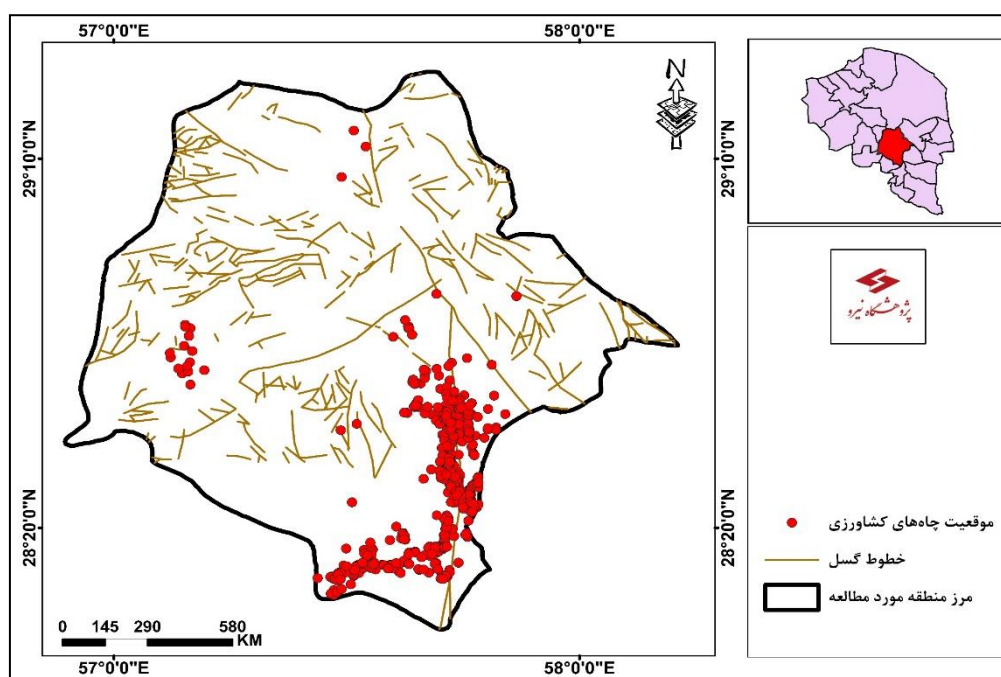
شکل ۴-۲: وضعیت عمق چاه‌های کشاورزی مورد مطالعه

۲-۴- معیارهای مورد استفاده

براساس پیشینه تحقیق در این مطالعه جهت انتخاب مکان مناسب برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه از مجموعه معیارهای مکانی استفاده شده است. در زیر هر کدام از معیارها شرح داده شده‌اند.

۲-۴-۱ فاصله از گسل

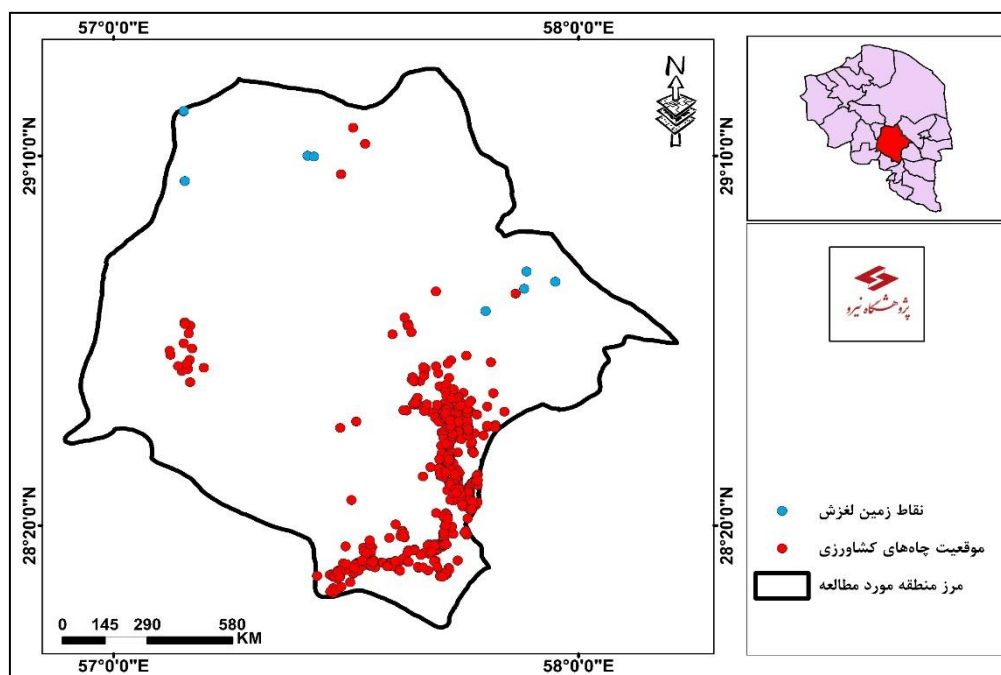
از معیار فاصله از گسل برای انتخاب مکان بهینه جهت ساخت نیروگاه‌های خورشید، بادی و تولید پراکنده استفاده شده است. لحاظ کردن معیار گسل به این صورت می‌باشد که هر چقدر فاصله از گسل بیشتر باید درجه مناسب بودن افزایش می‌یابد [۱]. زیرا در صورت بروز لغزش یا رانش زمین می‌تواند خسارت زیادی به بار آورد. بنابراین در این مطالعه تا فاصله ۱۰۰۰ متر به عنوان مناطق دارای محدودیت در نظر گرفته شد است. در شکل ۲-۵ موقعیت چاه‌های کشاورزی به گسل‌های منطقه نشان داده شده است.



شکل ۲-۵: موقعیت چاه‌های کشاورزی به گسل‌های منطقه

۲-۴-۲ فاصله از نقاط زمین لغزش

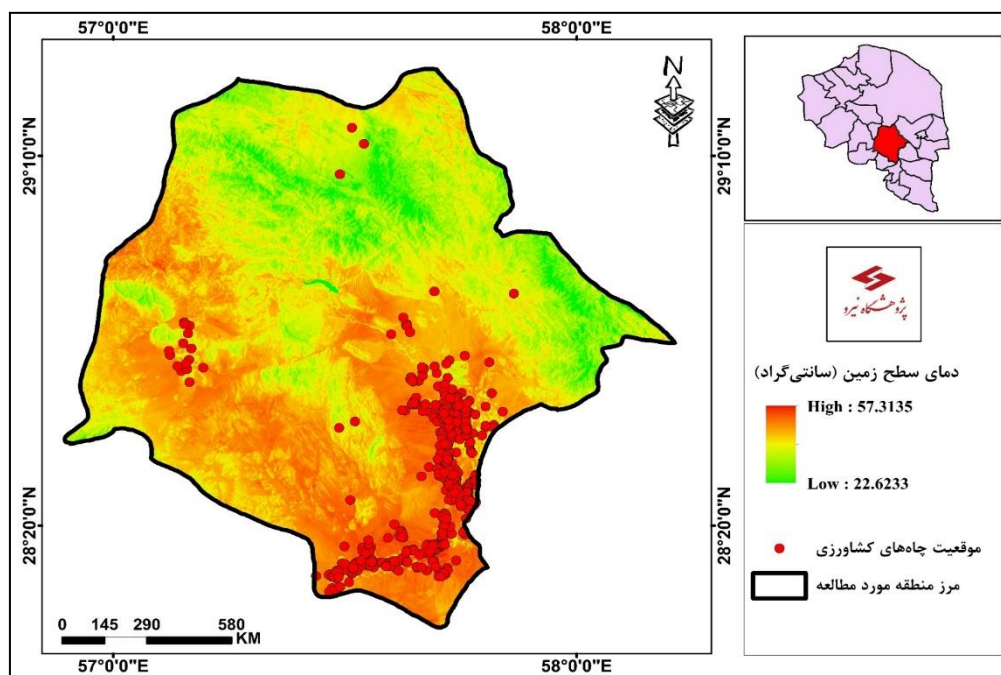
در این مطالعه از معیار فاصله از نقاط زمین لغزش جهت ساخت نیروگاه‌های خورشید، بادی و تولید پراکنده استفاده شده است. هر چقدر میزان فاصله از نقاط زمین لغزش بیشتر باشد مکان مورد نظر دارای درجه مناسب بودن بالایی می‌باشد. زیرا در صورت بروز رانش یا لغزش زمین خسارات زیادی ایجاد می‌کند [۳۳]. بنابراین در این مطالعه تا فاصله ۱۰۰۰ متر به عنوان مناطق دارای محدودیت در نظر گرفته شد است. در ۲-۶ موقعیت چاه‌های کشاورزی به نقاط زمین لغزش منطقه نشان داده شده است.



شکل ۶-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی به نقاط زمین لغزش منطقه

۳-۴-۲ دمای سطح زمین

جهت انتخاب مکان مناسب برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی از معیار دمای سطح زمین استفاده شده است. بازده پانل‌ها به دمای آن بستگی دارد و دمای پانل‌ها ناشی از دمای محیط و شدت تابش خورشید می‌باشد. بنابراین با افزایش دمای سطح درجه مناسب بودن مکان بالاتر می‌یابد [۴۱]. با استفاده از سنجنده ماهواره لندست با قدرت تفکیک ۳۰ متر دمای سطح منطقه مورد مطالعه استخراج گردید. در ۲-۷ موقعیت چاه‌های کشاورزی به دمای سطح زمین منطقه نشان داده شده است.

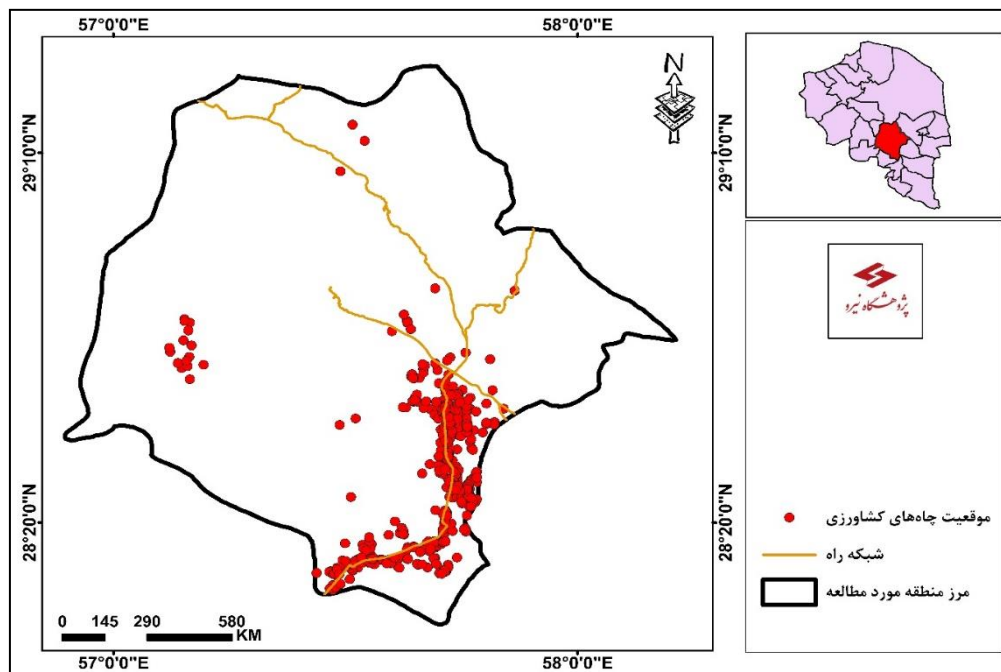


شکل ۷-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی به دمای سطح زمین منطقه

۴-۲-۴ فاصله از شبکه راه

از معیار فاصله از شبکه راه جهت انتخاب مکان بهینه برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی، بادی و تولید پراکنده استفاده شده است. فاصله از شبکه جاده به دلیل کاهش هزینه‌های ساخت و ساز و همچنین کاهش اثرات تخریب محیط طبیعی هر چقدر کم باشد درجه مناسب بودن افزایش می‌باشد. در مطالعات مختلف بیان شده است مناطق با فاصله بیشتر از جاده دارای ارزش کمتری نسبت به مناطق نزدیک‌تر می‌باشند [۴۲]. در مطالعات مختلف فاصله دارای محدودیت متفاوت می‌باشد. مثلاً شورابه و همکاران [۱۴] یک بافر ۵۰۰ متری در نظر گرفتند. همچنین گورفسکی^۱ و همکاران [۴۳] یک بافر ۱۵۰۰ متری در نظر گرفتند. در این مطالعه تا فاصله ۱۰۰۰ متری منطقه دارای محدودیت در نظر گرفته شده است. در شکل ۲-۸ موقعیت چاه‌های کشاورزی به شبکه راه نشان داده شده است.

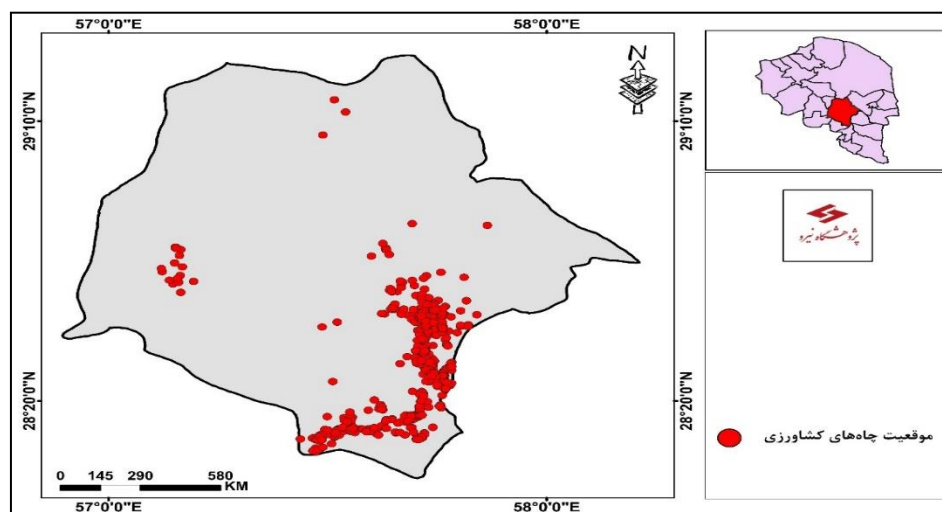
¹ Gorsevski



شکل ۸-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی به شبکه راه منطقه

۵-۴-۲ فاصله از چاه‌های کشاورزی

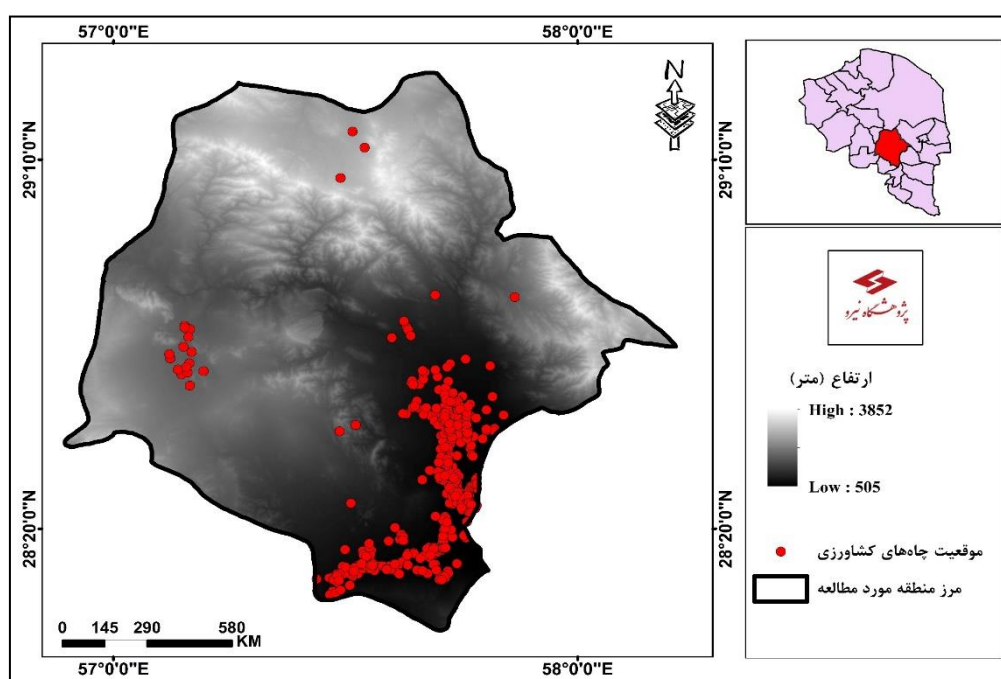
از معیار فاصله از چاه‌های کشاورزی برای تاسیس نیروگاه‌های خورشید، بادی و تولید پراکنده استفاده شده است. هر چه میزان فاصله از چاه‌های کشاورزی کمتر باشد مکان مناسب بهینه‌تر می‌باشد و برعکس. زیرا با افزایش فاصله هزینه‌های انتقال برق از نیروگاه به چاه‌ها کشاورزی افزایش می‌یابد. در شکل ۲-۹ موقعیت چاه‌های کشاورزی به دمای سطح زمین منطقه نشان داده شده است.



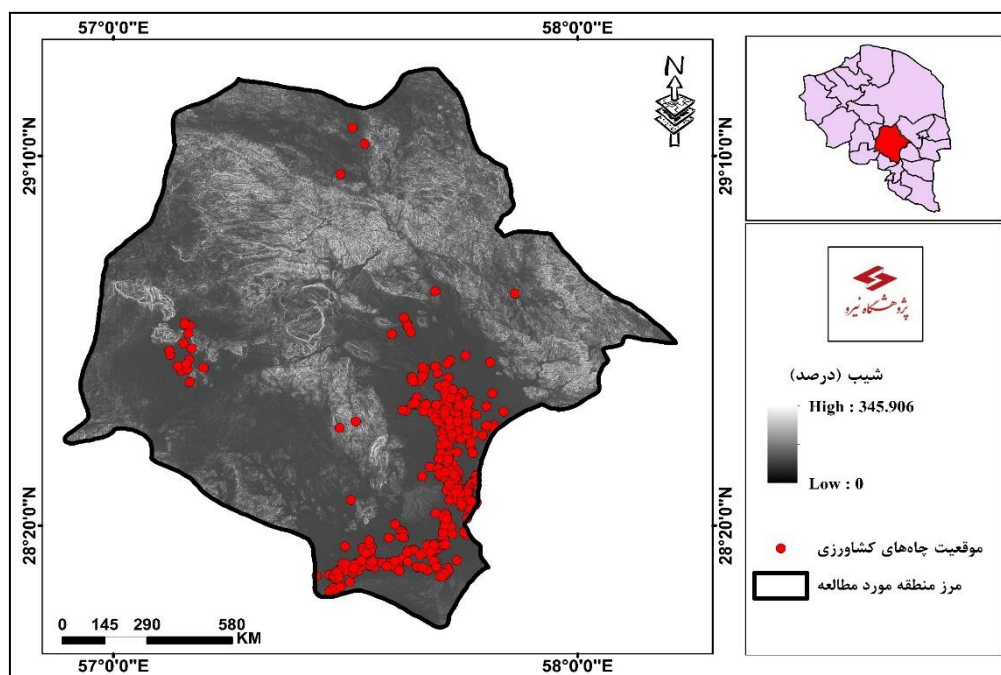
شکل ۹-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی در منطقه

۶-۴-۲ ارتفاع و شیب

از معیار شیب و ارتفاع برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی، بادی و تولید پراکنده استفاده شده است. معیار شیب و ارتفاع یک عامل اقتصادی محسوب می‌شود. بطوریکه هزینه احداث نیروگاه‌ها در شیب‌ها و ارتفاعات مختلف متفاوت می‌باشد. هر چقدر میزان شیب و ارتفاع بیشتر باشد هزینه ساخت و ساز و جابجایی وسایل افزایش می‌یابد. [۴۱]. در مطالعات مختلف حداکثر شیب در نظر گرفته شده بین ۱۰ درصد [۴۴] تا ۴۰ درصد [۴۵] متغیر می‌باشد. در برخی از مطالعات شیب را به عنوان یک معیار حتی در نظر نگرفته بودند [۴۶]. در این مطالعه حداکثر شیب ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است. که با توجه به توپوگرافی پایین منطقه مورد مطالعه مساحتی پایین از منطقه حذف شده است. در این مطالعه هر چه درصد شیب پایین باشد درجه مناسب بودن افزایش می‌یابد. در شکل ۲-۱۰ موقعیت چاه‌های کشاورزی به ترتیب به ارتفاع و شیب منطقه نشان داده شده است.



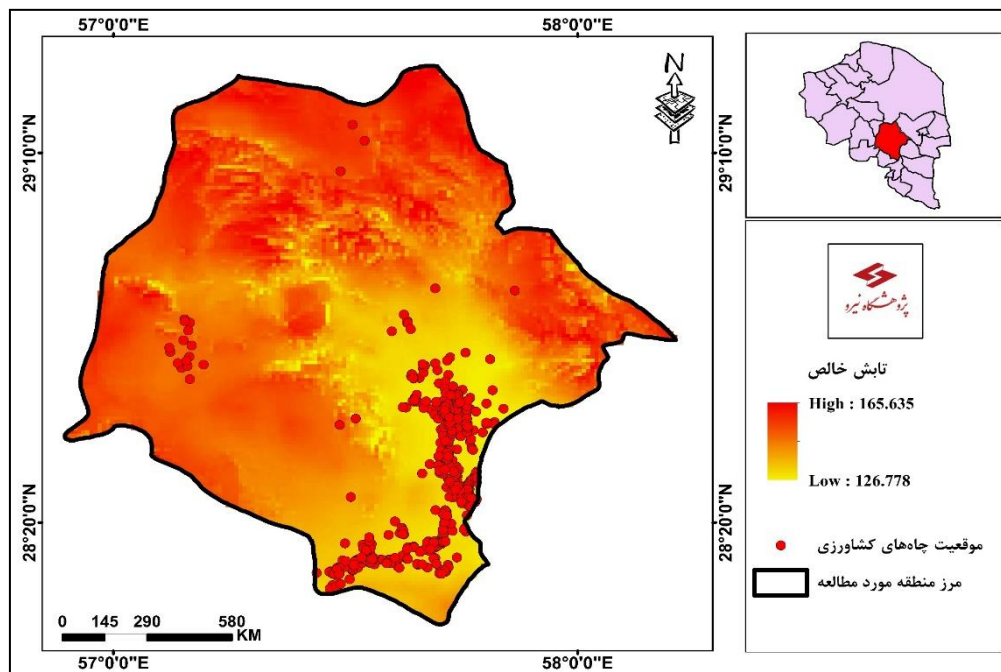
شکل ۲-۱۰: موقعیت چاه‌های کشاورزی به ارتفاع منطقه



شکل ۱۱-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی به شیب منطقه

۲-۴-۷ تابش خالص

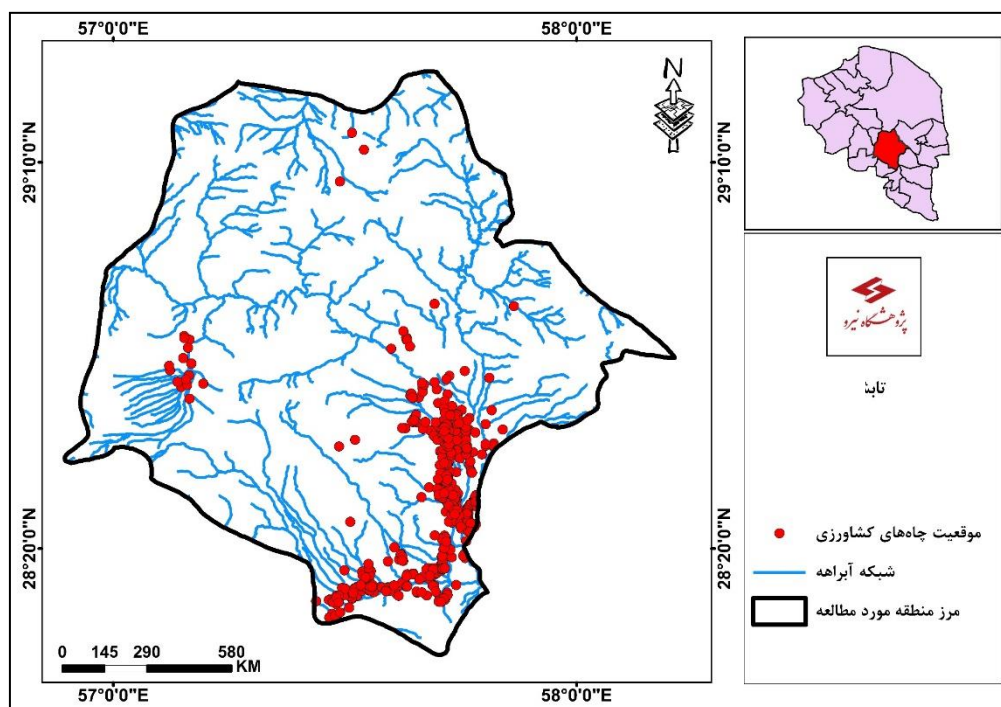
از معیار تابش خالص جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی استفاده شده است. تابش خالص به عنوان یکی از مهمترین منابع انرژی محسوب می‌شود. که از خورشید در قالب انرژی الکترومغناطیسی دریافت می‌شود [۱]. از محصول اطلس خورشیدی جهان (Global Solar Atlas) جهت تهیه نقشه تابش خالص استفاده شده است. در شکل ۱۲-۲ موقعیت چاه‌های کشاورزی به تابش خالص منطقه نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی به تابش خالص منطقه

۸-۴-۲ فاصله از شبکه آبراهه

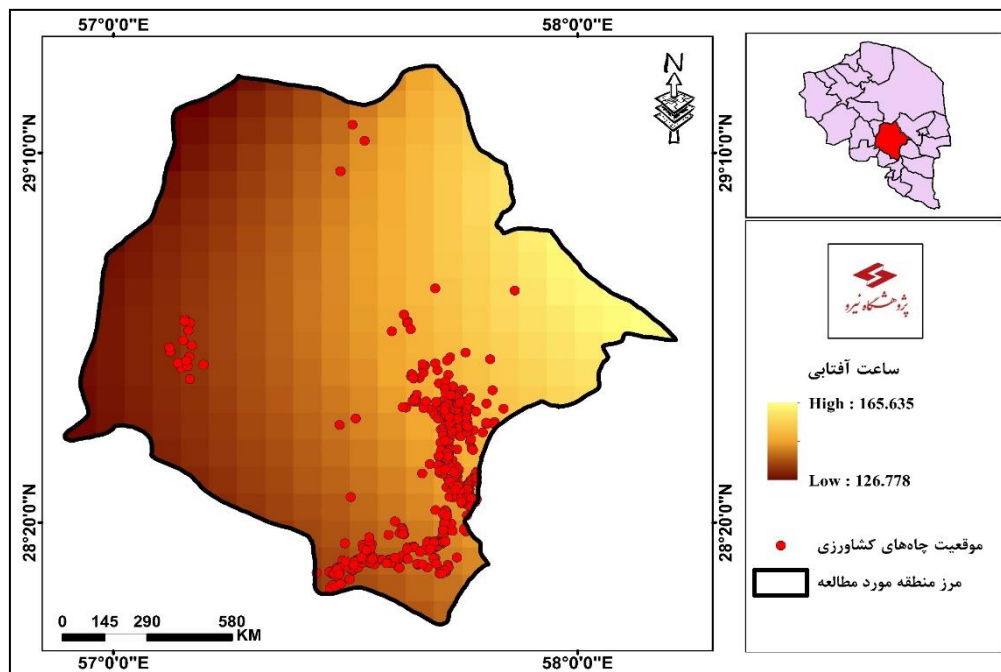
از این معیار جهت انتخاب مکان سایت برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی، بادی و تولید پراکنده استفاده شده است. از آنجایی که نزدیکی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر به رودخانه‌ها می‌تواند باعث به خطر افتادن آنها در مواقع سیلابی شدن شود به همین دلیل هر چه نیروگاه‌ها از رودخانه‌ها دورتر باشند درجه مناسب بودن افزایش می‌یابد [۴۷]. در این مطالعه تا فاصله ۱۰۰۰ متر به عنوان منطقه دارای محدودیت در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۳-۲ موقعیت چاه‌های کشاورزی به شبکه آبراهه منطقه نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی به شبکه آبراهه منطقه

۹-۴-۲ ساعات آفتابی

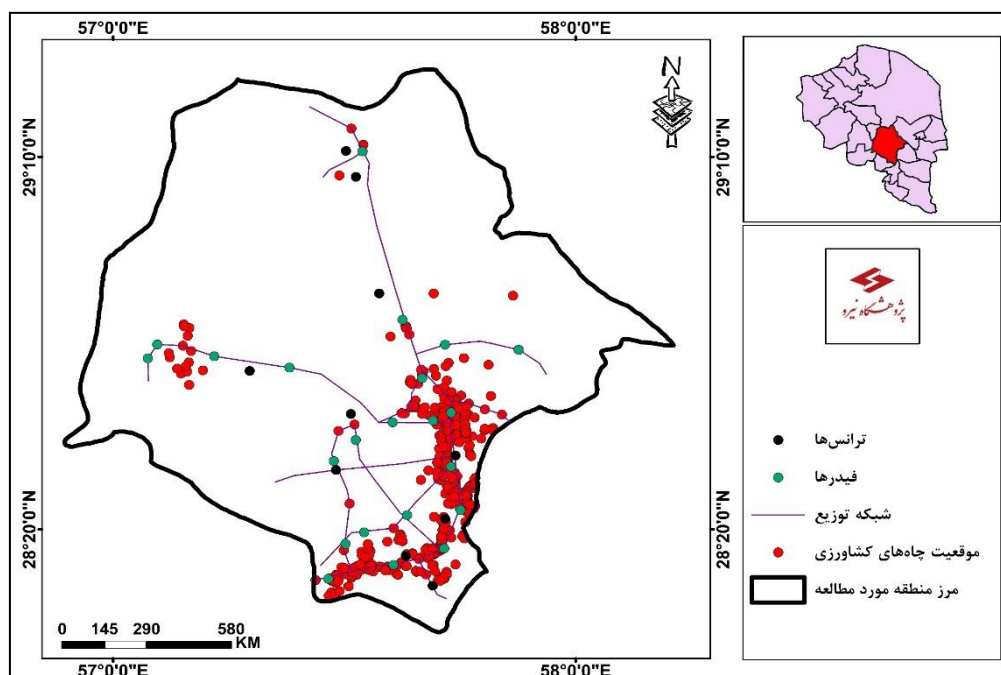
از معیار میانگین ساعات آفتابی جهت انتخاب مکان مناسب برای نیروگاه‌های خورشیدی استفاده شده است. ساعات آفتابی یکی از عوامل مهم اقلیمی هست که تابش رسیده شده به هر منطقه را نشان می‌دهد. هر چقدر میزان ساعات آفتابی در منطقه‌ای بالا باشد از یک طرف نشان دهنده پتانسل بالای آن منطقه جهت ساخت نیروگاه‌های خورشیدی و از طرف دیگر نشان دهنده روزهای ابری کم در آن منطقه می‌باشد [۴۸]. در این مطالعه برای تهیه نقشه ساعات آفتابی از داده‌های ایستگاه هواشناسی و روش درونیابی IDW استفاده شده است. روش درونیابی IDW بر این اساس است که تاثیر پدیده مورد نظر با افزایش فاصله، کاهش می‌یابد. در شکل ۲-۱۴ موقعیت چاه‌های کشاورزی به ساعات آفتابی منطقه نشان داده شده است.



شکل ۱۴-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی به ساعات آفتابی منطقه

۱۰-۴-۲ فاصله از شبکه توزیع، فیدرها و ترانس‌ها

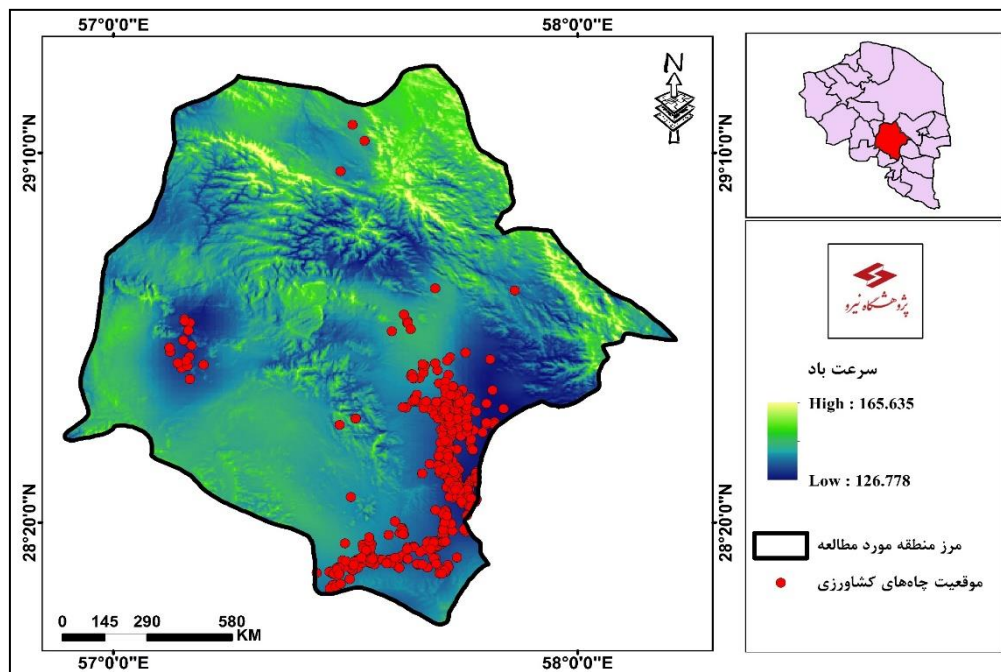
از معیار شبکه توزیع، فیدرها و ترانس‌ها جهت انتخاب مکان مناسب برای نیروگاه‌های خورشیدی و بادی استفاده شده است. از یک طرف جهت دسترسی آسان و از طرف دیگر جهت صرفه جویی هزینه هر چقدر میزان فاصله از معیارهای فوق‌الذکر کم باشد درجه مناسب بودن افزایش می‌یابد. به همین دلیل در این مطالعه هر چقدر میزان فاصله از شبکه توزیع، فیدرها و ترانس‌ها کم باشد مکان مورد نظر دارای اهمیت بیشتری می‌باشد. در شکل ۱۵-۲ موقعیت چاه‌های کشاورزی به شبکه توزیع، فیدرها و ترانس‌ها منطقه نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی به شبکه توزیع، فیدرها و ترانس‌ها منطقه

۱۱-۴-۲ سرعت باد

از معیار سرعت باد جهت انتخاب مکان مناسب برای ساخت نیروگاه‌های بادی استفاده شده است. سرعت باد معیاری می‌باشد که تقریباً در اکثر مطالعات قبلی به عنوان مهمترین پارامتر در نظر گرفته شده است [۲۰]. زیرا میزان عملکرد اقتصادی یک توربین بادی را تعیین می‌کند. از محصول اطلس بادی جهان (Global Wind Atlas) جهت تهیه نقشه سرعت باد استفاده شده است. در این مطالعه سرعت باد کمتر از ۵ متر بر ثانیه به عنوان مناطق دارای محدودیت در نظر گرفته شده است. در شکل ۲-۱۶ موقعیت چاه‌های کشاورزی به سرعت باد منطقه نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی به سرعت باد منطقه

۳- فصل سوم: مشخصات داده‌ها و روش‌شناسی

۱-۳- مقدمه

در این فصل به معرفی مشخصات داده‌ها و روش‌شناسی پژوهش پرداخته می‌شود.

۲-۳- داده‌های مورد استفاده

داده‌های اولیه مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل مدل رقومی ارتفاع^۱ حاصل شده از داده‌های ماهواره‌ای Aster برای ارتفاع و شیب منطقه، استخراج دمای سطح زمین با استفاده از لندست، نقشه گسل تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی، شیب فایل شبکه‌های راه‌ها تهیه شده توسط سازمان راه و شهرسازی، شیب فایل شبکه ابراهه‌ها توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ساعات آفتابی توسط سازمان هواشناسی، سرعت باد تهیه شده توسط اطلس باد جهان، تابش خالص تهیه شده توسط اطلس خورشیدی جهان، شبکه توزیع، فیدرها و ترانس‌ها توسط شرکت توزیع نیروی برق استان کرمان، چاه‌های کشاورزی توسط شرکت سهامی آب منطقه ای کرمان می‌باشد. مشخصات داده‌ها در جدول (۱-۳) نشان داده شده است. برای تولید و تجزیه و تحلیل لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه از نرم‌افزار ArcGIS ۱۰.۳ متناسب با قابلیت هر یک از آن‌ها در هر مرحله استفاده گردید (برای مشاهده داده‌های اصلی این پژوهش به فایل‌های پیوست به اسم Source Data مراجعه شود)

جدول ۱-۳: مشخصات داده‌های مورد استفاده

داده	فرمت	منبع	اندازه پیکسل نهایی (متر)
دمای سطح زمین	رستری	https://earthexplorer.usgs.gov/	۱۰۰۰
گسل	وکتوری (خطی)	https://gsi.ir/	۱۰۰۰
شبکه آبراهه	وکتوری (خطی)	http://www.ncc.org.ir/	۱۰۰۰
شبکه راه	وکتوری (خطی)	https://www.mrud.ir/	۱۰۰۰
ارتفاع	رستری	https://earthexplorer.usgs.gov/	۱۰۰۰
شیب	رستری	https://earthexplorer.usgs.gov/	۱۰۰۰
تابش خالص	رستری	https://globalsolaratlas.info/map	۱۰۰۰
شبکه توزیع	وکتوری (خطی)	https://www.nked.co.ir/	۱۰۰۰
فیدرها	وکتوری (نقطه‌ای)	https://www.nked.co.ir/	۱۰۰۰
ترانس‌ها	وکتوری (نقطه‌ای)	https://www.nked.co.ir/	۱۰۰۰
ساعات آفتابی	وکتوری (نقطه‌ای)	http://www.irimo.ir/	۱۰۰۰
سرعت باد	رستری	https://globalwindatlas.info/	۱۰۰۰
چاه‌های کشاورزی	وکتوری (نقطه‌ای)	https://www.krrw.ir/	۱۰۰۰
نقاط زمین لغزش	وکتوری (نقطه‌ای)	https://gsi.ir/	۱۰۰۰

^۱Digital Elevation Model

۳-۳- روش پژوهش

به صورت کلی مراحل انجام روش پژوهش به شرح زیر می‌باشد (شکل ۳-۱):

مرحله اول: با استفاده از مطالعات انجام شده و نظر کارشناسان معیارهای مهم جهت تعیین مناطق با پتانسیل بالا انتخاب شدند.

مرحله دوم: با توجه به ماهیت منطقه مورد مطالعه معیارهای متناسب با منطقه مورد مطالعه از میان همه معیارهای مورد استفاده شده انتخاب شدند.

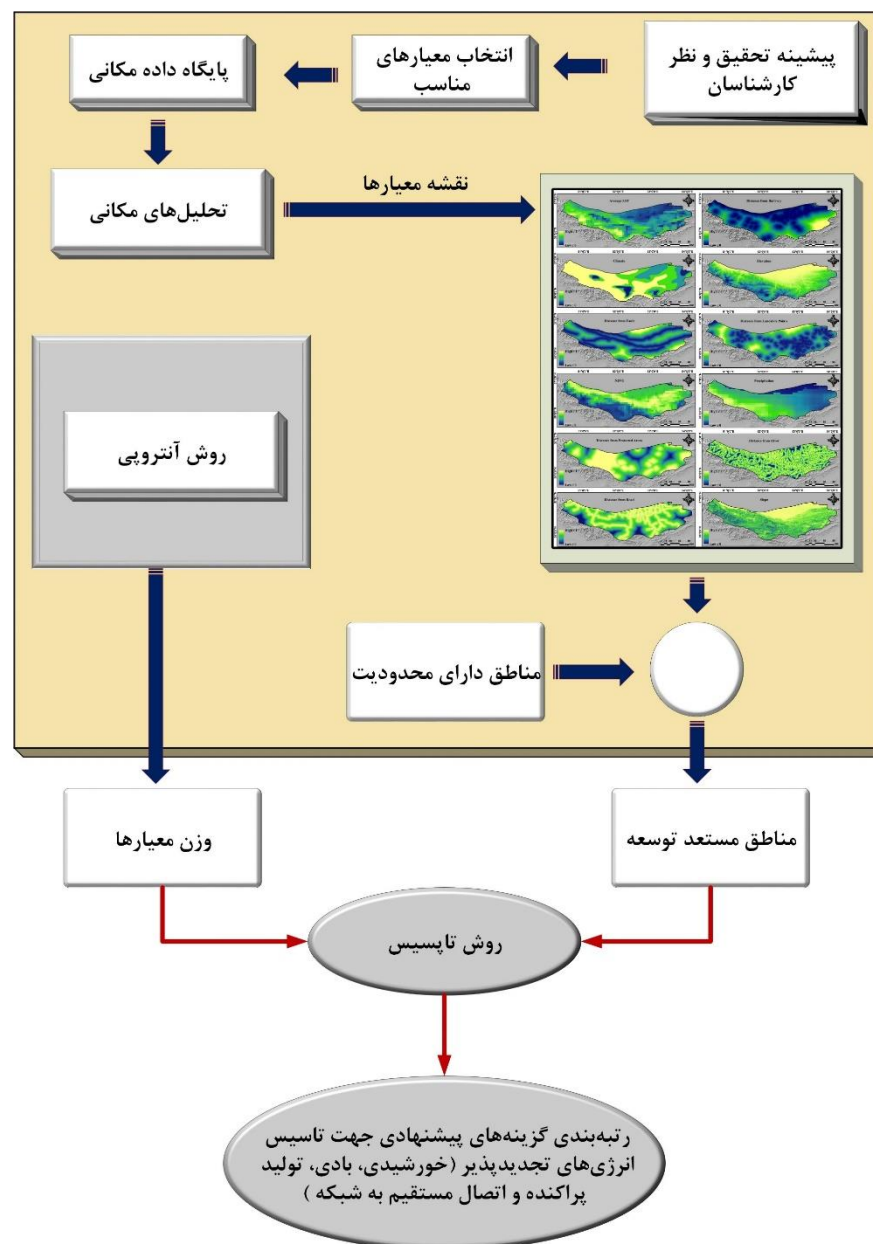
مرحله سوم: مراحل پیش پردازش از جمله نمونه برداری مجدد، هم مختصات کردن معیارها، هم اندازه کردن معیارها انجام شد.

مرحله چهارم: با استفاده از تحلیل‌های مکانی نقشه هر کدام از معیارهای مورد استفاده تهیه شد.

مرحله پنجم: با اعمال مناطق دارای محدودیت برای معیارها، نقشه محدودیت‌های تهیه شد.

مرحله ششم: به دست آوردن وزن معیارها با استفاده از روش آنتروپی، که یک روش وزدهی داده مبنا می‌باشد.

مرحله هفتم: با استفاده از وزن‌های به دست آمده به روش آنتروپی و گزینه‌ها، از روش تاپسیس جهت رتبه‌بندی گزینه‌های انتخابی استفاده شد.



شکل ۱-۳: فلوچارت مراحل اصلی اجرای پایلوت

۳-۳-۱ پیش‌پردازش

پیش‌پردازش نقشه‌ای اساسی در روند پردازش داده‌ها و نتایج حاصل از آن‌ها ایفا می‌کند. هدف از پیش‌پردازش داده این است که بتوانیم داده‌های دقیق، کامل و سازگار برای انجام هدف مورد نظر داشته باشیم. با توجه به اینکه در بحث مسائل مکانی داده‌های مورد استفاده از سازمان‌ها و موسسات متفاوتی تهیه می‌شود بنابراین لازم می‌باشد که داده‌ها قبل از اینکه مورد پردازش قرار گیرند، عملیات پیش‌پردازش بر روی آنها اعمال شود. تبدیلات هندسی مختلفی جهت ایجاد ارتباط بین دو سیستم مختصات و انتقال مختصات یک رشته نقاط و یا پیکسل‌های تصویری از سیستمی به سیستم دیگر وجود دارند (همچون پروژکتیو، چند جمله‌ای، افاین و ...). اما از نظر پردازش رقومی

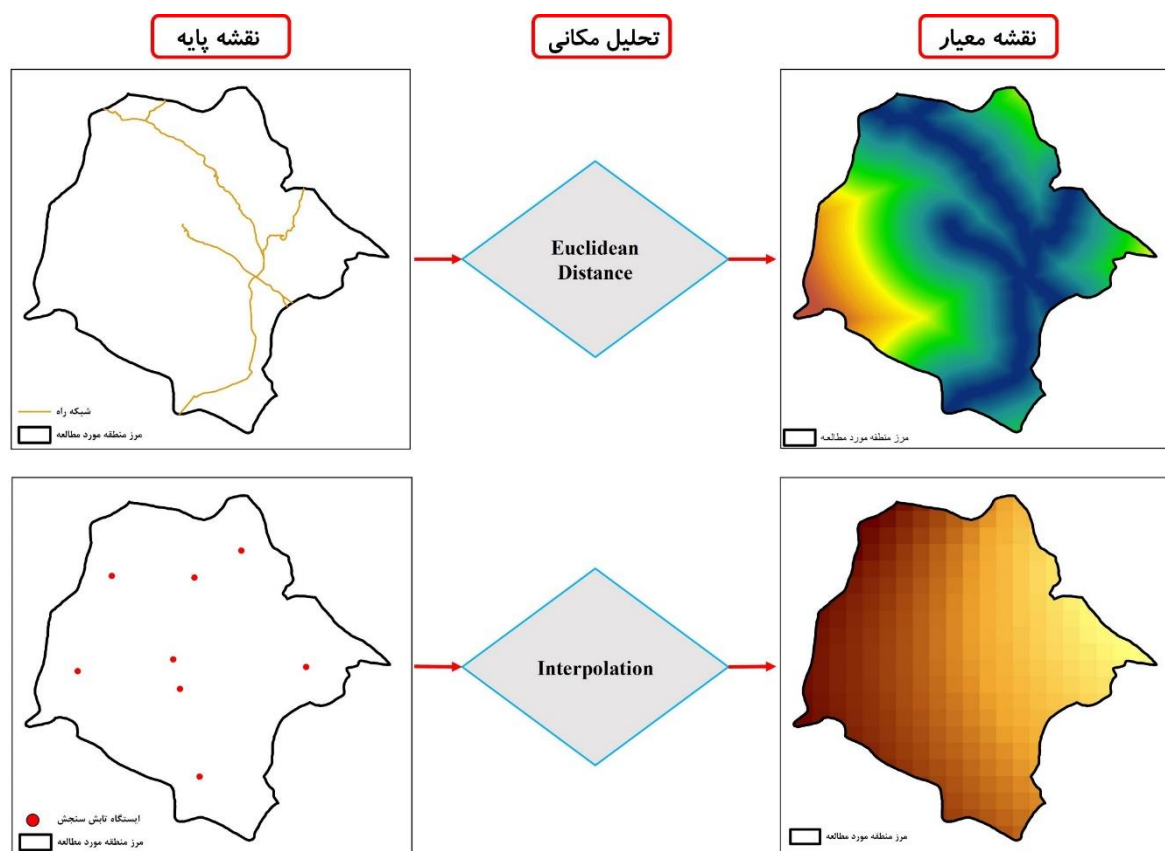
تصاویر تبدیل هندسی یک تصویر و یا نقشه رستری اسکن شده، از دو عمل پایه‌ای تشکیل می‌شود: ۱- یک تبدیل مکانی که باز آرای پیکسل‌ها روی صفحه تصویر را تعریف می‌کند، ۲- یک درونیابی سطح خاکستری که سطوح خاکستری را به پیکسل‌های تصویر حاصل از تبدیل مکانی نسبت می‌دهد.

در بحث تحلیل‌های مکانی دو مرحله پیش‌پردازش یعنی هم مختصات بودن و هم اندازه بودن پیکسل‌ها در تمام لایه‌ها باید انجام شود. در این مطالعه همه لایه‌ها با سیستم مختصات GCS_WGS_1984 تطبیق داده شدند. همچنین با استفاده از روش نزدیکترین همسایه اندازه پیکسل تمام لایه‌های به یک اندازه شد. در این روش عملاً هیچگونه محاسبه انجام نمی‌شود. فقط مقدار درجه خاکستری پیکسلی انتخاب می‌شود که به موقعیت نقطه در تصویر نزدیکترین باشد. این درجه خاکستری به موقعیت نقطه در شبکه منظم اصلی نسبت داده می‌شود. این روش از آنجایی که محاسبات خاصی انجام نمی‌دهد، سریع‌ترین روش نمونه‌برداری مجدد محسوب می‌شود. علاوه بر این، از مقادیر حقیقی موجود در تصویر استفاده می‌کند و بنابراین ارقام جدیدی که گاه ممکن است غیر واقعی باشند را تولید نمی‌نماید. این مسئله به خصوص برای موقعی که قرار است تصاویر باهمدیگر تلفیق شوند بسیار مفید خواهد بود.

۳-۳-۲ تحلیل‌های مکانی در GIS

سامانه اطلاعات جغرافیایی مجموعه‌ای از توابع تحلیل‌های مکانی را برای انجام پردازش‌های مکانی و توصیفی مورد نیاز کاربران ارائه می‌دهد. توابع تحلیل‌های مکانی این پردازش‌ها را بر روی داده‌ها و اطلاعات مکانی انجام می‌دهند و هرکدام از آنها با استفاده از الگوریتم‌های مختلف داده‌های جدیدی تولید می‌کنند. مجموعه‌ای از توابع تحلیل‌های مکانی نیز می‌توانند یک آنالیز مکانی را شکل دهند و منجر به حل مسائل مکانی شوند.

بعد از اینکه مجموعه معیارهای موثر جهت تهیه نقشه پتانسیل جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر انتخاب شدند هر معیار به عنوان یک نقشه GIS در پایگاه داده مکانی ذخیر شد. بسته به نوع معیار از ابزارهای مختلفی جهت تهیه نقشه‌های معیارها استفاده شده است. به عنوان مثال برای تهیه نقشه معیار "فاصله از شبکه راه" از ابزار مکانی "فاصله اقلیدسی" یا جهت تهیه نقشه معیار "ساعات آفتابی" از ابزار مکانی "درونیابی" استفاده شده است. در شکل (۳-۲) نمونه‌های از تحلیل‌های مکانی نشان داده شده است.



شکل ۲-۳: نمونه‌های از تهیه نقشه معیار با استفاده از تحلیل مکانی

۳-۳-۳ آنتروپی شانون

یکی از روش‌های استخراج وزن اهمیت معیارها در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه آنتروپی شانون است. مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های استخراج وزن این است که یک روش کاملاً عینی است و سوگیری نظرهای خبرگان در آن وجود ندارد؛ بنابراین اگر شرایط به گونه‌ای باشد که احتمال خطا در قضاوت خبرگان وجود داشته باشد، استفاده از این روش می‌تواند جایگزین خوب و قابل قبولی باشد [۴۹]. در تکنیک آنتروپی شانون با توجه به وزن‌های به دست آمده از شاخص‌ها در این مرحله، آن شاخص‌هایی که دارای پراکندگی بیشتر هستند، نسبت به دیگر شاخص‌ها، از اهمیت بیشتری برخوردارند و تأثیر آنها در انتخاب گزینه بهینه بیشتر است. در تئوری اطلاعات، آنتروپی یک معیار عدم اطمینان است که با توزیع احتمال مشخص بیان می‌شود. به عبارت دیگر، آنتروپی معیاری برای مقدار عدم اطمینان بیان شده توسط یک توزیع احتمال گسسته (P_i) است، به طوری که این عدم اطمینان در صورت پخش بودن توزیع، بیشتر از موردی است که توزیع فراوانی تیزتر باشد. این عدم اطمینان در یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره به صورت ذیل تشریح می‌شود. مراحل روش آنتروپی به صورت زیر می‌باشد [۵۰].

مرحله ۱) تشکیل جدول تصمیم‌گیری: اولین مرحله از مراحل روش آنتروپی تشکیل جدول تصمیم‌گیری می‌باشد. بنابراین برای محاسبه وزن شاخص‌ها با استفاده از روش آنتروپی ابتدا باید جدول تصمیم‌گیری مساله را

تشکیل داد زیرا هم‌منطور که بیان شد جدول تصمیم‌گیری به عنوان ورودی روش آنتروپی در نظر گرفته می‌شود. ماتریس تصمیم‌گیری مسئله را به صورت رابطه (۱-۳) نشان می‌دهند.

$$X = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (1-3)$$

مرحله ۲) نرمالسازی جدول تصمیم‌گیری: مرحله دوم از مراحل روش آنتروپی نرمالسازی یا بی‌مقیاس کردن جدول تصمیم‌گیری می‌باشد. برای نرمالسازی از روش نرمالسازی ساده یعنی همان روش میانگین حسابی استفاده می‌شود. رابطه نرمالسازی ساده به صورت رابطه (۲-۳) می‌باشد.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2-3)$$

مرحله ۳) محاسبه آنتروپی هر شاخص: در این مرحله باید آنتروپی هر یک از شاخص‌ها را با استفاده از رابطه (۳-۳) محاسبه نمود.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} * \ln p_{ij} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3-3)$$

$$k = \frac{1}{\ln m}$$

مقدار K یک ثابت مثبت است که برای تامین شرط $0 \leq E \leq 1$ اعمال می‌شود.

مرحله ۴) محاسبه فاصله هر شاخص از آنتروپی آن: در این مرحله باید فاصله هر یک از شاخص‌ها را از مقدار آنتروپی آن که در مرحله قبل محاسبه شد بدست آوریم. که از رابطه (۴-۳) استفاده می‌شود.

$$D_j = 1 - E_j \quad (4-3)$$

مرحله ۵) محاسبه وزن هر شاخص: در این مرحله وزن هر شاخص را با استفاده از رابطه (۵-۳) محاسبه می‌کنیم.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum d_j} \quad (5-3)$$

۳-۳-۴ رتبه‌بندی گزینه‌های مناسب با استفاده از روش تاپسیس

به منظور ارزیابی نهایی و اولویت‌بندی گزینه‌های دارای پتانسیل بالا جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر از روش تاپسیس که یکی از روش‌های ساده ولی کارآمد در رتبه‌بندی نسبی گزینه‌ها محسوب می‌شود، استفاده شد. اساس این تکنیک بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی بایستی کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن موجود) یعنی راه حلی که در میان معیارهای مثبت، بیشترین و در میان معیارهای منفی کمترین

بوده، دارا باشد و بیشترین فاصله را با راه حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) یعنی راه‌حلی که در میان معیارهای منفی، بیشترین و در میان معیارهای مثبت کمترین باشد؛ داشته باشد [۵۱]. از آنجا که هدف، تعیین اختلاف در برخورداری و عدالت فضایی است و لذا نیاز به سنجش نسبی گزینه‌های مختلف است، لذا این روش برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس شرایط موجود در منطقه مطالعاتی، استفاده شد. حل مسئله با این روش شامل شش گام است [۵۲].

گام اول) کمی کردن و بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم: این فرآیند سعی می‌کند مقیاس‌های موجود در ماتریس تصمیم را بدون مقیاس نماید. به این ترتیب که هر کدام از مقادیر بر اندازه بردار مربوط به همان شاخص تقسیم می‌شود (رابطه ۳-۶).

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}}} \quad (۳-۶)$$

گام دوم) وزن دهی به ماتریس نرمالیزه شده: در این مرحله وزن معین شده برای هر شاخص را در هر یک از گزینه‌ها ضرب می‌شود و ماتریس بی‌مقیاس وزین به دست می‌آید. که در این پژوهش با استفاده از روش آنتروپی وزن هر کدام از شاخص‌ها به دست آمد.

گام سوم) تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت (A^+) و منفی (A^-): در این قسمت با توجه به نوع شاخص و اثرگذاری آن روی هدف تصمیم‌گیری، ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی تعیین می‌شود. برای شاخص‌هایی که دارای تأثیرگذاری مثبت بر روی هدف مسئله می‌باشند، ایده‌آل مثبت، بیشترین مقدار آن شاخص خواهد بود. به همین منوال برای شاخص‌هایی که دارای تأثیرگذاری منفی بر روی هدف مسئله می‌باشند، ایده‌آل مثبت، کمترین مقدار آن شاخص خواهد بود.

گام چهارم) به دست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایده‌آل مثبت و منفی: فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت از رابطه (۳-۷) و فاصله هر گزینه تا ایده‌آل منفی از رابطه (۳-۸) محاسبه می‌شود:

$$d^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_{ij}^+)^2} \quad (۳-۷)$$

$$d^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_{ij}^-)^2} \quad (۳-۸)$$

گام پنجم) تعیین نزدیکی نسبی گزینه‌ها از ایده‌آل‌ها: بعد از یافتن فاصله‌های مثبت و منفی برای هر گزینه، فاصله نسبی گزینه‌های تصمیم‌گیری به کمک رابطه (۳-۹) تعیین می‌گردد.

$$CL_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (۳-۹)$$

گام ششم: رتبه‌بندی گزینه‌ها: آخرین مرحله تاپسیس رتبه‌بندی گزینه‌های پیش‌روی و تعیین بهترین گزینه می‌باشد. برای این منظور کافی است فاصله نسبی هر گزینه، به ترتیب بزرگ به کوچک مرتب شود. در این حالت گزینه که دارای بزرگترین فاصله نسبی نسبت به سایر گزینه‌ها می‌باشد، بالاترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهد.

۴- فصل چهارم: پیاده‌سازی و نتایج

۴-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا وزن معیارها تعیین می‌شود. سپس با توجه به روش‌ها و الگوریتم‌های بیان شده نتایج تمامی شاخص‌ها استخراج می‌شود و نیز تغییرات آنها مورد بحث قرار می‌گیرد و فرآیند مدلسازی اجرا می‌شود. در ادامه نتایج پتانسیل‌سنجی با استفاده از رویکرد سیستم GIS-MCDA مورد بحث قرار می‌گیرد.

۴-۲- استخراج وزن معیارها

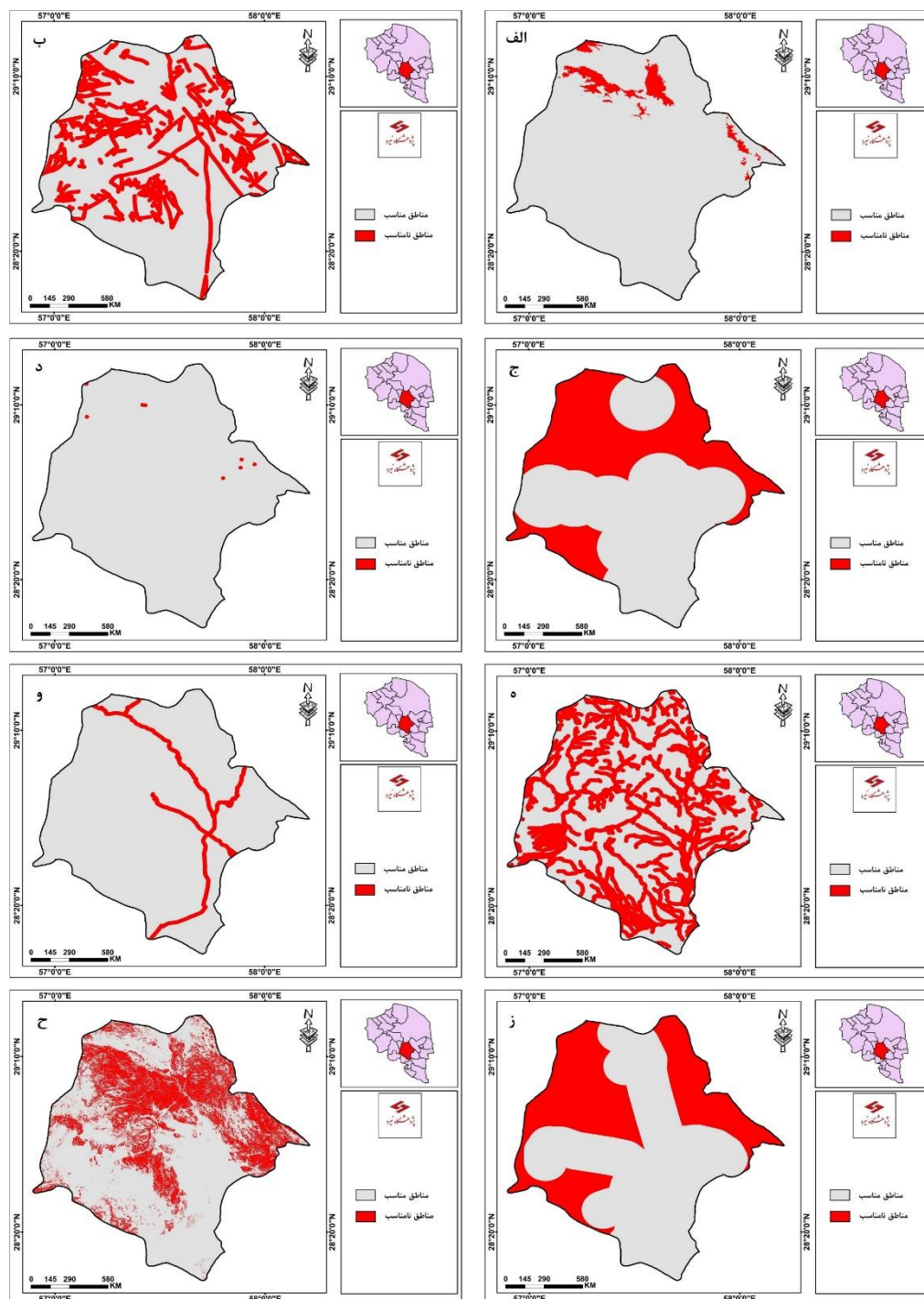
با توجه به نقشه‌های معیار در نظر گرفته شده، با بهره‌گیری از مقادیر پیکسل‌های معیارها در سطوح مختلف نسبت به یکدیگر و با توجه به درجه اهمیت‌شان در هر سطح تصمیم‌گیری رتبه‌بندی شده و در نهایت با بهره‌گیری از مدل آنتروپی وزن‌های نهایی برای معیارها در هر سطح محاسبه و نتایج آن به صورت جدول (۴-۱) نشان داده شده است (برای جزئیات بیشتر در مورد محاسبه وزن معیارها خورشیدی، تولید پراکنده، اتصال مستقیم به شبکه و بادی به فایل اکسل پیوست به اسم Antropy_Solar، Antropy_DG، Antropy_Shabakeh و Antropy_Wind مراجعه شود) وزن هر معیار نشان دهنده درجه اهمیت آن معیار در تصمیم‌گیری نهایی می‌باشد. با تغییر وزن معیار درجه اهمیت آن معیار در تصمیم‌گیری تغییر می‌کند. وزن معیار بین ۰ تا ۱ متغیر است. همچنین مجموع وزن معیارهای ۱ می‌باشد. در بین معیارهای موثر برای انتخاب مکان مناسب برای ساخت نیروگاه انرژی‌های خورشیدی و بادی معیار شبکه توزیع و برای نیروگاه‌های تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه به ترتیب معیارهای ظرفیت آزاد فیدرها و فاصله از شبکه راه از اهمیت بالایی برخوردارند.

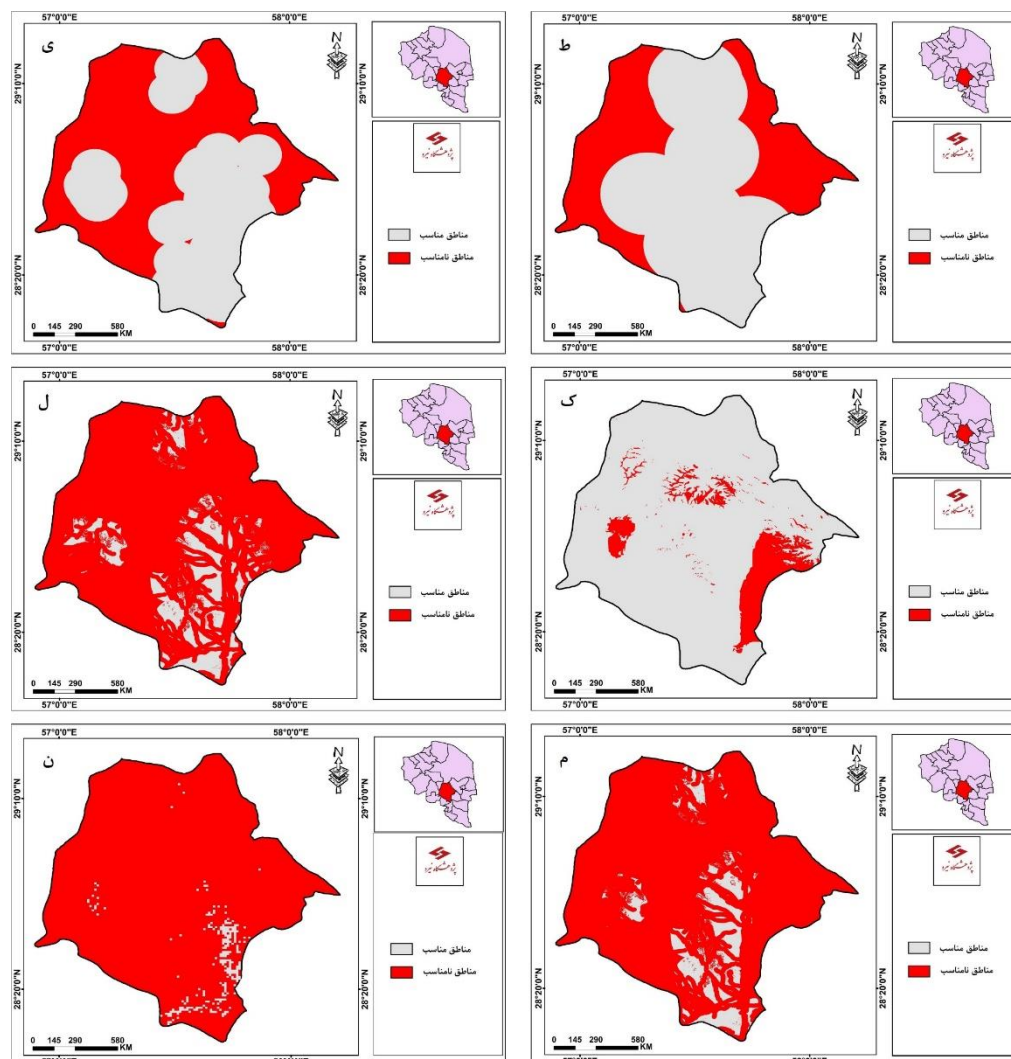
جدول ۱-۴: وزن و اهمیت معیارهای خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه با استفاده از روش آنتروپی

انرژی خورشیدی		انرژی بادی		اتصال مستقیم به شبکه		تولید پراکنده	
معیار	وزن	معیار	وزن	معیار	وزن	معیار	وزن
فاصله از گسل	۰/۱۰۵۲۵۱۹۱۵	فاصله از گسل	۰/۰۴۹۱۰۷۱۳	فاصله از فیدرها	۰/۱۵۷۳۶۷۹۵	فاصله از فیدرها	۰/۰۲۱۷۸۱۶۸۷
فاصله از نقاط زمین لغزش	۰/۰۴۲۵۱۰۰۱۹	فاصله از نقاط زمین لغزش	۰/۰۴۴۱۸۸۵۰۷	ظرفیت آزاد فیدرها	۰/۶۹۳۷۵۴۶۹	ظرفیت آزاد فیدرها	۰/۰۹۶۰۲۴۳
دمای سطح زمین	۰/۰۰۰۵۴۵۳۶	فاصله از شبکه راه	۰/۱۰۳۴۸۳۳۲	متوسط مصرف انرژی الکتریکی	۰/۱۴۸۸۷۷۳۵	متوسط مصرف انرژی الکتریکی	۰/۰۲۰۶۰۶۴۸۲
فاصله از شبکه راه	۰/۱۱۱۷۵۱۲۹۱	فاصله از چاه‌های کشاورزی	۰/۱۲۲۰۷۳۳۳۵			شیب	۰/۰۹۸۷۶۰۹۷۳
فاصله از چاه‌های کشاورزی	۰/۱۶۵۶۸۴۴۲۶	ارتفاع	۰/۰۰۰۵۵۸۵۱۹			فاصله از خطوط گاز	۰/۱۱۱۰۵۵۰۸۳
ارتفاع	۰/۰۱۳۰۰۹۸۸۷	شیب	۰/۰۳۷۹۷۲۵۷۶			ارتفاع	۰/۰۹۹۲۳۹۵۸
شیب	۰/۰۸۱۰۱۲۵۶۱	فاصله از رودخانه‌ها	۰/۰۳۴۱۵۸۵۵۶			فاصله از گسل	۰/۰۶۴۸۶۹۱۶۳
تابش خالص	۰/۰۰۰۰۵۹۳۶	فاصله از فیدرها	۰/۱۵۵۴۶۷۸۲۹			فاصله از نقاط زمین لغزش	۰/۰۶۰۱۱۴۳۶
فاصله از رودخانه‌ها	۰/۰۳۲۸۱۸۱۱۸	فاصله از شبکه توزیع	۰/۳۳۶۸۱۴۹۵۵			فاصله از رودخانه	۰/۰۹۵۶۱۶۹۹۱
ساعات آفتابی	۰/۰۰۰۰۰۸۷۷۶	فاصله از ترانس‌ها	۰/۱۱۲۷۵۵۶۲۷			فاصله از شبکه راه	۰/۱۴۱۸۹۶۶۲۸
فاصله از فیدرها	۰/۰۹۴۹۳۶۷۶۲	سرعت باد	۰/۰۰۳۴۱۹۶۳۶			فاصله از چاه کشاورزی	۰/۰۹۰۲۸۴۴۴
فاصله از شبکه توزیع	۰/۲۵۲۶۳۲۴۶۸					فاصله از فیدرهای گاز	۰/۰۹۹۷۶۵۹۳۳
فاصله از ترانس‌ها	۰/۰۹۹۷۷۹۰۵۷						

۳-۴- استخراج مناطق دارای محدودیت

مناطق دارای محدودیت، مناطقی هستند که طبق قوانین و مقررات بین المللی مکان انرژی‌های تجدیدپذیر نباید در آنجا احداث شود. در شکل (۴-۱) نقشه محدودیت‌ها برای انرژی‌های بادی، خورشیدی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه نشان داده شده است. در این مطالعه، ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر، فاصله ۱۰۰۰ متر از گسل، فاصله بیش از ۱۵ کیلومتر از فیدرها، فاصله ۱۰۰۰ متر از نقاط زمین لغزش، فاصله ۱۰۰۰ متر از رودخانه، فاصله ۱۰۰۰ متر از شبکه راه، فاصله بیش از ۱۰ کیلومتر از شبکه توزیع، شیب بیش از ۲۰ درصد، فاصله بیش از ۱۵ کیلومتر از ترانس‌ها، فاصله بیش از ۱۰ کیلومتر از چاه‌های کشاورزی و سرعت باد کمتر از ۴ متر بر ثانیه به عنوان مناطق دارای محدودیت در نظر گرفته شده است. از مجموع مساحت کل منطقه مورد مطالعه (۹۸۰۲۰۶ هکتار)، به ترتیب ۱۲۸۳۴۵ هکتار و ۱۰۵۷۳۹ هکتار جهت ساخت نیروگاه‌های خورشیدی و بادی مناسب می‌باشد و برای تولید پراکنده و اتصال مستقیم ۲۴۹۰۰ هکتار مناسب می‌باشد (شکل). در شهرستان جیرفت به دلیل اینکه آب و هوای گرم و خشک حاکم می‌باشد؛ مساحت مناطق مناسب جهت تاسیس نیروگاه‌های خورشیدی بیشتر می‌باشد.





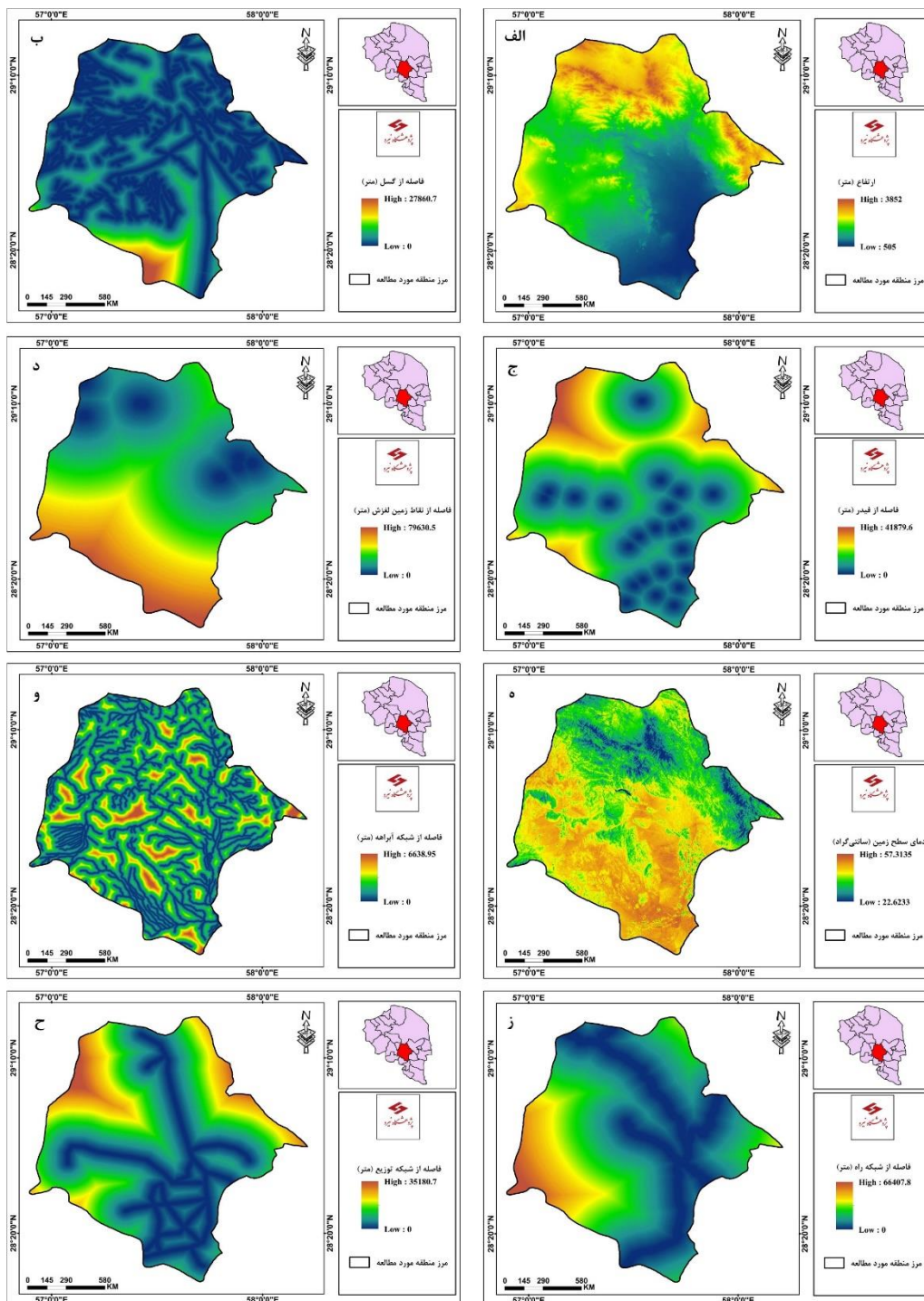
شکل ۴-۱: نقشه مناطق دارای محدودیت؛ الف) ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر، ب) فاصله ۱۰۰۰ متر از گسل، ج) فاصله بیش از ۱۵ کیلومتر از فیدرها، د) فاصله ۱۰۰۰ متر از نقاط زمین لغزش، ه) فاصله ۱۰۰۰ متر از رودخانه، و) فاصله ۱۰۰۰ متر از شبکه راه، ز) فاصله بیش از ۱۰ کیلومتر از شبکه توزیع، ح) شیب بیش از ۲۰ درصد، ط) فاصله بیش از ۱۵ کیلومتر از ترانس‌ها، ی) فاصله بیش از ۱۰ کیلومتر از چاه‌های کشاورزی، ک) سرعت باد کمتر از ۴ متر بر ثانیه، ل) اجتماع مناطق دارای محدودیت برای انرژی خورشیدی، م) اجتماع مناطق دارای محدودیت برای انرژی بادی، ن) اجتماع مناطق دارای محدودیت برای تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه

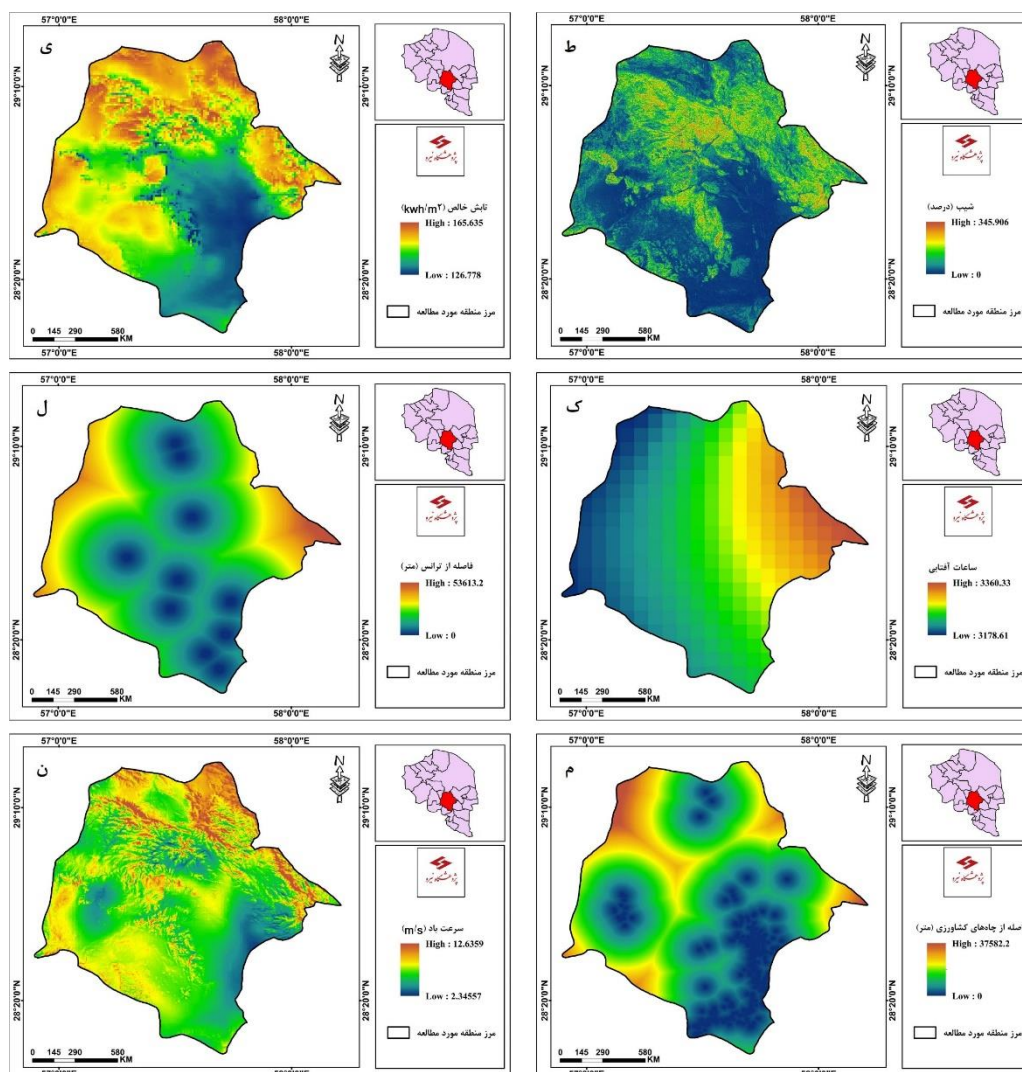
۴-۴- استخراج نقشه معیارها

شکل (۴-۲) نقشه معیارهای مورد استفاده جهت انتخاب مکان مناسب برای ساخت انرژی‌های خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه را نشان می‌دهد. معیارها به دو دسته معیارهای سود (معیارهای که مقدار ماکزیمم آنها مهم است) و معیارهای هزینه (معیارهای که مقدار مینیمم آنها مهم است) تقسیم‌بندی شدند. معیارهای سود شامل معیارهای فاصله از گسل، فاصله از نقاط زمین لغزش، دمای سطح زمین، فاصله از شبکه آبراهه، تابش خالص، ساعات آفتابی و سرعت باد و معیارهای هزینه شامل معیارهای فاصله از فیدرها، فاصله از شبکه راه، ارتفاع، فاصله از شبکه توزیع، شیب، فاصله از چاه‌های کشاورزی و فاصله از ترانس‌ها می‌باشند.

در این مطالعه از معیارهای به دلیل تاثیر متفاوت آنها در ایجاد مزرعه انرژی‌های تجدیدپذیر به صورت متفاوت استفاده شده است. برای مثال، برای ساخت انرژی‌های خورشیدی و بادی هر چقدر فاصله از چاه‌های کشاورزی کمتر باشد درجه مناسب بودن افزایش می‌یابد از طرف دیگر فاصله از شبکه آبراهه بیشتر باشد درجه مناسب بودن افزایش می‌یابد.

نقشه معیار تابش خالص نشان می‌دهد که شهرستان جیرفت از لحاظ تابش ورودی به سطح دارای پتانسیل متفاوتی می‌باشد. به طوری که از جنوب به شمال منطقه مورد مطالعه روند آن افزایشی می‌باشد زیرا مناطق شمالی شهرستان جیرفت دارای سطحی ناهموار نسبت به مناطق جنوبی می‌باشند. وضعیت منطقه مورد مطالعه از نظر سرعت باد نشان می‌دهد که در جنوب شرق منطقه مورد مطالعه پتانسیل پایینی وجود دارد. در شمال به دلیل ناهموار بودن منطقه باد از سرعت بالایی برخوردار است.

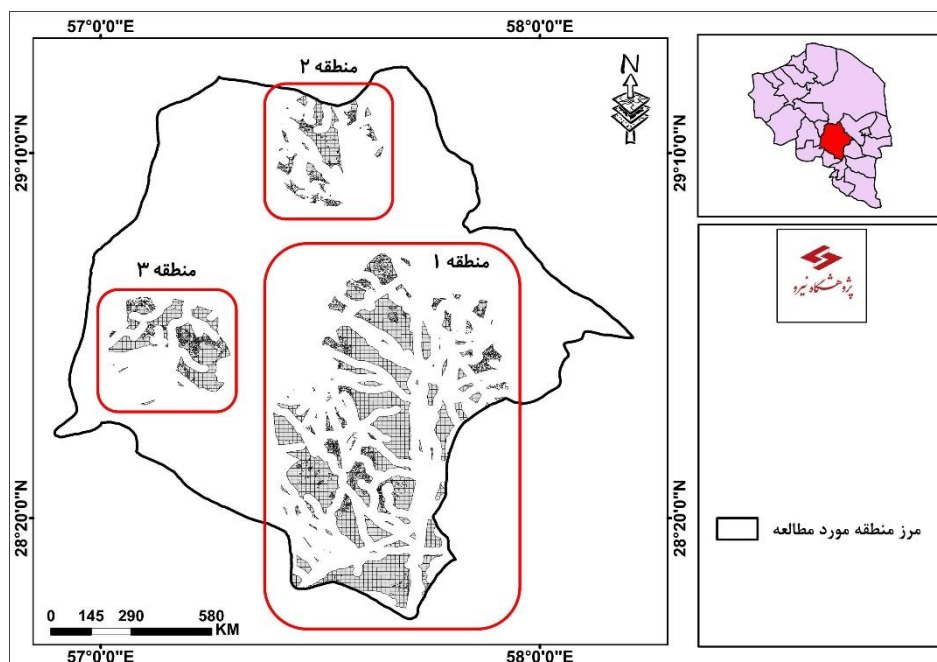




شکل ۲-۴: نقشه معیارها؛ الف) ارتفاع، ب) فاصله از گسل، ج) فاصله از فیدرها، د) فاصله از نقاط زمین لغزش، ه) دمای سطح زمین، و) فاصله از شبکه آبراهه، ز) فاصله از شبکه راه، ح) فاصله از شبکه توزیع، ط) شیب، ی) تابش خالص، ک) ساعات آفتابی، ل) فاصله از ترانس‌ها، م) فاصله از چاه‌های کشاورزی، ن) سرعت باد

۵-۴- منطقه‌بندی پابلوت

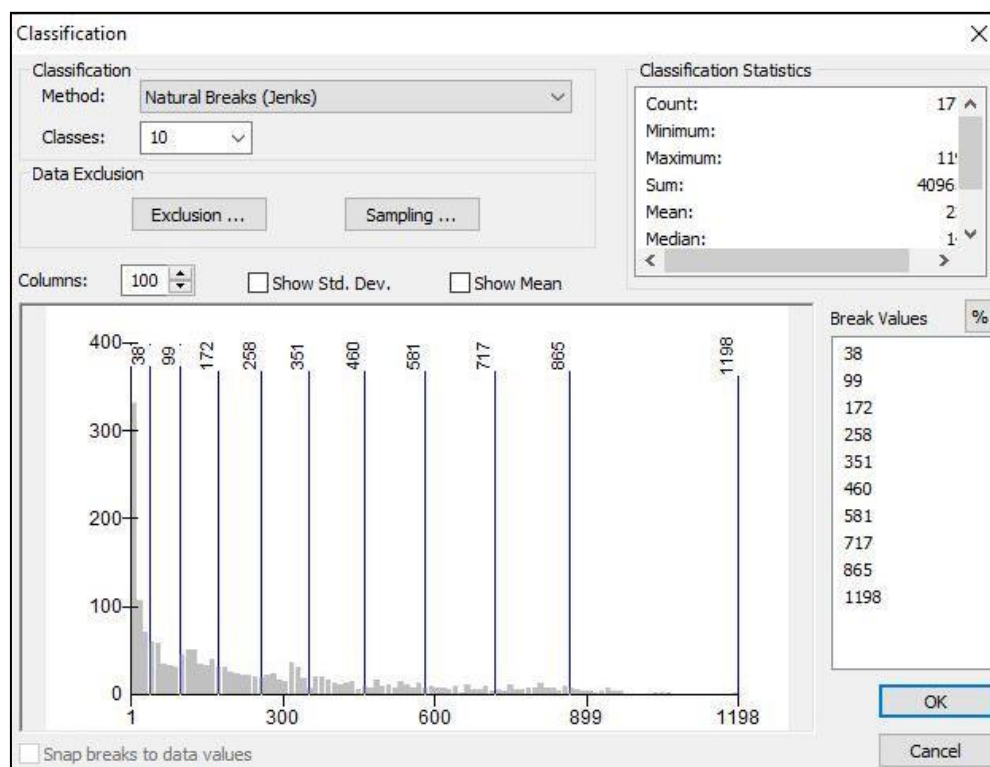
جهت به دست آوردن نقشه پتانسیل توسعه انرژی‌های خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه ابتدا مناطق دارای محدودیت (مناطق که جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر نامناسب می‌باشند) از کل منطقه مورد مطالعه با استفاده از ابزارهای مکانی در GIS برش داده شد. در مرحله بعد مناطق مناسب باقی مانده به پیکسل‌های 1000×1000 تبدیل شد. با توجه به اینکه پیکسل‌های مناسب باقی مانده در سه منطقه (Zone) قرار گرفته بودند به همین دلیل منطقه مورد مطالعه به سه منطقه (منطقه ۱، منطقه ۲ و منطقه ۳) تقسیم‌بندی شد. در شکل (۳-۴) موقعیت مناطق در سطح منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۳-۴: نقشه منطقه‌بندی پایلوت

۴-۶- تهیه نقشه پتانسیل انرژی خورشیدی

برای مشخص کردن رتبه‌بندی گزینه‌ها از روش تاپسیس استفاده شده است. به این معنی که مقدار هر پیکسل با استفاده از نقشه معیارها برای هر لایه استخراج شد و براساس مراحل انجام روش تاپسیس رتبه‌بندی گزینه انجام شد. جهت طبقه‌بندی کلاس‌ها از روش Natural Breaks (Jenks) استفاده شده است (شکل ۴-۴). کلاس‌ها و طبقه‌بندی در این روش بر اساس گروه‌بندی‌های طبیعی ذاتی در هر گروه تعیین می‌شود. شکست کلاس‌ها یا حد آستانه هر کلاس و طبقه در واقع تعیین کننده این حالت است که عوارض این گروه بیشترین شباهت را دارند و از طرفی کلاس‌ها نیز بیشترین تفاوت را با یکدیگر نشان می‌دهند. در واقع کلاس‌ها و عوارض در موقعیتی از همدیگر فاصله می‌گیرند و کلاس‌بندی می‌شوند که بیشترین اختلاف و تفاوت را با یکدیگر دارند.



شکل ۴-۴: شکست‌های طبیعی هیستوگرام به روش Jenks جهت طبقه‌بندی گزینه‌ها

جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها مستعد توسعه انرژی خورشیدی در منطقه ۱ از روش تاپسیس استفاده شده است. روش تاپسیس شامل هفت مرحله، ۱- تشکیل ماتریس تصمیم، ۲- ماتریس توان، ۳- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم-گیری، ۴- ماتریس نرمال وزین، ۵- یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، ۶- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل و ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. نمونه‌های از این مراحل در جدول‌های (۲-۴)، (۳-۴) و (۴-۴) نشان داده شده است (برای مشاهده جزئیات بیشتر به فایل اکسل پیوست به اسم TOPSIS Solar_Zone 1 مراجعه شود).

جدول ۲-۴: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۱

ه. گزین	تابش خالص kwh/kw (p)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از شبکه توزیع (m)	شی ب (درصد)	ساعات آفتابی (h)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)	دما ی سطح زمین (C°)
۱	۱۵۱/۱	۸۵۴۶	۷۶۹۲/۵	۲۴۶/۴	۱۶۵۴/۹	۴۵۸۲/۹	۹۹۵/۲	۶۲۳/۶	۴	۳۲۳/۸	۱۷۹/۴	۸۳۷/۳	۵/۷
۲	۱۵۱/۳	۸۵۸۴/۹	۷۶۸۹/۲	۲۹۸/۷	۱۶۸۲/۱	۴۳۲۵/۸	۹۹۰/۸	۶۰۲/۹	۴/۲	۳۲۴/۱	۱۲۲/۷	۸۵۷/۶	۵/۴
۳	۱۵۰/۸	۸۱۰۵/۷	۷۶۵۲/۳	۱۳۱/۷	۱۵۶۳/۲	۴۴۳۹/۲	۹۶۲/۶	۶۱۹/۳	۳/۹	۳۲۳/۸	۲۹۰/۳	۸۰۶/۱	۵/۹
۴	۱۵۱/۱	۸۰۰۶/۳	۷۶۳۹/۴	۲۰۶/۸	۱۵۹۵/۸	۴۲۳۹/۵	۹۴۴/۹	۵۸۲/۸	¼	۳۲۳/۸	۲۰۷/۸	۸۳۱/۵	۵/۷
.													
.													
.													
۱۷۶	۱۵۲/۴	۱۴۸۹/۵	۱۶۲۹/۳	۱۲۷/۹	۱۳۰۵/۱	۱۳۰۳۵	۷۱۳۵	۸۷۴/۵	۱/۶	۳۲۹/۵	۱۴۷/۷	۱۳۸/۴	۴/۹
۱۷۶	۱۵۱/۲	۱۴۶/۴	۲۰۸۰/۴	۲۴۵/۵	۲۸۸۹/۱	۹۹۰۷/۶	۹۹۶/۵	۳۹۰/۸	۲/۲	۳۲۹/۳	۳۳۲/۲	۱۷۵/۸	۴/۵

۴۳	۱۶۸۹	۲۸۳/۶ ۹	۳۲۹/۳ ۰	۱/۵ ۶	۴۴۴/۴ ۱	۹۷۶/۶ ۲	۱۰۲۹/۹ ۹	۲۳۶۵/۴	۱۹۲/۱ ۳	۲۰۴۶/۱ ۸	۱۴۷۸/۱ ۸	۱۵۳/۲	۱۷۷ ۰
۴/۹ ۱	۱۶۱/۷ ۷	۲۱۶/۳ ۶	۳۲۹/۳ ۰	۱/۹ ۹	۵۱۵/۳ ۶	۹۴۰/۴ ۱	۱۰۷۷/۷ ۰	۱۶۹۳	۱۲۳/۴ ۳	۱۹۹۲/۹ ۳	۱۴۸۸/۸ ۶	۱۵۴/۲	۱۷۷ ۱

جدول ۳-۴: ماتریس نرمال شده پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۱

گزینه	تابش خالص (kwh/kwp)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از شبکه توزیع (m)	شیب (درصد)	ساعات آفتابی (h)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)	دمای سطح زمین (C°)
۱	۳/۶	۲۵۶/۳	۳۱۷۴/۱	۶۹/۴	۵۹۳/۶	۱۴۳/۱	۴۹۶/۵	۲۲۸/۸	۰/۰۴	۷۶/۱	۱۰/۹	۱۷/۳	۱/۲
۲	۳/۶	۲۵۸/۷	۳۱۷۱/۶	۱۰۲/۴	۶۱۳/۶	۱۴۴/۴	۴۶۵	۲۱۳/۶	۰/۰۴	۷۶/۴	۵/۱	۱۸/۲	۱/۲
۳	۳/۶	۲۳۰/۶	۳۱۴۱/۱	۱۹/۷	۵۲۹/۶	۱۲۸/۷	۴۳۹/۲	۲۲۶/۳	۰/۰۳	۷۶/۱	۲۸/۵	۱۶/۱	۱/۲
۴	۳/۶	۲۲۵	۳۱۳۱/۲	۴۸/۸	۵۵۲/۱	۱۲۵/۶	۴۲۲/۹	۲۰۰	۰/۰۴	۷۶/۱	۱۴/۶	۱۷/۱	۱/۲
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۷۶۸	۳/۶	۷۷۸/۳	۱۴۲/۴	۱۸/۷	۳/۶	۳۳۲/۹	۲۴۱/۱	۴۵۰/۳	۰/۰۴	۷۸/۷	۷/۴	۴۷/۷	۰/۹۶
۱۷۶۹	۳/۶	۷۵۳/۲	۲۳۲/۲	۶۸/۹	۱۸	۱۹۲/۳	۴۷۰/۸	۸۹/۹	۱/۸۵	۷۸/۷	۳۷/۵	۷۶/۶	۰/۹

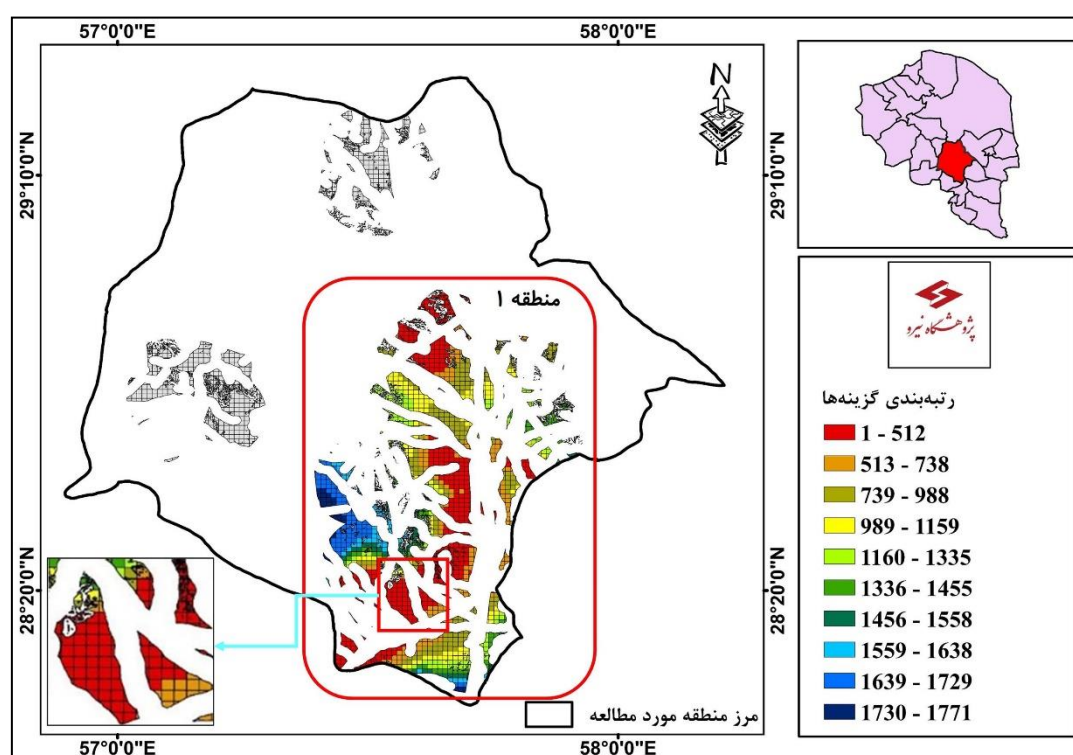
۰/۸۸	۷۰/۷	۲۷/۳	۷۸/۷	۰/۶۸	۱۱۶/۱	۴۵۱/۴	۲۰۷/۸	۱۲/۱	۴۲/۴	۲۲۴/۷	۷۶۷/۶	۳/۷	۱۷۷۰
۰/۸	۶۴/۹	۱۵/۹	۷۸/۷	۰/۹	۱۵۶/۵	۴۱۸/۶	۲۲۷/۳	۶/۲	۱۷/۴	۲۱۲/۹	۷۷۷/۹	۳/۷	۱۷۷۱

جدول ۴-۴: رتبه‌بندی گزینه‌ها پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۱

رتبه	فاصله نسبی	گزینه
۵	۰/۵۰۷۶۲۳	۱
۶	۰/۵۰۷۳۱۶	۲
۴	۰/۵۱۵۹۴۲	۳
۳	۰/۵۱۶۶۹۹	۴
۲	۰/۵۱۷۵۱۹	۵
۱	۰/۵۳۲۰۲۱	۶
.	.	.
.	.	.
.	.	.
۹	۰/۴۹۴۷۳۳	۱۷۶۶
۱۱	۰/۴۶۶۹۹۱	۱۷۶۷
۱۲	۰/۴۶۴۴۷۶	۱۷۶۸

۷	۰/۵۰۲۵۹۰	۱۷۶۹
۸	۰/۴۹۹۲۴۹	۱۷۷۰
۱۰	۰/۴۹۴۶۴۷	۱۷۷۱

در شکل (۴-۵) نقشه پتانسیل انرژی‌های خورشیدی در منطقه ۱ نشان داده شده است. رنگ قرمز مناطق درجه مناسب بودن خیلی بالا را نشان می‌دهد. از بین ۱۷۷۱ گزینه، ۵۱۲ گزینه در کلاس با پتانسیل خیلی بالا جهت تاسیس نیروگاه خورشیدی قرار گرفتند. مناطق با پتانسیل خیلی بالا در سطح منطقه دارای توزیع مناسبی می‌باشند که این باعث می‌شود گزینه‌های مختلفی برای هر منطقه وجود داشته باشد. مناطق با پتانسیل خیلی پایین در سمت غرب منطقه مورد مطالعه قرار دارند که از مجموع پیکسل‌های (۱۷۷۱ پیکسل) منطقه مورد مطالعه تنها ۴۱ پیکسل را به خود اختصاص داده است که این نشان دهنده پتانسیل خیلی بالا منطقه مورد مطالعه جهت تاسیس نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد.



شکل ۴-۴: نقشه پتانسیل انرژی خورشیدی در منطقه ۱

جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها مستعد توسعه انرژی خورشیدی در منطقه ۲ از روش تاپسیس استفاده شده است. روش تاپسیس شامل هفت مرحله، ۱- تشکیل ماتریس تصمیم، ۲- ماتریس توان، ۳- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم-گیری، ۴- ماتریس نرمال وزین، ۵- یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، ۶- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل و ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. نمونه‌های از این مراحل در جدول‌های (۴-۵)، (۴-۶) و (۴-۷) نشان داده شده است (برای مشاهده جزئیات بیشتر به فایل اکسل پیوست به اسم TOPSIS Solar_Zone 2 مراجعه شود).

جدول ۵-۴: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۲

گزینه	تابش خالص (kwh/kw) (p)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از شبکه توزیع (m)	شیب (درصد)	ساعات آفتابی (h)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)	دمای سطح زمین (C°)
۱	۱۶۰/۲	۱۴۹۲/۴ ۱	۱۳۶۹۹	۱۰۳/۹ ۰	۶۶۷/۸ ۱	۸۵۹۵/۵	۸۱۱/۷ ۰	۷۰۲/۸ ۸	۱/۳ ۸	۳۲۵/۶ ۴	۳۲۳/۵ ۷	۲۶۴۵	۳/۹ ۹
۲	۱۵۲/۸	۱۴۸۸/۶ ۹	۱۵۲۲/۶ ۱	۱۱۲/۹ ۴	۵۲۳۴	۸۴۸۰/۵	۸۹۲/۳ ۴	۴۹۵۱	۳/۶ ۳	۳۲۶/۲ ۶	۳۶۲/۵ ۰	۲۶۱/۲ ۴	۳/۹ ۵
۳	۱۵۳/۶	۱۴۵۷/۴ ۹	۱۵۳۹/۵ ۱	۱۷۶۲	۴۶۲/۳ ۵	۸۱۹۵/۲	۸۹۰/۸ ۴	۴۲۷/۶ ۱	۱/۴ ۹	۳۲۶/۲ ۶	۳۲۸/۳ ۳	۲۷۶/۸ ۴	۳/۳ ۶
۴	۱۵۷/۱	۱۴۴۹۶	۱۵۹۰/۸ ۲	۲۳۲/۳ ۹	۴۰۷/۱ ۵	۸۱۸۱/۹	۹۲۳/۳ ۰	۳۴۰/۶ ۹	۱/۲ ۸	۳۲۶/۲ ۶	۲۷۳/۷ ۲	۲۷۹/۵ ۲	۴/۲ ۰
.													
.													
.													
۲۶۹	۱۶۰/۱	۱۴۹۲/۳ ۴	۱۳۷۲/۱ ۶	۱۲۴/۷ ۹	۵۰۸/۹ ۴	۱۳۰۶/۹ ۷	۹۰۸/۸ ۰	۲۱۱/۴ ۳	۱/۴ ۱	۳۲۳۶	۵۸۶/۳ ۱	۲۵۷/۴ ۱	۴/۹ ۱
۲۷۰	۱۶۰/۶	۱۴۷۰/۱ ۷	۱۴۰۸/۲ ۹	۱۷۷/۵ ۷	۵۶۸/۶ ۵	۱۳۰۱/۳ ۹	۸۷۵/۲ ۷	۲۷۱/۸ ۵	۱/۴ ۳	۳۲۳/۱ ۸	۶۴۲/۱ ۲	۲۵۳/۵ ۳	۴/۸ ۴

۴/۸	۲۴۷/۸	۶۸۳/۸	۳۲۳/۱	۷/۵	۳۲۱۰	۸۳۹/۴	۱۲۸۹/۹	۶۳۴/۲	۱۳۲/۴	۱۴۳۶/۳	۱۴۴۲/۱	۱۶۰/۳	۲۷۱
۴	۵	۲	۸			۳	۷	۵	۷	۰	۳		
۴/۲	۲۴۳/۸	۴۳۶/۵	۳۲۳/۱	۳/۹	۴۲۹/۸	۶۷۳/۱	۱۱۹۶/۶	۹۱۰/۶	۱۳۴/۵	۱۴۸۴۵	۱۲۸۶/۲	۱۶۰/۲	۲۷۲
۵	۷	۱	۸		۶	۲	۰	۵	۴		۰		

جدول ۶-۴: ماتریس نرمال شده پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۲

گزینه	تابش خالص (kwh/kwp)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از شبکه توزیع (m)	شیب (درصد)	ساعات آفتابی (h)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)	دمای سطح زمین (C°)
۱	۹/۷	۱۳۶۴/۱	۹۶۱/۸	۳۳/۷	۳۴۰	۵۵۶/۳	۶۵۴/۹	۶۶۵/۴	۱/۴	۱۹۷/۴	۱۷۷/۸	۱۵۵/۴	۲/۳
۲	۸/۹	۱۳۵۸/۲	۱۱۸۷/۴	۴۰/۲	۲۰۹/۲	۵۴۱/۵	۷۹۲/۹	۳۳۰/۱	۵	۱۹۸/۸	۲۲۲/۴	۱۵۱/۸	۱/۹
۳	۸/۹	۱۳۰۲/۲	۱۲۱۴/۱	۹۸/۶	۱۶۳/۴	۵۰۵/۷	۷۸۹/۴	۲۴۵/۷	۱/۶	۱۹۸/۸	۱۸۲/۹	۱۶۹/۸	۱/۹
۴	۹/۴	۱۲۸۷/۴	۱۲۹۶/۱	۱۷۲/۳	۱۲۶/۸	۵۰۴	۸۴۸/۲	۱۵۶/۵	۱/۴	۱۹۸/۸	۱۲۶/۷	۱۷۳/۲	۲/۴
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۶۹	۹/۷	۱۳۶۴/۶	۹۶۵/۶	۴۹/۶	۴۹۷/۵	۴۲۸۵/۸	۸۲۱	۶۰/۱	۰/۵۸	۱۹۵/۲	۵۸۲/۹	۱۴۶/۹	۲/۶

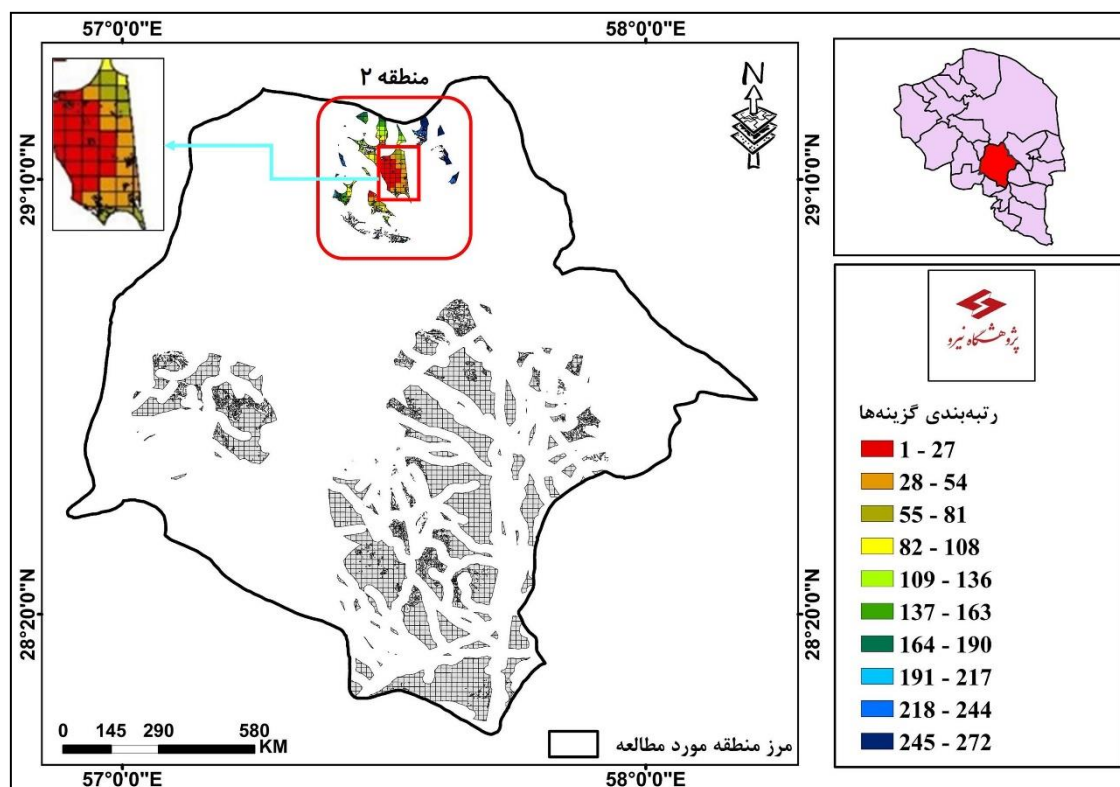
۳	۱۴۲/۶	۶۹۹/۸	۱۹۵/۴	۰/۷۹	۹۹/۳	۷۶۳/۵	۱۲۷۶/۳	۲۴۶/۹	۱۰۰/۳	۱۰۱۷/۳	۱۳۲۵/۱	۹/۸	۲۷۰
۳	۱۳۶/۲	۷۹۲/۲	۱۹۵/۴	۰/۲۵	۱۳۸/۷	۷۰۱/۴	۱۲۵۲/۶	۳۰۷/۵	۵۵/۹	۱۰۵۶/۹	۱۲۷۴/۵	۹/۸	۲۷۱
۳	۱۳۲	۳۲۲/۸	۱۹۵/۴	۰/۰۶	۲۴۸/۶	۴۵۱/۲	۱۰۷۷/۱	۶۳۳/۳	۵۷/۴	۱۱۲۹/۴	۱۰۱۳/۲	۹/۷	۲۷۲

جدول ۷-۴: رتبه بندی گزینه ها پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۲

رتبه	فاصله نسبی	گزینه
۱۰	۰/۵۴۱۲۹۱	۱
۹	۰/۶۱۳۱۹۹	۲
۴	۰/۶۴۶۱۸۰	۳
۳	۰/۶۵۵۶۷۰	۴
۲	۰/۶۵۸۵۵۶	۵
۱	۰/۶۵۹۱۲۰	۶
۰	۰	۰
۰	۰	۰
۰	۰	۰
۱۱	۰/۳۲۰۶۵۳	۲۶۷
۱۲	۰/۲۷۸۰۰۲	۲۶۸

۸	۰/۶۳۶۶۶۱	۲۶۹
۷	۰/۶۴۰۴۸۲	۲۷۰
۵	۰/۶۴۳۹۷۴	۲۷۱
۶	۰/۶۴۱۲۷۵	۲۷۲

در شکل (۴-۶) نقشه پتانسیل انرژی‌های خورشیدی در منطقه ۲ نشان داده شده است. تعداد پیکسل‌های مناسب جهت تأسیس نیروگاه خورشیدی در این منطقه ۲۷۲ پیکسل بوده است. که از این تعداد ۲۷ پیکسل دارای پتانسیل خیلی بالا جهت تأسیس نیروگاه‌های خورشیدی در سطح منطقه مناسب می‌باشند. با توجه به اینکه شمال منطقه مورد مطالعه دارای توپوگرافی بسیار شدیدی می‌باشد تعداد گزینه‌های مناسب در منطقه ۲ نسبت به منطقه ۱ بسیار کم می‌باشد.



شکل ۵-۴: نقشه پتانسیل انرژی خورشیدی در منطقه ۲

جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها مستعد توسعه انرژی خورشیدی در منطقه ۳ از روش تاپسیس استفاده شده است. روش تاپسیس شامل هفت مرحله، ۱- تشکیل ماتریس تصمیم، ۲- ماتریس توان، ۳- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم-گیری، ۴- ماتریس نرمال وزین، ۵- یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، ۶- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل و ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. نمونه‌های از این مراحل در جدول‌های (۴-۸)، (۴-۹) و (۴-۱۰) نشان داده شده است (برای مشاهده جزئیات بیشتر به فایل اکسل پیوست به اسم TOPSIS Solar_Zone 3 مراجعه شود).

جدول ۸-۴: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۳

گزینه	تابش خالص kwh/kw (p)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از شبکه توزیع (m)	شیب (درصد)	ساعات آفتابی (h)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)	دمای سطح زمین (C°)
۱	۱۵۶/۴	۱۳۹۳۹	۵۷۵۸۰/۷	۱۰۴۴	۴۵۳۱۴/۲	۲۱۶۳۸/۳	۹۳۶۶/۲	۸۵۱۵/۹	۳/۴	۳۲۰۸	۱۷۳۶/۷	۱۹۳۳/۲	۴۹
۲	۱۵۶/۶	۱۳۶۵ ۴	۵۷۴۲۸/۴	۱۱۴۱	۴۵۶۳۶	۲۱۹۹۶/۱	۹۵۶۵/۲	۸۱۸۵/۲	۳/۷	۳۲۰۸	۱۲۹۱/۹	۱۹۴۸/۶	۴۹/۵
۳	۱۵۶/۳	۱۳۶۳۷/۲	۵۲۲۲۰	۱۱۲۳/۶	۴۴۸۷۱/۸	۲۱۲۰۶/۲	۸۹۱۱/۷	۸۲۹۷/۴	۳/۷	۳۲۰۸	۲۰۲۶/۲	۱۹۱۹/۹	۴۹/۹
۴	۱۵۶/۱	۱۳۵۴۳/۵	۵۶۷۷۳/۸	۱۰۸۱/۲	۴۳۸۷۴/۵	۲۰۱۹۵/۱	۸۰۲۴	۸۳۲۴/۲	۳	۳۲۰۸	۲۰۸۷/۱	۱۸۸۸/۲	۵۰/۲
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۳۴۰	۱۵۳/۶	۱۲۳۶۶/۷	۳۱۳۷۳/۸	۱۳۸۳/۲	۲۷۵۹۰/۹	۱۸۹۳۴/۳	۵۰۸۹/۶	۹۸۸۵/۳	۱۳/۹	۳۲۰۸	۲۵۵۷/۱	۱۶۳۴	۴۹/۱
۳۴۱	۱۵۹/۷	۹۹۶۳/۷	۳۰۹۲۵/۱	۴۰۳۳/۶	۳۶۸۵۶/۵	۲۶۰۵۸/۱	۸۰۱۴/۴	۹۹۶۳/۷	۱۳/۷	۳۲۰۸	۲۸۴۱/۴	۲۵۳۹/۵	۳۸/۷
۳۴ ۲	۱۵۹/۶	۹۹۵/۴ ۶	۳۰۸۲/۴ ۷	۳۵۷/۸ ۳	۳۶۳۶/۸ ۹	۲۵۶۷/۵ ۸	۷۶۴/۲ ۶	۹۹۵/۱ ۵	۱/۵ ۲	۳۲۰۸	۲۷۷/۴ ۱	۲۵۳/۳ .	۴/۴ .

۴/۱	۲۴۲/۸	۲۲۱/۴	۳۲۱/۹	۱/۸	۹۹۶/۶	۶۹۲/۲	۲۴۹۳/۲	۳۵۳۹/۹	۲۶۶۵	۳۰۶۶/۹	۹۹۷/۴	۱۵۸/۶	۳۴
.	۴	۷	۴	۶	۳	۲	۸	.		۲	۳		۳

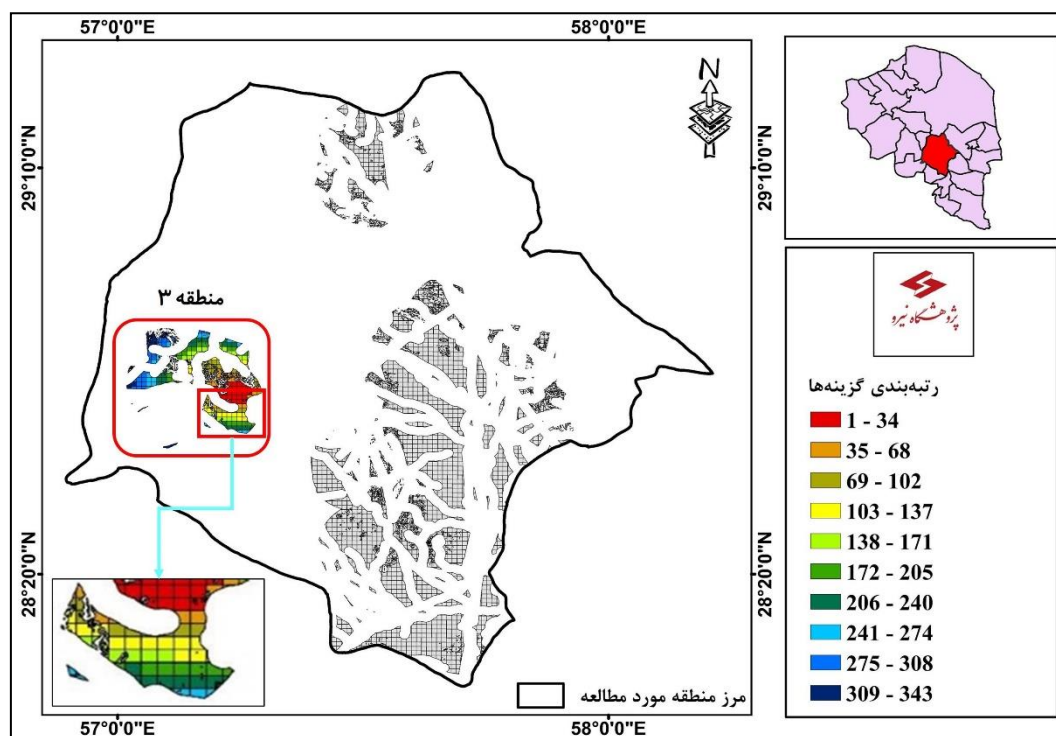
جدول ۹-۴: ماتریس نرمال شده پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۳

گزینه	تابش خالص (kwh/kwp)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از شبکه توزیع (m)	شیب (درصد)	ساعات آفتابی (h)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)	دمای سطح زمین (C°)
۱	۸/۴۶	۱۵۶۷/۷	۴۲۲۱/۸	۲۷/۳	۳۳۸۰/۷	۱۵۴۶/۵	۷۹۶/۱	۷۰۵/۱	۰/۰۶	۱۷۲/۸	۵۲/۸	۱۰۸	۲/۷
۲	۸/۴۸	۱۵۰۴/۲	۴۱۹۹/۵	۳۲/۶	۳۴۲۸/۹	۱۵۹۸	۸۳۰/۳	۶۵۱/۴	۰/۰۷	۱۷۲/۸	۲۹/۲	۱۰۹/۸	۲/۷
۳	۸/۴۵	۱۵۰۸/۴	۴۱۶۹/۱	۳۱/۶	۳۳۱۵	۱۴۸۵/۳	۷۲۰/۷	۶۶۹/۴	۰/۰۷	۱۷۲/۸	۷۱/۹	۱۰۶/۵	۲/۷
۴	۸/۴۳	۱۴۸۰	۴۱۰۴/۳	۲۹/۳	۳۱۶۹/۳	۱۳۴۷	۵۸۴/۳	۶۷۳/۷	۰/۰۴	۱۷۲/۸	۷۶/۳	۱۰۳/۱	۲/۸
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۳۴۰	۸/۱	۱۲۳۳/۹	۱۲۵۳/۳	۴۷/۹	۱۲۵۳/۳	۱۱۸۴/۱	۲۳۵/۱	۹۵۰/۱	۱	۱۷۲/۸	۱۱۴/۵	۷۷/۲	۲/۷
۳۴۱	۸/۸	۸۰۱	۱۲۱۷/۷	۴۰۸/۱	۲۲۳۶/۵	۲۲۴۲/۸	۵۸۲/۹	۹۶۵/۲	۰/۹	۱۷۲/۸	۱۴۱/۴	۱۸۶/۵	۱/۶
۳۴۲	۸/۸	۷۹۹/۸	۱۲۱۰/۱	۳۲۰/۳	۲۱۷۷/۸	۲۱۷۹/۴	۵۳۰/۵	۹۶۳/۶	۰/۸	۱۷۲/۸	۱۳۴/۵	۱۸۵/۱	۱/۸
۳۴۳	۸/۷	۸۰۲/۵	۱۱۹۷/۲	۱۷۸/۱	۲۰۶۲/۱	۲۰۵۴/۱	۴۳۴/۸	۹۶۵/۲	۱/۴	۱۷۳/۵	۸۶/۱	۱۷۰	۱/۸

جدول ۱۰-۴: رتبه بندی گزینه ها پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه ۳

رتبه	فاصله نسبی	گزینه
۱۲	۰/۲۸۷۱۸۶	۱
۱۱	۰/۲۸۸۱۴۳	۲
۹	۰/۳۰۴۸۴۰	۳
۷	۰/۳۳۲۶۰۷	۴
۵	۰/۳۵۱۲۵۰	۵
۴	۰/۳۵۳۰۹۸	۶
.	.	.
.	.	.
.	.	.
۳	۰/۴۷۳۹۵۰	۲۶۷
۲	۰/۴۷۸۴۰۸	۲۶۸
۱	۰/۴۸۳۵۰۴	۲۶۹
۱۰	۰/۳۰۰۶۷۱	۲۷۰
۸	۰/۳۱۵۱۳۷	۲۷۱
۶	۰/۳۴۲۴۲	۲۷۲

نقشه پتانسیل انرژی‌های خورشیدی منطقه ۳ در شکل (۴-۷) نشان داده شده است. تعداد پیکسل‌های مناسب در این منطقه برابر با ۳۴۳ پیکسل می‌باشد. پیکسل‌های با پتانسیل خیلی بالا به صورت متمرکز در قسمت شرقی منطقه قرار دارند. که از مجموع پیکسل‌ها فقط ۳۴ پیکسل به عنوان پیکسل‌های با پتانسیل خیلی بالا شناسایی شدند.



شکل ۴-۶: نقشه پتانسیل انرژی خورشیدی در منطقه ۳

۴-۷- تهیه نقشه پتانسیل انرژی بادی

جهت رته‌بندی گزینه‌ها مستعد توسعه انرژی بادی در منطقه ۱ از روش تاپسیس استفاده شده است. روش تاپسیس شامل هفت مرحله، ۱- تشکیل ماتریس تصمیم، ۲- ماتریس توان، ۳- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری، ۴- ماتریس نرمال وزین، ۵- یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، ۶- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل و ۷- رته‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. نمونه‌های از این مراحل در جدول‌های (۴-۱۱)، (۴-۱۲) و (۴-۱۳) نشان داده شده است (برای مشاهده جزئیات بیشتر به فایل اکسل پیوست به اسم TOPSIS Wind_Zone 1 مراجعه شود).

جدول ۱۱-۴: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی بادی منطقه ۱

گزینه	سرعت باد (m/s)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از شبکه توزیع (m)	شیب (درصد)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)
۱	۴/۹	۸۵۴۶	۷۶۹۲۰/۵	۲۴۶۱/۴	۱۶۵۴۸/۹	۸۵۴۶	۹۹۵۶/۲	۶۲۳۴/۶	۴	۱۷۹۸/۴	۸۳۷/۳
۲	۵	۸۵۸۴/۶	۷۶۸۹۱	۲۹۸۲/۶	۱۶۸۲۲/۴	۸۵۸۴/۶	۹۹۰۸/۸	۶۰۲۶/۷	۴/۱	۱۲۳۴/۴	۸۵۷/۴
۳	۴/۷	۸۱۰۵/۷	۷۶۵۲۰/۳	۱۳۱۳/۷	۱۵۶۳۱/۲	۸۱۰۵/۷	۹۶۲۹/۶	۶۱۹۹/۳	۳/۹	۲۹۰۰/۳	۸۰۶/۱
۴	۴/۹	۸۰۰۶/۳	۷۶۳۹۹/۴	۲۰۶۴/۸	۱۵۹۵۹/۸	۸۰۰۶/۳	۹۴۴۸/۹	۵۸۲۸/۸	۴/۱	۲۰۷۹/۸	۸۳۱/۵
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۱۴۳۶	۴/۳	۱۴۹۱۸/۱	۱۶۳۱۶/۳	۱۲۹۷/۲	۱۳۰۲/۶	۱۳۰۵۱/۶	۷۱۶۴/۸	۸۷۵۲/۸	۱۴/۶	۱۴۸۴/۷	۱۳۸۹/۹
۱۴۳۷	۳/۷	۱۴۶۷۸/۳	۲۰۸۲۷	۲۴۴۲	۲۸۷۸/۹	۹۹۳۲/۳	۹۹۹۳/۸	۳۹۱۶	۲۵/۶	۳۳۲۰/۳	۱۷۵۸/۴
۱۴۳۸	۳/۷	۱۴۶۶۶/۷	۲۰۷۷۷/۵	۲۳۹۷	۲۸۳۴/۸	۹۹۵۰/۴	۹۹۵۲	۳۹۶۳/۱	۱۶/۳	۳۳۰۰/۴	۱۷۴۷
۱۴۳۹	۴/۱	۱۴۸۸۷/۵	۱۹۷۰۷/۱	۱۰۰۸/۴	۱۴۸۹/۴	۱۰۹۱۰/۶	۹۲۴۷	۵۳۹۴/۱	۱۹	۱۹۲۳/۹	۱۵۸۵

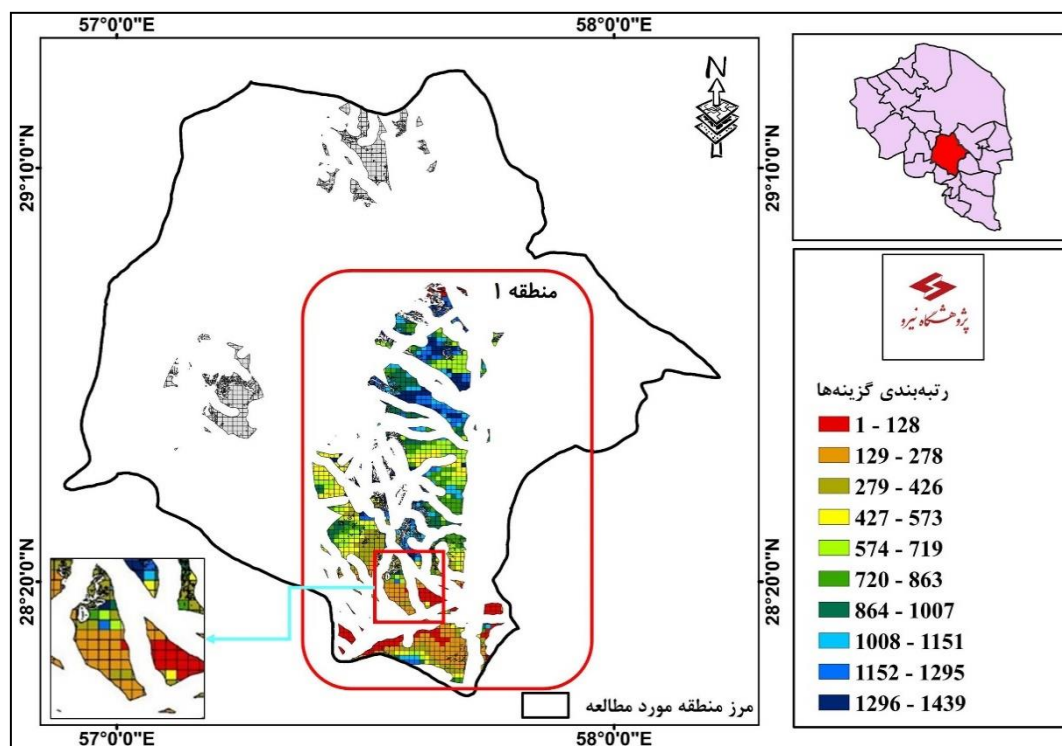
جدول ۱۲-۴: ماتریس نرمال‌شده پتانسیل انرژی بادی منطقه ۱

گزینه	سرعت باد (m/s)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از شبکه توزیع (m)	شیب (درصد)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)
۱	۰/۱۲	۲۹۱/۸	۳۳۱۶/۸	۷۳/۹	۶۰۶	۱۹۰/۶	۵۰۸/۶	۲۵۷/۸	۰/۰۴	۱۱/۳	۱۹/۱
۲	۰/۱۳	۲۹۴/۴	۳۳۱۴/۳	۱۰۸/۵	۶۲۶/۲	۱۹۲/۳	۵۰۳/۸	۲۴۰/۹	۰/۰۴	۵/۳	۲۰
۳	۰/۱۲	۲۶۲/۵	۳۲۸۲/۴	۲۱	۵۴۰/۷	۱۷۱/۴	۴۷۵/۸	۲۵۴/۹	۰/۰۴	۲۹/۵	۱۷/۷
۴	۰/۱۲	۲۵۶/۱	۳۲۷۲	۵۲	۵۶۳/۷	۱۶۷/۲	۴۵۸/۱	۲۲۵/۳	۰/۰۴	۱۵/۱	۱۸/۸
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۱۴۳۶	۰/۱۰	۸۸۹/۱	۱۴۹/۲	۲۰/۵	۳/۷	۴۴۴/۵	۲۶۳/۴	۵۰۸/۱	۰/۵۸	۷/۷	۵۲/۷
۱۴۳۷	۰/۰۷	۸۶۰/۸	۲۴۳/۱	۷۲/۷	۱۸/۳	۲۵۷/۴	۵۱۲/۴	۱۰۱/۷	۱/۷	۳۸/۷	۸۴/۳
۱۴۳۸	۰/۰۷	۸۵۹/۴	۲۴۲	۷۰/۱	۱۷/۷	۲۵۸/۴	۵۰۸/۱	۱۰۴/۱	۰/۷۳	۳۸/۲	۸۳/۳
۱۴۳۹	۰/۰۸	۸۸۵/۵	۲۱۷/۷	۱۲/۴	۴/۹	۳۱۰/۶	۴۳۸/۷	۱۹۳	۰/۹۸	۱۳	۶۸/۵

جدول ۱۳-۴: رتبه بندی گزینه ها پتانسیل انرژی بادی منطقه ۱

گزینه	فاصله نسبی	رتبه
۱	۰/۶۱۲۴۳۳	۶
۲	۰/۶۱۶۱۰۴	۵
۳	۰/۶۲۴۹۵۱	۴
۴	۰/۶۳۴۱۳۵	۳
۵	۰/۶۴۲۱۵۲	۲
۶	۰/۶۶۶۲۹۰	۱
۰	۰	۰
۰	۰	۰
۰	۰	۰
۱۴۳۴	۰/۵۳۱۳۹۷	۹
۱۴۳۵	۰/۴۴۷۷۱۳	۱۱
۱۴۳۶	۰/۴۴۰۲۸۷	۱۲
۱۴۳۷	۰/۵۵۴۲۵۰	۷
۱۴۳۸	۰/۵۵۳۹۰۲	۸
۱۴۳۹	۰/۵۲۹۱۲۸	۱۰

در شکل (۴-۸) نقشه پتانسیل انرژی‌های بادی در منطقه ۱ نشان داده شده است. نسبت پیکسل‌های مناسب در نقشه پتانسیل انرژی بادی به نسبت پیکسل‌های مناسب در نقشه انرژی خورشیدی کمتر می‌باشد که این نشان دهنده پتانسیل بالای منطقه مورد مطالعه از لحاظ انرژی‌های خورشیدی می‌باشد. با اعمال مناطق دارای محدودیت تعداد پیکسل‌های مناسب جهت تاسیس نیروگاه‌های بادی برابر ۱۴۳۹ پیکسل می‌باشند که از این تعداد ۱۲۸ پیکسل دارای پتانسیل خیلی بالا می‌باشند.



شکل ۷-۴: نقشه پتانسیل انرژی بادی در منطقه ۱

جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها مستعد توسعه انرژی بادی در منطقه ۲ از روش تاپسیس استفاده شده است. روش تاپسیس شامل هفت مرحله، ۱- تشکیل ماتریس تصمیم، ۲- ماتریس توان، ۳- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری، ۴- ماتریس نرمال وزین، ۵- یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، ۶- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل و ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. نمونه‌های از این مراحل در جدول‌های (۴-۱۴)، (۴-۱۵) و (۴-۱۶) نشان داده شده است (برای مشاهده جزئیات بیشتر به فایل اکسل پیوست به اسم TOPSIS Wind_Zone 2 مراجعه شود).

جدول ۱۴-۴: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی بادی منطقه ۲

گزینه	سرعت باد (m/s)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از شبکه توزیع (m)	شیب (درصد)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)
۱	۵/۳	۱۰۱۰۱/۴	۱۰۲۸۰/۲	۳۱۱۱/۲	۳۶۰۲	۳۹۴۵/۳	۳۵۴۱/۶	۵۰۱۶/۶	۹/۹	۱۸۷۸/۴	۲۹۹۴/۱
۲	۵/۴	۱۰۱۶۱/۶	۱۰۸۳۳	۲۹۶۷/۹	۳۵۲۹/۹	۳۸۶۴/۷	۳۹۷۷	۴۵۳۹/۶	۱۵/۹	۱۲۹۴	۲۹۶۲/۸
۳	۵/۳	۹۳۷۱/۵	۱۱۴۴۱/۱	۱۹۸۳/۸	۲۳۸۱/۶	۲۹۷۱/۲	۴۳۰۳/۵	۳۱۶۱/۵	۲۴/۷	۱۰۴۱	۲۹۷۰/۳
۴	۵/۶	۱۰۳۷۰/۲	۸۳۳۸/۶	۱۱۷۵/۳	۴۵۰۰/۳	۵۰۸۷/۳	۲۷۷۲/۳	۳۱۶۵/۷	۱۴/۸	۳۷۶۵/۴	۲۹۷۵/۹
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۲۲۳	۶/۴	۱۲۹۸۵/۵	۱۴۷۹۶/۵	۱۱۲۲/۵	۸۸۷۲/۵	۱۲۰۲۸/۶	۶۸۵۳/۲	۴۲۱۸	۸/۲	۴۵۹۳/۸	۲۴۴۹/۳
۲۲۴	۶/۱	۱۲۸۳۵	۱۴۸۲۸/۲	۱۳۵۱/۸	۹۱۲۱/۸	۱۱۹۳۶/۸	۶۷۰۷	۴۲۸۲/۵	۴/۲	۴۳۴۴/۱	۲۴۳۸/۱
۲۲۵	۶/۶	۱۲۵۹۴	۱۹۶۶۰/۵	۱۱۶۴/۹	۱۷۱۴۵/۷	۱۳۹۱۳/۷	۸۷۷۶/۹	۸۷۷۶/۹	۸/۲	۴۳۱۸/۹	۲۵۰۰/۷
۲۲۶	۶/۲	۱۴۸۹۴/۵	۱۴۹۹۷/۴	۱۱۷۴/۳	۶۳۱۱/۶	۱۳۴۵۳/۹	۸۸۲۴	۳۸۱۵	۷/۶	۷۱۶۷/۹	۲۴۴۷/۳

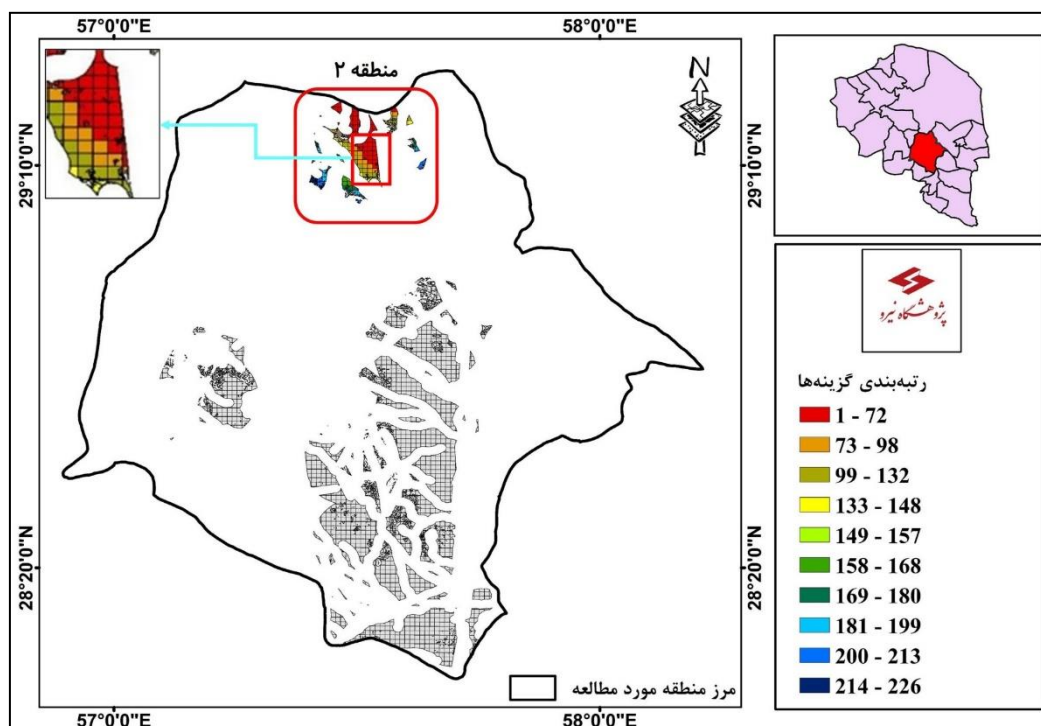
جدول ۱۵-۴: ماتریس نرمال‌شده پتانسیل انرژی بادی منطقه ۲

گزینه	سرعت باد (m/s)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از شبکه توزیع (m)	شیب (درصد)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)
۱	۰/۳۱	۷۵۲/۹	۶۰۴/۵	۳۵۲/۸	۱۰۶/۹	۱۲۹	۱۴۳/۳	۳۸۶	۰/۵۶	۶۴/۸	۲۲۰
۲	۰/۳۳	۷۶۱/۹	۶۷۱/۳	۳۲۱	۱۰۲/۷	۱۲۳/۷	۱۸۰/۷	۳۱۶/۱	۱/۴	۳۰/۷	۲۱۵/۴
۳	۰/۳۱	۶۴۸	۷۴۸	۱۴۳/۴	۴۶/۷	۷۳/۱	۲۱۱/۶	۱۵۳/۳	۳/۵	۱۹/۹	۲۱۶/۵
۴	۰/۳۵	۷۹۳/۵	۳۹۷/۷	۵۰/۳	۱۶۶/۹	۲۱۴/۵	۸۷/۸	۱۵۳/۷	۱/۲	۲۶۰/۷	۲۱۷/۳
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۲۲۳	۰/۴۶	۱۲۴۴/۲	۱۲۵۲/۵	۴۵/۹	۶۴۸/۸	۱۱۹۹/۲	۵۳۶/۶	۲۷۲/۹	۰/۳۸	۳۸۸/۱	۱۴۷/۲
۲۲۴	۰/۴۱	۱۲۱۵/۶	۱۲۵۷/۸	۶۶/۶	۶۸۵/۸	۱۱۸۱	۵۱۴	۲۸۱/۳	۰/۱۰	۳۴۷	۱۴۵/۹
۲۲۵	۰/۴۹	۱۱۷۰/۳	۲۲۱۱/۳	۴۹/۴	۲۴۲۳/۱	۱۶۰۴/۵	۸۸۰/۲	۱۱۸۱/۶	۰/۳۸	۳۴۳	۱۵۳/۵
۲۲۶	۰/۴۳	۱۶۳۷	۱۲۸۶/۷	۵۰/۲	۳۲۸/۳	۱۵۰۰/۲	۸۸۹/۷	۲۲۳/۲	۰/۳۳	۹۴۴/۹	۱۴۷

جدول ۱۶-۴: رتبه بندی گزینه ها پتانسیل انرژی بادی منطقه ۲

رتبه	فاصله نسبی	گزینه
۴	۰/۵۳۲۸۴۵	۱
۳	۰/۵۳۸۹۲۶	۲
۵	۰/۵۱۲۵۸۶	۳
۷	۰/۵۰۵۸۹۶	۴
۶	۰/۵۰۸۸۶۹	۵
۱۰	۰/۴۸۹۶۹۶	۶
.	.	.
.	.	.
.	.	.
۱	۰/۵۵۸۵۹۵	۱۴۳۴
۲	۰/۵۵۰۲۸۵	۱۴۳۵
۱۱	۰/۴۸۳۲۶۹	۱۴۳۶
۸	۰/۴۹۸۵۳۱	۱۴۳۷
۹	۰/۴۹۰۸۵۲	۱۴۳۸
۱۲	۰/۴۸۲۲۳۶	۱۴۳۹

در شکل (۴-۹) نقشه پتانسیل انرژی‌های بادی در منطقه ۲ نشان داده شده است. در این منطقه نسبت به سایر مناطق پیکسل‌های با پتانسیل خیلی بالا نسبت به پیکسل‌های کل منطقه مورد مطالعه دارای تعداد قابل توجهی می‌باشند. به طوری که از مجموع پیکسل‌های مناسب (۲۲۶ پیکسل)، ۷۲ پیکسل دارای پتانسیل خیلی بالا جهت تاسیس نیروگاه خورشیدی می‌باشد. به عبارتی ۳۲ درصد از پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل خیلی بالایی می‌باشند.



شکل ۸-۴: نقشه پتانسیل انرژی بادی در منطقه ۲

جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها مستعد توسعه انرژی بادی در منطقه ۳ از روش تاپسیس استفاده شده است. روش تاپسیس شامل هفت مرحله، ۱- تشکیل ماتریس تصمیم، ۲- ماتریس توان، ۳- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری، ۴- ماتریس نرمال وزین، ۵- یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، ۶- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل و ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. نمونه‌های از این مراحل در جدول‌های (۴-۱۷)، (۴-۱۸) و (۴-۱۹) نشان داده شده است (برای مشاهده جزئیات بیشتر به فایل اکسل پیوست به اسم TOPSIS Wind_Zone 3 مراجعه شود).

جدول ۱۷-۴: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل انرژی بادی منطقه ۳

گزینه	سرعت باد (m/s)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	شیب (درصد)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)
۱	۴/۸	۱۳۴۹۵/۱	۵۶۶۰۱	۱۰۶۷/۹	۴۳۵۱۲/۳	۱۹۸۲۹/۱	۷۷۰۲	۲/۹	۲۰۱۶/۱	۱۸۷۷/۴
۲	۴/۸	۱۳۴۵۷/۴	۵۶۴۶۸/۴	۱۰۲۸	۴۳۲۵۰	۱۹۵۶۴/۹	۷۴۶۸	۳/۹	۱۹۸۵/۶	۱۸۷۱/۴
۳	۴/۸	۱۳۳۶۷/۹	۵۶۳۹۸	۱۰۲۰/۴	۴۳۲۵۸/۵	۱۹۵۸۱/۱	۷۴۴۲/۱	۳	۱۸۹۴/۷	۱۸۷۳
۴	۴/۸	۱۳۳۸۱/۱	۵۶۳۶۱/۲	۲۰۲۵/۱	۴۳۱۳۸/۴	۱۹۴۵۷/۷	۷۳۴۵/۹	۴/۱	۱۹۱۳	۱۸۶۷/۲
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۱۹۴	۴	۱۱۹۰۰/۷	۳۱۸۷۹/۳	۱۳۱۸/۹	۲۷۷۱۷/۱	۱۸۵۸۴/۵	۴۶۵۴/۵	۹۳۸۰/۷	۱۱/۵	۲۹۷۲/۶
۱۹۵	۴	۱۱۵۸۳/۸	۳۱۲۰۵/۹	۱۳۴۸/۱	۲۹۰۷۳/۶	۱۹۸۶۸/۷	۴۳۹۰/۷	۹۵۴۱/۹	۱۰/۵	۱۸۲۰/۳
۱۹۶	۴/۱	۱۲۱۵۵/۹	۳۱۲۱۲/۸	۱۵۰۶/۸	۲۸۲۴۴/۳	۱۹۴۰۶/۲	۴۸۰۳/۱	۹۷۸۲/۸	۱۵	۲۱۴۷/۴
۱۹۷	۴/۱	۱۲۴۰۸/۷	۳۱۳۳۴/۲	۱۵۱۳/۶	۲۷۷۱۷/۸	۱۹۰۳۰/۷	۵۰۳۰/۲	۹۸۶۷/۱	۱۲/۲	۲۴۶۳/۴

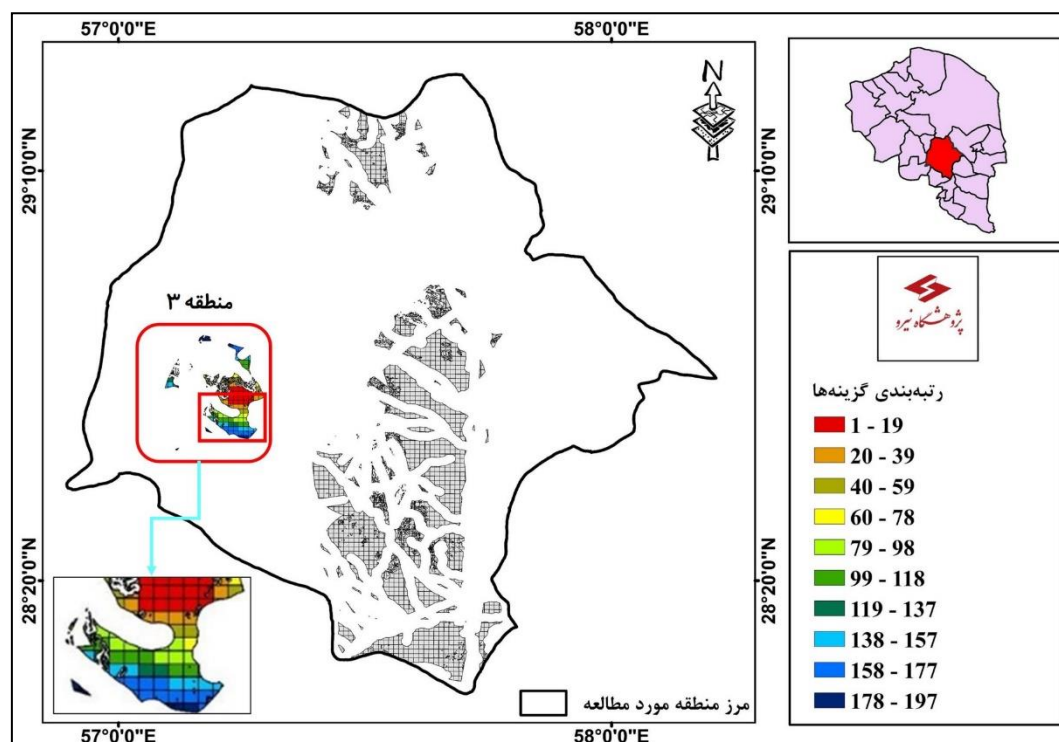
جدول ۱۸-۴: ماتریس نرمال‌شده پتانسیل انرژی بادی منطقه ۳

گزینه	سرعت باد (m/s)	فاصله از فیدر (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از ترانس (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	شیب (درصد)	فاصله از گسل (m)	ارتفاع (m)
۱	۰/۳۵	۱۹۴۸/۷	۵۰۸۱/۲	۳۸/۳	۴۵۴۴/۶	۲۴۵۹/۵	۷۰۰/۴	۰/۰۵	۸۵/۴	۱۳۶/۴
۲	۰/۳۵	۱۹۳۷/۹	۵۰۵۷/۴	۳۵/۵	۴۴۹۰	۲۳۹۴/۵	۶۵۸/۵	۰/۰۹	۸۲/۸	۱۳۵/۵
۳	۰/۳۵	۱۹۱۲/۲	۵۰۴۴/۸	۳۵	۴۴۹۱/۷	۲۳۹۸/۴	۶۵۳/۹	۰/۰۵	۷۵/۴	۱۳۵/۸
۴	۰/۳۵	۱۹۱۶	۵۰۳۸/۲	۳۵/۳	۴۴۶۶/۸	۲۳۶۸/۳	۶۳۷/۱	۰/۱۰	۷۶/۸	۱۳۴/۹
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۱۹۴	۰/۲۴	۱۵۱۵/۵	۱۶۱۱/۹	۵۸/۵	۱۸۴۴	۲۱۵۲/۱	۲۵۵/۷	۰/۸۴	۱۸۵/۶	۱۰۶/۱
۱۹۵	۰/۲۵	۱۴۳۵/۸	۱۵۴۴/۵	۶۱/۱	۲۰۲۸/۹	۲۴۶۹/۴	۲۲۷/۶	۰/۷۰	۶۹/۶	۱۰۴/۸
۱۹۶	۰/۲۵	۱۵۸۱/۱	۱۵۴۵/۲	۷۶/۴	۱۹۱۴/۸	۲۳۵۵/۸	۲۷۲/۳	۱/۴	۹۶/۸	۱۰۵/۴
۱۹۷	۰/۲۶	۱۶۴۷/۶	۱۵۵۷/۲	۷۷	۱۸۴۴/۱	۲۲۶۵/۵	۲۹۸/۷	۰/۹۴	۱۲۷/۵	۱۰۵/۴

جدول ۱۹-۴: رتبه بندی گزینه ها پتانسیل انرژی بادی منطقه ۳

گزینه	فاصله نسبی	رتبه
۱	۰/۲۵۰۸۱۹	۱۲
۲	۰/۲۵۳۳۳۲	۱۱
۳	۰/۲۵۸۴۵۵	۹
۴	۰/۲۵۷۹۲۴	۱۰
۵	۰/۴۲۸۵۱۹	۱
۶	۰/۴۲۵۱۳۲	۲
۰	۰	۰
۰	۰	۰
۰	۰	۰
۱۹۲	۰/۳۷۲۷۴۵	۳
۱۹۳	۰/۳۶۸۰۷۱	۴
۱۹۴	۰/۳۶۷۲۳۸	۵
۱۹۵	۰/۳۴۴۱۳۳	۶
۱۹۶	۰/۳۳۹۳۴۳	۸
۱۹۷	۰/۳۴۰۸۹۰	۷

شکل (۴-۱۰) نقشه پتانسیل انرژی‌های بادی در منطقه ۳ نشان داده شده است. در این منطقه از تعداد پیکسل‌های کل منطقه مورد مطالعه فقط ۱۹ پیکسل دارای پتانسیل خیلی بالایی جهت تاسیس نیروگاه‌های بادی مناسب می‌باشند. به عبارتی از مجموع پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه ۱۰ درصد دارای پتانسیل خیلی بالایی می‌باشند.



شکل ۹-۴: نقشه پتانسیل انرژی بادی در منطقه ۳

۸-۴-تهیه نقشه پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه

جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها مستعد توسعه انرژی بادی در منطقه ۳ از روش تاپسیس استفاده شده است. روش تاپسیس شامل هفت مرحله، ۱- تشکیل ماتریس تصمیم، ۲- ماتریس توان، ۳- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری، ۴- ماتریس نرمال وزین، ۵- یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، ۶- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل و ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. نمونه‌های از این مراحل در جدول‌های (۴-۲۰)، (۴-۲۱) و (۴-۲۲) نشان داده شده است (برای مشاهده جزئیات بیشتر به فایل اکسل پیوست به اسم TOPSIS Shabakeh مراجعه شود).

جدول ۲۰-۴: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه

گزینه	متوسط مصرف انرژی الکتریکی (kwh)	فاصله تا فیدر (m)	ظرفیت آزاد فیدرها (%)
۱	۶۵۷۰۰۰	۲۵۶۳	۲۰
۱	۶۵۷۰۰۰	۲۰۳۶	۳۰
۱	۶۵۷۰۰۰	۳۵۸۹	۱۰
۱	۶۵۷۰۰۰	۱۸۹۶	۱۵
۲	۱۲۷۸۰۰	۳۶۵۸	۳۵
۲	۱۲۷۸۰۰	۳۹۰۰	۱۸
۲	۱۲۷۸۰۰	۱۵۸۶	۲۰
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
۲۴۸	۶۶۵۰۰	۲۴۷	۲۵
۲۴۸	۶۶۵۰۰	۲۰۴۵	۱۰
۲۴۸	۶۶۵۰۰	۱۷۹۰	۴۵
۲۴۹	۳۲۴۰۰	۳۳۰	۲۰
۲۴۹	۳۲۴۰۰	۲۶۸۰	۳۰

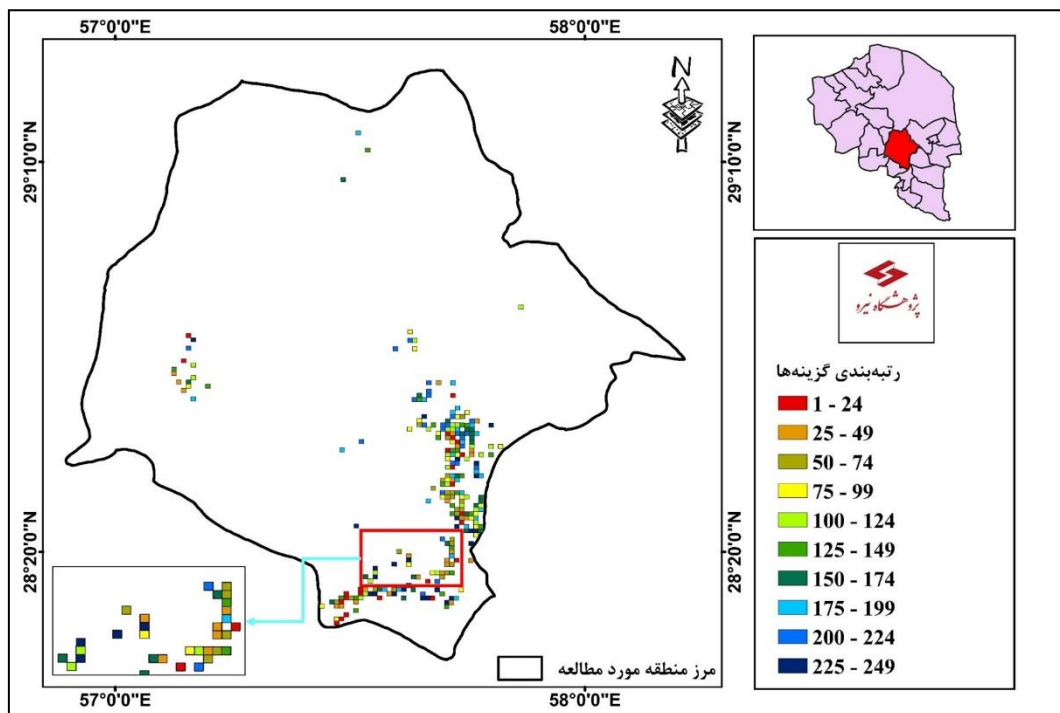
جدول ۲۱-۴: ماتریس نرمال‌شده پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه

گزینه	متوسط مصرف انرژی الکتریکی (kwh)	فاصله تا فیدر (m)	ظرفیت آزاد فیدرها (%)
۱	۷۴۴۲۲/۴	۸۸/۸	۰/۴۶
۱	۷۴۴۲۲/۴	۵۶	۱
۱	۷۴۴۲۲/۴	۱۷۴/۱	۰/۱۱
۱	۷۴۴۲۲/۴	۴۸/۵	۰/۲۶
۲	۲۸۱۶	۱۸۰/۸	۱/۴
۲	۲۸۱۶	۲۰۵/۶	۰/۳۷
۲	۲۸۱۶	۳۴	۰/۴۶
۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰
۲۴۸	۷۶۲/۴	۰/۸۲	۰/۷۲
۲۴۸	۷۶۲/۴	۵۶/۵	۰/۱۱
۲۴۸	۷۶۲/۴	۴۳/۳	۲/۳
۲۴۹	۱۸۰/۹	۱/۴	۰/۴۶
۲۴۹	۱۸۰/۹	۹۷	۱

جدول ۲۲-۴: رتبه بندی گزینه ها پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه

رتبه	فاصله نسبی	گزینه
۳	۰/۳۶۲۰۲۸	۱
۲	۰/۳۶۲۰۴۱	۱
۴	۰/۳۶۱۹۹۴	۱
۱	۰/۳۶۲۰۴۴	۱
۶	۰/۰۵۰۴۸۷	۲
۷	۰/۰۵۰۳۶۲	۲
۵	۰/۰۵۱۲۲۷	۲
.	.	.
.	.	.
.	.	.
۸	۰/۰۴۸۹۷۳	۲۴۸
۱۰	۰/۰۴۸۶۸۳	۲۴۸
۹	۰/۰۴۸۷۵۲	۲۴۸
۱۱	۰/۰۴۸۶۸۲	۲۴۹
۱۲	۰/۰۴۸۱۸۳	۲۴۹

جهت تهیه نقشه پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه از معیارهای ظرفیت آزاد فیدر، فاصله تا فیدر و متوسط مصرف انرژی الکتریکی استفاده شده است. از مجموع پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه تنها ۲۴۹ پیکسل مستعد پتانسیل بودند که از این تعداد تنها ۲۴ پیکسل دارای پتانسیل خیلی بالای جهت پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه را داشتند. در شکل (۴-۱۱) نقشه پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰: نقشه پتانسیل پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه

۴-۹-تهیه نقشه پتانسیل تولید پراکنده

جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها مستعد توسعه انرژی بادی در منطقه ۳ از روش تاپسیس استفاده شده است. روش تاپسیس شامل هفت مرحله، ۱- تشکیل ماتریس تصمیم، ۲- ماتریس توان، ۳- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری، ۴- ماتریس نرمال وزین، ۵- یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، ۶- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل و ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. نمونه‌های از این مراحل در جدول‌های (۴-۲۳)، (۴-۲۴) و (۴-۲۵) نشان داده شده است (برای مشاهده جزئیات بیشتر به فایل اکسل پیوست به اسم TOPSIS Shabakeh مراجعه شود).

جدول ۲۳-۴: ماتریس تصمیم‌گیری پتانسیل تولید پراکنده

گزینه	متوسط مصرف انرژی الکتریکی (kwh)	فاصله تا فیدر (m)	ظرفیت آزاد فیدرها (%)	شیب (%)	فاصله از خطوط گاز (m)	ارتفاع (m)	فاصله از گسل (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از فیدر (m)
۱	۶۵۷۰۰۰	۲۵۶۳	۲۰	۲/۵	۷۹۳۱/۶	۶۴۵/۳	۲۳۵۸۹/۶	۷۷۴۵۶/۲	۹۰۰/۱	۶۲۴/۶	۳۴۰/۹	۸۱۸۵/۱
۱	۶۵۷۰۰۰	۲۰۳۶	۳۰	۲/۵	۷۹۳۱/۶	۶۴۵/۳	۲۳۵۸۹/۶	۷۷۴۵۶/۲	۹۰۰/۱	۶۲۴/۶	۳۴۰/۹	۸۱۸۵/۱
۱	۶۵۷۰۰۰	۳۵۸۹	۱۰	۲/۵	۷۹۳۱/۶	۶۴۵/۳	۲۳۵۸۹/۶	۷۷۴۵۶/۲	۹۰۰/۱	۶۲۴/۶	۳۴۰/۹	۸۱۸۵/۱
۱	۶۵۷۰۰۰	۱۸۹۶	۱۵	۲/۵	۷۹۳۱/۶	۶۴۵/۳	۲۳۵۸۹/۶	۷۷۴۵۶/۲	۹۰۰/۱	۶۲۴/۶	۳۴۰/۹	۸۱۸۵/۱
۲	۱۲۷۸۰۰	۳۶۵۸	۳۵	۲/۳	۶۹۲۷/۵	۶۴۶/۱	۲۳۷۴۵/۱	۷۶۵۴۱	۲۱۵/۶	۲۳۰/۱	۳۳۰/۴	۷۲۲۵/۵
۲	۱۲۷۸۰۰	۳۹۰۰	۱۸	۲/۳	۶۹۲۷/۵	۶۴۶/۱	۲۳۷۴۵/۱	۷۶۵۴۱	۲۱۵/۶	۲۳۰/۱	۳۳۰/۴	۷۲۲۵/۵
۲	۱۲۷۸۰۰	۱۵۸۶	۲۰	۲/۳	۶۹۲۷/۵	۶۴۶/۱	۲۳۷۴۵/۱	۷۶۵۴۱	۲۱۵/۶	۲۳۰/۱	۳۳۰/۴	۷۲۲۵/۵
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۲۴۸	۶۶۵۰۰	۲۴۷	۲۵	۷	۳۵۸۶/۱	۲۶۹۱/۲	۱۳۵۶/۷	۱۰۷۹۸/۶	۳۱۰۳/۷	۶۸۴۳/۹	۵۰۴/۹	۳۶۱۳/۶
۲۴۸	۶۶۵۰۰	۲۰۴۵	۱۰	۷	۳۵۸۶/۱	۲۶۹۱/۲	۱۳۵۶/۷	۱۰۷۹۸/۶	۳۱۰۳/۷	۶۸۴۳/۹	۵۰۴/۹	۳۶۱۳/۶
۲۴۸	۶۶۵۰۰	۱۷۹۰	۴۵	۷	۳۵۸۶/۱	۲۶۹۱/۲	۱۳۵۶/۷	۱۰۷۹۸/۶	۳۱۰۳/۷	۶۸۴۳/۹	۵۰۴/۹	۳۶۱۳/۶
۲۴۹	۳۲۴۰۰	۳۳۰	۲۰	۷/۴	۳۶۰۰/۲	۲۵۴۶/۴	۳۱۶۹/۸	۱۰۹۲۷/۸	۴۳۷/۲	۸۴۱۰/۲	۴۵۵/۲	۵۵۱۵/۴
۲۴۹	۳۲۴۰۰	۲۶۸۰	۳۰	۷/۴	۳۶۰۰/۲	۲۵۴۶/۴	۳۱۶۹/۸	۱۰۹۲۷/۸	۴۳۷/۲	۸۴۱۰/۲	۴۵۵/۲	۵۵۱۵/۴

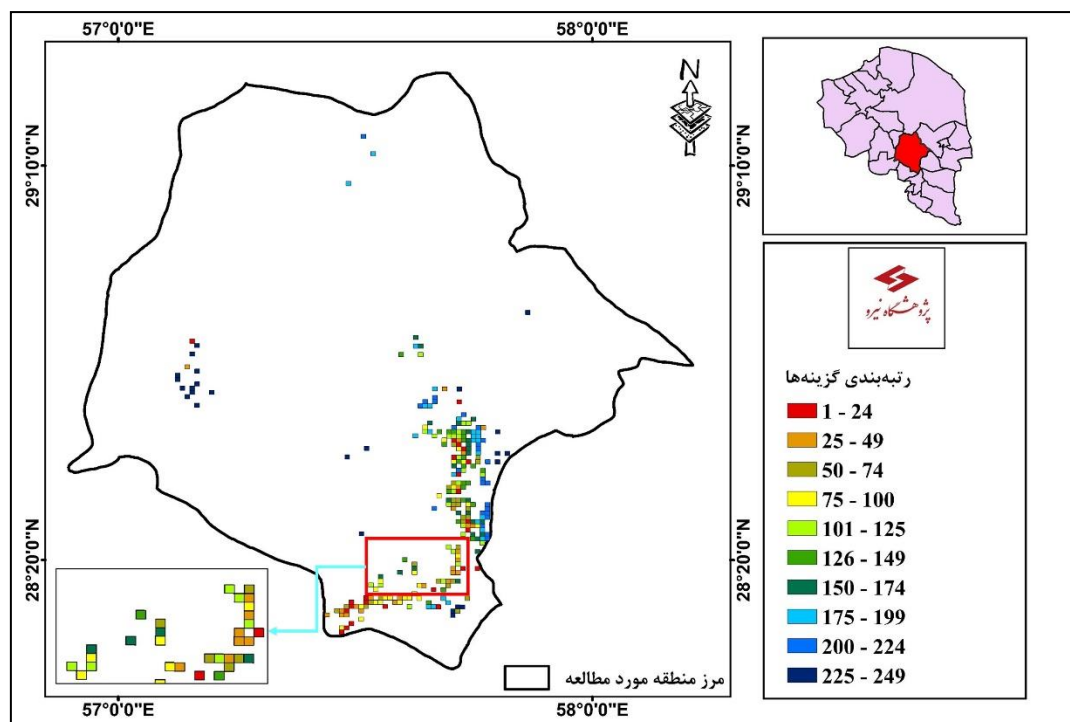
شکل ۱۱-۴: ماتریس نرمال شده پتانسیل تولید پراکنده

گزینه	متوسط مصرف انرژی الکتریکی (kwh)	فاصله تا فیدر (m)	ظرفیت آزاد فیدرها (%)	شیب (%)	فاصله از خطوط گاز (m)	ارتفاع (m)	فاصله از گسل (m)	فاصله از نقاط زمین لغزش (m)	فاصله از شبکه آبراهه (m)	فاصله از شبکه راه (m)	فاصله از چاه‌های کشاورزی (m)	فاصله از فیدر (m)
۱	۷۴۴۲۲/۴	۸۸/۸	۰/۴۶	۰/۰۴	۵۲۶/۱	۱۷/۳	۲۳۱۵	۴۵۶۷/۳	۲۴/۱	۱/۳	۸/۷	۳۵۹/۳
۱	۷۴۴۲۲/۴	۵۶	۱	۰/۰۴	۵۲۶/۱	۱۷/۳	۲۳۱۵	۴۵۶۷/۳	۲۴/۱	۱/۳	۸/۷	۳۵۹/۳
۱	۷۴۴۲۲/۴	۱۷۴/۱	۰/۱۱	۰/۰۴	۵۲۶/۱	۱۷/۳	۲۳۱۵	۴۵۶۷/۳	۲۴/۱	۱/۳	۸/۷	۳۵۹/۳
۱	۷۴۴۲۲/۴	۴۸/۵	۰/۲۶	۰/۰۴	۵۲۶/۱	۱۷/۳	۲۳۱۵	۴۵۶۷/۳	۲۴/۱	۱/۳	۸/۷	۳۵۹/۳
۲	۲۸۱۶	۱۸۰/۸	۱/۴	۰/۰۳	۴۰۱/۳	۱۷/۳	۲۳۴۵/۶	۴۴۶۰	۱/۳	۰/۱۸	۸/۲	۲۸۰
۲	۲۸۱۶	۲۰۵/۶	۰/۳۷	۰/۰۳	۴۰۱/۳	۱۷/۳	۲۳۴۵/۶	۴۴۶۰	۱/۳	۰/۱۸	۸/۲	۲۸۰
۲	۲۸۱۶	۳۴	۰/۴۶	۰/۰۳	۴۰۱/۳	۱۷/۳	۲۳۴۵/۶	۴۴۶۰	۱/۳	۰/۱۸	۸/۲	۲۸۰
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
۲۴۸	۷۶۲/۴	۰/۸۲	۰/۷۲	۰/۳۵	۱۰۷/۵	۳۰۱/۶	۷/۶	۸۸/۷	۲۸۷/۶	۱۶۴/۳	۱۹/۲	۷۰
۲۴۸	۷۶۲/۴	۵۶/۵	۰/۱۱	۰/۳۵	۱۰۷/۵	۳۰۱/۶	۷/۶	۸۸/۷	۲۸۷/۶	۱۶۴/۳	۱۹/۲	۷۰
۲۴۸	۷۶۲/۴	۴۳/۳	۲/۳	۰/۳۵	۱۰۷/۵	۳۰۱/۶	۷/۶	۸۸/۷	۲۸۷/۶	۱۶۴/۳	۱۹/۲	۷۰
۲۴۹	۱۸۰/۹	۱/۴	۰/۴۶	۰/۳۸	۱۰۸/۴	۲۷۰	۴۱/۸	۹۰/۹	۵/۷	۲۴۸/۲	۱۵/۶	۱۶۳/۱
۲۴۹	۱۸۰/۹	۹۷	۱	۰/۳۸	۱۰۸/۴	۲۷۰	۴۱/۸	۹۰/۹	۵/۷	۲۴۸/۲	۱۵/۶	۱۶۳/۱

شکل ۱۲-۴: رتبه بندی گزینه ها پتانسیل تولید پراکنده

رتبه	فاصله نسبی	گزینه
۳	۰/۴۰۴۷۵۳	۱
۲	۰/۴۰۴۷۶۳	۱
۴	۰/۴۰۴۷۲۹	۱
۱	۰/۴۰۴۷۶۵	۱
۶	۰/۲۲۲۷۱۷	۲
۷	۰/۲۲۲۷۰۱	۲
۵	۰/۲۲۲۸۰۹	۲
.	.	.
.	.	.
.	.	.
۸	۰/۲۱۵۵۳۷	۲۴۸
۱۰	۰/۲۱۵۵۰۰	۲۴۸
۹	۰/۲۱۵۵۰۹	۲۴۸
۱۱	۰/۲۱۳۰۸۲	۲۴۹
۱۲	۰/۲۱۳۰۱۸	۲۴۹

در شکل (۴-۱۲) نقشه پتانسیل تولید پراکنده نشان داده شده است. از مجموع پیکسل‌های دارای پتانسیل، فقط ۲۴ پیکسل دارای پتانسیل خیلی بالا می‌باشند (برای مشاهده جزئیات بیشتر به فایل اکسل پیوست به اسم TOPSIS DG مراجعه شود). این پیکسل‌ها عمدتاً در جنوب منطقه مورد مطالعه قرار دارند. در مناطق شمالی و غربی منطقه مورد مطالعه پیکسل‌های که در رتبه آخر قرار گرفته‌اند وجود دارند که به این معنی می‌باشد این مناطق از اولویت پایینی جهت توسعه انرژی تولید پراکنده برخوردار می‌باشد.



شکل ۱۳-۴: نقشه پتانسیل پتانسیل اتصال مستقیم به شبکه

۴-۱۰- نتیجه‌گیری

به طور کلی در ایران از سوخت‌های فسیلی (زغال سنگ، گاز طبیعی و نفت) برای تولید انرژی استفاده می‌شود. منابع سوخت‌های فسیلی محدود می‌باشد و استفاده بیش از اندازه از این منابع نه تنها باعث تخریب محیط زیست می‌شود بلکه باعث کاهش این منابع شده و در نتیجه باعث افزایش قیمت این منابع می‌شود. تنوع استفاده از انرژی‌های مختلف، کشور را به لحاظ تامین انرژی در وضعیت مطمئن‌تری قرار خواهد داد. بنابراین، توسعه بهره برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین یافتن منابع انرژی جایگزین برای به حداقل رساندن اثرات منفی زیست محیطی و تامین نیاز روزافزون انرژی ضروری است. از این رو، استفاده از سیستم‌های مختلف برای تعیین مناطق مناسب برای ساخت مزرعه انرژی‌های تجدید پذیر از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین هدف از این پژوهش، پتانسیل‌سنجی مناطق بهینه جهت تاسیس انرژی‌های خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه در شهرستان جیرفت می‌باشد. در این مطالعه از معیارهای مکانی شامل معیارهای وکتوری و رستری استفاده شده است. همچنین جهت به دست آوردن وزن و اهمیت معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها به ترتیب از روش آنالوژی شانون و روش تاپسیس استفاده شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان، نتایج اصلی و مهم این تحقیق را به صورت زیر بیان نمود: در بین معیارهای موثر برای انتخاب مکان مناسب برای ساخت نیروگاه‌های انرژی خورشیدی و بادی معیار شبکه توزیع از اهمیت بالایی و به ترتیب معیارهای ساعات آفتابی و ارتفاع از اهمیت پایینی برخوردار می‌باشند. همچنین برای تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه به ترتیب معیارهای ظرفیت آزاد فیدرها و فاصله از شبکه راه از اهمیت بالایی برخوردارند.

از مجموع مساحت کل منطقه مورد مطالعه (۹۸۰۲۰۶ هکتار)، به ترتیب ۱۲۸۳۴۵ هکتار و ۱۰۵۷۳۹ هکتار جهت ساخت نیروگاه‌های خورشیدی و بادی مناسب می‌باشد و مساحت ۲۴۹۰۰ هکتار از کل مساحت منطقه مورد مطالعه برای تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه مناسب می‌باشد.

از مجموع پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه برای تاسیس نیروگاه‌های انرژی خورشید در منطقه ۱، منطقه ۲ و منطقه ۳ به ترتیب ۵۱۲، ۲۷ و ۳۴ پیکسل در کلاس با پتانسیل خیلی بالا قرار گرفتند.

از مجموع پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه برای تاسیس نیروگاه‌های انرژی بادی در منطقه ۱، منطقه ۲ و منطقه ۳ به ترتیب ۱۲۸، ۷۲ و ۱۹ پیکسل در کلاس با پتانسیل خیلی بالا قرار گرفتند.

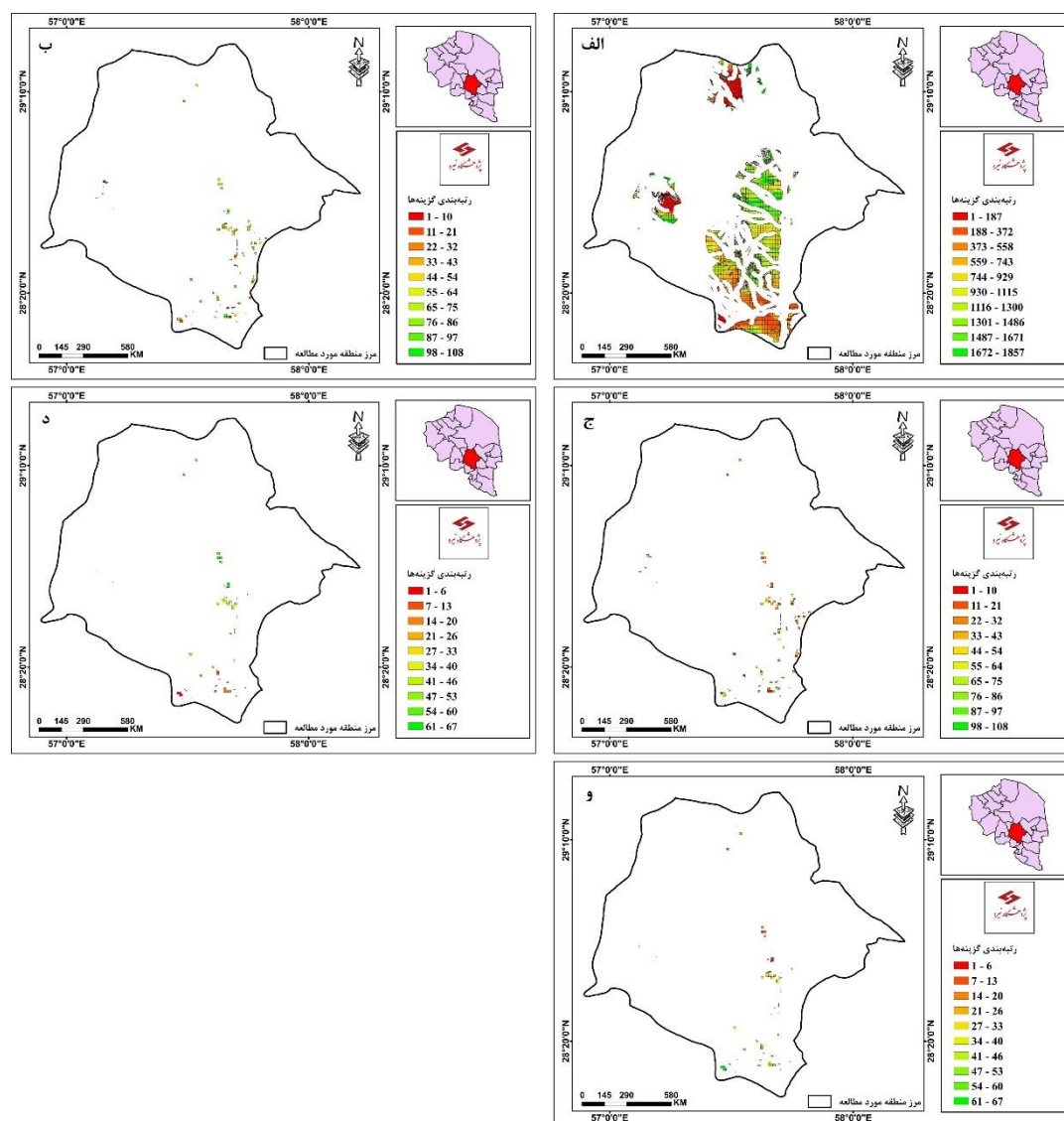
از مجموع پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه برای تاسیس نیروگاه‌های انرژی تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه ۲۴ پیکسل در کلاس با پتانسیل خیلی بالا قرار گرفتند.

نتایج نقشه‌های پتانسیل نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از لحاظ انرژی‌های خورشیدی نسبت به سایر انرژی‌های دارای پتانسیل بالای می‌باشد. به طوری که از مجموع پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه ۲۳ دارای پتانسیل خیلی بالایی جهت تاسیس نیروگاه‌های انرژی خورشیدی می‌باشند.

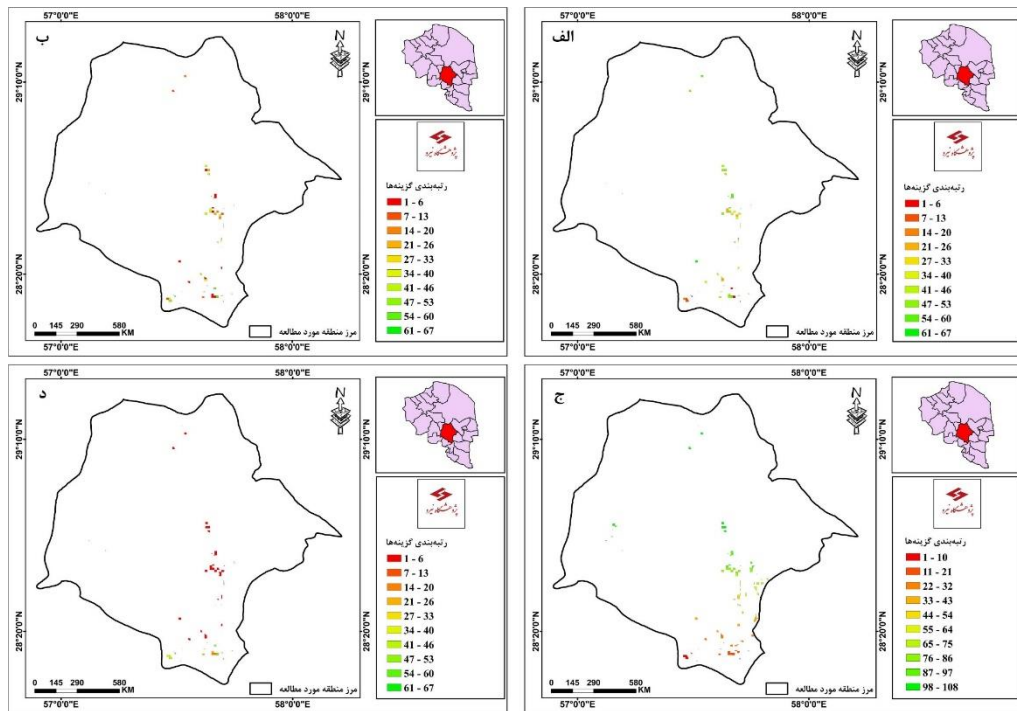
با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل توانایی زیاد در مدیریت حجم بالای داده‌های مکانی در مسائل مکانمند همچون تعیین مکان‌های بسیار مناسب برای تاسیس نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر است. همچنین سیستم اطلاعات جغرافیایی این امکان را فراهم نموده که بتوان داده‌های کمی و کیفی را همزمان مورد بررسی قرار داد و به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا بتوانند بر اساس داده‌های مکانی، تصمیم‌گیری کنند. با توجه به اینکه پتانسیل‌سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر به عوامل متعددی مکانی وابسته است؛ بنابراین برای تعیین مکان مناسب بکارگیری یک فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند بسیار مفید باشد. روش‌های

تصمیم‌گیری چند معیاره پتانسیل زیادی را به منظور کاهش دادن هزینه و زمان و بالا بردن دقت در تصمیم‌گیری مکانی دارا می‌باشد.

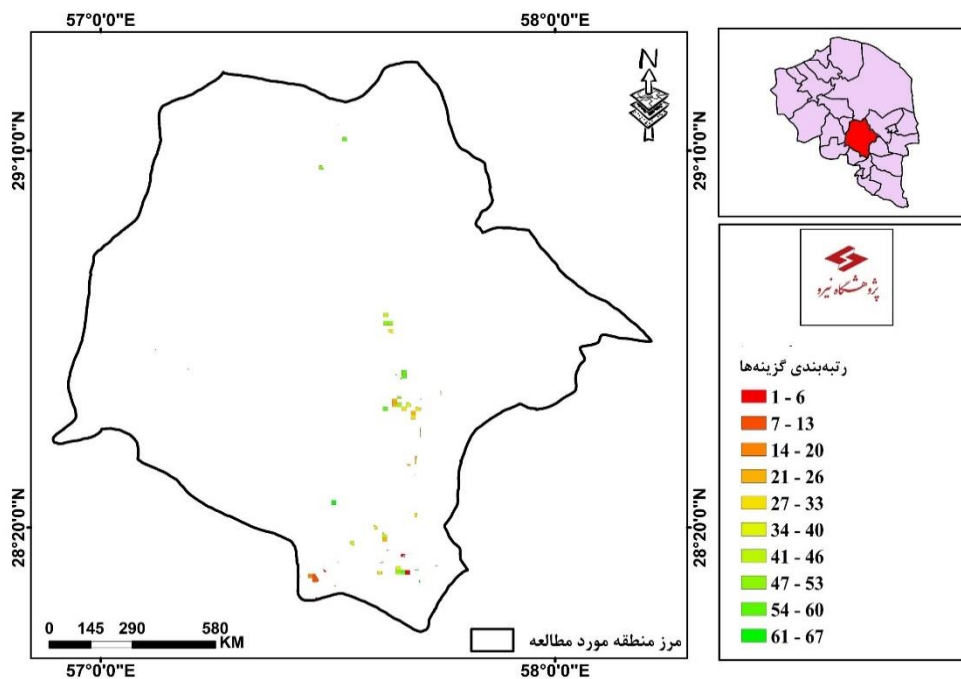
در این پژوهش برای ترکیب انرژی‌ها از سه سناریو استفاده شده است. ۱) ترکیب دو نوع انرژی (شکل ۵-۱)؛ ۲) ترکیب سه نوع انرژی (شکل ۵-۲)؛ و ۳) ترکیب همه انرژی‌ها با یکدیگر (شکل ۵-۳). به صورت کلی در حالت سوم (ترکیب همه انرژی‌ها با یکدیگر) از مجموع پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه فقط ۶۷ پیکسل مستعد توسعه بودند.



شکل ۱۴-۴: ترکیب دو نوع انرژی، الف) خورشیدی و بادی، ب) خورشیدی و تولید پراکنده، ج) خورشیدی و اتصال مستقیم به شبکه، د) بادی و تولید پراکنده، و) بادی و اتصال مستقیم به شبکه



شکل ۱۵-۴: ترکیب سه نوع انرژی، الف) خورشیدی، بادی و تولید پراکنده؛ ب) خورشیدی، بادی و اتصال مستقیم به شبکه؛ ج) خورشیدی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه؛ د) بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه



شکل ۱۶-۴: ترکیب هر چهار نوع انرژی

۵- فصل پنجم: مدلسازی عدم قطعیت در داده‌های ورودی

۱-۵- مقدمه

چاه‌های کشاورزی حفر شده در سراسر کشور بمنظور پمپ کردن آب از عمق نیازمند موتور پمپ هستند. این پمپ‌ها نیرو محرکه لازم برای به حرکت درآوردن و انتقال آب از سفره‌های زیرزمینی و انتقال آن به مزارع را فراهم می‌کنند. تامین انرژی لازم برای پدید آوردن این نیرو، هزینه‌هایی را به همراه دارد که بستگی به نوع موتور پمپ دارد. در حالت کلی امکان استفاده از موتورهای دیزلی و الکتریکی وجود دارد. در گذشته به علت ارزان بودن سوخت گاز، از موتور پمپ‌های دیزلی استفاده می‌شده است. اما اکنون تمایل به تغییر این رویکرد و استفاده از موتورهای الکتریکی است. این تغییر مستلزم تامین برق مورد نیاز این موتورهاست. یک راه حل این است که چاه‌های کشاورزی به شبکه برق سراسری متصل شوند و برق خود را از این طریق تامین کنند. در چنین رویکردی می‌توان مجموعه‌ای از چاه‌ها را خوشه‌بندی کرد و برای هر خوشه یک فیدر احداث کرد. راه حل دیگر نیز این است که از تولیدات پراکنده بصورت محلی استفاده کرد. بدین معنی که واحدهایی مانند پنل‌های خورشیدی، توربین بادی و توربین گازی در محل نصب شوند. همچنین با توجه به این که این دو راهکار کلی باهم متضاد نیستند، می‌توان در یک طرح توسعه کلی هر دو را بصورت توأم در نظر گرفت. یکی از مسائل مهم در طرح توسعه در نظر گرفتن عدم قطعیت هاست. از آنجایی که پیشبینی‌های مربوط به داده‌های ورودی مسئله اغلب قطعی نیستند، همواره نیاز به لحاظ کردن این عدم قطعیت‌ها وجود دارد. بخشی از این عدم قطعیت شامل بر پیشبینی‌های مربوط به عملکرد چاه‌ها در طول سال می‌شود. بخش دیگری نیز مربوط به تولیدات پراکنده است. در مطالعات مربوط به امکان‌سنجی نصب تولیدات پراکنده، نقاط متنوعی از دید جغرافیایی به عنوان کاندید معرفی می‌شوند. وضعیت جوی در این نقاط که بصورت پیشبینی شده در دسترس قرار می‌گیرد دارای عدم قطعیت است. در تحقیق حاضر هدف مدلسازی این قطعیت‌ها در چارچوب مسئله کلی توسعه منابع پراکنده برای چاه‌های کشاورزی است.

هدف ارائه یک طرح توسعه برای برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی در یک منطقه یا استان معین است. توسط روش‌های بهینه‌سازی باید یک طرح توسعه کوتاه مدت یا میان مدت تعریف کرد که هدف فوق‌الذکر را بصورت بهینه از منظر اقتصادی تامین کند. خروجی مسئله می‌بایست برای سرمایه‌گذار طرح توجیه اقتصادی داشته باشد. همچنین اطلاعاتی که به عنوان ورودی مبنای عمل قرار می‌گیرد باید قابل استناد و مطابق با واقعیت‌های کشور ایران باشد. در مدلسازی فنی و محاسباتی چنین طرحی باید قیود مختلف اقتصادی، فنی یا محیط زیستی و غیره لحاظ گردند. یکی از مهمترین ملاحظات در مسئله توسعه، در نظر گرفتن عدم قطعیت هاست. در چنین مسئله‌ای اکثر داده‌هایی که بصورت پیشبینی شده در اختیار طراح قرار می‌گیرند بصورت قطعی نیستند. بطور مثال، تقاضای مصرف الکتریکی چاه‌های کشاورزی، ساعات کار سالانه آنها، همچنین شرایط آب و هوایی مانند تابش خورشید و سرعت باد، همگی دارای عدم قطعیت هستند. مسئله کلی برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی دارای گام‌های مختلفی است. در ادامه خروجی و ورودی‌های چنین مسئله‌ای لیست می‌شوند. البته ذکر این نکته ضروری است که تحقیق حاضر به گام مربوط به مدلسازی عدم قطعیت‌ها می‌پردازد و گام بعدی یعنی بهینه‌سازی مسئله توسعه در اینجا ارائه و بررسی نمی‌شود. اهداف اصلی در مرحله بهینه‌سازی عبارتند از:

- تعیین ظرفیت و محل بهینه برای نصب تولیدات تجدیدپذیر و تولیدات پراکنده گازسوز
- تعیین خوشه بندی بهینه برای مجموعه چاه‌های کشاورزی و تخصیص چاه‌ها به هر خوشه معین
- داده‌های ورودی در فرآیند بهینه‌سازی بطور اهم عبارتند از:
- میزان تقاضای الکتریکی چاه‌های کشاورزی
- ساعات کار چاه‌ها
- موقعیت جغرافیایی چاه‌ها در منطقه
- شرایط آب و هوایی

- هزینه‌های نصب منابع پراکنده
- هزینه‌های احداث فیدر برق و گاز
- نرخ تنزیل سالانه
- همچنین قیدهای اصلی مساله عبارتند از:
- قیود اقتصادی و سرمایه‌گذاری
- قیود شبکه شامل محدودیت‌های پخش بار و ظرفیت خطوط
- قیود تعادل تولید و مصرف
- حداکثر فاصله فیدر تا چاه

۲-۵- مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها

در گام اول حل مسئله مطرح‌شده، می‌بایست داده‌های ورودی را گردآوری کرد و عدم قطعیت آنها را به نحوی مدل کرد. با انجام این گام، مجموعه این داده‌ها می‌توانند به مسئله بهینه‌سازی تحویل داده شوند که گام بعدی محسوب می‌شود. بنابراین می‌توان این دو گام مختلف حل مسئله را از هم تفکیک کرد. فعلاً در گام اول تمرکز بر روی مدل‌سازی عدم قطعیت‌های پارامترهای ورودی است.

۱-۲-۵- روش‌های مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها

وجود عدم قطعیت یک عامل مهم در هر مرحله از روند برنامه‌ریزی توسعه است. ریسک‌های زیادی وجود دارند که برنامه‌ریزان می‌بایست از آنها اجتناب کنند یا اینکه حداقل، آنها را محاسبه و محدود کنند. در حالت کلی می‌توان عدم قطعیت‌ها را به دو دسته کلی تقسیم کرد [۵۳]. ۱- عدم قطعیت بیرونی: مربوط می‌شود به عدم وجود اطلاعات در مورد پارامترهای سیستم. ۲- عدم قطعیت درونی: شامل مدل‌سازی مسأله و نوع تحلیل تصمیم‌سازی می‌شود. در مسئله حاضر مقصود ما از وجود عدم قطعیت، نوع اول آن است که مربوط می‌شود به عدم امکان پیش‌بینی بدون خطای داده‌های ورودی مسئله. از دید مدل‌سازی مسأله سه رویکرد مختلف برای لحاظ کردن عدم قطعیت در مسأله وجود دارد. روش‌های احتمالی و روش‌های خوشه‌بندی و روش‌های مبتنی بر ریسک. در ادامه به هریک از این روش‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۲-۵-۱- روش‌های احتمالی

روش‌های احتمالی در حوزه عدم قطعیت، برای پارامترهایی از سیستم که تصادفی هستند توابع توزیع احتمال تعریف می‌کنند. با این تعریف، یک متغیر با عدم قطعیت، حاصل یک تصادف است و تحقق آن دارای یک توزیع احتمال است. این نوع مدل‌سازی بصورت مستقیم عدم قطعیت خروجی را وابسته به پارامترهای تصادفی سیستم می‌کند و دقت آن وابسته به توزیع‌های احتمالی است که به پارامترها نسبت داده می‌شود. برای ایجاد توابع توزیع احتمال، بر اساس اندازه‌گیری‌هایی که قبلاً انجام شده است، بررسی می‌شود که رفتار یا تغییرات یک پارامتر خاص به کدام یک از توزیع‌های آماری شناخته شده نزدیک است. برای مثال بسیاری از پارامترهای تصادفی رفتاری شبیه تابع توزیع نرمال دارند. پیاده‌سازی محاسباتی عدم قطعیت احتمالی بصورت فرم بسته در مسائل کاربردی بسیار مشکل است. بدلیل آنکه اولاً در یک مسأله بهینه‌سازی استخراج رابطه خروجی‌ها با ورودی‌ها بصورت فرم بسته همواره ممکن نیست و دوم آنکه تعداد حالات ممکن تحقق پارامترهای تصادفی بی‌نهایت است و بررسی همه آنها غیرممکن می‌شود. برای حل این مشکل دو دسته روش برای تسهیل مسأله با ایجاد تقریب وجود دارد. روش‌های نمونه برداری و روش‌های تقریبی. روش‌های نمونه برداری، بصورت متوالی و تصادفی از پارامترهای تصادفی مسأله با توجه به توابع احتمالشان نمونه برداری می‌کنند. شبیه‌سازی مونت کارلو یک نمونه از این روش‌هاست. مزیت این روش‌ها این است که با افزایش تعداد نمونه‌ها می‌توان دقت مسأله را افزایش داد. روش‌های تقریبی همان‌طور که نام آنها اشاره دارد، به نحوی اقدام

به ساده‌سازی توابع توزیع احتمال می‌کنند تا حالات محتمل تحقق پارامترها محدود شود. یک نمونه از این روش‌ها، روش تخمین نقطه‌ای است. این روش بر اساس ممان‌های مرکزی اولیه تابع احتمال، آنرا به تعدادی نقطه محدود می‌کند که به آنها نقاط تمرکز گفته می‌شود. از میان آنها روش تخمین دو-نقطه‌ای بسیار متداول است [۵۴].

۲-۱-۵- روش‌های خوشه‌بندی

زمانی که داده‌های مربوط به پارامترهای ورودی بصورت تاریخی ثبت شده‌اند و اطلاعات اضافه دیگری از پیش در مورد آنها وجود ندارد، می‌توان از روش‌های خوشه‌بندی برای مدلسازی عدم قطعیت آنها استفاده کرد. خوشه‌بندی یک روش توصیفی برای داده‌های چند متغیره‌ای است که می‌تواند ساختار این داده‌ها را آشکار کند. این روش‌ها بطور خاص زمانی که اطلاعاتی در مورد توزیع احتمال پارامترهای ورودی وجود ندارد، کاربرد دارند [۵۵]. خوشه‌بندی داده یک روش کلاس‌بندی بدون نظارت است، بدین معنی که خوشه‌ها بر مبنای ارزیابی شباهت و عدم شباهت هر حالت از ورودی‌ها تعیین می‌شوند. یکی از روش‌های متداول خوشه‌بندی، روش k-means است. این روش از تکنیک دسته‌بندی مبتنی بر موقعیت استفاده می‌کند. نقاط ورودی مربوط به داده‌ها در یک روند تکراری هر بار به خوشه‌های مختلف تخصیص می‌یابند. داده‌های موجود در هر خوشه دارای مشخصات مشابهی هستند و خوشه‌های مختلف باهم هم‌پوشانی ندارند. هر خوشه دارای یک مرکز ثقل است که می‌تواند یک بردار چند متغیره باشد. داده‌هایی که فاصله اقلیدسی حداقلی با مرکز ثقل دارند درون آن خوشه قرار می‌گیرند.

۳-۱-۵- روش‌های مبتنی بر ریسک

در این دسته از روش‌ها در مورد داده‌های پیش‌بینی شده هیچ گونه اطلاعات اضافه‌ای در دسترس نیست. بطور مثال اطلاعات مربوط به توزیع احتمالی این داده‌ها، حداکثر میزان انحراف آنها از مقادیر پیش‌بینی شده و غیره در دسترس نیست. این روش‌ها سعی می‌کنند که مسئله را به گونه‌ای حل کنند که جواب مسئله با در نظر گرفتن ریسک انحراف داده‌ها از مقادیر پیش‌بینی شده همچنان قابل قبول باشد [۵۶]. دو روش مطرح در این حوزه وجود دارد. روش اول، تئوری تصمیم‌گیری بر مبنای شکاف اطلاعات (IGDT) است. در این روش ابتدا مسئله یکبار برای مقادیر میانگین پیش‌بینی شده داده‌های ورودی حل می‌شود. سپس دو رویکرد پیشنهاد می‌شود. یکی رویکرد مبتنی بر ریسک‌گریزی است که بر مبنای آن مسئله به گونه‌ای حل می‌شود که میزان انحراف جواب از مقدار بهینه قطعی تحت تاثیر انحراف داده‌های ورودی از یک مقدار حداکثری بیشتر نشود. رویکرد دیگر ریسک‌پذیری است که در آن تصمیم‌گیری به گونه‌ای انجام می‌شود که با حداقل مقدار انحراف در داده‌های پیش‌بینی، بتوان خروجی مسئله را از مقدار قطعی آن، به میزان حداقلی معینی کاهش داد. یک روش دیگر برای مدلسازی عدم قطعیت مبتنی بر ریسک، بهینه‌سازی مقاوم است. در این روش سعی می‌شود جواب‌های مسئله در بدترین سناریو ممکن حاصل شوند، بدین معنی که پارامترهای عدم قطعیت را به گونه‌ای لحاظ می‌کند که بدترین تاثیر را در خروجی مسئله بگذارد.

۲-۲-۵- انتخاب نوع مدلسازی

در روش‌های اول و دوم مدلسازی عدم قطعیت، می‌توان کلیت این مرحله را بصورت جداگانه و تفکیک شده از هسته اصلی بهینه‌سازی طرح توسعه در نظر گرفت. بدین شکل که در روش احتمالی می‌توان با استفاده از روشی مانند تخمین نقطه‌ای پارامترهای ورودی را به تعداد نمونه‌برداری‌های دلخواه گسسته کرد. این نمونه‌برداری‌ها را در ادامه می‌توان تبدیل به سناریوهای مختلف مربوط به رویدادهای تصادفی در ورودی مسئله کرد. سپس این سناریوها را به هسته اصلی مسئله بهینه‌سازی تحویل داد. همچنین روش‌های خوشه‌بندی نیز در صورتی که داده‌های تاریخی مربوط به پارامترهای ورودی در دسترس باشند، قابل استفاده‌اند. در مقایسه روش‌های گروه سوم که شامل IGDT و بهینه‌سازی مقاوم می‌شوند، بدلیل اینکه اجرای آنها درون مسئله بهینه‌سازی اصلی پیاده و اجرا می‌شود، امکان اجرای مرحله به مرحله طرح توسعه را از بین می‌برند و پیچیدگی حل را افزایش می‌دهند. بنابراین برای مسئله حاضر یکی از روش‌های اول و دوم پیشنهاد می‌شود. در مقایسه این دو روش نیز، با توجه به آنکه یک پایگاه داده شامل داده‌های تاریخی پارامترهای مسئله در دسترس نیست، روش دوم نیز بلااستفاده می‌شود.

بنابراین روش مناسب برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها در تحقیق حاضر روش اول یعنی روش احتمالی است که اتخاذ نیز می‌شود.

مراحل مدل‌سازی عدم قطعیت به شرح زیر می‌باشد:

- جمع‌آوری داده‌های ورودی مسئله که دارای عدم قطعیت‌اند، شامل اطلاعات جوی باد و خورشید، میزان مصرف چاه‌ها، ساعات کار چاه‌ها و سایر پارامترهایی که دارای عدم قطعیت هستند. (آن بخشی از پارامترها که بصورت قطعی هستند، مانند هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری نیروگاه‌ها و فیدرها در این بخش مداخله داده نمی‌شوند).

- تعیین روش مطلوب برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها (توزیع‌های احتمالی و سناریو سازی)
 - تعیین توابع توزیع احتمال برای هر کدام از داده‌های ورودی با توجه به نوع ورودی
 - پردازش داده‌های ورودی در نرم افزار کدنویسی (متلب) و پیاده‌سازی عدم قطعیت بر روی آنها
 - کاهش حجم سناریوهای ایجاد شده و غربالگری آنها
 نتایج محاسبات فوق بصورت مجموعه داده‌های گسسته شده تحت عدم قطعیت و احتمالات وقوع آنها بصورت ماتریسی ارائه خواهد شد.

۱-۲-۵- مدل‌سازی ورودی‌ها

همان گونه که در تعریف مسئله اشاره شد، داده‌های ورودی مسئله که در امکان‌سنجی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و پراکنده برای چاه‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند، قبلاً بررسی گردید. در مورد مشخصات چاه‌ها، برای هر چاه که دارای موقعیت (عرض و طول جغرافیایی) معین است، چهار پارامتر تهیه می‌شود. پارامتر اول مربوط به تقاضای مصرف پیشبینی شده چاه برحسب کیلووات و یا اسب بخار است. پارامتر دوم نیز مربوط می‌شود به مجموع ساعات کارکرد هر چاه در طول سال که مقدار پیشبینی شده آن نیز در دسترس قرار می‌گیرد. این دو پارامتر را بصورت $\bar{P}(wl)$ و $\bar{T}(wl)$ تعریف می‌کنیم. هر چاه دارای یک مختصات بصورت $\hat{x}(wl)$ و $\hat{y}(wl)$ نیز می‌باشد.

$$\bar{P}(wl) \geq 0 \text{ (kW) or (hp)}, \forall wl \in \{1, \dots, N_{wl}\} \quad (5-1)$$

$$\bar{T}(wl) \geq 0 \text{ (h)}, \forall wl \in \{1, \dots, N_{wl}\} \quad (5-2)$$

$$\hat{x}(wl) \geq 0 \text{ (degree) or (utm)}, \forall wl \in \{1, \dots, N_{wl}\} \quad (5-3)$$

$$\hat{y}(wl) \geq 0 \text{ (degree) or (utm)}, \forall wl \in \{1, \dots, N_{wl}\} \quad (5-4)$$

پارامترهای مربوط به طول و عرض جغرافیایی ($\hat{x}$, $\hat{y}$) قطعی هستند و نیازی به مطالعه عدم قطعیت ندارند. در حالی که دو پارامتر دیگر که تقاضای مصرف هر چاه و مجموع ساعات کارکرد آن (P , T) هستند، دارای عدم قطعیت هستند. علامت هت (-) در مورد این دو پارامتر نشان دهنده مقدار پیشبینی شده آنهاست.

در مورد شرایط آب و هوایی می‌توان به دو پارامتر مهم اشاره کرد. یکی سرعت باد و دیگری تابش خورشید است. در اینجا باید اشاره کرد که در طرح توسعه، کل ناحیه‌ای که مجموعه چاه‌ها را در برمی‌گیرد، به سه قسمت مرکز، شمال و جنوب تقسیم شده است. در ادامه هر کدام از این مناطق پیکسل بندی شده‌اند. در مطالعات جداگانه‌ای که انجام گرفته است، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) داده‌های متنوعی برای پیکسل‌های موجود در هر ناحیه حاصل شده است. سپس در هر ناحیه پیکسل‌های برتر یکبار از منظر سرعت باد و یکبار از منظر تابش خورشید شناسایی شده‌اند. داده‌های این پیکسل‌ها را می‌توان بصورت زیر تعریف کرد:

$$\bar{G}(g, px_G) \geq 0 \text{ (Wb/m}^2\text{)} \forall g \in \{C, N, W\}, \forall px_G \in \{1, \dots, N_{px,G}\} \quad (5-5)$$

$$\bar{V}(g, px_W) \geq 0 \text{ (m/s)} \forall g \in \{C, N, W\}, \forall px_W \in \{1, \dots, N_{px,W}\} \quad (5-6)$$

تابش خورشید مستقیماً بر روی میزان توانی که سیستم فوتوولتاییک تولید می‌کند موثر است. بنابراین ظرفیت تولیدی که در پیکسل یا پیکسل‌های نهایی انتخاب شده نصب می‌شود وابسته به تابش خورشید در آن نقاط است. بطور مشابه میزان توان تولیدی توربین بادی وابسته به سرعت باد در محلی (پیکسل) است که توربین در آن نصب می‌شود. از این جهت است که عدم قطعیت این دو پارامتر اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند.

در اینجا باید ذکر شود که داده‌های ورودی دیگری نیز هستند که در این گزارش مورد بررسی قرار نمی‌گیرند. داده‌هایی که قطعی هستند، اگرچه مقدار آنها بر روی طرح بهینه توسعه بسیار موثر است، اما از منظر مطالعات عدم قطعیت اهمیت پیدا نمی‌کنند. داده‌هایی مانند هزینه نصب واحدهای تولیدی، هزینه نصب فیدرها و ترانس‌ها و غیره از این دسته هستند.

۲-۲-۵- تخصیص توابع توزیع احتمال

همانطور که بررسی گردید، از بین سه روش احتمالی، خوشه‌بندی و مبتنی بر ریسک، روش اول برای لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها انتخاب شد. مزیت مهم این روش آن است که دو مرحله مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها و بهینه‌سازی مسئله توسعه را می‌توان از هم تفکیک کرد. در روش احتمالی به هر کدام از پارامترهای دارای عدم قطعیت یک تابع توزیع احتمال تخصیص داده می‌شود. این توابع توزیع احتمال به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که مقدار میانگین آنها برابر با مقدار پیش‌بینی شده برای داده متناظر آنها باشد. پس از آنکه توابع توزیع احتمال برای هر پارامتر تعیین شد، می‌توان با استفاده از روش‌های معینی که در ادامه توضیح داده خواهد شد، از روی این توابع نمونه‌برداری کرد.

یکی از روش‌های متداول نمونه‌برداری از توابع توزیع، بدست آوردن تابع توزیع تجمعی آنهاست [۵]. در یک تابع توزیع تجمعی، به ازای هر نمونه بعنوان ورودی تابع، یک خروجی بین صفر و یک حاصل می‌شود که به معنای آن است که چه نسبت یا درصدی از کل نمونه‌ها از مقدار این نمونه خاص کوچکتر هستند. روابط (۵-۷) تا (۵-۹) تعریف $f(x)$ به عنوان تابع توزیع احتمال را نشان می‌دهند. در ادامه روابط (۵-۱۰) تا (۵-۱۲) محاسبه مربوط به $F(x)$ به عنوان تابع توزیع تجمعی متناظر با $f(x)$ را نشان می‌دهند.

$$f_x \geq 0, \quad f(x)dx = P\{x \leq x' \leq x + dx\} \quad (5-7)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1 \quad (5-8)$$

$$P\{a \leq x \leq b\} = \int_a^b f(x)dx \quad (5-9)$$

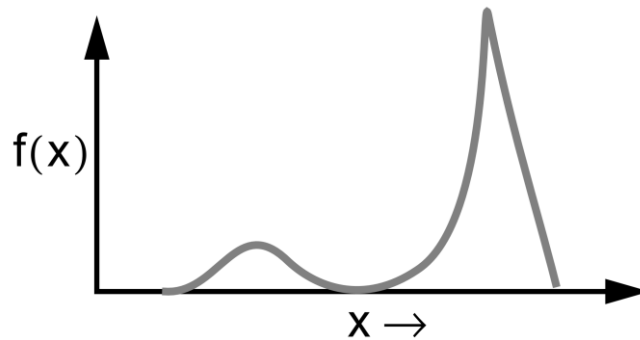
$$F_x \geq 0, \quad F(x) = P\{x' \leq x\} = \int_{-\infty}^x f(x')dx' \quad (5-10)$$

$$0 \leq F(x) \leq 1 \quad (5-11)$$

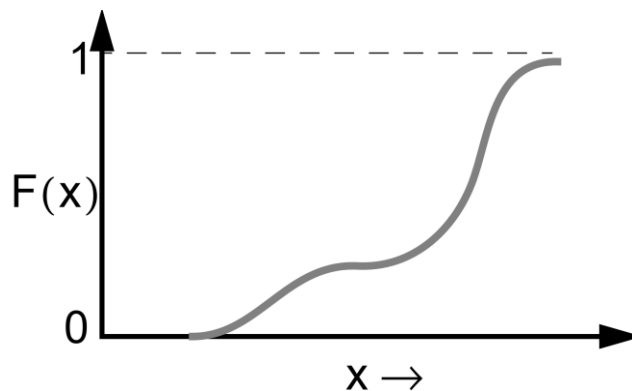
$$P\{a \leq x \leq b\} = F(b) - F(a) \quad (5-12)$$

در شکل ۵-۱ یک نمونه تابع توزیع احتمال خاص نشان داده شده است. در شکل ۵-۲ تابع توزیع تجمعی همان احتمال حاصل شده و ترسیم شده است. همانطور که مشخص است، تابع توزیع تجمعی فارغ از نوع توزیع همواره صعودی است. مقدار این تابع در کوچکترین نمونه برابر صفر و در بزرگترین نمونه برابر یک است. حال اگر معکوس تابع توزیع تجمعی را مدنظر داشته باشیم، می‌توان با ورودی دلخواه بین بازه صفر و یک، یک نمونه متناظر دلخواه را تولید کرد. این فرآیند یک روش

معمول برای نمونه برداری از روی توابع احتمالی است. در صورتی که تابع توزیع مورد بررسی پیوسته باشد و همچنین مقدار تابع توزیع تجمعی آن قابل دسترس باشد، این روش بصورت کلی قابل پیاده سازی است. از آنجایی که تابع توزیع تجمعی با انتگرال گیری از روی تابع توزیع احتمال بدست می آید، شرط انتگرال پذیری تابع توزیع احتمال در این روش ضروری است.



شکل ۵-۱: نمونه یک تابع توزیع احتمال $f(x)$

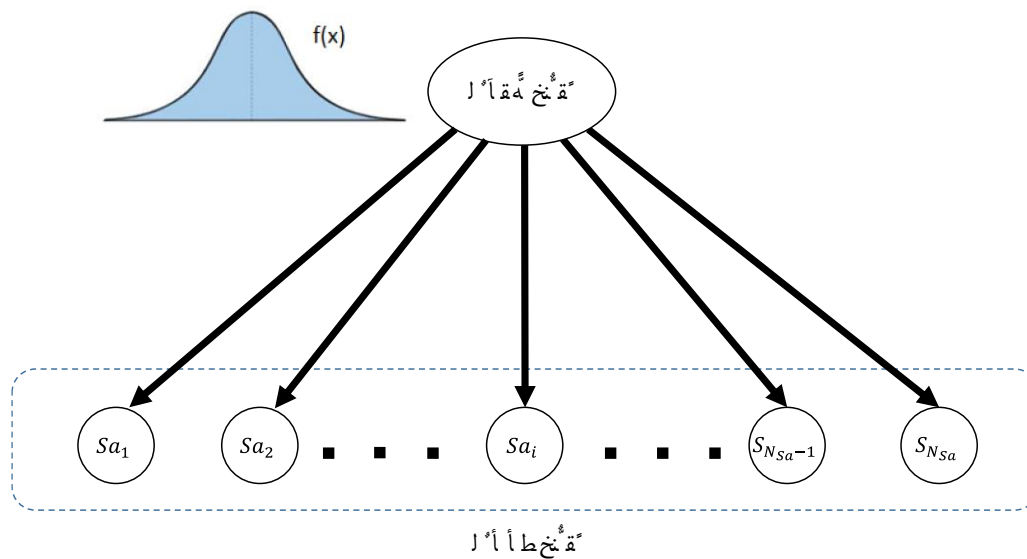


شکل ۵-۲: تابع توزیع تجمعی $F(x)$ از روی $f(x)$ شکل قبل

با انجام پروسه نمونه گیری، ورودی مسئله از یک تابع توزیع پیوسته که مقدار میانگین آن پیشبینی شده است، به مجموعه گسسته ای از نمونه ها تبدیل می شود [۵۷]. این روند در شکل ۵-۳ نشان داده شده است.

۵-۲-۲-۳- نمونه برداری از تابع توزیع نرمال

در تحقیق حاضر، برای مدلسازی عدم قطعیت داده های تقاضای مصرف چاه ها و همچنین مجموع ساعات کارکرد آنها از تابع توزیع نرمال استفاده می شود. این تابع نسبت به مقدار میانگین خود متقارن است.



شکل ۳-۵: تبدیل توزیع پیوسته به گسسته توسط نمونه برداری

با داشتن دو پارامتر میانگین و همچنین انحراف معیار می‌توان رابطه توزیع احتمالی آنرا بدست آورد.

$$f_N(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5-13)$$

رابطه بالا تابع توزیع احتمال مربوط به توزیع نرمال را نمایش می‌دهد.

$$F_N(x) = \int_{-\infty}^x f(x') dx' \quad (5-14)$$

رابطه (۵-۱۴) نیز تابع توزیع تجمعی را نشان می‌دهد که نیازمند محاسبه انتگرال بر روی $f(x)$ است. متأسفانه این انتگرال را بصورت فرم بسته نمی‌توان محاسبه کرد. بنابراین برای نمونه برداری از روی تابع توزیع نرمال از اطلاعات تابع توزیع تجمعی آن نمی‌توان استفاده کرد. بنابراین باید به سراغ روش دیگری رفت. بدین منظور از تئوری حد میانی (CLT) استفاده می‌کنیم.

تئوری حد میانی بیان می‌کند که اگر تعداد زیادی توزیع مستقل داشته باشیم که همگی مشابه و مستقل از هم باشند، میانگین این توزیع‌ها، خود یک توزیع نرمال است. بنابراین اگر $X_1, X_2, \dots, X_n$ تا توزیع تصادفی باشند که $E(X_i) = \mu$ باشد و $Var(X_i) = \sigma^2$ باشد، آنگاه اگر توزیع $S_n = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$ تعریف شود، آنگاه این توزیع خود یک توزیع نرمال با میانگین μ و واریانس $\frac{\sigma^2}{n}$ است. به بیان ریاضی: $S_n \approx N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$. در اینجا می‌خواهیم با استفاده از تعداد زیادی توزیع یکپارچه، به توزیع نرمال برسیم.

$$x = \frac{\sigma}{\sqrt{k/12}} \left(\sum_{i=1}^k z_i - k/2 \right) + \mu \quad (5-15)$$

در رابطه بالا، با داشتن مقدار میانگین و انحراف معیار، می‌توان نمونه تصادفی X را از توزیع نرمال استخراج کرد. در این رابطه Z یک نمونه برداری از توزیع یکپارچه در بازه صفر تا یک است. به عبارت دیگر Z یک عدد حقیقی تصادفی تولید شده در بازه صفر تا یک است. عدد k نیز یک عدد طبیعی است که هر چه مقدار آن بزرگتر باشد، دقت نمونه برداری بالا می‌رود.

رود. معمولاً عدد ۱۲ به عنوان مقدار مناسب برای k پیشنهاد می‌شود. با چنین فرضی، برای هر بار تولید یک نمونه از توزیع نرمال، باید ۱۲ نمونه از توزیع یکپارچه تولید شود. با اینکار قادر هستیم که برای داده‌های مربوط به تقاضای مصرف چاه‌ها و مجموع ساعات کارکرد آنها نمونه‌برداری را انجام دهیم.

$$P(wl, Sa) = \frac{\sigma_{Pwl}}{\sqrt{\frac{k}{12}}} \left(\sum_{i=1}^k z_i - \frac{k}{2} \right) + \bar{P}(wl) \quad (5-16)$$

$$\forall wl \in \{1, \dots, N_{wl}\}, \forall Sa \in \{1, \dots, N_{Sa}\}$$

$$T(wl, Sa) = \frac{\sigma_{Twl}}{\sqrt{\frac{k}{12}}} \left(\sum_{i=1}^k z_i - \frac{k}{2} \right) + \bar{T}(wl) \quad (5-17)$$

$$\forall wl \in \{1, \dots, N_{wl}\}, \forall Sa \in \{1, \dots, N_{Sa}\}$$

رابطه (۵-۱۶) مقدار نمونه برداری شده برای تقاضای مصرف یک چاه معین را بدست می‌دهد. این رابطه باید به تعداد همه چاه‌ها و به تعداد نمونه دلخواه تکرار و محاسبه شود. در هر تکرار نیز، تولید یک نمونه معین نیاز به تولید k تا نمونه تصادفی از توزیع یکپارچه دارد. رابطه (۵-۱۷) بصورت مشابه مقدار نمونه برداری شده برای مجموع ساعات مصرف یک چاه معین را تحویل می‌کند. در اینجا نیز محاسبات باید برای هر چاه و برای هر تعداد نمونه مورد نیاز تکرار شود.

۴-۲-۵- نمونه برداری از تابع توزیع بتا

در تحقیق حاضر برای مدلسازی رفتار تصادفی تابش خورشید از توزیع بتا استفاده می‌شود. تابع توزیع احتمال این تابع در رابطه بعدی نشان داده شده است [۵۸].

$$f_B(x) = \frac{\Gamma(\alpha) + \Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha) \cdot \Gamma(\beta)} \times x^{(\alpha-1)} \times (1-x)^{\beta-1} \quad (5-18)$$

$$= \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \times x^{(\alpha-1)} \times (1-x)^{\beta-1}$$

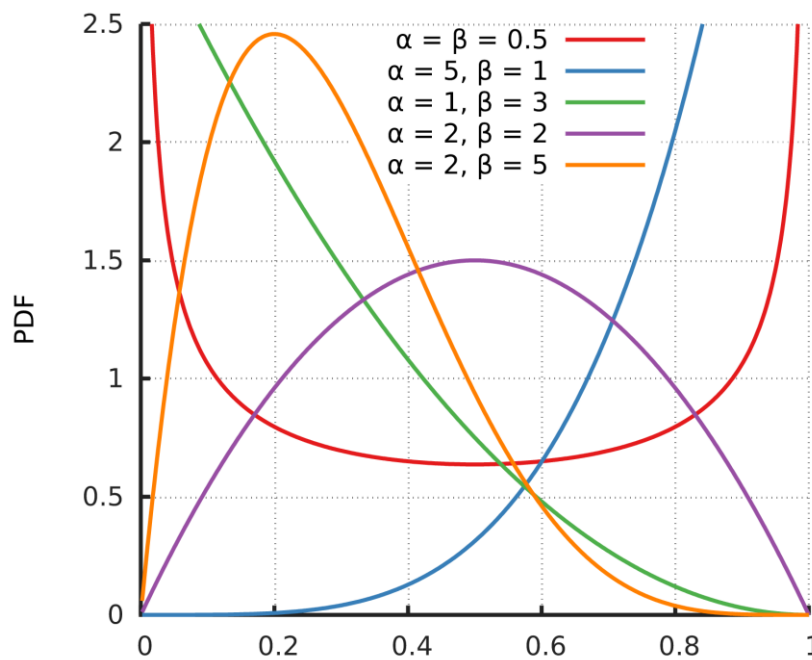
$$0 \leq x \leq 1, \alpha \geq 0, \beta \geq 0$$

در رابطه بالا، Γ همان تابع گاما است. $f(x)$ توزیع بتا است و B تابع بتا نام دارد. نکته مهم اینجاست که ورودی این تابع میبایست بین بازه صفر تا یک باشد. بنابراین ورودی باید نسبت به مقدار حداقل و حداکثر خود نرمالیزه شود. با این شرط، α و β نیز پارامترهای شکل تابع را مدل می‌کنند. این دو پارامتر را می‌توان بر حسب میانگین و انحراف معیار توزیع تصادفی محاسبه کرد. این محاسبات در روابط بعدی آورده شده‌اند.

$$\beta = (1 - \mu) \times \left(\frac{\mu \times (1 - \mu)}{\sigma^2} - 1 \right) \quad (5-19)$$

$$\alpha = \frac{\mu \times \beta}{1 - \mu} \quad (5-20)$$

شکل بعدی نمودار ترسیم شده توزیع بتا را برای مقادیر مختلف پارامترهای شکل توزیع نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵: نمودار توزیع بتا برای پارامترهای شکل مختلف

در ادامه محاسبه تابع توزیع تجمعی بتا نیز بصورت زیر انجام می شود.

$$F_B(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \times \int_0^x x'^{(\alpha-1)} \times (1-x')^{\beta-1} dx' \quad (5-21)$$

با وجود این تعاریف می توان نمونه برداری های مربوط به تابش خورشید را که توسط تابع توزیع بتا انجام می شوند مدل کرد.

$$G(g, px_G, Sa) = F_{B,g,px_G}^{-1}(x) \quad (5-22)$$

$$\forall g \in \{C, N, W\}, \forall px_G \in \{1, \dots, N_{px_G}\}, \forall Sa \in \{1, \dots, N_{Sa}\}$$

در رابطه بالا برای هر پیکسل در هر ناحیه، با توجه به مقدار میانگین پیشبینی شده و انحراف معیار معین شده، یک تابع توزیع بتا تشکیل و از آن به تعداد دلخواه نمونه برداری می شود.

۵-۲-۲-۵ نمونه برداری از تابع توزیع ویبول

در تحقیق حاضر، برای مدلسازی رفتار تصادفی سرعت باد از تابع توزیع ویبول [۵۹] استفاده می شود. رابطه تابع توزیع احتمال آن در ادامه آورده شده است:

$$f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-(x/a)^b} \quad (5-23)$$

در رابطه بالا a پارامتر مقیاس و b پارامتر شکل تابع است. این دو پارامتر را می توان بر حسب انحراف معیار و میانگین توزیع مدنظر محاسبه کرد.

$$b = \left(\frac{\sigma}{\mu}\right)^{-1.086} \quad (5-24)$$

$$a = \frac{\mu}{\Gamma(1 + 1/b)} \quad (5-25)$$

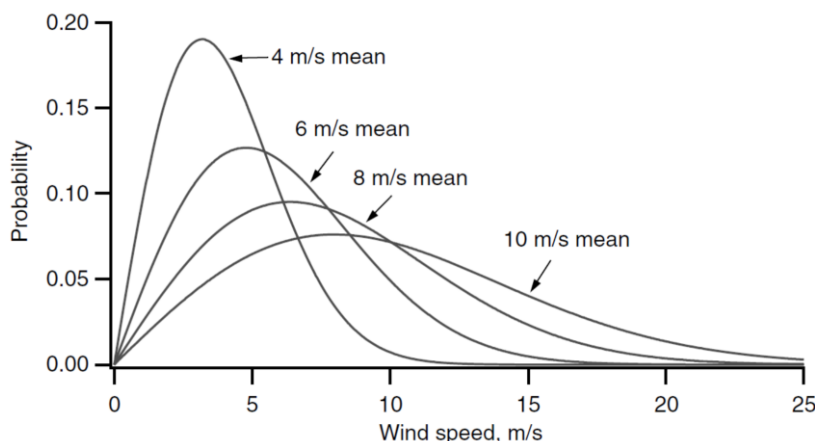
بطور معمول در مدل‌سازی سرعت باد، پارامتر شکل توزیع یعنی b را معادل ۲ در نظر می‌گیرند. با اینکار پارامتر a نیز برحسب مقدار میانگین محاسبه می‌شود [۶۰]. در شکل بعدی نمودار مربوط به توزیع ویبول متناظر با سرعت‌های باد مختلف پیش‌بینی شده آورده شده است.

در ادامه محاسبه مربوط به تابع توزیع تجمعی ویبول نیز آورده شده است.

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b} \quad (5-26)$$

در ادامه با معکوس کردن این تابع می‌توان معکوس تابع توزیع تجمعی ویبول را مدل کرد و برای نمونه برداری از سرعت باد از آن استفاده کرد. این کار در رابطه بعدی انجام شده است.

$$F^{-1}(x) = -a[\ln(1 - x)]^{\frac{1}{b}} \quad (5-27)$$



شکل ۵-۵: نمودار توزیع ویبول برای سرعت‌های باد پیش‌بینی شده مختلف

با استفاده از رابطه بالا می‌توان رابطه حصول نمونه‌های مربوط به سرعت باد را در هر ناحیه و برای هر پیکسل خاص نوشت.

$$V(g, px_w, Sa) = -a_{g,px_w} [\ln(1 - z)]^{\frac{1}{b_{g,px_w}}} \quad (5-28)$$

$$\forall g \in \{C, N, W\}, \forall px_w \in \{1, \dots, N_{px,W}\}, \forall Sa \in \{1, \dots, N_{Sa}\}$$

رابطه بالا مقدار نمونه برداری برای سرعت باد مربوط به هر ناحیه و هر پیکسل را برای هر نمونه خاص بدست می‌دهد. در رابطه بالا Z یک عدد تصادفی است که از توزیع یکپارچه بین صفر و یک انتخاب می‌شود.

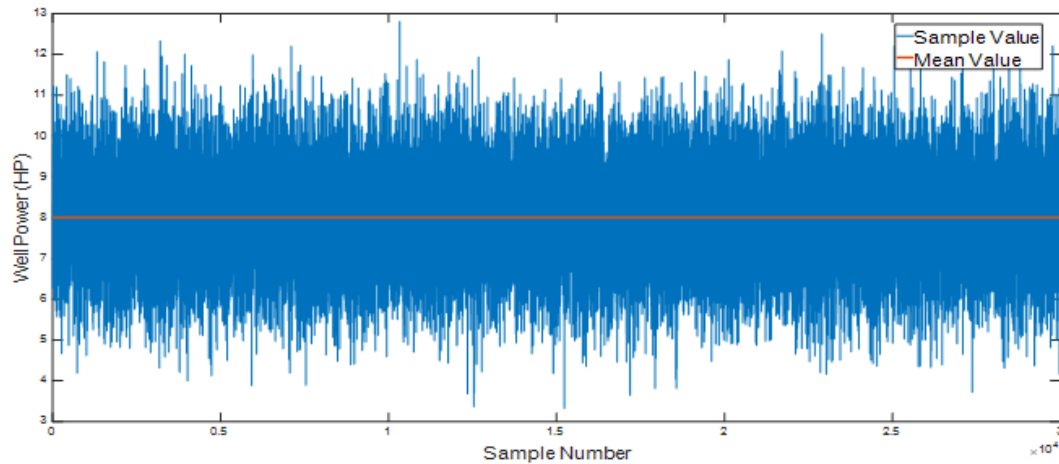
۵-۳- روال ایجاد نمونه‌ها

تا به اینجای کار برای هر کدام از داده‌های ورودی مسئله، یعنی توان مصرفی چاه‌ها، مجموع ساعات کارکرد چاه‌ها، تابش خورشید و سرعت باد، توابع توزیع متناسب اختصاص داده شد. سپس روابط مورد نیاز برای نمونه برداری از روی این توابع

توزیع نیز مدلسازی شد. در ادامه روند ایجاد نمونه‌ها توضیح داده خواهد شد. این روند بصورت مرحله به مرحله و گام به گام شرح داده شده است.

- ۱- داده‌های مربوط به پیشبینی‌های توان مصرفی چاه‌ها و ساعات کارکرد آنها را از ورودی بخوان
- ۲- داده‌های مربوط به پیشبینی تابش خورشید برای همه نواحی و همه پیکسل‌ها را بخوان
- ۳- داده‌های مربوط به پیشبینی سرعت باد برای همه نواحی و همه پیکسل‌ها را بخوان
- ۴- تعداد نمونه برداری‌ها را برای هر کدام از پارامترها تعیین کن (N_{Sa})
- ۵- شمارنده مربوط به چاه‌ها را در بازه $wl \in \{1, \dots, N_{wl}\}$ تعریف کن
- ۶- شمارنده مربوط به نمونه‌ها را در بازه $Sa \in \{1, \dots, N_{Sa}\}$ تعریف کن
- ۷- برای چاه wl و برای نمونه Sa مقدار نمونه برداری مربوط به تقاضای مصرف چاه $P(wl, Sa)$ را با استفاده از رابطه (۵-۱۶) محاسبه کن
- ۸- برای چاه wl و برای نمونه Sa مقدار نمونه برداری مربوط به مجموع ساعات کارکرد چاه $T(wl, Sa)$ را با استفاده از رابطه (۵-۱۷) محاسبه کن
- ۹- شمارنده مربوط به نواحی تعریف شده برای تابش خورشید $g \in \{C, N, W\}$ را تعریف کن
- ۱۰- شمارنده مربوط به پیکسل‌های موجود در هر ناحیه تابش خورشید $px_G \in \{1, \dots, N_{px,G}\}$ را تعریف کن
- ۱۱- شمارنده مربوط به نمونه‌ها را در بازه $Sa \in \{1, \dots, N_{Sa}\}$ تعریف کن
- ۱۲- برای ناحیه g و برای پیکسل px_G و برای نمونه Sa مقدار نمونه برداری مربوط به تابش خورشید $G(g, px_G, Sa)$ را با استفاده از رابطه (۵-۲۲) محاسبه کن
- ۱۳- شمارنده مربوط به نواحی تعریف شده برای سرعت‌های باد $g \in \{C, N, W\}$ را تعریف کن
- ۱۰- شمارنده مربوط به پیکسل‌های موجود در هر ناحیه سرعت باد $px_W \in \{1, \dots, N_{px,W}\}$ را تعریف کن
- ۱۱- شمارنده مربوط به نمونه‌ها را در بازه $Sa \in \{1, \dots, N_{Sa}\}$ تعریف کن
- ۱۲- برای ناحیه g و برای پیکسل px_W و برای نمونه Sa مقدار نمونه برداری مربوط به سرعت باد $V(g, px_W, Sa)$ را با استفاده از رابطه (۵-۲۸) محاسبه کن.

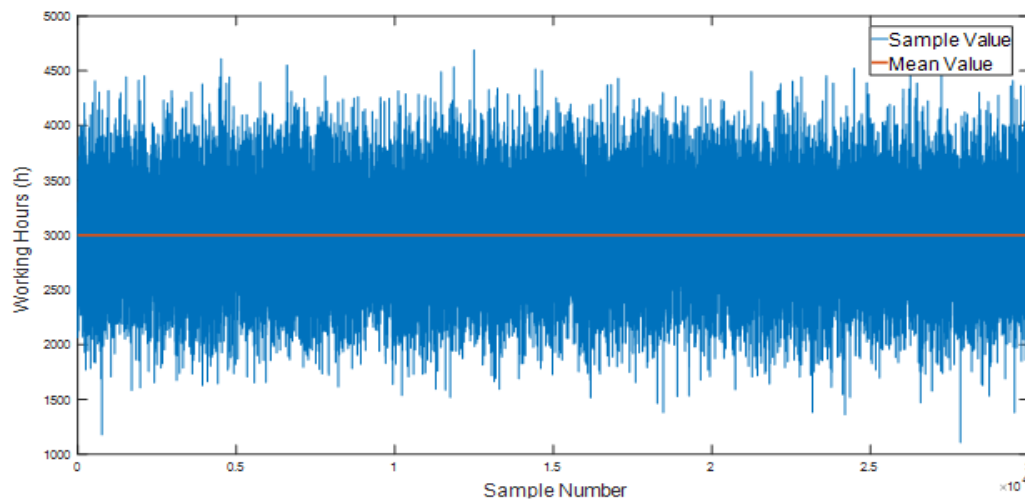
با اجرای الگوریتم شرح داده شده در بالا، برای تمام پارامترهای ورودی اعم از تقاضای مصرف چاه‌ها، مجموع ساعات کارکرد آنها، سرعت باد در نواحی و پیکسل‌ها و همچنین تابش خورشید در نواحی و پیکسل‌ها، نمونه برداری‌ها انجام می‌شود. تعداد نمونه برداری‌ها دلخواه است و با افزایش آنها می‌توان دقت نمونه برداری یا همان گسسته‌سازی تابع توزیع احتمال را افزایش داد. در تحقیق حاضر تعداد نمونه 3×10^4 انتخاب شده است. در شکل ۵-۶ مقادیر نمونه برداری تقاضای مصرف یک چاه دلخواه آورده شده است. در این شکل خط افقی نارنجی رنگ مقدار میانگین یا همان مقدار پیشبینی شده را نشان می‌دهد.



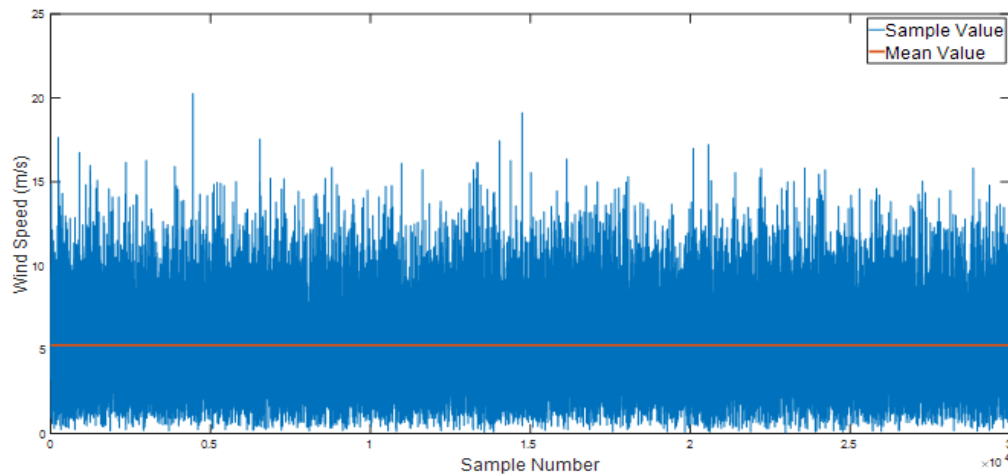
شکل ۵-۶: مقادیر نمونه برداری شده برای تقاضای مصرف یک چاه دلخواه

در شکل ۵-۷ نیز مقادیر نمونه برداری برای مجموع ساعات کارکرد همان چاه دلخواه در شکل قبل آورده شده است. در این شکل نیز خط نارنجی رنگ مقدار میانگین یا همان مقدار پیشبینی شده برای پارامتر مربوط به این چاه را نشان می‌دهد.

شکل ۵-۷: مقادیر نمونه برداری شده برای مجموع ساعات کارکرد یک چاه دلخواه

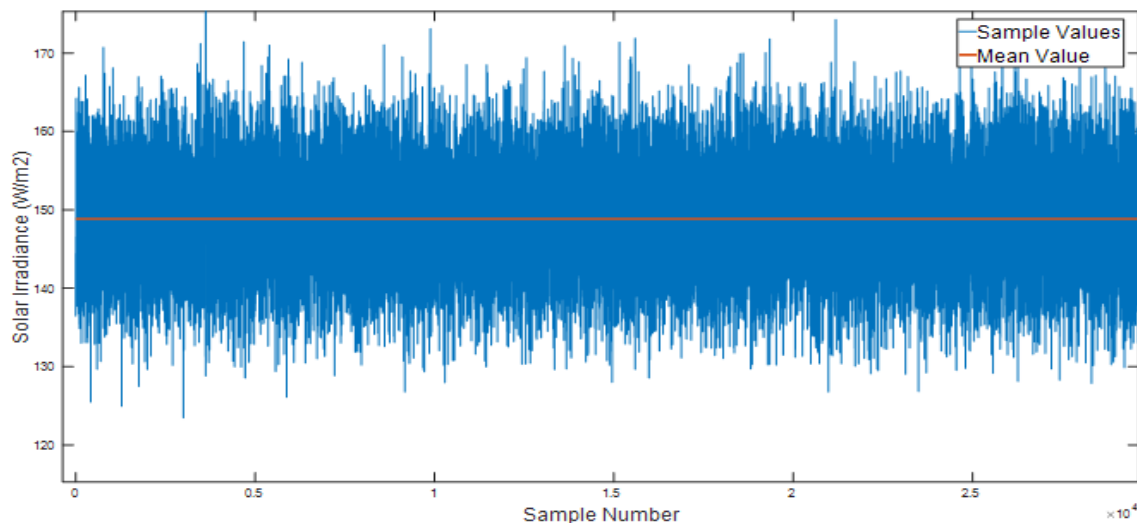


در ادامه در شکل بعدی مقادیر نمونه برداری شده برای سرعت باد مربوط به ناحیه مرکز (*Center*) و یک پیکسل دلخواه آورده شده است.



شکل ۸-۵: مقادیر نمونه برداری شده برای سرعت باد در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه

در شکل ۹-۵ نیز مقادیر نمونه برداری شده برای میزان تابش خورشید در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه آورده شده است.



شکل ۹-۵: مقادیر نمونه برداری شده برای تابش خورشید در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه

در ادامه می‌بایست با در اختیار داشتن مقادیر نمونه برداری شده برای همه پارامترهای ورودی، سناریوهای اولیه مسئله را تشکیل داد. در این مرحله این سناریوها بصورت تصادفی با ترکیب نمونه برداری‌های ورودی تشکیل می‌شوند. روال تشکیل سناریوهای عدم قطعیت در ادامه آورده شده است.

۱- تعداد سناریوهای عدم قطعیت را تعیین کن (N_S)

۲- شمارنده مربوط به سناریوهای عدم قطعیت را در بازه $s \in \{1, \dots, N_S\}$ تعریف کن

۳- شمارنده مربوط به چاه‌ها را در بازه $wl \in \{1, \dots, N_{wl}\}$ تعریف کن

۴- برای تقاضای مصرف چاه wl و برای سناریو s یک عدد تصادفی بین یک تا N_{Sa} بنام $rnd(P_{wl}, s)$ تولید کن.

۵- مقدار تقاضای مصرف چاه wl را برای سناریو s مطابق روبرو قرار بده. $P_s(wl, s) = P(wl, rnd(P_{wl}, s))$

۶- برای مجموع ساعات کارکرد چاه wl و برای سناریو S یک عدد تصادفی بین یک تا N_{Sa} بنام $rnd(T_{wl}, s)$ تولید کن.

۷- مقدار تقاضای مصرف چاه wl را برای سناریو S مطابق روبرو قرار بده. $T_s(wl, s) = T(wl, rnd(P_{wl}, s))$

۸- شمارنده مربوط به نواحی تعریف شده برای تابش خورشید $g \in \{C, N, W\}$ را تعریف کن

۹- شمارنده مربوط به پیکسل‌های موجود در هر ناحیه تابش خورشید $px_G \in \{1, \dots, N_{px,G}\}$ را تعریف کن

۱۱- برای ناحیه g تابشی و پیکسل px_G و سناریو S یک عدد تصادفی بین یک تا N_{Sa} بنام $rnd(G_{g,px_G}, s)$ تولید کن.

۱۲- برای ناحیه g تابشی و پیکسل px_G و سناریو S مقدار تابش خورشید را مطابق روبرو قرار بده.

$$G_s(g, px_G, s) = G(g, px_G, rnd(G_{g,px_G}, s))$$

۱۳- شمارنده مربوط به نواحی تعریف شده برای سرعت‌های باد $g \in \{C, N, W\}$ را تعریف کن

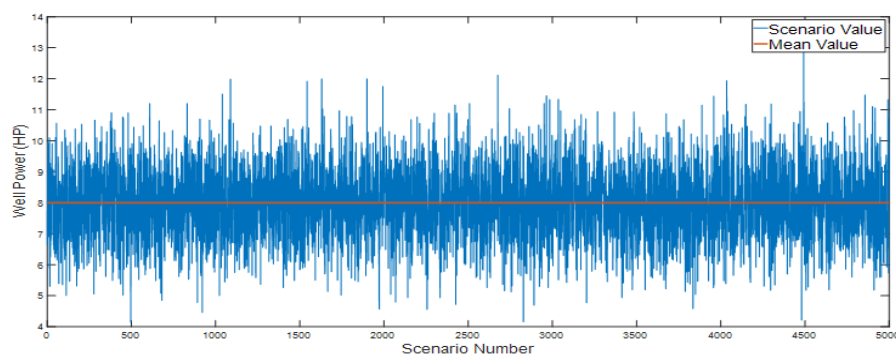
۱۰- شمارنده مربوط به پیکسل‌های موجود در هر ناحیه سرعت باد $px_W \in \{1, \dots, N_{px,W}\}$ را تعریف کن

۱۱- برای ناحیه g بادی و پیکسل px_W و سناریو S یک عدد تصادفی بین یک تا N_{Sa} بنام $rnd(V_{g,px_W}, s)$ تولید کن.

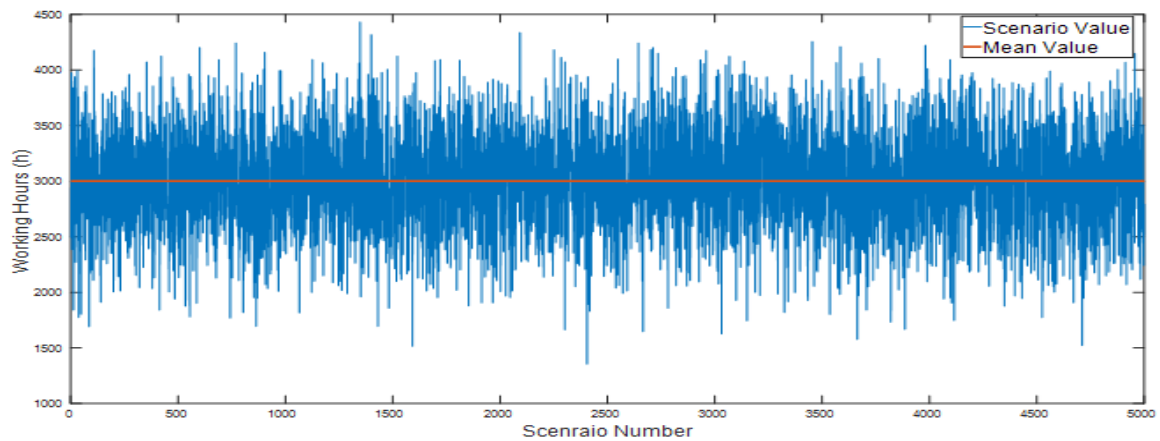
۱۲- برای ناحیه g بادی و پیکسل px_W و سناریو S مقدار سرعت باد را مطابق روبرو قرار بده.

$$V_s(g, px_W, s) = V(g, px_W, rnd(V_{g,px_W}, s))$$

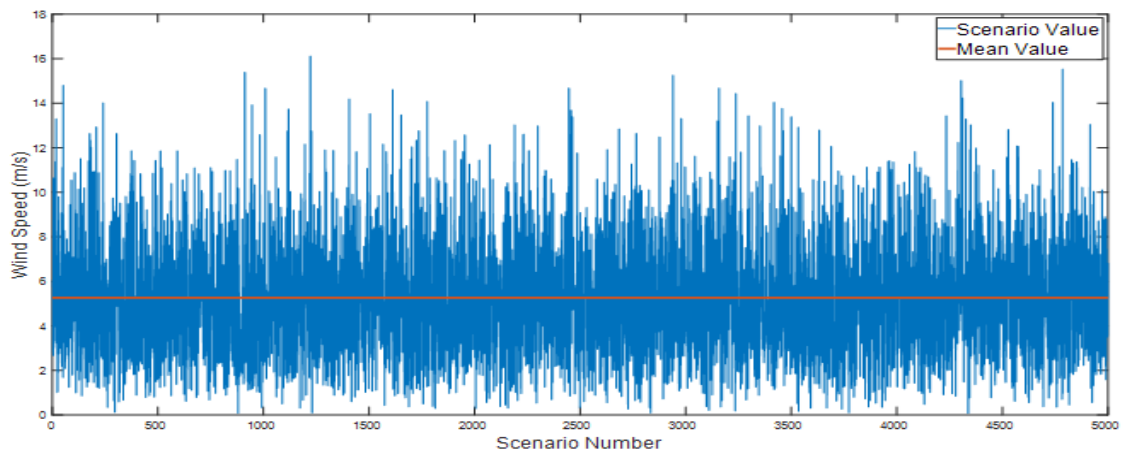
با پیاده سازی الگوریتم بیان شده در بالا، سناریوهای عدم قطعیت تشکیل می شوند. به این شکل که مقدار هر پارامتر ورودی برای هر سناریو مشخص است. در واقع برای هر سناریو عدم قطعیت مسئله، داده های ورودی از قبیل تقاضای مصرف چاه ها، مجموع ساعات کارکرد آنها، تابش خورشید و سرعت باد در نواحی و پیکسل های مختلف تعیین شده است. همانطور که پیش تر بیان شد، تعداد نمونه برداری ها برای هر پارامتر ورودی برابر با 3×10^4 بود. در ادامه برای تولید سناریوهای عدم قطعیت، مقدار تعداد سناریوها را برابر با 5×10^3 تعیین می کنیم. نتایج مربوط به تولید سناریوها بصورت گرافیکی در نمودارهای شکل های ترسیم شده است. سناریوهای ایجاد شده برای تقاضای مصرف یک چاه دلخواه در شکل ۵-۱۰ به تصویر کشیده شده است. همچنین شکل ۵-۱۱ سناریوهای ایجاد شده برای مجموع ساعات مصرف یک چاه دلخواه را نشان می دهد. شکل ۵-۱۲ نیز سناریوهای مربوط به سرعت باد برای ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه را نمایش می دهد. همچنین شکل ۵-۱۲ همین سناریوها را برای تابش خورشید در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه نشان می دهد.



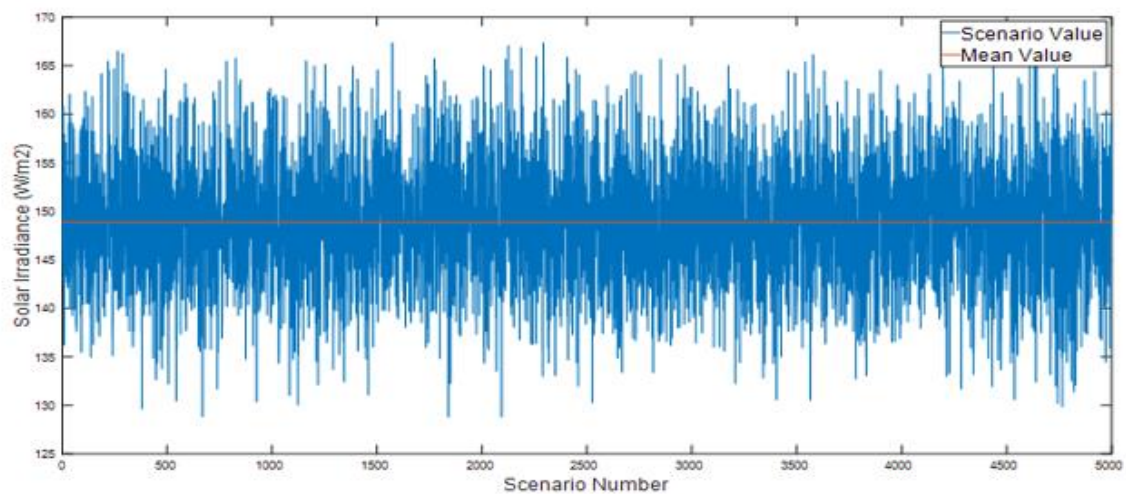
شکل ۵-۱۰: مقادیر سناریوهای عدم قطعیت برای تقاضای مصرف یک چاه دلخواه



شکل ۱۱-۵: مقادیر سناریوهای عدم قطعیت برای مجموع ساعات کارکرد یک چاه دلخواه

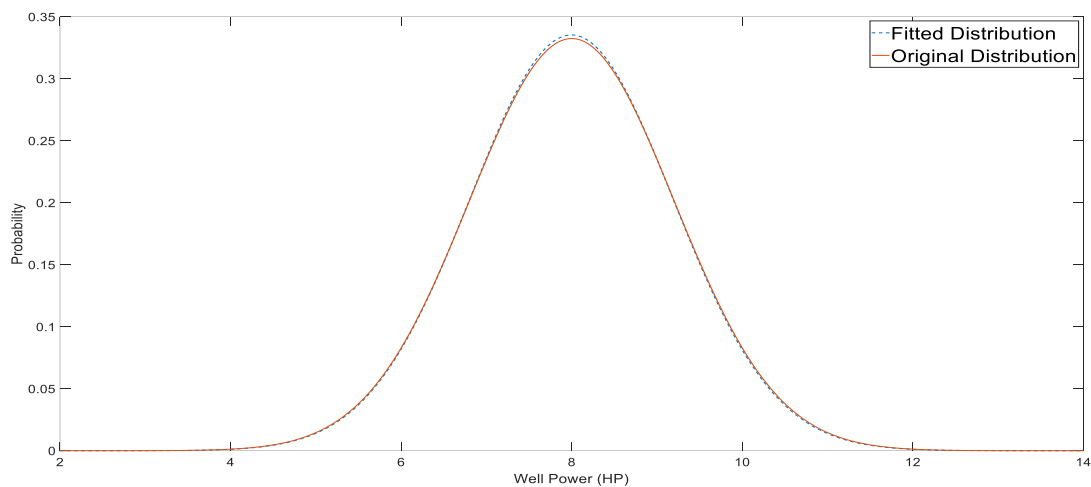


شکل ۱۲-۵: مقادیر سناریوهای عدم قطعیت برای سرعت باد در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه



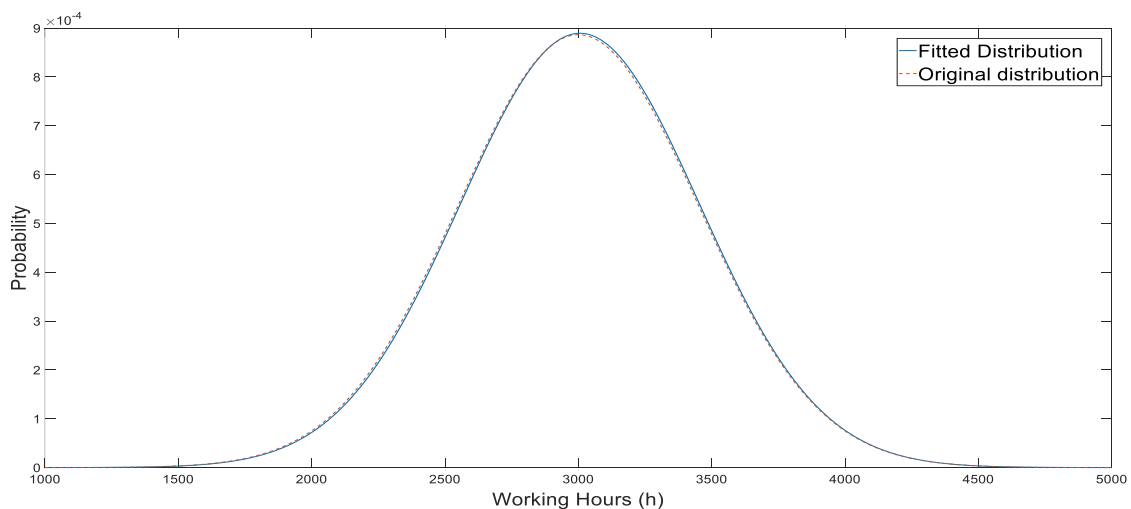
شکل ۱۳-۵: مقادیر سناریوهای عدم قطعیت برای تابش خورشید در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه

همانطور که از روی نمودارهای شکل های ۵-۱۰ تا ۵-۱۳ مشخص است، با اینکه تعداد سناریوهای ایجاد شده برای مدلسازی عدم قطعیت نسبت به تعداد نمونه برداری های اولیه کاهش قابل ملاحظه ای یافته است، اما پراکندگی داده ها همچنان حفظ شده است. بمنظور اینکه بتوان دقت سناریوهای ایجاد شده را بررسی کرد، می توان از روی داده های گسسته شده در سناریوها توابع توزیع پیوسته متناظر با آنها را تشکیل داد و با توابع توزیع اصلی که نمونه برداری ها از روی آنها انجام شده است، مقایسه کرد. اینکار در نرم افزار متلب قابل انجام است، به این صورت که برای تطبیق داده ها با توزیع نرمال از دستور `normfit`، و برای تطبیق داده ها با توزیع ویبول از دستور `wblfit` و برای تطبیق داده ها با توزیع بتا از دستور `betafit` استفاده می شود. در شکل بعد نمودارهای توزیع احتمال نرمال اصلی و تطبیق داده شده برای تقاضای مصرف یک چاه دلخواه رسم شده است.



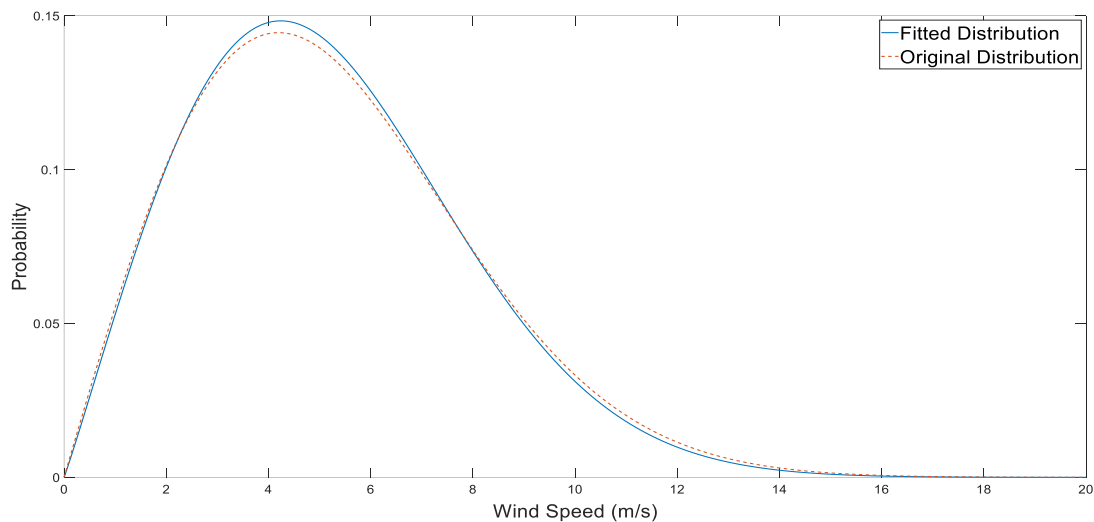
شکل ۵-۱۴: مقایسه توابع توزیع اصلی و تطبیق داده شده توسط سناریوها برای تقاضای مصرف یک چاه دلخواه

بصورت مشابه همین عمل را می توان برای بررسی سناریوهای ایجاد شده برای مجموع ساعات کارکرد چاه ها انجام داد. این امر برای یک چاه دلخواه در شکل بعدی انجام شده است.

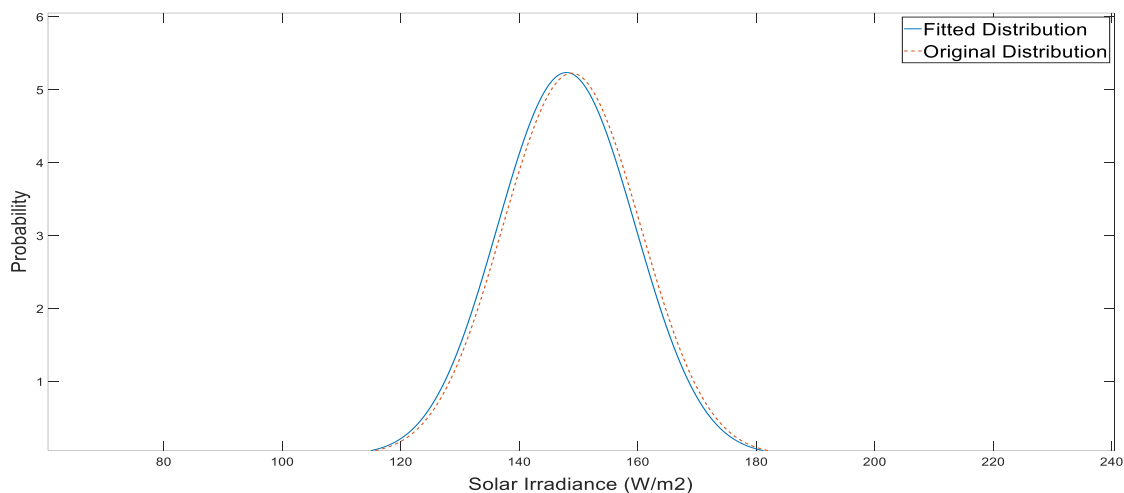


شکل ۵-۱۵: مقایسه توابع توزیع اصلی و تطبیق داده شده توسط سناریوها برای مجموع ساعات کارکرد چاه دلخواه

در شکل‌های بعدی نیز این مقایسه‌ها برای سرعت باد و تابش خورشید انجام شده است. در هر مورد یک پیکسل دلخواه در ناحیه مرکز انتخاب شده است.



شکل ۱۶-۵: مقایسه توابع توزیع اصلی و تطبیق داده شده توسط سناریوها برای سرعت باد در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه



شکل ۱۷-۵: مقایسه توابع توزیع اصلی و تطبیق داده شده توسط سناریوها برای تابش خورشید در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه همانطور که از روی شکل‌ها مشخص است، سناریوهای عدم قطعیت که با گسسته سازی توابع توزیع اصلی شان تشکیل شده‌اند با دقت خوبی توانسته‌اند که تخمینی از روی تابع توزیع اصلی خود ایجاد کنند.

۴-۵- کاهش سناریوها توسط خوشه بندی

تا به اینجای کار، ابتدا داده‌های ورودی دارای عدم قطعیت تعیین شدند. سپس به هر کدام از این داده‌ها، یک تابع توزیع احتمال تخصیص داده شد. با نمونه برداری از این روی این توابع توزیع پیوسته، به تعداد دلخواه نمونه مختلف برای هر کدام از این توابع بدست آمد. سپس با در اختیار داشتن این نمونه‌ها و ترکیب آنها، سناریوهای عدم قطعیت تشکیل شدند. از آنجایی که در مسائل بهینه‌سازی توابع و قیود مسئله باید برای هر کدام از سناریوهای عدم قطعیت محاسبه و لحاظ شوند، زمان اجرای برنامه متناسب با افزایش سناریوها بالا می‌رود. تعداد زیاد سناریوها ممکن است مسئله را غیرقابل حل کند. بنابراین

کاهش تعداد سناریوها یک مسئله ضروری است. در تحقیق حاضر از روش خوشه‌بندی k -means برای این امر استفاده می‌شود. کلیت و تعریف این روش در ادامه آورده شده است.

روش خوشه‌بندی k -means یکی از انواع روش‌های یادگیری بدون نظارت است. یادگیری بدون نظارت یک شاخه از موارد یادگیری ماشین است که در آن داده‌های در دسترس دارای هیچگونه برچسب‌گذاری یا طبقه‌بندی نیستند. روش‌های یادگیری بدون نظارت، مشابهت‌های بین داده‌های ورودی را تشخیص می‌دهند و براساس وجود یا عدم این شباهت‌ها عمل‌هایی را بر روی این داده‌ها انجام می‌دهند [۶]. در این گونه روش‌ها، ماشین تعلیم داده نشده است و داده‌های ورودی نیز بصورت خام هستند و اطلاعات بیشتری از آنها از دسترس نیست. جزییات روش k -means در ادامه بیان شده است. فرض کنید که ورودی مسئله یک مجموع داده شامل N نقطه باشد. $(x^{(n)}, 1 \leq n \leq N)$. هر کدام از این نقاط نیز بصورت بردارهای با ابعاد d در فضا باشند. هدف ایجاد تعدادی خوشه است که بتوانند داده‌های ورودی را نمایندگی بکنند. در واقع فرض کنید که می‌خواهیم کل داده‌های ورودی را در k عدد خوشه که مقدار k نیز مشخص است طبقه‌بندی کنیم. این تعریف را می‌توان بصورت ریاضی فرمول‌بندی کرد. ابتدا بصورت تصادفی بردارهای $\mu_k, k = 1, \dots, K$ را تشکیل می‌دهیم. هر کدام از این بردارها d بعدی هستند. μ_k موقعیت بردار k امین خوشه را مدل می‌کند. در ادامه خواهیم دید که μ_k متوسط موقعیت مکانی همه سناریوهایی خواهد شد که به خوشه k ام تخصیص داده شده‌اند. هدف اصلی در روش خوشه‌بندی k -means این است که کل داده‌های ورودی که در اینجا سناریوها هستند به گونه‌ای به هر یک از خوشه‌ها تخصیص یابند که مجموع مجذور فاصله‌های همه سناریوها با خوشه‌های متناظرشان حداقل شود. در ادامه برای هر داده ورودی $x^{(n)}$ یک متغیر باینری $r_{nk} \in \{0,1\}$ متناظرش ایجاد می‌شود. نحوه مقدار گرفتن این متغیر در رابطه بعدی نشان داده شده است.

$$\begin{cases} r_{nk} = 1 & x_n \text{ belongs to } k^{th} \text{ cluster} \\ r_{nk} = 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-29)$$

همانطور که از روی رابطه مشخص است، متغیر باینری r_{nk} برای هر n و هر k اینگونه تعریف می‌شود که مقدار آن در صورتی که داده ورودی n متعلق به خوشه k باشد، یک و در غیر این صورت صفر است. در ادامه یک تابع تحت عنوان شاخص اعوجاج تعریف می‌شود که گاهی به آن تابع تلفات نیز گفته می‌شود.

$$J = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K r_{nk} \|x_n - \mu_k\|^2 \quad (5-30)$$

رابطه ۵-۳۰ مجموع مجذورهای فاصله هر داده ورودی با خوشه متناظرش را بیان می‌کند. بنابراین r_{nk} ها و μ_k ها به عنوان مجهولات مسئله باید به گونه‌ای تعیین شوند که تابع J حداقل شود. این عمل بهینه‌سازی بصورت تدریجی در طی تکرارهای متوالی انجام می‌شود. ابتدا موقعیت برداری خوشه‌ها μ_k اولیه بصورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس در هر تکرار الگوریتم، دو عمل مختلف انجام می‌شود. ابتدا با ثابت دانستن μ_k ها، r_{nk} ها به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که J حداقل شود. سپس همین حداقل‌سازی J با انتخاب μ_k ها و ثابت در نظر داشتن r_{nk} ها انجام می‌شود. بنابراین در گام اول r_{nk} مطابق زیر تعیین می‌شود:

$$\begin{cases} r_{nk} = 1 & \text{if } k = \operatorname{argmin}_j \|x_n - \mu_j\|^2 \\ r_{nk} = 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-31)$$

رابطه ۵-۳۱ بدان معنی است که داده ورودی x_n لزوماً به نزدیکترین خوشه در اطراف خود تخصیص خواهد یافت. همچنین یک داده می‌تواند فقط به یک خوشه تعلق داشته باشد. حال در گام دوم فرض کنید که r_{nk} ها ثابت هستند. در

اینجا μ_k ها مطابق رابطه بعدی تعیین می شوند:

$$\mu_k = \frac{\sum_{n=1}^N r_{nk} x_n}{\sum_{n=1}^N r_{nk}} \quad (5-32)$$

رابطه ۵-۳۲ بیان می کند که برای حداقل کردن شاخص اعوجاج موقعیت مکانی هر خوشه باید به گونه ای بروز شود که در هر تکرار الگوریتم، این موقعیت میانگین موقعیت همه داده هایی باید که به این خوشه تخصیص یافته اند، علت نامگذاری این روش تحت عنوان k -means نیز به همین علت است که k تعداد خوشه وجود دارد که هر کدام بر مبنای میانگین گیری از سناریوهای متناظرشان تشکیل شده اند. در ادامه در شکل بعدی روند حل این روش بصورت سودوکد آورده شده است.

Cluster analysis

K-means algorithm (pseudocode)

```

1  for k=1 to K do
2   $\mu_k \leftarrow$  some random location randomly initialize mean for kth cluster
3  end for
4  repeat
5  for n = 1 to N do
6   $r_{nk} \leftarrow \arg\min_k \|x_n - \mu_k\|^2$  E-step: assign n-th data point to closest center
7  end for
8  for k = 1 to K do
9   $\mu_k \leftarrow \text{MEAN}_k(x_n, r_{nk})$  M-step: re-estimate mean of cluster k with 2.2
10 end for
11 until converged
12 return r return cluster assignments

```

شکل ۱۸-۵: الگوریتم حل روش خوشه بندی k -means بصورت سودوکد

در ادامه روش بیان شده را بر روی مسئله حاضر پیاده می کنیم. داده های ورودی روش خوشه بندی k -means سناریوهای عدم قطعیت هستند. خروجی این روش نیز موقعیت خوشه های نهایی شده هستند. در جدول بعدی داده هایی که در این روش دخیل می شوند لیست شده اند.

جدول ۱-۵: ورودی و خروجی های روش خوشه بندی k -means و ویژگی های آن

حداکثر تعداد تکرار الگوریتم	تعداد خوشه های اولیه	محاسبه فواصل	تعداد سناریوها	خروجی	ورودی
بی نهایت	500	اقلیدسی	5000	$P_c(wl, cl)$ $T_c(wl, cl)$ $G_c(g, px_G, cl)$ $V_c(g, px_W, cl)$	$P_s(wl, s)$ $T_s(wl, s)$ $G_s(g, px_G, s)$ $V_s(g, px_W, s)$

در تحقیق حاضر برای کاهش سناریوهای عدم قطعیت، تغییراتی در روش متداول k -means لحاظ می شود که باعث بهبود عملکرد آن می شوند. تغییر اول ایجاد یک شرط خاتمه برای الگوریتم است. در حالت عادی می توان یک تعداد تکرار ثابت را برای روش k -means در نظر گرفت، به این صورت که هسته اصلی الگوریتم به همان تعداد معین تکرار شده و سپس خاتمه می یابد. تغییری که در اینجا داده می شود به این صورت است که خاتمه الگوریتم را وابسته به تغییرات در مقدار شاخص اعوجاج می کنیم. این تغییر در رابطه بعدی فرمول بندی شده است.

$$\frac{|J^{iter} - J^{iter-1}|}{J^{iter}} \leq \varepsilon \quad (5-33)$$

رابطه (۵-۳۳) بیان می کند که در صورتی که اختلاف در شاخص اعوجاج در دو تکرار متوالی از یک مقدار حداقلی که

در اینجا ε نامیده شده است، کمتر باشد، الگوریتم خاتمه می‌یابد. با اینکار دیگر نیازی به انجام سعی و خطا در تعیین تعداد تکرار بهینه برای الگوریتم نیست. تغییر دیگر نیز بررسی خوشه‌هایی است که هیچ سناریویی به آنها تعلق پیدا نکرده و بودن عضو هستند. در اینجا این بند به روش اضافه می‌شود که در هر تکرار خوشه‌هایی را که بدون عضو هستند، حذف می‌کند.

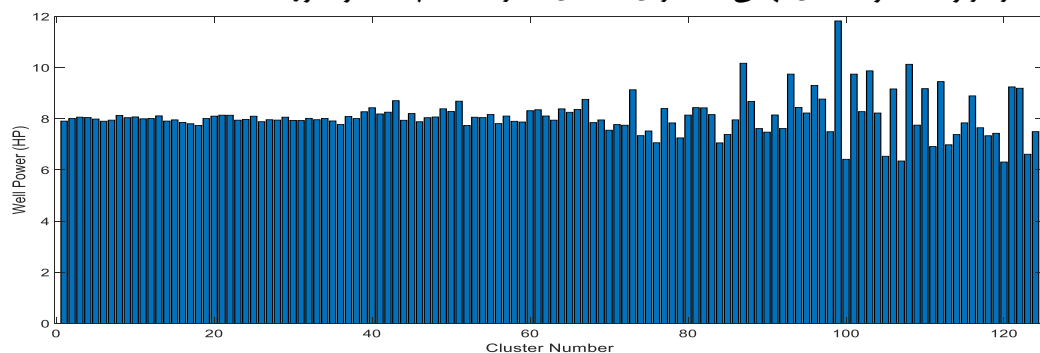
$$\text{if } \sum_{n=1}^N r_{nj} == 0 \quad \forall j = 1, \dots, K \rightarrow \text{Set}_{cl} \quad (5-34)$$

$$= \{\mu_k | k = 1, \dots, j-1, j+1, \dots, K\}$$

رابطه بالا شرط بدون عضو بودن را بر تک تک خوشه‌ها بررسی می‌کند و اگر مجموع سناریوهایی که به یک خوشه خاص تخصیص داده شده بود، برابر صفر باشد، آن خوشه از مجموعه خوشه‌ها (Set_{cl}) حذف می‌شود. در پایان الگوریتم، زمانی که خوشه‌های نهایی حاصل شدند، باید احتمال تحقق آنها را نیز تعیین کرد. این عمل بدین صورت انجام می‌شود که هر خوشه‌ای که سناریوهای بیشتری را در بر بگیرد، احتمال تحقق بالاتری خواهد داشت. رابطه ریاضی حصول احتمالات برای خوشه‌ها در ادامه آورده شده است.

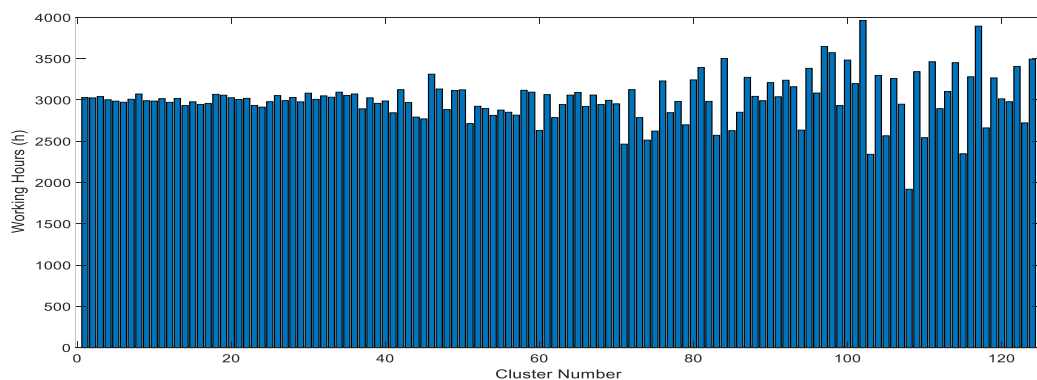
$$\text{prob}_k = \frac{\sum_{n=1}^N r_{nk}}{\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^K r_{nj}} \quad (5-35)$$

پس از اجرای الگوریتم خوشه‌بندی k -means نتایج مربوط به موقعیت نهایی خوشه‌ها، تعداد خوشه‌های باقیمانده، احتمال تحقق آنها، مقدار شاخص اعوجاج و تعداد تکرارهای طی شده تا رسیدن به جواب حاصل می‌شوند. پس از آنکه نتایج مربوط به خوشه‌بندی حاصل شد، خوشه‌های حاصله را به ترتیب از احتمال بیشتر به احتمال کمتر مرتب می‌کنیم. در شکل بعدی مقادیر مربوط به خوشه‌های نهایی شده برای تقاضای مصرف یک چاه دلخواه آورده شده است.



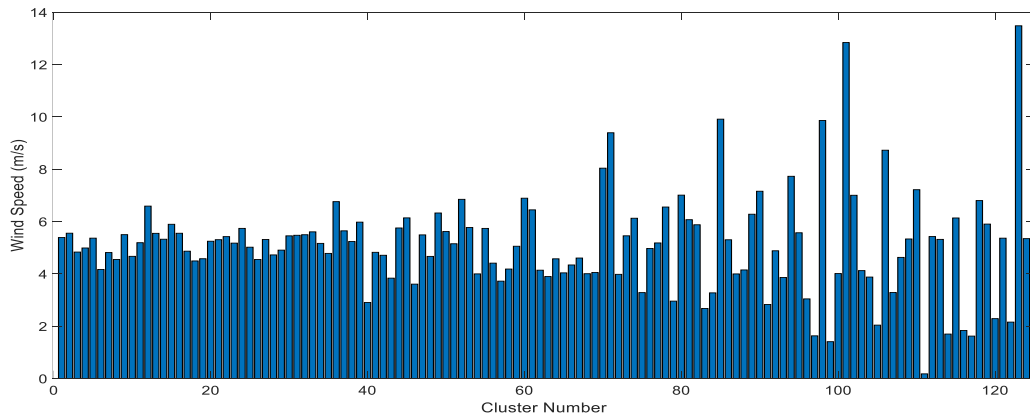
شکل ۱۹-۵: نتایج مربوط به خوشه‌های حاصل شده برای تقاضای مصرف یک چاه دلخواه

در شکل بعدی بصورت مشابه، نتایج حاصل شده برای مجموع ساعات کارکرد یک چاه دلخواه آورده شده است.

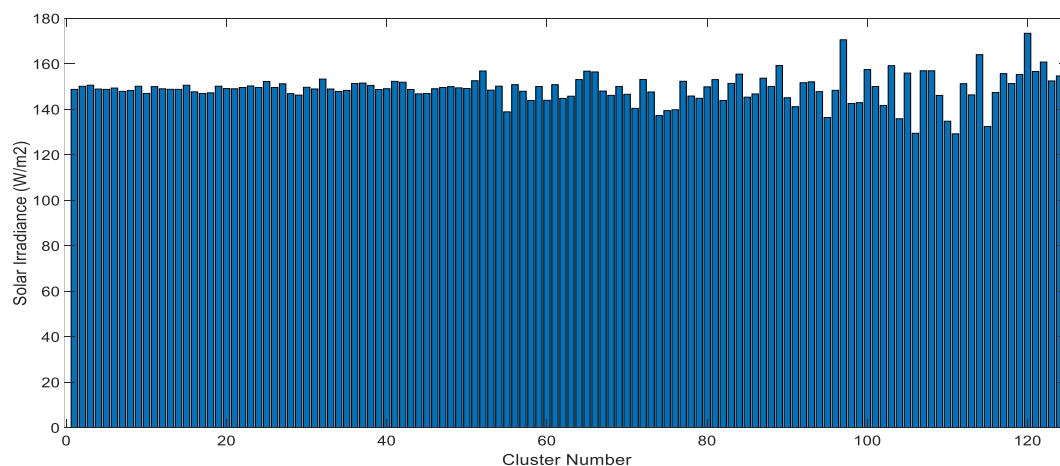


شکل ۲۰-۵: نتایج مربوط به خوشه‌های حاصل شده برای مجموع ساعات کارکرد یک چاه دلخواه

در شکل ۲۱-۵ نیز مقادیر خوشه‌های حاصل شده برای سرعت باد در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه آورده شده است.

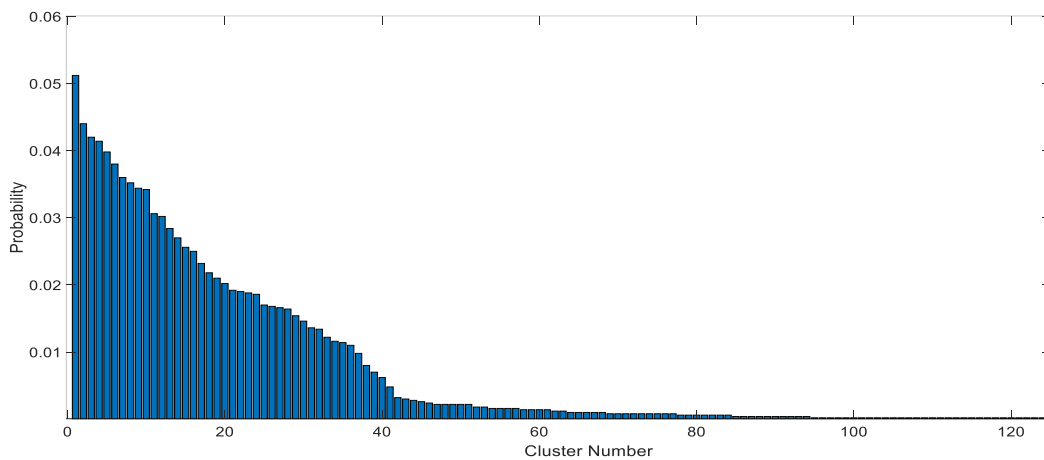


شکل ۲۱-۵: نتایج مربوط به خوشه‌های حاصل شده برای سرعت باد در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه در ادامه بصورت مشابه نتایج حاصل شده مربوط به مقادیر خوشه‌ها برای تابش خورشید در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه آورده شده است.

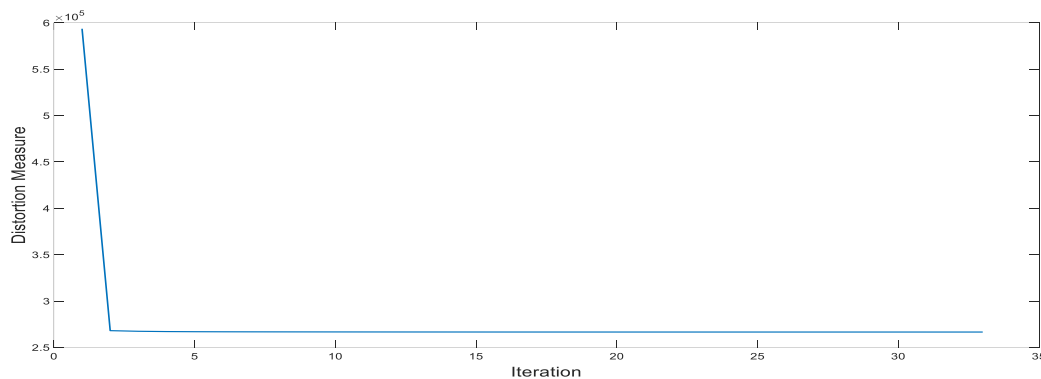


شکل ۲۲-۵: نتایج مربوط به خوشه‌های حاصل شده برای تابش خورشید در ناحیه مرکز و یک پیکسل دلخواه

همانطور که از روی نتایج شکل‌های ۵-۱۷ تا ۵-۲۲ مشخص است، خوشه‌های نهایی حاصل شده به خوبی قادر بوده‌اند، ضمن اینکه به مقدار پیش‌بینی شده نزدیک باشند، پراکندگی مناسبی نیز در موقعیت‌ها ایجاد کنند. همچنین ذکر این نکته مهم است که از تعداد ۵۰۰ خوشه اولیه ایجاد شده در انتهای الگوریتم حدود ۱۲۳ خوشه باقی مانده‌اند و باقی حذف شده‌اند. در ادامه احتمال وقوع حاصل شده برای هر یک از سناریوها آورده شده است. در ادامه روند تغییرات در مقدار شاخص اعوجاج نیز بصورت نمودار ترسیم شده است. همانطور که از روی نمودار شکل بالا مشخص است، شاخص اعوجاج در تکرارهای ابتدایی یک کاهش شدید داشته و سپس بصورت آهسته اقدام به کاهش می‌کند، تا اینکه بعد از ۳۳ تکرار تفاوت محسوسی در مقدار آن ایجاد نمی‌شود و الگوریتم خاتمه می‌یابد.



شکل ۲۳-۵: نتایج مربوط احتمال وقوع هر یک از خوشه‌های ایجاد شده



شکل ۲۴-۵: نمودار تغییرات در شاخص اعوجاج در طول اجرای الگوریتم

۵-۵- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر ابتدا مسئله برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی و ضرورت آن مطرح شد. این موضوع مهم مطرح شد که توان مورد نیاز برای انتقال آب از عمق چاه‌ها به سطح قبلاً توسط موتورهای دیزلی تامین میشد. اکنون که تمایل به استفاده از سوخت‌های فسیلی کاهش یافته است، روند تغییر رویکرد به سمت استفاده از موتورهای الکتریکی بجای نوع دیزلی آنها شکل گرفته است. به همین دلیل مسئله برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. در یک طرح توسعه می‌توان منابع انرژی تجدیدپذیر را به عنوان کاندیدای تامین انرژی برق مورد نیاز چاه‌ها در نظر گرفت. طی یک سری مطالعات پیش‌زمینه‌ای، موقعیت جغرافیای منطقه هدف بررسی شده و نقاط مختلفی به عنوان کاندیدای نصب تولیدات پراکنده معرفی شده‌اند. تحقیق حاضر به عدم قطعیت دخیل در این طرح توسعه می‌پردازد. یک بخش از عدم قطعیت مربوط به خود چاه‌هاست که شامل تقاضای مصرف آنها و ساعات کارکرد آنها در سال می‌شود. بخش دیگر عدم قطعیت مربوط می‌شود به پیش‌بینی‌هایی که برای وضعیت جوی نقاط مختلف جغرافیایی انجام شده است. در این تحقیق از روش احتمالی و ایجاد سناریوهای گسسته برای مدلسازی عدم قطعیت این پارامترها استفاده شده است. به هر کدام از این پارامترها یک تابع توزیع احتمال خاص نسبت داده شد و با استفاده از تابع توزیع تجمعی متناظر با این توزیع‌ها، نمونه برداری‌ها انجام شد. سپس با ترکیب این نمونه‌ها سناریوهای عدم قطعیت تشکیل شدند. برای کاهش تعداد این سناریو‌ها نیز از روش خوشه‌بندی k - $means$ استفاده شد که بر اساس مشابهت بین سناریو‌ها آن‌ها را دسته‌بندی می‌کند. نتایج حاصل شده نشان می‌دهند که چارچوب مدلسازی پیشنهاد شده برای عدم قطعیت قادر است ویژگی تصادفی بودن داده‌های ورودی را لحاظ کند و تخمین مناسبی از توزیع‌های پیوسته متناظر با داده‌های ورودی ارائه دهد.

۶- فصل ششم: مطالعه و بررسی نرم افزار ها و ابزار محاسباتی مورد کاربرد در حل بهینه
مسألة برق رسانی به چاه های کشاورزی

۱-۶-مقدمه

حل مسأله برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی مستلزم استفاده از الگوریتم‌ها و ابزارهای محاسباتی خاص خود می‌باشد. در حالت کلی موضوع برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی یک مسأله بهینه‌سازی می‌باشد که به طبع به دلیل تعداد متغیرها و حجم بالای داده‌ها از پیچیدگی خاصی برخوردار می‌باشد. بر همین مبنی در این فصل مرور کلی بر روی بسته‌های نرم‌افزاری و الگوریتم‌های مورد استفاده در حل مسائل از این دست پرداخته می‌شود. هدف از این مطالعه شناسایی امکانات و ابزارهای محاسباتی موجود و بررسی مزایا و معایب آنها در حل مسأله اصلی این پروژه می‌باشد. در قسمت بعدی به بررسی قابلیت‌های الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای مورد کاربرد در این زمینه پرداخته خواهد شد.

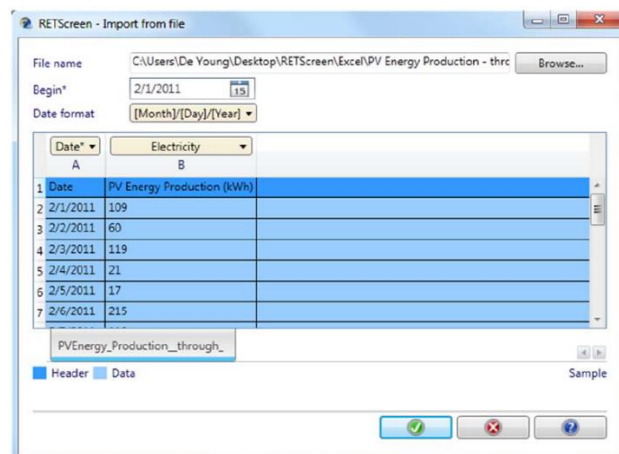
۲-۶-نرم‌افزارها و الگوریتم‌های مورد کاربرد در حل مسأله

در این بخش با هدف شناسایی ابزارها و روشهای حل مسأله، ابتدا قابلیت‌های نرم‌افزارها و الگوریتم‌هایی مورد کاربرد در طراحی و برنامه‌ریزی فنی و اقتصادی مسائل مشابه در شبکه توزیع بطور اجمالی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در این بخش الگوریتم‌ها و روش‌های خوشه‌بندی، روش‌های بهینه‌سازی خواهیم پرداخت. در ابتدا نرم‌افزارهای RETScreen، LEAP، MESSAGE و HOMER مورد بررسی قرار می‌گیرد و قابلیت‌های آن معرفی می‌شود. سپس در گام بعدی الگوریتم‌های بهینه‌سازی مورد استفاده در برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع با حضور منابع انرژی تجدیدپذیر معرفی و مقایسه می‌گردند.

۱-۲-۶ نرم‌افزار RETScreen

RETScreen، یک نرم‌افزاری مهندسی می‌باشد که توسط دولت کانادا به منظور آنالیز انرژی‌های تجدیدپذیر و زیستی ارائه شده است. در حال حاضر بیش از ۳۶۵ هزار کاربر از سراسر جهان این نرم‌افزار را مورد استفاده قرار داده‌اند. در این نرم‌افزار کاربر می‌تواند بانک داده بزرگی ایجاد کند و انواع پارامترهای دلخواه خود را به عنوان ورودی به نرم‌افزار تعریف کند. این نرم‌افزار به کاربر در تصمیم‌گیری‌ها کمک خواهد کرد. اطلاعاتی نظیر معیارها، امکانات، آرشیه‌ها، هزینه‌ها، محصولات و امور مالی را می‌توانید وارد برنامه کنید. RETScreen یک ابزار نرم‌افزاری تجزیه و تحلیل پروژه‌های انرژی پاک تحت Excel است که به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند به صورت سریع و با هزینه اندک، عملی بودن پروژه‌های انرژی قابل تجدید احتمالی، بهره‌وری انرژی و تولید همزمان برق و حرارت را از لحاظ فنی و مالی را بررسی کنند. همچنین این نرم‌افزار از پارامترهای دیتابیس‌های مختلف استفاده می‌کند و با گسترش آگاهی خود، هوش مصنوعی خود را گسترش می‌دهد RETScreen Expert ورژن جدیدی از RETScreen می‌باشد که امکانات بیشتری به آن اضافه شده است و از جهات مختلف توسعه داده شده است. اطلاعاتی که جنبه عمومی دارند توسط این نرم‌افزار جمع‌آوری می‌شوند و به منظور توسعه‌های بعدی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نرم‌افزار به سازمان‌هایی که در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر به شکل رایگان داده‌های مختلف می‌دهند لینک شده است و می‌توانید از اطلاعات اینگونه سازمان‌ها استفاده نمایید. شما می‌توانید ریسک‌های مالی را بررسی کنید یا آزمایشگاه مجازی در سیستم خود ایجاد کنید و وضعیت انرژی را آنالیز نمایید. برای وارد کردن داده در RETScreen چندین روش وجود دارد که می‌توانید هر کدام از آنها را انتخاب کنید، روش اول وارد کردن دستی داده‌ها است و با کلیک کردن می‌توانید یک ردیف جدید اضافه کنید و همچنین امکان کپی پیست داده‌ها از محیط‌های دیگر از جمله اکسل هم وجود دارد. RETScreen گزینه اینکه می‌خواهید داده‌ای اضافه کنید را هم دارد. راه دیگر این است که RETScreen

دارای یک ابزار بر روزرسانی است. در شکل ۶-۲ نحوه وارد کردن داده‌ها در نرم افزار RETScreen آورده شده است [53] و [54].



شکل ۱-۶: محیط نرم افزار RETScreen برای وارد کردن اطلاعات

عمده مزایای نرم افزار RETScreen عبارتند از:

- قدرت اصلی تحلیل مالی است
 - به دلیل نرم افزار مبتنی بر EXCEL آسان برای استفاده.
- ۳) معایب:

- داده‌ها یا پرونده‌ها نمی‌توانند وارد شوند
 - محدودیت‌های زیادی برای جستجو
 - ورودی کمتر داده
 - ژنراتور، انرژی آبی، انرژی زیستی، تجزیه و تحلیل سیستم حرارتی نمی‌تواند انجام شود.
- در ادامه مروری بر تعدادی از پروژه‌های انجام شده توسط RETScreen خواهیم داشت.
- در سال ۲۰۰۷ با استفاده از داده‌های تابش ماهانه خورشید، به مطالعه توزیع تداوم تابش و تشعشع خورشید در عربستان سعودی پرداخته‌اند. این تحلیل شامل تولید انرژی تجدیدپذیر و ارزیابی اقتصادی نیروگاه ۵ مگاواتی فتوولتاییک برای تولید برق است.
 - با استفاده از نرم افزار RETScreen توسعه یک مزرعه بادی در سه منطقه الجزایر را مطالعه کرده‌اند. این مقاله از داده‌های سرعت باد در یک دوره ۱۰ ساله استفاده کرده است تا تولید انرژی یک مزرعه بادی ۳۰ مگاواتی در هر یک از این سه منطقه الجزایر را براساس انرژی خالص، تولید ویژه و فاکتور ظرفیت مزرعه بادی محاسبه کند.
 - پتانسیل یک نیروگاه ۱۰ مگاواتی فتوولتاییک در ابوظبی را از طریق نرم افزار مدلسازی RETScreen مورد مطالعه قرار داده شده است. تحلیل انجام شده در این مقاله دارای ۳ جز مهم است، تخمین پتانسیل تولید انرژی و امکانپذیری مالی نیروگاه فتوولتاییک فرضی در ابوظبی، ارزیابی کاهش مورد انتظار در انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها در صورتی که نیروگاه ساخته شود و ارزیابی کمی منافع اجتماعی ناشی از کاهش انتشار آلاینده‌ها.

- یک نیروگاه برق آبی کوچک در اسپانیا را از دیدگاه انرژی زا و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق، امکان پذیری این پروژه از طریق نرم افزار RETScreen بررسی شده است [3].

۶-۲-۲ نرم افزار LEAP^۱

سیستم برنامه‌ریزی گزینه‌های انرژی در بلند مدت (لیپ)، ابزار مدل‌سازی جامع انرژی-اقتصاد-محیط زیست بر اساس سناریوهاست. سناریوها بر اساس چگونگی ساختار مصرف، تبدیل و تولید انرژی در منطقه یا اقتصاد خاصی تحت دامنه گسترده‌ای از گزینه‌های جمعیتی، توسعه اقتصادی، فناوری، قیمت و امثال آن طراحی می‌شوند. به خاطر ساختار داده‌های انعطاف‌پذیر، لیپ امکان تجزیه و تحلیل قدرتمند مشخصه‌های فناوری و جزئیات مصارف نهایی را بر اساس انتخاب کاربران فراهم می‌کند. با استفاده از نرم افزار لیپ، کاربران می‌توانند شبیه‌سازی ساختار داده‌های بسیار پیچیده‌ای را ایجاد نمایند. بر خلاف مدل‌های اقتصاد کلان، لیپ سعی نمی‌کند، اثر سیاست‌های انرژی را بر روی اشتغال یا تولید ناخالص داخلی تخمین بزند، اگرچه اینچنین ایده‌هایی امکان ساخته شدن در پیوند با لیپ را دارند. همچنین، ویرایش جدید مدل ساز لیپ به طور خودکار ساختار بهینه مولفه‌های عرضه تحت سناریوها را تولید می‌نماید. امتیازات اصلی لیپ، انعطاف‌پذیری و کاربرد آسان آن می‌باشد، که این امکان را فراهم می‌کند تا تصمیم‌گیران به راحتی ایده مورد نظر خود را در یک محیط و بستر مجازی (که نماینده سیستم انرژی است) بدون ذخیره مدل‌های بسیار پیچیده ارزیابی نمایند.

گستره خدمات لیپ را می‌توان به اجمال در ادامه تعریف کرد: به عنوان پایگاه داده، سیستم فراگیری برای طبقه‌بندی و نگهداری داده‌ها فراهم می‌کند. به عنوان ابزار پیش‌بینی، کاربران را قادر می‌سازد که عرضه و تقاضای انرژی را در افق برنامه‌ریزی پیش‌بینی نمایند. به عنوان ابزار تجزیه و تحلیل سیاست‌های انرژی، تأثیرات فیزیکی، اقتصادی و زیست محیطی برنامه‌های انرژی جایگزین، سرمایه‌گذاری و اقدامات بهینه‌سازی را فراهم می‌کند. از نرم افزار لیپ برای پیش‌بینی عرضه-تقاضا به منظور شناسایی الگوهای آتی، شناسایی پتانسیل صرفه جویی، ارزیابی تأثیرات زیست محیطی، سیاست‌های انرژی استفاده می‌شود. همچنین برای آزمودن گستره‌ای از پروژه‌ها (اعم از توسعه سیستم، تغییر ترکیب حامل‌ها، بهینه‌سازی انرژی در بخش نهایی) و برنامه‌ها و فناوری‌ها، طراحی و ارزیابی سیاست‌های انرژی و محیط زیست به تصمیم‌گیران یاری می‌رساند. منطق فرمولاسیون مدل ساز لیپ بسیار ساده و مبتنی بر محاسبات سلسله مراتبی و سیستماتیک است. در این قسمت به صورت بسیار مختصر برخی از روابط محاسباتی لیپ در سمت تقاضا تشریح خواهند شد.

به منظور وارد کردن داده در LEAP، می‌توانید از اکسل برای ویرایش داده و همچنین وزن‌دهی توابع هدف و واحدها استفاده کنید. این امر به ویژه زمانی می‌تواند مفید باشد که توابع هدف یا واحدهای بسیاری را به طور همزمان تغییر دهید (به عنوان مثال اگر واحد ارزی را برای یک مطالعه کامل تغییر دهید). تنها کاری که باید انجام دهید این است که (۱) متغیر را از LEAP به Excel بفرستید، (۲) تغییرات را در اکسل اعمال کنید، سپس (۳) مجدداً اطلاعات را با LEAP منتقل کنید. [4]

پروژه‌های انجام شده توسط LEAP:

^۱ Long-range Energy Alternatives Planning

- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فن آوری‌های انرژی زیست توده در ویتنام با استفاده از مدل LEAP در سال ۲۰۰۳ مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از برخی فن آوری‌های تولید انرژی زیست توده برآورده شده است. از مدل LEAP سناریوهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفته اند.
- در سال ۲۰۰۵ اثرات تولید برق از گاز مستخرج از محل دفن زباله ها بر بازار برق، هزینه تولید برق و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کره با استفاده پایگاه داده زیست محیطی و فن آوری در مدل LEAP مورد بررسی قرار داده اند.
- در سال ۲۰۰۶ اثرات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی ۱۱ سناریو و سیاست انرژی در بخش عرضه و تقاضا به منظور توسعه پایدار شهر کیپ تاون در آفریقا مورد بررسی قرار گرفته شده است. این پژوهش در بخش عرضه به بررسی سناریوی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر (منابع بادی) به عنوان عرضه پرداخته است.
- در سال ۲۰۰۹ وضعیت فعلی و روندهای آتی عرضه و تقاضای انرژی در ژاپن بررسی شده است. به علاوه ساختار مدل LEAP در ژاپن و شبیه سازی سناریوهای مختلف با تاکید بر توسعه انرژی هسته ای و کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای پرداخته شده است.
- در سال ۲۰۱۰ مدل پیش بینی بلند مدت عرضه و تقاضای انرژی در تایوان به عنوان پیش نیازی برای تشریح و کاربرد مدل LEAP این کشور مورد بررسی قرار گرفته است. در همین سال، در چین، روندهای اخیر توسعه در تولید انرژی، مصرف انرژی و برنامه ریزی استراتژیک انرژی و سیاست های چین تا ۲۰۳۰ را مورد بررسی قرار داده و با استفاده از نرم افزار LEAP آثار اجرای سیاست‌های محیطی و سیاست‌های انرژی جدید را مورد بررسی قرار داده‌اند.
- در سال ۲۰۱۱ با استفاده از نرم افزار LEAP به مدلسازی مسیرهای ممکن برای آینده صنعت برق لبنان و ارزیابی آنها پرداخته‌اند. در همین سال
- در سال ۲۰۱۱ یک مدل LEAP برای ایالت آلبرتا توسعه داده‌اند که متشکل ماژول‌های عرضه، تقاضا، فرآیند تبدیل و ماژول زیست محیطی است. هدف اصلی این پژوهش تخصیص منابع آب رودخانه به بخش‌های مختلف عرضه و تقاضا در آلبرتا می‌باشد. [55]

۳-۲-۶ نرم افزار MESSAGE

نرم افزار MESSAGE (مدل برای جایگزین استراتژی‌های عرضه انرژی و تاثیرات محیطی آنها) توسط موسسه بین المللی تجزیه و تحلیل سیستم‌های کاربردی (IIASA) در اتریش از دهه ۱۹۸۰ توسعه یافته است. بسته به محدوده و سؤال تحقیق، چندین نسخه مختلف از مدل با چند صد کاربر ایجاد شده است. MESSAGE تنها برای استفاده برای مقاصد علمی رایگان است. توافقنامه ویژه بین IIASA و آژانس بین المللی انرژی اتمی اجازه استفاده از آن را در داخل آژانس بین المللی انرژی اتمی و کشورهای عضو آن را می‌دهد. اخیراً تعدادی از مطالعات مدل سازی عمیق ملی و دوره های آموزش مدل سازی برای کارشناسان انرژی کشورهای عضو آژانس تسهیل شده است [5]. نرم افزار MESSAGE یک مدل بهینه‌سازی مهندسی سیستم است که برای برنامه‌ریزی برای سیستم‌های انرژی متوسط و طولانی مدت، تحلیل سیاست‌های تغییر آب و هوا و سناریو برای مناطق ملی یا جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل با استفاده از یک مرحله ۵ یا ۱۰ ساله برای شبیه سازی حداکثر ۱۲۰ سال است. همه تولیدات حرارتی، تجدید پذیر، ذخیره‌سازی و تبدیل و فن آوری حمل و نقل می‌تواند

با MESSAGE شبیه‌سازی شود. نتایج اصلی این مدل برآورد استراتژی‌های کاهش جهانی و منطقه‌ای و چند جانبه به جای اهداف اقلیمی است. MESSAGE اجازه می‌دهد تا مجموعه‌ای مقرون به صرفه از مقادیر محدودیت انتشار و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را تعیین کند. این نرم افزار اخیراً گسترش یافته است تا مجموعه کامل گازهای گلخانه‌ای و دیگر مواد رادیواکتیو را برای توسعه سناریوهای چندگانه که برای ایجاد ثبات در محدوده‌های CO2 مشابه محسوب می‌شوند، پوشش دهد [6]. برای مثال، مطالعات ملی اخیر با MESSAGE برای ارزیابی تاثیر برنامه‌های نوآوری بر بخش برق ایران، در نهایت، مدل جهانی MESSAGE برای شبیه سازی نفوذ انرژی تجدیدپذیر انرژی در سناریوی B1 BG1 تا ۷۰٪ برای بخش برق، ۶۰٪ برای بخش گرما و ۵۵٪ برای بخش حمل و نقل استفاده شده است [59]. Message، مدل برنامه‌ریزی خطی پویا می‌باشد که توسط موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم کاربردی، ایجاد شده است و برای پیش‌بینی سالهای ۲۰۵۰ تا سال ۲۱۰۰ استفاده شده است. این مدل در چشم اندازهای جامع انرژی مورد استفاده قرار گرفته است.

(نسخه‌های گوناگون) مدل بهینه‌سازی پویای انرژی از پایین به بالا بوده که توسط آژانس بین‌المللی انرژی برای آنالیز و پیش‌بینی جهانی انرژی توسعه داده شده است. این مدل برای آنالیز کاهش گازهای گلخانه‌ای و برنامه‌ریزی انرژی بکار رفته است. مدل اولیه جامع انرژی با مقیاس کوچک می‌باشد. هدف این مدل نمایش مکانیزم‌های مهم مربوط به آنالیز و تحقیق و بکارگیری سیاستهای تکنولوژیها با هدف آنالیز هزینه/ سود و اولویت بندی بوده است [60]. تعدادی از پروژه های انجام شده انجام شده توسط این نرم افزار به شرح زیر می باشد:

- موسسه بین المللی تجزیه و تحلیل سیستم‌های کاربردی (IIASA) با همکاری سازمان جهانی محیط زیست (GEF) و سازمان توسعه صنعتی سازمان ملل متحد (UNIDO) رهبری پروژه راه حل‌های ممکن برای آب، انرژی و زمین (ISWEL) را بر عهده دارند. هدف اصلی این پروژه کشف راه حل‌های مقرون به صرفه برای برآورد مشترک تقاضای آب، زمین و انرژی در فاکتورهای مختلف توسعه و آب و هوایی است. این پروژه یک رویکرد جهانی را در پیش گرفته است، اما همچنین به دو حوزه بزرگ با تحولات متعدد و چالش های زیست محیطی در زومبیزی و هندوستان تبدیل شده است [61].
- جهان در سال ۲۰۵۰ (TWI2050) یک تحقیق جهانی برای حمایت از اجرای موفقیت آمیز برنامه ۲۰۳۰ سازمان ملل است. هدف TWI2050 ارائه دانش مبتنی بر واقعیت برای حمایت از فرایند سیاست و اجرای SDG ها است.

اهداف توسعه پایدار (SDG)، که به اتفاق آرا توسط سازمان ملل متحد در سپتامبر ۲۰۱۵ تصویب شده است، یک دستورالعمل عملی برای آینده مطلوب برای توسعه انسانی را ارائه می‌دهد.

هدف پروژه: ابتکار عمل جدید علمی TWI2050 ارائه دانش مبتنی بر واقعیت برای حمایت از 4 فرایند سیاست گذاری و اجرای برنامه ۲۰۳۰ می‌باشد. SDG ها اهداف جهانی کاملاً شفاف و جاه طلبانه ای را در حوزه های اجتماعی، اقتصادی و محیطی (به عنوان مثال، بین انرژی و آب و هوا، بین امنیت غذایی و اکوسیستم‌ها و غیره) تعیین می‌کنند. آنچه مورد نیاز است، ارزیابی میزان دوام دستیابی به این اهداف متعدد اجتماعی-اقتصادی-زیست محیطی-سیاره ای به طور همزمان با استفاده از رویکردهای روش شناختی یکپارچه و سیستمی است [62]. ارزیابی گزینه‌های سیاست گذاری برای افزایش استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر تجزیه و تحلیل گزینه‌های تامین انرژی و تامین امنیت انرژی در کشورهای بالتیک و طراحی برنامه انرژی پایدار برای کوبا [55].

۴-۲-۶ نرم افزار HOMER

هومر، مدل بهینه‌سازی میکرو پاور (شبکه خرد)، ارزیابی طرح‌های سیستم‌های تولید برق متصل به شبکه یا مستقل از شبکه را در انواع کاربردها ساده و قابل فهم می‌کند. هنگام طراحی یک سیستم تولید برق، با پیکره بندی‌های مختلفی از سیستم برخورد می‌کنید که کار تصمیم‌گیری برای انتخاب طرح‌ها را مشکل می‌سازد. اینکه چه پارامترهایی در طراحی سیستم حساس بوده و تغییرات آنها سیستم را متغیر می‌کند؟ چه تعداد و اندازه از هر مؤلفه‌ای از سیستم باید مورد استفاده قرار بگیرد. تعداد زیاد گزینه‌های فناوری و تعمیرات و هزینه‌های فناوری و دسترسی به منابع انرژی، تصمیم‌گیری را مشکل‌تر می‌کند. الگوریتم‌های بهینه‌سازی و تحلیل حساسیت هومر، امکان ارزیابی تمام پیکره بندی‌های قابل قبول سیستم را تسهیل می‌کند. برای بهره‌گیری از هومر، مدلی را با ورودی‌های مختلف خواهید داشت که گزینه‌های فناوری، هزینه‌های اجزاء و دسترسی به منابع را در بر می‌گیرد. از طرف دیگر، هومر نتایج شبیه‌سازی را در جداول و نمودارهای مختلف نشان می‌دهد که به مقایسه پیکره بندی‌های مختلف کمک کرده و بر اساس رتبه بندی‌های فنی و اقتصادی آنها را مقایسه می‌کند و امکان استخراج جداول و نمودارها در گزارشات و ارایه‌ها را فراهم می‌کند. هنگامی که می‌خواهید تأثیر تغییرات عواملی همانند دسترسی به منابع و شرایط اقتصادی بر اثربخشی و کارایی اقتصادی پیکره بندی‌های سیستم‌های مختلف را بررسی نمایید از قابلیت تحلیل‌های حساسیت هومر بهره‌می‌گیرند. برای انجام تحلیل‌های حساسیت، لازم است مقادیر تحلیل حساسیت برای دسترسی به منابع و یا هزینه‌ها را در محیط هومر داده شود. هومر پیکره بندی از سیستم را برای تمام مقادیر شبیه‌سازی می‌کند. از نتایج تحلیل‌های حساسیت برای تعیین و شناسایی عواملی که بیشترین تأثیر را بر طراحی و بهره‌برداری سیستم برق دارند، استفاده می‌شود. همچنین هومر از نتایج تحلیل حساسیت برای جواب دادن به معادلات عمومی گزینه‌های فناوری به منظور برنامه ریزی و تصمیم‌گیری استفاده می‌کند. هومر روش بهره‌برداری از یک سیستم را با ایجاد معادلات تراز در هر ۸۷۶۰ ساعت از سال شبیه‌سازی می‌کند. تقاضای الکتریکی و حرارتی را در هر ساعت که باید توسط سیستم تأمین شود، را فراخوان کرده و جریان انرژی تحویلی و یا دریافتی به/از اجزای سیستم را محاسبه می‌کند. همچنین هومر برای سیستم‌های شامل باتری‌ها یا ژنراتورهای تولید برق از سوخت، تصمیم می‌گیرد که در چه زمان‌هایی راه اندازی ژنراتورها اقتصادی بوده و یا در چه زمان‌هایی باتری‌ها را شارژ و یا تخلیه نماید. سپس تصمیم می‌گیرد که چه پیکره بندی امکان پذیر است یعنی در حالیکه این پیکره بندی تقاضای الکتریکی را تحت شرایط مدنظر کاربر تأمین می‌کند، هزینه‌های نصب و بهره‌برداری از سیستم را در طی عمر پروژه محاسبه می‌کند. محاسبات هزینه سیستم برای هزینه‌هایی نظیر سرمایه‌گذاری، جایگزینی، بهره‌برداری و نگهداری، سوخت و بهره‌انجام می‌دهد. مزایا و محدودیت‌های هومر عبارتند از:

- تعدادی از تکنولوژی‌های واقعی را به عنوان فهرستی از تکنولوژی‌های موجود شبیه‌سازی می‌کند.
 - در پایان آنالیز نتایج بسیار مفصل و با جزییاتی را ارائه می‌دهد.
 - ترکیبات احتمالی مختلفی از فن‌آوری‌ها و اندازه آنها را تعیین می‌کند.
 - سرعت بسیار سریع پردازش
- معایب:
- داده‌های ورودی با کیفیت و دقت بالا مورد نیاز است.

جدول ۱-۶: مقایسه نرم افزارهای کاربردی

HOMER	MESSAGE	LEAP	RETScreen	ورودی داده
نیاز به ویرایش دستی اطلاعات با هر بار تغییر داده ورودی	اطلاعاتی مبنی بر لینک شدن با اکسل یافت نشد	محیط ویندوز، سهولت انتقال اطلاعات از اکسل	قابلیت لینک به اکسل و ویندوز	

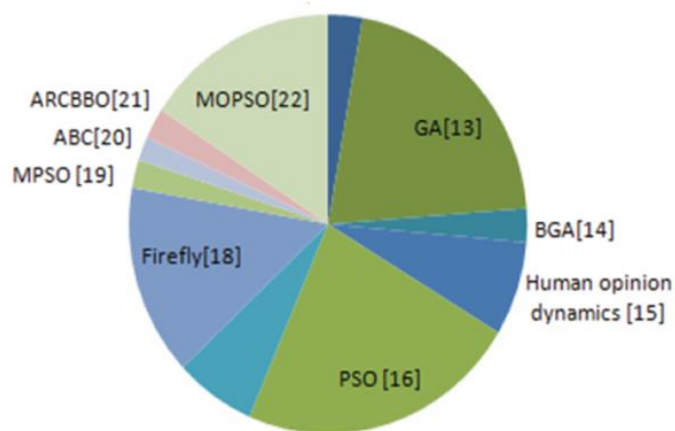
دسترس پذیری	رایگان	برای دانشجویان، همچنین برای دولت ها و دانشگاه‌های کشورهای در حال توسعه رایگان است	برای مقاصد علمی و برای کشورهای عضو انرژی اتمی رایگان است	باید خریداری شود: ۵۰۰ تا ۱۴۰۰ دلار آمریکا سالانه یا ۱۵۰۰ تا ۴۲۰۰ دلار آمریکا بدون محدودیت زمان
قابلیت انتخاب، تعیین تعداد و مکان منبع تولید انرژی	قابلیت انتخاب، تعیین تعداد و مکان منبع تولید انرژی را دارد	قابلیت انتخاب، تعیین تعداد و مکان منبع تولید انرژی را دارد	قابلیت انتخاب، تعیین تعداد و مکان منبع تولید انرژی را دارد	قابلیت انتخاب، تعیین تعداد و مکان منبع تولید انرژی را دارد
پروژه‌های انجام شده	۱- مطالعه توزیع تداوم تابش و تشعشع خورشید در عربستان سعودی ۲- توسعه یک مزرعه بادی در سه منطقه الجزایر ۳- پتانسیل یک نیروگاه ۱۰ مگاواتی فتوولتاییک در ابوظبی ۴- یک نیروگاه برق آبی کوچک در اسپانیا	۱- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در ویتنام ۲- اثرات تولید برق از گاز مستخرج از محل دفن زباله‌ها در کره ۳- اثرات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی ۱۱ سناریو در آفریقا ۴- وضعیت فعلی و روندهای آبی عرضه و تقاضای انرژی در ژاپن ۵- پیش بینی بلند مدت عرضه و تقاضای انرژی در تایوان ۶- مدلسازی مسیرهای ممکن برای آینده صنعت برق لبنان	۱- پروژه راه حل‌های ممکن برای آب، انرژی و زمین توسط IIASA ۲- ارزیابی میزان دوام دستیابی به اهداف متعدد اجتماعی-اقتصادی-زیست محیطی-سیاره‌ای به طور همزمان براساس سند ۲۰۳۰ ۳- طراحی برنامه انرژی پایدار برای کوبا	پروژه در مقیاس بزرگی یافت نشد
هدف از نرم افزار	محاسبه تاثیر آب و هوای شهرها و ایالت‌ها	بدست آوردن سود بر حسب هزینه برای تصمیم گیرندگان خصوصی و عمومی	تجزیه و تحلیل همزمان انرژی و محیط زیست	برنامه ریزی و بهینه سازی خرد شبکه‌ها
مبنای طراحی نرم افزار	حسابداری	بهینه سازی و حسابداری و شبیه سازی	بهینه سازی	بهینه سازی و حسابداری
خروجی	جدول و نمودار	جدول و نمودار در اکسل و پاورپوینت	جدول و نمودار	جدول و نمودار
تعداد دانلود	بیشتر از ۲۰۰۰۰	بیشتر از ۵۰۰۰	۱۰۰-۱۰۰۰	بیشتر از ۲۸۰۰۰

• اطلاعات دقیق ورودی براساس زمان مورد نیاز است.

• نیاز به نتایج تجربی نمونه برای بدست آوردن نتایج خوب مورد نیاز است.[11]

هنگام وارد کردن داده از یک فایل متنی، HOMER کپی از مجموعه داده‌ها را تهیه کرده و آن را با پوشه HOMER (.hmr) ادغام می‌کند. بعد از این داده‌ها بخشی از پرونده HOMER هستند، HOMER دیگر به پرونده متن اصلی مراجعه نمی‌کند. اگر داده‌ها را در پرونده اصلی تغییر دهید، باید فایل اصلاح شده را وارد کنید تا تغییرات در پرونده HOMER درج شوند.

پس از وارد کردن پرونده داده، HOMER میانگین بار ۲۴ ساعته را برای کل سال محاسبه می‌کند و آن را در جدول و نمودار نمایش می‌دهد. HOMER همچنین نام پرونده داده وارد شده را در عنوان نمودار پروفایل بار نشان می‌دهد [12].



جدول ۲-۶: مقایسه سهم راه حل های بهینه

مزایا و معایب الگوریتم‌های مهم و موجود در شکل ۲-۶ در جدول ۲-۶ به اختصار شرح داده شده است [14]:

۵-۲-۶ الگوریتم ژنتیک GA

الگوریتم ژنتیک یکی از پرکاربردترین روش‌های فرا ابتکاری شناخته شده برای حل مسئله‌های بهینه‌سازی ترکیبی است. این الگوریتم علاوه بر داشتن منطق بسیار ساده برای حل مسئله‌های بهینه‌سازی قابلیت بدست آوردن جواب نزدیک به بهینه برای انواع مسئله‌های پیچیده‌ای را دارد که معمولا در عمل با سایر روش‌ها جواب مناسبی برای آنها یافت نمی‌شود. علت کاربرد وسیع این الگوریتم در زمینه‌های مختلف انعطاف پذیری بالای این روش است. لازم است ذکر شود که اخیرا با استفاده از زنجیره‌های مارکوف ثابت شده است که برای طیف خاصی از مسئله‌ها الگوریتم ژنتیک جواب بهینه سراسری مسئله را در شرایط معینی پیدا می‌کند.

نکات اساسی در الگوریتم GA

روش‌های تولید جمعیت اولیه جواب‌ها:

روش‌های بسیار متنوعی برای تولید جمعیت اولیه‌ای از جواب‌ها پیشنهاد شده است که مهمترین آنها بقرار زیر است:

جدول ۳-۶: مقایسه چند الگوریتم بهینه سازی

الگوریتم	مزایا	معایب
الگوریتم ژنتیک (GA)	قادر به حل مسائل با راه حل های متعدد، به آسانی قابل درک و شبیه سازیست، همچنین به آسانی از طریق جعبه ابزار MATLAB قابل اجراست	مستعد همگرایی زودرس به بهینه محلی و واگرایی موضعی و زمان پاسخ نامناسب به دلیل اجرای تصادفی
	پیچیدگی کمی دارد، مناسب برای بهینه‌سازی در مسائل مقایسه‌ای	
بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)	اجرای سریع، کم هزینه، سازگاری زیاد و انعطاف پذیر برای ترکیب با سایر الگوریتم‌ها به دلیل سادگی محاسباتی، سرعت همگرایی بالا، انعطاف‌پذیری بهتر در برابر مشکل بهینه محلی، راحتی پیاده‌سازی و اجرا	تمایل به همگرایی بهینه محلی دارد
		عدم تنوع راه حل در حالت همگرا
الگوریتم تبرید (SA)	سازگار با مسائل بسیار غیر خطی، پیچیده و مقیاس بزرگ	تعادل دشوار بین دقت راه حل و زمان پاسخ و دقت بیش از حد در تنظیم دقیق پارامترها

	مدل‌های بسیار محدود ، با مجموعه‌ای از داده‌های بسیار متغییر و تصادفی	برنامه نویسی اضافی مورد نیاز برای در نظر گرفتن دسته‌های مختلف از محدودیت‌ها و وزن دار کردن آنها
	قدرتمند ، عمومی ، قادر به ترکیب با انواع مدل‌ها و بسیار انعطاف پذیر برای دستیابی به بهینه سراسری	
الگوریتم کلونی مورچگان	سازگار برای حل همزمان چندین مساله، ساده در طراحی، و عالی در یافتن راه حل‌های بهینه محلی و سراسری	ماهیت احتمالی الگوریتم جستجو که به تراکم فرمون وابسته است، که ممکن است متمایل به راه حل خاصی باشد
الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی (ABC)	سازگار برای حل همزمان چندین مسئله و در جستجوی راه حل‌های بهینه محلی و سراسری عالی عمل می‌کند.	مقدار اولیه راه حل مکان یابی بصورت رندم است
	اجرای آسان ، درگیری حداقل تعداد پارامترها و به راحتی با سایر الگوریتم‌ها ترکیب می‌شود	
الگوریتم تغذیه ی باکتری (BFA)	سادگی اجرا	مشکل همگرایی در مسائل پیچیده بسیار بزرگ
الگوریتم جستجوی فاخته	با پارامترهای کمتر اما موثرتر	سازگاری راه حل با تابع هدف
	همگرایی سریع	قابلیت جستجوی محلی ضعیف
	قوی و عمومی	
الگوریتم پرش قورباغه (SFLA)	ساختار ساده	مستعد همگرایی زودرس و با افزایش تکرار سریعاً تنوع جمعیت از بین می‌رود
	نیاز به حافظ ذخیره سازی کم	
Krill (KHA) Herd الگوریتم	وجود پارامترهای ثابت در محاسبه و قادر به دستیابی بهینه در زمانی کوتاه (یعنی چند ثانیه)	نیاز به تنظیم پارامتر براساس ساختار مسئله، بدلیل ورودی‌های مسئله ممکن است در بهینه محلی گیر کند
مدل بهینه‌سازی مبتنی بر مدل آنفولانزای خوکی (SIMBO)	قادر به حل مسائل چند حالتی با زمان محاسباتی کوتاه و دقت بالا	تعداد تکرار زیاد و همگرایی آهسته برای مسائل در مقیاس بزرگ
	اجرای ساده و توانایی شناسایی بهتر	
الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب تاب (Firefly)	بخش بندی خودکار تمام جمعیت در زیر گروه‌ها قابلیت سروکار داشتن با بهینه‌سازی چند کیفیتی تنوع در راه حل‌ها	به دام افتادن در چند حالت مطلوب محلی ۲- به دلیل ثابت بودن پارامترها قادر به تغییر در لحظه نمی‌باشد ۳- قادر به حفظ و یادآوری بهترین موقعیت نمی‌باشد.
الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی (BBO)	هر مسئله که قابل فرموله شدن باشد را می‌تواند حل کند.	محاسبات آن خیلی زمان بر است. ممکن است مسئله‌ای را نتواند فرموله کند یا به سختی انجام شود.

- تولید جمعیت اولیه تصادفی، این روش اشکالات زیادی از جمله احتمال ناموجه بودن بیشتر جواب‌ها را دارد.
- تولید جمعیت اولیه با استفاده از روش ابتکاری یا فراابتکاری دیگر [15].
راه‌های مقابله با جواب‌های ناموجه:
- ممکن است هنگام تولید جواب‌های اولیه و یا بعد از استفاده از عملگرهای تقاطع و یا جهش جواب‌های حاصل ناموجه باشند. در صورت وقوع چنین رخدادی، یکی از کارهای زیر را می‌توان انجام داد:
 - از ترمیم و اصلاح چنین جواب‌های نشدنی صرف‌نظر کنیم و مجدداً آنقدر جواب تصادفی ایجاد کنیم که جمعیت اولیه به تعداد Popsiz برسد (یعنی جواب‌های ناموجه تولید شده را حذف می‌کنیم).
 - از ترمیم و اصلاح چنین جواب‌های ناموجهی صرف‌نظر کنیم، اما آنها را حذف نکنیم، بلکه هنگام محاسبه مقدار برازندگی برای چنین جواب‌هایی یک درجه سنگین متناسب با مقدار ناموجه بودنشان تعیین و از مقدار برازندگی آنها کم کنیم.
 - ترکیبی از موارد بالا، یعنی اگر ممکن است طیف متنوعی از موارد ناموجه تولید کنند، آنهایی را که ساده‌تر و سریع‌تر اصلاح پذیرند، ترمیم کنیم و درباره سایر آنها یا از مکانیسم جریمه‌گذاری استفاده کنیم و یا اینکه آنها را حذف کنیم و مجدداً به جای آنها جواب جدید تولید کنیم.
- تفاوت الگوریتم ژنتیک با سایر روش‌های بهینه‌سازی:
- الگوریتم ژنتیک به جای استفاده از اطلاعات جانبی، از اطلاعات موجود در خود تابع هدف برای پیشبرد مراحل جستجو استفاده می‌کند به عبارت دیگر از اطلاعات دست اول، یعنی تابع پرازش، استفاده می‌کند.
- الگوریتم ژنتیک برای محاسبه مقادیر تابع هدف (بجای استفاده از اطلاعات خود متغیرها) از اطلاعات کدبندی شده استفاده می‌کند.
- الگوریتم ژنتیک در یک لحظه به جای کنترل یک نقطه، نقاط بسیاری را برای یافتن نقطه بهینه کنترل می‌کند و در واقع حل مسئله را به جای یک نقطه منفرد با مجموعه ای از نقاط موجه جلو می‌برد.
- الگوریتم ژنتیک از قوانین احتمالی به جای قوانین قطعی، در حرکت از یک جمعیت از جوابها به جمعیت بعدی استفاده می‌کند.

شکل ۳-۶ فلوجارت محاسباتی الگوریتم ژنتیک را نمایش می دهد.

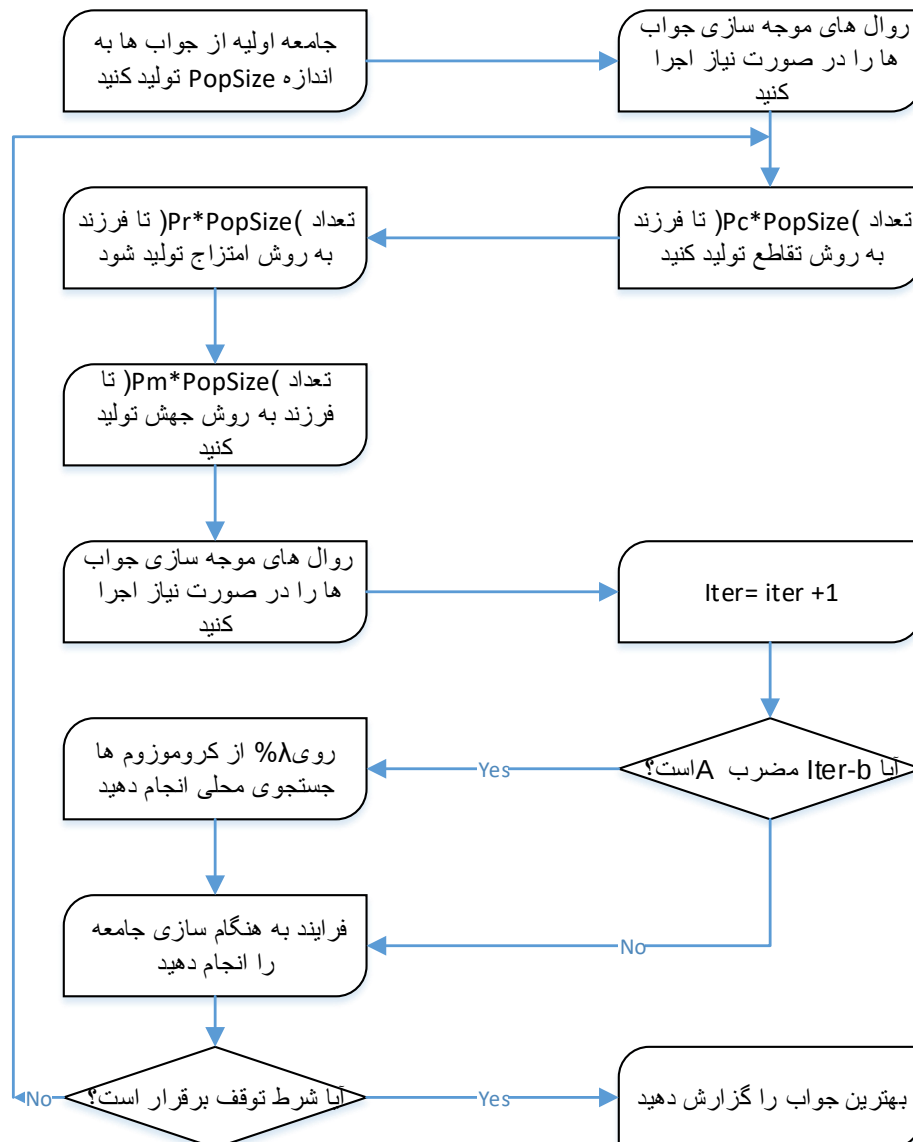
۶-۲-۶ بهینه‌سازی ازدحام ذرات PSO

الگوریتم PSO یک الگوریتم جستجوی اجتماعی‌ست که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان مدل شده است. در ابتدا این الگوریتم به منظور کشف الگوهای حاکم بر پرواز همزمان پرندگان و تغییر ناگهانی مسیر آنها و تغییر شکل بهینه‌ی دسته به کار گرفته شده است. در PSO، ذرات در فضای جستجو جاری می‌شوند. تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تاثیر تجربه و دانش خودشان و همسایگانشان است. بنابراین موقعیت دیگر ذرات روی چگونگی جستجوی یک ذره اثر می‌گذارد. نتیجه‌ی مدل‌سازی این رفتار اجتماعی فرایند جستجویی است که ذرات به سمت نواحی موفق میل می‌کنند. ذرات از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش بدست آمده به سمت بهترین همسایگان خود می‌روند [16]. شکل ۴-۶ مراحل اجرایی روش PSO را نمایش می دهد.

۳-۶- روش‌های خوشه بندی

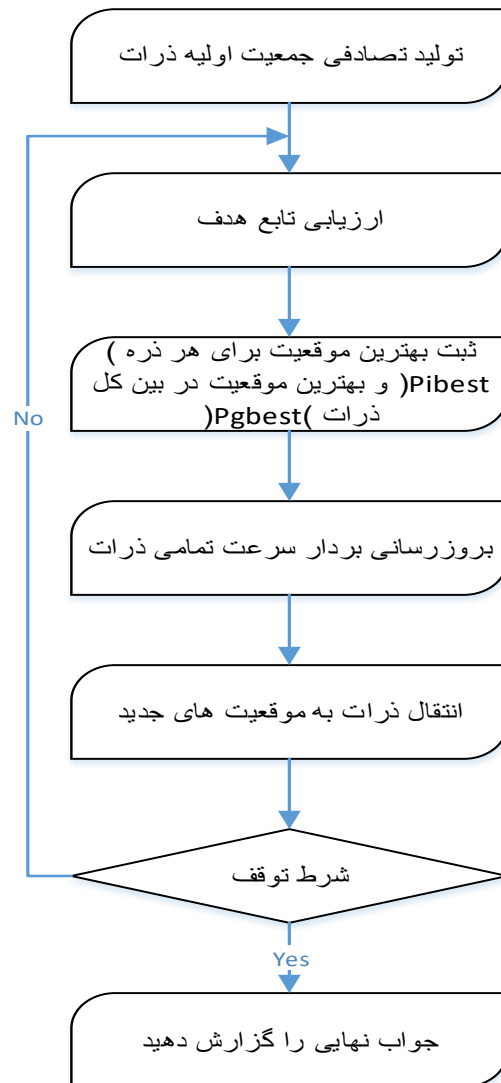
۱-۳-۶ مقدمه

در حل مسأله برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی، بدلیل وجود تعداد بسیار زیاد چاه با توزیع جغرافیایی تصادفی و دیمانند متفاوت و همچنین برای بدست آوردن نتیجه بهتر و انتخاب بهینه نوع منبع تامین توان



شکل ۲-۶: فلوچارت الگوریتم ژنتیک

نیاز به دسته چاه‌های مختلف، یکی از ابزارهای داده کاوی مهم در این پروژه روش‌های خوشه‌بندی چاه‌ها (بارهای الکترو پمپ) بر اساس یک ویژگی خاص مورد نظر طراح می‌باشد. اساساً خوشه بندی با اهداف مختلفی می‌تواند انجام شود که می‌تواند بر اساس تراکم (چگالی) یا انرژی مصرفی مد نظر می‌باشد. روش‌های خوشه بندی مختلفی ارائه شده است که از می‌توان جمله روش‌های خوشه بندی تفکیکی، سلسله مراتبی، مبتنی بر تراکم، مبتنی بر شبکه، مبتنی بر مدل که جز گروه خوشه بندی سخت هستند و فازی که به مفهوم خوشه بندی نرم است، را نام برد. در این بخش انواع روش‌ها با هم مقایسه شده، مزایا و معایب هر یک عنوان می‌شود.



شکل ۳-۶: فلوچارت الگوریتم PSO

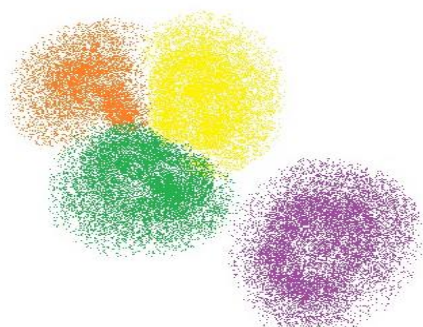
۶-۳-۲ خوشه بندی تفکیکی^۱

در این روش، براساس n مشاهده و k گروه، عملیات خوشه‌بندی انجام می‌شود. به این ترتیب تعداد خوشه‌ها یا گروه‌ها از قبل در این الگوریتم مشخص است. با طی مراحل خوشه‌بندی تفکیکی، هر شیء فقط و فقط به یک خوشه تعلق خواهد داشت و هیچ خوشه‌ای بدون عضو باقی نمی‌ماند. هر چند این قانون‌ها زمانی که از روش خوشه‌بندی فازی^۲ استفاده می‌شود، تغییر کرده و برای نشان دادن تعلق هر شیء به هر خوشه از درجه عضویت استفاده می‌شود. معمولاً الگوریتم‌های تفکیکی بر مبنای بهینه‌سازی یک تابع هدف عمل می‌کنند. این کار براساس تکرار مراحل از الگوریتم‌های بهینه‌سازی انجام می‌شود. در نتیجه الگوریتم‌های مختلفی بر این مبنا ایجاد شده‌اند. برای مثال الگوریتم میانگین (K-means) با k تعیین تابع هدف براساس میانگین فاصله اعضای هر خوشه نسبت

^۱ Partitioning Clustering

^۲ Fuzzy Clustering

به میانگینشان، عمل می‌کند و به شکلی اشیاء را در خوشه‌ها قرار می‌دهد تا میانگین مجموع مربعات فاصله‌ها در خوشه‌ها، کمترین مقدار را داشته باشد. به این ترتیب با استفاده از روش‌های مختلف بهینه‌سازی می‌توان به جواب مناسب برای خوشه‌بندی تفکیکی رسید. ولی از آنجایی که تعداد خوشه‌ها یا مراکز اولیه باید به الگوریتم داده شود، ممکن است با تغییر نقاط اولیه نتایج متفاوتی در خوشه‌بندی بدست آید. در میان الگوریتم‌های خوشه‌بندی تفکیکی، الگوریتم میانگین k که توسط مک کوئین (McQueen) جامعه شناس و ریاضیدان در سال ۱۹۶۵ ابداع شد از محبوبیت خاصی برخوردار است. در شکل ۴-۵ نتایج ایجاد ۴ خوشه روی داده‌های دو بعدی به کمک الگوریتم میانگین k نمایش داده شده است. داشتن حالت کروی برای داده‌ها به ایجاد خوشه‌های مناسب در الگوریتم میانگین k کمک می‌کند.



شکل ۴-۶: خوشه‌بندی میانگین k برای داده‌های دو بعدی

۳-۳-۶ خوشه بندی سلسله مراتبی^۱

برعکس خوشه‌بندی تفکیکی که اشیاء را در گروه‌های مجزا تقسیم می‌کند، خوشه‌بندی سلسله مراتبی در هر سطح از فاصله، نتیجه خوشه‌بندی را نشان می‌دهد. این سطوح به صورت سلسله مراتبی^۲ هستند. برای نمایش نتایج خوشه‌بندی به صورت سلسله مراتبی از درختواره^۳ استفاده می‌شود. این شیوه، روشی موثر برای نمایش نتایج خوشه‌بندی سلسله مراتبی است. در الگوریتم خوشه‌بندی سلسله مراتبی معمولاً با کوچکترین خوشه‌ها شروع می‌کنیم. به این معنی که در ابتدا هر مقدار بیانگر یک خوشه است. سپس دو مقداری که بیشترین شباهت (کمترین فاصله) را دارند با یکدیگر ادغام شده و یک خوشه جدید می‌سازند. بعد از این مرحله، ممکن است دو مقدار یا یک مقدار با یک خوشه یا حتی دو خوشه با یکدیگر ادغام شده و خوشه جدیدی ایجاد کنند. این عملیات با رسیدن به بزرگترین خوشه که از همه مقادارها تشکیل یافته پایان می‌یابد. به این ترتیب اگر n مقدار داشته باشیم در مرحله اول تعداد خوشه‌ها برابر با n است و در آخرین مرحله یک خوشه باقی خواهد ماند. معمولاً به این شیوه خوشه‌بندی سلسله مراتبی، روش تجمیعی^۴ می‌گویند. برعکس اگر عمل خوشه‌بندی سلسله مراتبی به شکلی باشد که با بزرگترین خوشه، عملیات خوشه‌بندی شروع شده و با تقسیم هر خوشه به خوشه‌های کوچکتر ادامه پیدا کند، به آن خوشه‌بندی سلسله مراتبی تقسیمی^۵ می‌گویند. در آخرین مرحله این روش، هر مقدار تشکیل یک خوشه را

¹ Hirearchical Clustering

² Hirearchy

³ Dendonogram

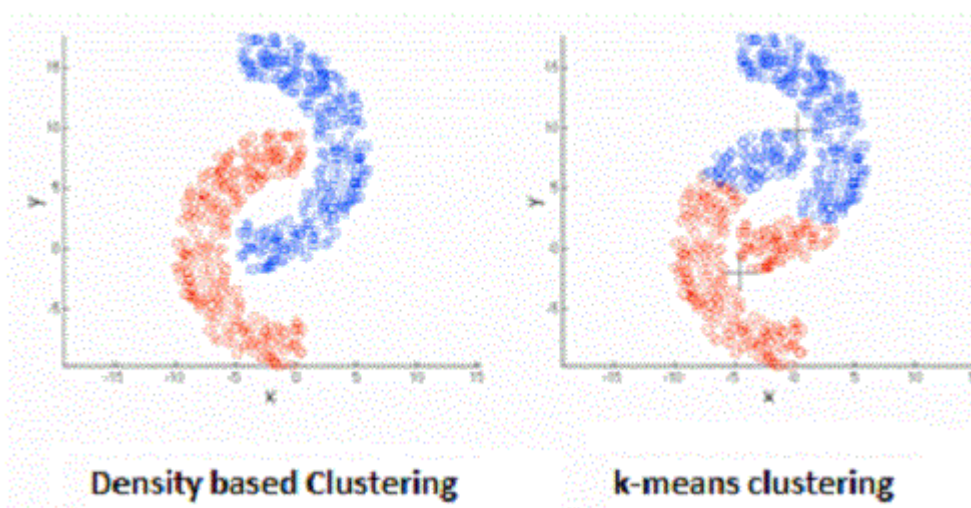
⁴ Agglolative

⁵ Divisive Hirearchical Clustering

می‌دهد پس n خوشه خواهیم داشت. هر چند شیوه نمایش خوشه‌بندی سلسله مراتبی تقسیمی نیز توسط درختواره انجام می‌شود ولی از آنجایی که محدودیت‌هایی برای تقسیم یک خوشه به زیر خوشه‌های دیگر وجود دارد، روش تقسیمی کمتر به کار می‌رود. در شیوه خوشه‌بندی سلسله مراتبی، عمل برچسب گذاری در طی مراحل خوشه‌بندی اصلاح پذیر نیست. به این معنی که وقتی عضوی درون یک خوشه قرار گرفت هرگز از آن خوشه خارج نمی‌شود. از الگوریتم‌های معروف برای خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمیعی می‌توان به AGNES و برای تقسیمی به DIANA اشاره کرد.

۴-۳-۶ خوشه بندی مبتنی بر تراکم^۱

روش‌های خوشه‌بندی تفکیکی قادر به تشخیص خوشه‌هایی کروی شکل هستند. به این معنی که برای تشخیص خوشه‌ها از مجموعه داده‌هایی به شکل‌های کوژ^۲ یا محدب خوب عمل می‌کنند. در عوض برای تشخیص خوشه‌ها برای مجموعه داده‌های کاو^۳ یا مقعر دچار خطا می‌شوند. به تصویر ۵-۶ توجه کنید که بیانگر شکل‌های کاو است.



شکل ۵-۶: مقایسه نتایج خوشه‌بندی تفکیکی با روش چگالی

همانطور که دیده می‌شود میانگین هر دو خوشه در روش k-means در محلی قرار گرفته است که مربوط به خوشه دیگر است. در حالی که خوشه‌بندی بر مبنای چگالی به خوبی نقاط را در خوشه‌های درست قرار داده است. در الگوریتم‌ها خوشه‌بندی بر مبنای چگالی، نقاط با تراکم زیاد شناسایی شده و در یک خوشه قرار می‌گیرند. از الگوریتم‌های معروف در این زمینه می‌توان به DBSCAN اشاره کرد که در سال ۱۹۹۶ توسط استر (Ester) معرفی شد. این الگوریتم توانایی شناسایی نقاط دورافتاده را داشته و می‌تواند تاثیر آن‌ها را در نتایج خوشه‌بندی از بین ببرد. مراحل خوشه‌بندی بر مبنای چگالی به این ترتیب است که ابتدا یک نقطه را به صورت اختیاری انتخاب کرده و نقاط قابل دسترس برای آن پیدا می‌شود. اگر X یک نقطه مرکزی باشد (نقطه‌ای که درون خوشه قرار داشته

¹ Density Based Clustering

² Convex

³ Concave

باشد)، خوشه را تشکیل می‌دهد ولی اگر X نقطه‌ای مرزی باشد (نقطه‌ای که در لبه‌های خوشه قرار داشته باشد) آنگاه هیچ نقطه قابل دسترسی برای X وجود نخواهد داشت و الگوریتم از نقطه‌ای دیگری ادامه پیدا می‌کند. در مراحل خوشه‌بندی ممکن است دو خوشه که به یکدیگر نزدیک باشند، ادغام شوند. فاصله بین دو خوشه برحسب حداقل فاصله بین اعضای دو خوشه (پیوند تکی) سنجیده می‌شود.

۵-۳-۶ خوشه‌بندی مبتنی بر مدل^۱

در روش‌های پیشین، فرضیاتی مبنی بر وجود یک توزیع آماری برای داده‌ها وجود نداشت. در روش خوشه‌بندی بر مبنای مدل یک توزیع آماری برای داده‌ها فرض می‌شود. هدف در اجرای خوشه‌بندی بر مبنای مدل، برآورد پارامترهای توزیع آماری به همراه متغیر پنهانی است که به عنوان برچسب خوشه‌ها در مدل معرفی شده است. انتخاب‌های مختلفی برای ماتریس واریانس-کوواریانس وجود دارد. یکی از این حالت‌ها در نظر گرفتن استقلال و یکسان بودن واریانس برای همه توزیع‌ها است. همچنین می‌توان واریانس هر توزیع را متفاوت از توزیع‌های دیگر در نظر گرفت و بدون شرط استقلال عمل کرد. در حالت اول پیچیدگی مدل و تعداد پارامترهای برآورد شده کم و در حالت دوم پیچیدگی مدل و تعداد پارامترهای برآورده شده زیاد خواهد بود. برای برآورد پارامترهای چنین مدلی باید از تابع درست‌نمایی استفاده کرد و به کمک مشتق مقدار حداکثر را برای این تابع بدست آورد. با این کار پارامترهای مدل نیز برآورد می‌شوند. ولی با توجه به پیچیدگی تابع درست‌نمایی می‌توان از روش‌هایی ساده و سریع‌تر نیز کمک گرفت. یکی از این روش‌ها استفاده از الگوریتم EM^۲ است. در الگوریتم EM که براساس متغیر پنهان عمل می‌کند، می‌توان به حداکثر مقدار تابع درست‌نمایی همراه با برآورد پارامترها دست یافت [18].

۶-۳-۶ مقایسه خوشه‌بندی سخت و خوشه‌بندی نرم (فازی)

در خوشه‌بندی سخت، داده‌ها به خوشه‌ها تقسیم می‌شوند به گونه‌ای که هر یک از داده‌ها متعلق به یک خوشه واحد است، در حالی که در خوشه‌بندی نرم که به خوشه‌بندی فازی نیز شناخته می‌شود، به گونه‌ای است که عناصر داده براساس میزان عضویت خود می‌توانند بیش از یک خوشه داشته باشند. روش فازی C-Means یکی از محبوب‌ترین تکنیک‌های خوشه‌بندی فازی است و از الگوریتم‌های خوشه‌بندی معمولی کارآمدتر است. انتخاب یک الگوریتم خوشه‌بندی خاص فقط به نوع داده‌ها و هدف خوشه‌بندی بستگی دارد. الگوریتم خوشه‌بندی سخت مانند الگوریتم K-Means برای خوشه‌بندی انحصاری مناسب است. از طرف دیگر، الگوریتم خوشه‌بندی فازی مانند FCM برای کار با همپوشانی طبقه‌بندی مناسب است. در برخی شرایط، ما مستقیماً نمی‌توانیم در نظر بگیریم که داده‌ها فقط به یک خوشه تعلق دارند. ممکن است برخی از خصوصیات داده‌ها متعلق به بیش از یک خوشه باشد. برای این منظور، ما معمولاً خوشه‌بندی مبتنی بر ارزش عضویت مانند FCM را ترجیح می‌دهیم. با توجه به مقایسه انجام شده بین الگوریتم K-Means به نمایندگی از الگوریتم خوشه‌بندی سخت و FCM به نمایندگی از الگوریتم خوشه‌بندی فازی در مرجع [18] در می‌یابیم که زمان محاسباتی الگوریتم K-Means از الگوریتم FCM کمتر است. از آنجا که الگوریتم خوشه‌بندی فازی محاسبات مبتنی بر منطق فازی بسیار بیشتری را شامل می‌شود، بنابراین زمان محاسباتی آن به صورت مقایسه‌ای افزایش می‌یابد. الگوریتم FCM یکی از محبوب‌ترین تکنیک‌های

¹ Model Based Clustering

² Expectation Maximization

خوشه بندی فازی است که نقاط داده دارای ارزش موقعیت مکانی خود نسبت به مراکز خوشه هستند که به طور مکرر به روز می‌شوند [19].

جدول ۴-۶: مقایسه الگوریتم‌های مختلف روش خوشه بندی فازی

عیب	مزیت	
به مقدار دهی اولیه بسیار حساس است، ممکن است منجر به تولید خوشه های تصادفی شود زیرا ستون ها و ردیف های ماتریس نوعی از یکدیگر مستقل هستند، ممکن است منجر به خوشه های تصادفی شود.	خوشه بندی نمونه های داده با حضور نقاط دور را امکان پذیر می‌کند	PCM
محدودیت اینکه مجموع ردیف باید با مواردی یکسان باشد که برای مجموعه داده‌های بزرگ ممکن است مشکل ساز باشد.	ترکیبی از PCM و فازی FCM است و از بروز مشکلات مختلف PCM و FCM جلوگیری می‌کند، FPCM امکان غلبه بر مشکل خوشه های تصادفی PCM را فراهم نمی‌کنند	FPCM
	به غلبه بر خوشه تصادفی PCM کمک می‌کند، با از بین بردن محدودیت های جمع ردیف، FPCM را بهبود می‌بخشد	PFCM

جدول ۵-۶: مقایسه روش های مختلف خوشه‌بندی سلسله مراتبی، مبتنی بر تراکم، تفکیکی و فازی

معایب	مزایا	روش‌های خوشه بندی
عدم امکان اصلاحات پس از تقسیم بندی اولیه، برای داده‌های بزرگ بسیار گران است، کاهش اثربخشی در فضاهای ابعاد بالا	انعطاف پذیری بالا، در مسائلی که پیوسته نیست هم قابل استفاده است	سلسله مراتبی
حساسیت بالا به تنظیم پارامترهای ورودی، حساس به خوشه بندی،	به کشف خوشه هایی با اندازه های مختلف کمک می‌کند، در واقع نیازی به دانستن تعداد خوشه ها از قبل ندارد، هنگامی که داده‌ها با فاصله زیاد هستند مفید است، نتیجه مشابه الگوریتم مینگین K را می‌دهد	مبتنی بر تراکم
تعداد خوشه ها باید در ابتدا مشخص شود، گرافتادن متعدد در بهینه محلی،	نسبتا ساده است، مناسب داده‌هایی با خوشه های متراکم که به خوبی از هم جدا شده باشند، روش محاسباتی سریع	تفکیکی

الگوریتم ماهیت پیچیده ای دارد	نتیجه بسیار خوبی در دنیای واقعی ارائه می‌دهد، این الگوریتم در مواردی استفاده می‌شود که اندازه مجموعه داده‌ها کوچک و یا نتایج بدست آمده راضی کننده نباشد.	فازی
-------------------------------	--	------

خوشه بندی C به معنای فازی شامل دو مرحله اساسی است: محاسبه مراکز خوشه‌ای و اختصاص امتیاز به این مراکز با استفاده از شکلی از فاصله اقلیدسی، به گونه‌ای که روند آن به طور مداوم تکرار شود تا اینکه مراکز خوشه تثبیت شود [20]. الگوریتم FCM روشی برای خوشه‌بندی فراهم می‌کند که یک داده را قادر می‌سازد به دو یا چند خوشه تعلق داشته باشد و این طرح روش اغلب در برنامه‌های تشخیص الگوی استفاده می‌شود [21]. جداول ۳-۶ و ۴-۶ مقایسه انواع روشهای خوشه بندی را ارائه می‌دهد [22]. روش فازی برای داده‌های کوچک نتیجه بهتری می‌دهد. مفهوم داده کوچک در مقابل مبحث بیگ دیتا مطرح می‌شود. به عنوان مثال در یک بررسی تعداد آزمایش تجربی^۱ ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ در نظر گرفته شده است که با روش فازی به عنوان بهترین روش خوشه بندی حاصل شده است.

۴-۶- نتیجه گیری

با توجه به بررسی های انجام گرفته و مطالب مطرح شده در این بخش بدلیل اینکه سهولت اتصال به اکسل یکی از پارامترهای مهم در انتخاب نرم افزار است که نرم افزارهای LEAP و RETScreen هر دو براحتی به اکسل متصل می‌شوند یا امکان ورود داده وجود دارد. همچنین از بین نرم افزار های فوق نرم افزار RETScreen نرم افزار حسابداری و نرم افزار MESSAGE نرم افزار بهینه سازی در حالیکه LEAP علاوه بر حسابداری بر مسئله بهینه سازی و شبیه سازی هم تمرکز کرده است. همچنین خروجی ها را بصورت جدول و نمودار در اکسل یا پاورپوینت نمایش می‌دهد. از این رو می توان نتیجه گرفت که نرم افزار LEAP بهترین گزینه با توجه به نیازهای پروژه برق رسانی به چاه های کشاورزی است.

- مقایسه صورت گرفته بین الگوریتم‌های مختلف در این بخش، الگوریتم ژنتیک بدلیل توانایی این الگوریتم حل مسائل با راه حل های متعدد، سادگی درک و شبیه سازی آن، سادگی اجرای آن با استفاده از جعبه ابزار matlab همچنین الگوریتم ژنتیک به جای استفاده از اطلاعات جانبی، از اطلاعات موجود در خود تابع هدف برای پیشبرد مراحل جستجو استفاده می‌کند به عبارت دیگر از اطلاعات دست اول، یعنی تابع پرازش، استفاده می‌کند. الگوریتم ژنتیک در یک لحظه به جای کنترل یک نقطه، نقاط بسیاری را برای یافتن نقطه بهینه کنترل می‌کند و در واقع حل مسئله را به جای یک نقطه منفرد با مجموعه ای از نقاط موجه جلو می‌برد. الگوریتم ژنتیک از قوانین احتمالی به جای قوانین قطعی، در حرکت از یک جمعیت از جوابها به جمعیت بعدی استفاده می‌کند. و PSO بدلیل اجرای سریع، کم هزینه بودن، سازگاری زیاد و انعطاف پذیری برای ترکیب با سایر الگوریتم‌ها به دلیل سادگی محاسباتی، سرعت همگرایی بالا، انعطاف‌پذیری بهتر در برابر مشکل بهینه محلی، راحتی پیاده‌سازی و اجرا بهترین گزینه برای انتخاب نوع، تعداد و مکان مناسب منابع تامین انرژی در پروژه چاه‌های کشاورزی هستند.

¹ Experimental

- با توجه به بررسی‌های صورت گرفته با توجه به توضیحات مطرح شده در بخش مقایسه خوشه بندی سخت و نرم می‌توان نتیجه گرفت که روش فازی برای مبحث خوشه بندی پروژه چاه‌های کشاورزی بدلیل اینکه در مسائل طبیعی کارآمدترین روش است، بهترین گزینه محسوب می‌شود که این روش شامل الگوریتم‌های مختلف PCM، FPCM و PFCM است که از این بین الگوریتم PFCM مناسب‌ترین روش برای پروژه مذکور است زیرا به غلبه بر خوشه تصادفی PCM کمک می‌کند، با از بین بردن محدودیت‌های جمع ردیف، FPCM را بهبود می‌بخشد.

۷- فصل هفتم: مطالعات امکان‌سنجی و خوشه‌بندی بهینه اقتصادی در مقیاس پایلوت

۱-۷-مقدمه

پتانسیل سنجی و تعیین ساختگاه های احداث مولد های خورشیدی ، بادی ، تولید پراکنده در فصل چهارم (مرحله اول پروژه) انجام گردید. هدف از این مطالعات ارائه راهکارهای تامین منابع انرژی (بر اساس روشهای خورشیدی، بادی ، تولید پراکنده و اتصال به شبکه) با در نظر گرفتن مشخصات مصرفی چاه های کشاورزی و مبتنی بر پایگاه داده گردآوری شده از پایوت مورد مطالعه در نرم افزار ARC-GIS بوده است. در نهایت با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره، نقاط مستعد جهت احداث نیروگاه های فوق الذکر در محدوده شهر جیفرت شناسایی و بصورت یک نقشه رتبه بندی شده برای پیکسل های شناسایی شده بر روی نقشه جغرافیایی تهیه گردید. با توجه به اینکه برخی داده های ورودی مانند سطح تابش ، سرعت باد ، ساعت کارکرد و... دارای عدم قطعیت می باشند، در فصل پنجم نحوه مدلسازی عدم قطعیت این داده مورد ارزیابی قرار گرفت.

در ادامه این تحقیق، مراحل خوشه بندی و برنامه ریزی بهینه برای پایلوت مورد مطالعه مورد بررسی قرار می گیرد. در این مرحله هدف انتخاب منبع تامین توان به نحوی هست که هم بهترین جای ممکن برای احداث نیروگاه حاصل شود و هم هزینه ی احداث خطوط و هزینه های مربوطه به کمترین میزان کاهش پیدا کنند. تابع هدف مد نظر برای بهینه سازی این مساله می تواند یکی از شاخص های متداول در ارزیابی اقتصادی پروژه ها شامل ارزش خالص فعلی^۱، نرخ بازده داخلی^۲، نرخ بازگشت سرمایه^۳ و دوره بازگشت سرمایه^۴ انتخاب گردد که در ادامه به آن خواهیم پرداخت.

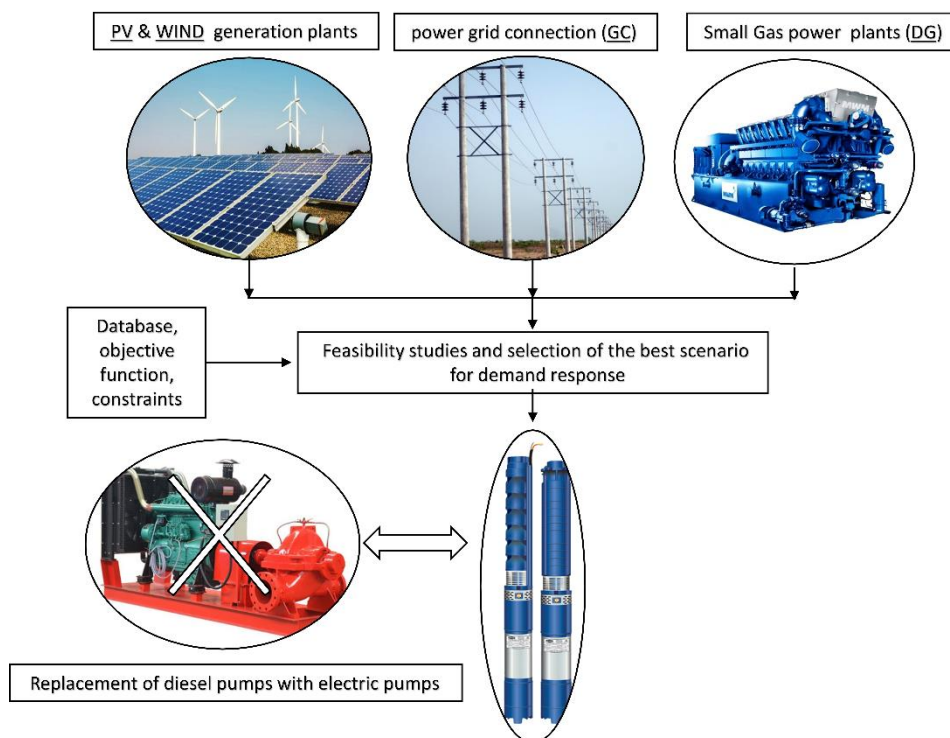
بر این اساس با حل این مساله تعداد خوشه ها، محدوده شعاعی که چاه ها در آن قرار دارند (کدام چاه در خوشه باشد و کدام چاه در خوشه نباشد) ؛ مکان احداث نیروگاه (که باید در داخل محدوده ی معرفی شده از قبل قرار داشته باشد) مشخص می شود. برنامه ریزی بهینه به گونه ایی انجام می شود که در نهایت مشخص گردد چه تعداد خوشه خواهیم داشت و کدام چاه ها در داخل آن خوشه قرار می گیرند و هر یک از این خوشه ها با کدامی از راهکارهای ۴ گانه تامین انرژی شوند تا بهترین نتایج حاصل گردد.

¹ - Net Present Value(NPV)

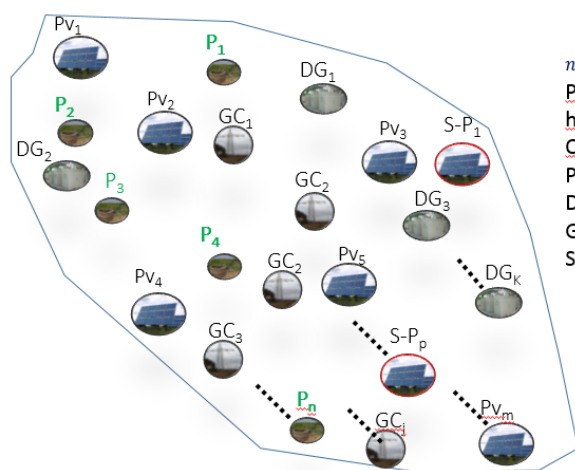
² -Internal Rate of Return(IRR)

³ - Return On Investment(ROI)

⁴ - Payback Period (PP)



شکل ۱-۷: راهکارهای تامین انرژی در طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی



کشاورزی های چاه تعداد: n

دیماند هر چاه: P_n

عمق هر چاه: h_n

دبی هر چاه: Q_n

ساختمان های ای احداث نیروگاه خورشیدی: $PV_1, \dots, P_{V_m}$

ساختمان های ای احداث نیروگاه گازی: $DG_1, \dots, DG_K$

نقاط قابل اتصال به شبکه سراسری: $GC_1, \dots, GC_i$

احداث واحد سولار پمپ: $S-P_1, \dots, S-P_p$

داده های ورودی:

- ❖ موقعیت و دیماند چاه های کشاورزی
- ❖ ساعت کارکرد چاه ها
- ❖ نقاط پرتانسیل احداث نیروگاه خورشیدی
- ❖ نقاط پرتانسیل احداث نیروگاه بادی
- ❖ نقاط پرتانسیل احداث نیروگاه گازی مقیاس کوچک
- ❖ نقشه شبکه توزیع
- ❖ نقشه توپوگرافی منطقه جغرافیایی
- ❖ قیود زیست محیطی
- ❖ قیود اقتصادی و سرمایه گذاری
- ❖ ظرفیت خطوط

شکل ۲-۷: مشخصات حل بهینه مسئله برق رسانی به چاه های کشاورزی

شکل ۱-۷ و ۲-۷ شمای کلی مسئله برق رسانی به چاه های کشاورزی و تعریف مسئله سناریو سازی بهینه جهت توجیه پذیری اقتصادی سرمایه گذاری در این طرح را نمایش می دهد. بر این اساس اقدامات انجام گرفته در مراحل بعدی پروژه در راستای دستیابی به یک بسته نرم افزاری جهت تعیین سناریوی بهینه برق رسانی در قالب بسته های سرمایه گذاری می باشد. از جمله اهداف مورد انتظار از این بسته نرم افزاری عبارتند از:

- تعیین بهترین حالت خوشه بندی چاه های کشاورزی (بر اساس تابع هزینه تعیین شده)

- مکان یابی بهینه مولد های تجدید پذیر و منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن قیود حاکم و در نظر گرفتن عدم قطعیت های موجود
 - تعیین بهترین سناریوی برق رسانی به چاه های کشاورزی موجود در هر کلاستر (بر اساس یکی از منابع تامین انرژی پیشنهادی در مصوبات اجرایی این طرح)
 - تحلیل اقتصادی و تعیین شاخص های اقتصادی و ارائه بسته های سرمایه گذاری
- پس از حل مساله، داده های خروجی شامل مشخصات فنی و اقتصادی به شرح زیر می باشد:

(۱) خوشه های چاه ها شامل:

- ۱-۱- شماره ی چاه های داخل خوشه
- ۱-۲- ظرفیت چاه ها
- ۱-۳- میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh
- ۱-۴- هزینه مورد نیاز برای ترانس
- ۱-۵- هزینه مورد نیاز برای خط کشی داخل خوشه
- ۱-۶- شاخص های اقتصادی برق رسانی این خوشه شامل NPV, ROI, IRR, PBP
- ۱-۷- برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)

(۲) نیروگاه های منتخب شامل

- ۲-۱- مختصات احداث نیروگاه
- ۲-۲- نوع نیروگاه
- ۲-۳- ظرفیت نیروگاه

۲-۴- هزینه احداث و طول خطوط برق رسانی از نیروگاه به خوشه

در این پروژه مشخصات چاه ها به صورت طول و عرض جغرافیایی، ظرفیت چاه ها، میزان ساعات کارکرد چاه در شبانه روز، نقاط پرتانسیت پیشنهادی برای احداث نیروگاه خورشیدی، بادی و DG و اتصال به شبکه به صورت طول و عرض جغرافیایی موجود است. هزینه های احداث هر یک از سناریو ها با توجه به ظرفیت، هزینه ترانس، هزینه احداث خطوط و ساعت کارکرد مشخص خواهد شد. برای هر سناریو هزینه هایی وجود دارد که باید در محاسبات اقتصادی مربوطه مد نظر قرار بگیرند.

در ادامه مطالعات امکان سنجی و برنامه ریزی بهینه برق رسانی به چاه های کشاورزی، مراحل پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی جهت خوشه بندی و برنامه ریزی بهینه مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرد. برای این منظور ابتدا روش خوشه بندی و سناریو سازی برای پایلوت ۱۳۶ چاه در محدوده سیرجان انجام می گیرد. در گام بعدی الگوریتم بهینه سازی پیشنهادی برای پایلوت جیرفت انجام می گردد.

۲-۷- خوشه بندی و سناریو سازی برق رسانی به چاه های کشاورزی پایلوت سیرجان

در این بخش مطالعات امکان سنجی و سناریو سازی برای یک نمونه پایلوت با ۱۳۶ چاه در محدوده سیرجان انجام گردیده است. به منظور مدلسازی و سناریو سازی ابتدا نیاز به داده هایی نظیر مختصات جغرافیایی چاه ها، ساعت کارکرد، دیماند مصرفی و مشخصات منابع تولید انرژی و ... می باشد. برای این منظور با استفاده از منابع زیر داده ها گردآوری شده است:

- مطالعات آزمایشی استان کرمان ویرایش نهایی سازمان برنامه بودجه استان کرمان

- نقشه راه انرژی اتاق بازرگانی صنایع و معادن استان کرمان

- سالنامه اماری سازمان برنامه بودجه استان کرمان

- اطلس خورشیدی و بادی کرمان جمع اوری شده توسط سازمان ساتبا

- اطلس خورشیدی از سایت solargis با استفاده از داده های ماهواره ای

موقعیت های جغرافیایی داده شده با فرمت های مختلفی ارائه می شوند. برای مثال موقعیت های داده شده برای چاه ها از نوع سامانه مختصات جهانی مرکاتور معکوس یا UTM بود و اطلاعات سایت های خورشیدی به صورت دستگاه مختصات جغرافیایی بود. برای مقایسه همه ی داده ها به دستگاه مختصات جغرافیایی برده شد. به این منظور از دو مبدل مختصات به صورت همزمان استفاده و نتایج جهت اطمینان مقایسه شده اند. ابتدا از طریق نرم افزار تبدیل مختصات دانشگاه سیدنی [1] و سپس نتایج با سایت دانشگاه ایالت مونتانا [2] مقایسه شده اند. برای اطمینان بیشتر اطلاعات ابتدا در فایل های اکسل جداگانه آورده شده و سپس به فرمت CSV¹ برده شد. این تبدیل با استفاده از توابع آماده نرم افزار اکسل قابل انجام می باشد. سپس با استفاده از قابلیت import در نرم افزار Google Earth Pro نتایج در نقشه ماهواره ای به نمایش در آمد و صحت آن بار دیگر مورد تایید قرار گرفت. با وارد کردن تصویری که سایت solargis به صورت رایگان در اختیار قرار میدهد نقشه ی اطلس خورشیدی ایران بر روی نقشه ی ایران مپ شده و با وارد شدن اطلاعات سایت های خورشیدی پیشنهادی توسط ساتبا مشاهده شد که این سایت ها با نقشه های خارجی مطابقت داشته و نقاط پیشنهادی در مکان های با بیشترین پتانسیل تولید انرژی می باشند. پس از اطمینان از درستی تبدیل مختصات، داده های خام به همراه سایر داده های توصیفی در نرم افزار مطلب خوانده می شود. ابتدا در نرم افزار مطلب با استفاده از روابط ۷-۱ تا ۷-۳، طول و عرض جغرافیایی محاسبه می گردد.

$$a = \sin^2 (\Delta\phi/2) + \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \sin^2 (\Delta\lambda/2) \quad (Y-1)$$

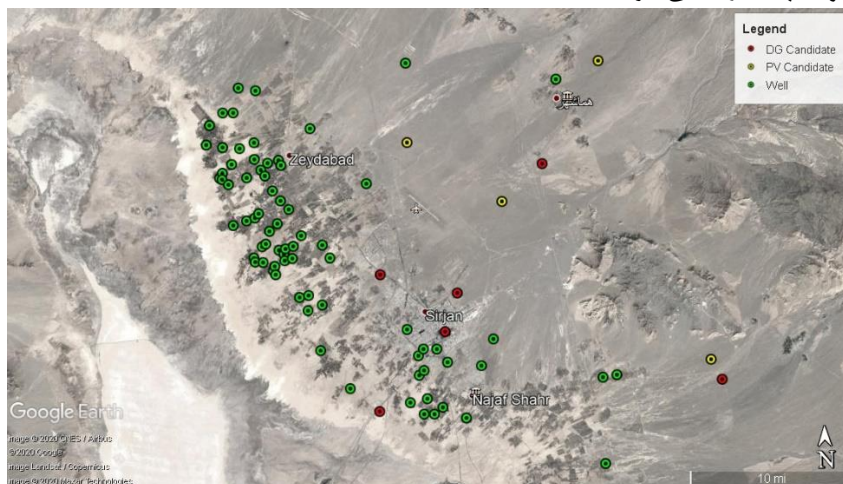
$$c = 2 \cdot \text{atan2} (\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (Y-2)$$

$$d = R \cdot c \quad (Y-3)$$

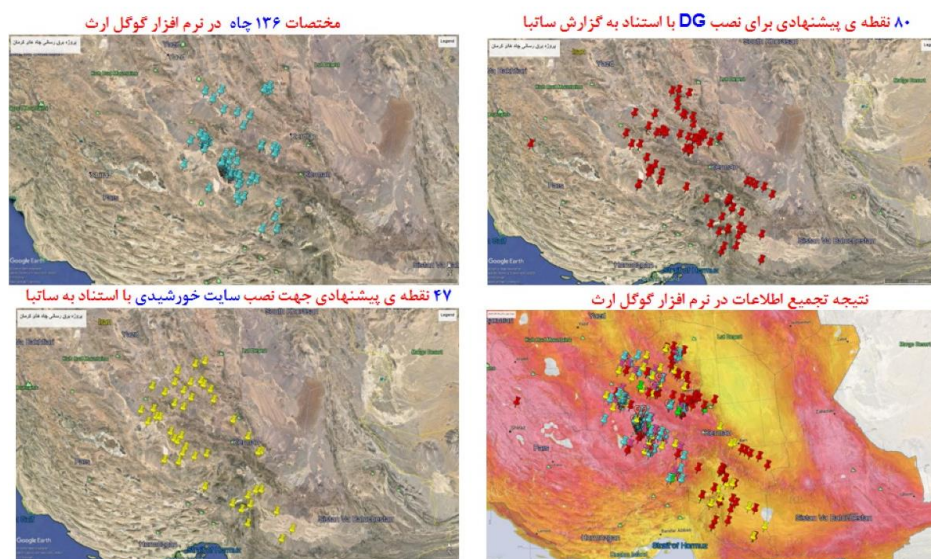
به این صورت که ϕ عرض جغرافیایی λ طول جغرافیایی و R شعاع زمین به طول ۶۳۷۱ کیلومتر است. در این روابط زوایا بر حسب رادیان می باشد. پس از محاسبه ی فواصل در مطلب برای حصول اطمینان از درستی نتایج، اعداد را با دو سایت مرکز ملی طوفان های فصلی آمریکا ([1] و [2]) مقایسه شده است. سپس نوبت به محاسبه ی فواصل چاه ها از منابع تولید پیشنهادی و یافتن کمترین فواصل می رسد. با استفاده از نرم افزار مطلب ابتدا فاصله ی همه ی چاه ها از همه ی منابع به صورت دو ماتریس ۱۳۶ سطر و ۸۰ ستون برای DG و ۱۳۶ سطر و ۴۷ ستون برای نیروگاه های خورشیدی محاسبه شده اند. با استفاده از این ماتریس ها و به وسیله نرم افزار مطلب کوتاه ترین فاصله برای هر چاه به هر منبع محاسبه و منابع نزدیک انتخاب می گردند. نتایج به صورت یک متغیر شامل نوع منبع Solar یا DG و مختصات آن ذخیره شد. سپس مختصات جغرافیایی این منابع استخراج و توسط نرم افزار گوگل ارث به نمایش در آمد. مطابق شکل های ۷-۳ و ۷-۴ در این نرم افزار نتایج مشاهده و بررسی گردید و

¹ - csv comma delimited

مشخص شد که نتایج با نقاط روی نقشه هم خوانی دارد. مراحل خوشه بندی و ارائه سناریوی بهینه برای برق رسانی به چاه های کشاورزی پایلوت مورد مطالعه در شکل ۷-۵ نمایش شده است. در گام اول چاه های کشاورزی با استفاده از روش خوشه بندی فازی به تعداد محدودی خوشه کاهش داده می شود. در گام دوم ماتریس کارایی تعریف می شود و در گام سوم درایه های ماتریس محاسبه می گردد. پس از تکمیل ماتریس کارایی ، سناریو های برتر انتخاب می گردد. در نهایت پس از تحلیل نتایج بدست آمده بسته های سرمایه گذاری پیشنهاد می گردد. در ادامه مراحل خوش بندی و نتایج مطالعات امکان سنجی و تعیین سناریوی بهینه ارائه می گردد.



شکل ۷-۳: نمایش موقعیت چاه های کشاورزی پایلوت سیرجان بر روی نقشه استان کرمان



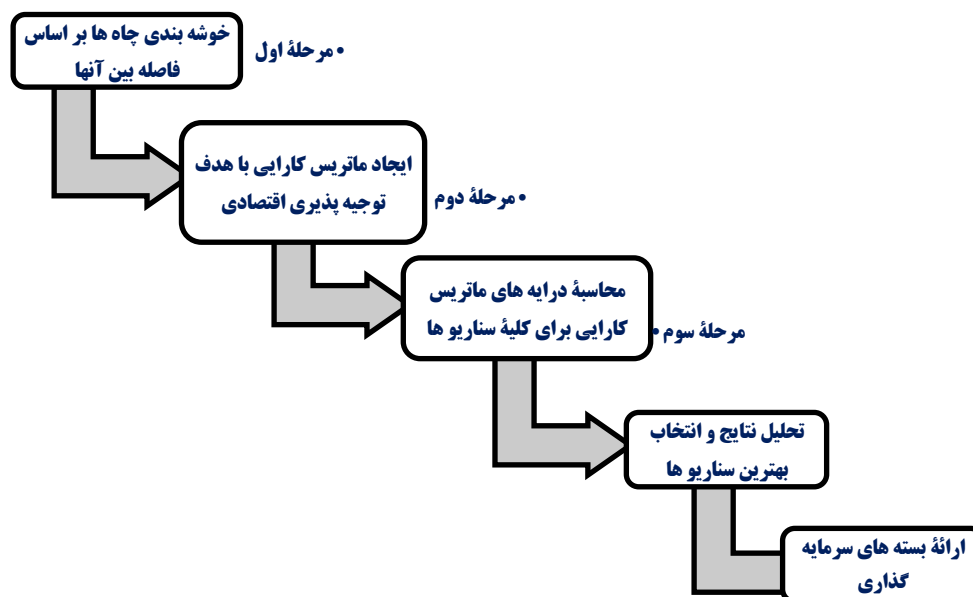
موقعیت نیروگاه های خورشیدی و نیروگاه های DG بر اساس گزارش پتانسیل سنجی ساتبا - بهار ۹۸

شکل ۷-۴: موقعیت مولد های خورشیدی و DG و نمایش همزمان آنها در کنار چاه های کشاورزی

۷-۲-۱ خوشه بندی چاه های پایلوت سیرجان با استفاده از روش فازی

هدف از خوشه بندی چاه های کشاورزی در پایلوت مورد مطالعه دسته بندی چاه ها بر اساس یک خصیصه مشترک می باشد که در این بخش فاصله بین چاه ها و میزان چگالی چاه ها در سطح به عنوان معیار انتخاب

گردیده است. بدیهی است که در عمل نمیتوان برای هر چاه یک منبع انرژی اختصاصی اختصاص داد. بنا براین باید روشی استفاده کنیم تا چاه‌های با تراکم بیشتر را به صورت یک دسته یا خوشه مدل گردد.

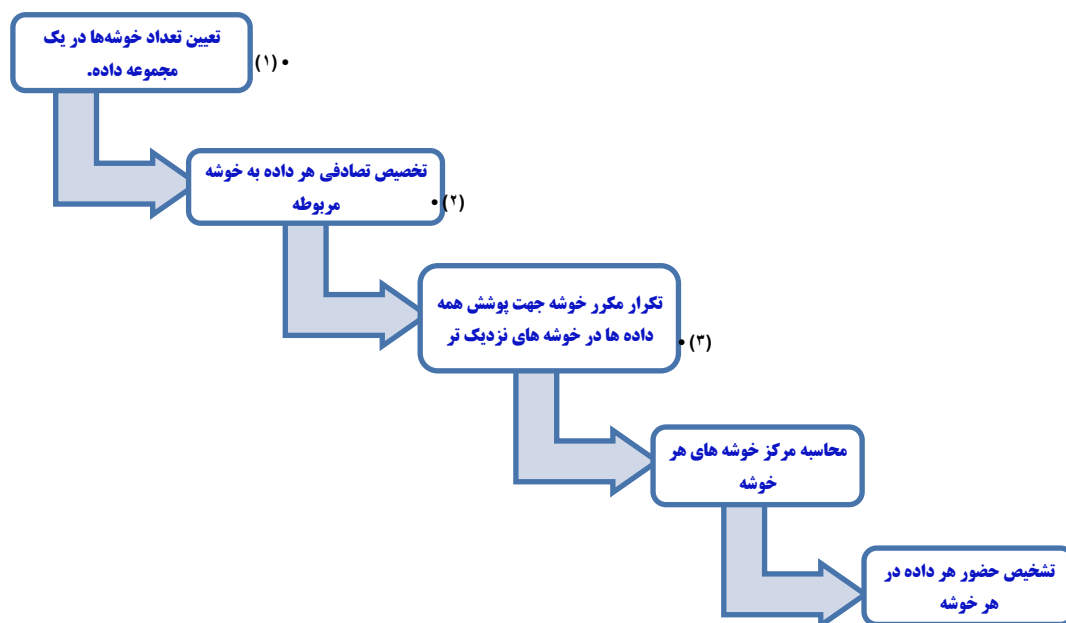


شکل ۵-۷: مراحل خوشه بندی و شناسایی سناریو های بهینه برای پابلوت مورد مطالعه

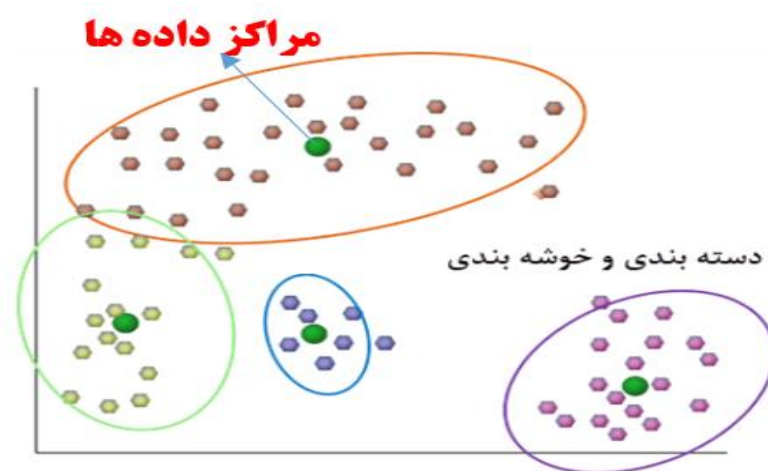
به عبارتی تعداد ۱۳۶ چاه به تعدادی محدود خوشه تبدیل شوند که مراکز این خوشه ها به عنوان نماینده آن خوشه خواهد بود و هر یک از خوشه ها تعدادی مشخص چاه کشاورزی با دیماند و ساعت کارکرد مشخص را به خود اختصاص می دهد. در این بخش برای خوشه بندی چاه های کشاورزی از روش های خوشه بندی فازی^۱ استفاده شده است. خوشه بندی فازی یک الگوریتم خوشه بندی جهت تقسیم داده ها به خوشه هایی بیش از یک خوشه می باشد. در این خوشه بندی هر داده به درجه خاصی از هر خوشه متعلق است و با توجه به درجه تعلق حضور یک داده به یک خوشه مشخص می گردد. خوشه بندی فازی سی-مینز (FCM) توسط جی سی دانز در سال ۱۹۷۳ ارائه گردید و در سال ۱۹۸۱ ارتقا داده شد. مراحل الگوریتم خوشه بندی فازی به خوشه بندی کی- میانگین شباهت دارد و همانگونه که در شکل های ۷-۶ تا ۷-۸ نمایش داده شده شامل مراحل زیر می باشد:

- تعیین تعداد خوشه ها در یک مجموعه داده
- تخصیص تصادفی در داده به خوشه مربوطه

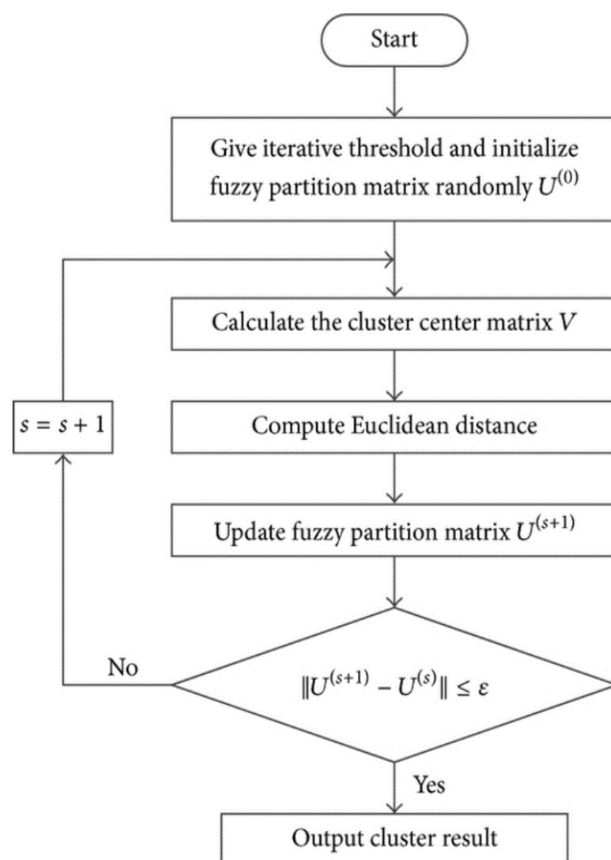
¹ - Fuzzy clustering method (FCM)



شکل ۶-۷: مراحل خوشه بندی و شناسایی سناریوهای بهینه برای پایلوت مورد مطالعه

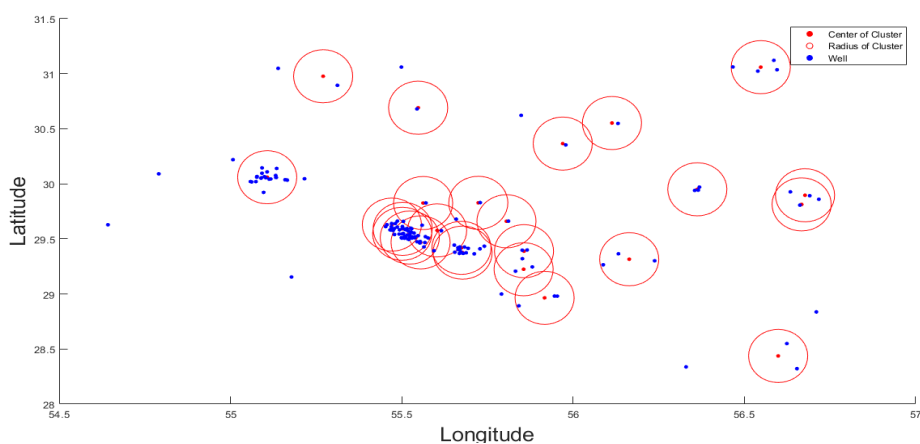


شکل ۷-۷: مراحل خوشه بندی و شناسایی سناریوهای بهینه برای پایلوت مورد مطالعه



شکل ۸-۷: فلوچارت محاسبات خوشه بندی فازی

- تکرار مکرر خوشه جهت پوشش همه داده ها در خوشه های نزدیک تر
- محاسبه مرکز خوشه های هر خوشه
- تشخیص حضور هر داده در هر خوشه



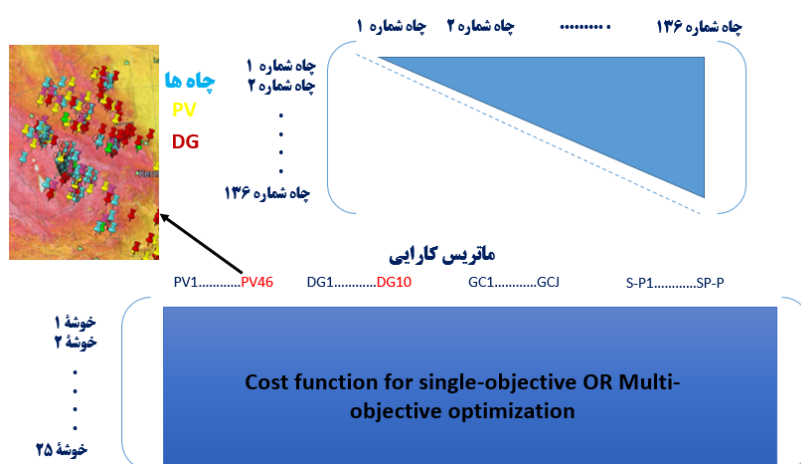
شکل ۹-۷: خوشه بندی چاه ها بر اساس مختصات با استفاده از روش FCM

پس از پیاده سازی الگوریتم خوشه بندی فازی، نتایج محاسبات مطابق شکل ۷-۹ نمایش داده شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد پس از خوشه بندی تعداد ۱۳۶ چاه به ۲۵ کلاستر تقلیل یافته است. در این شکل نقاط آبی چاه ها و نقاط قرمز مراکز خوشه ها هستند. شکل ۷-۱۰ ماتریس فاصله چاه های کشاورزی و ماتریس کارایی را نمایش می دهد. سطرهای ماتریس کارایی شماره خوشه ها و ستونها منابع تامین انرژی شامل منابع خورشیدی ، تولید پراکنده و اتصال به شبکه می باشد. درایه های ماتریس کارایی می تواند یکی از شاخص های سرمایه گذاری در راستای برقرسانی به چاه های کشاورزی باشد.

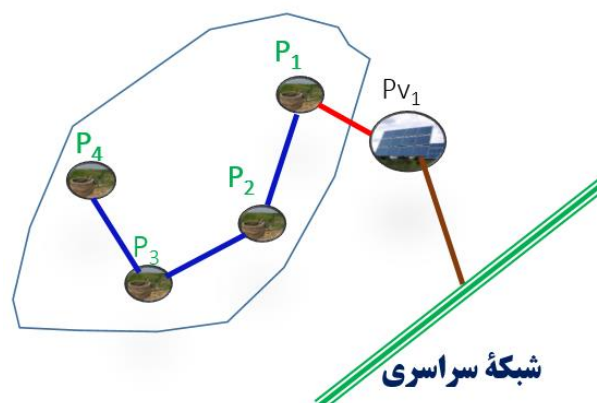
۷-۲-۲ محاسبه طول خطوط

همانگونه که در شکل ۷-۱۱ نمایش داده شده ، توسعه خطوط انتقال 20kv در طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی از سه بخش تشکیل شده که عبارتند از:

- مجموع خطوط انتقال داخل کلاستر
- خط انتقال از مولد خورشیدی تا کلاستر
- خط انتقال از مولد خورشیدی تا شبکه سراسری (تا پست فوق توزیع)



شکل ۷-۱۰: تعریف ماتریس کارایی



شکل ۷-۱۱: خطوط انتقال مورد نیاز

با مشخص شدن خوشه‌ها، شماره چاه‌های داخل هر خوشه و مختصات آن‌ها استخراج می‌شود. پس از آن نوبت به تعیین فاصله‌ی منبع به خوشه‌ها می‌باشد (خط قرمز در شکل ۷-۱۱). مراحل محاسبه فاصله منبع تا خوشه به شرح زیر می‌باشد:

- ابتدا نزدیک‌ترین منبع را به مرکز هر خوشه می‌یابیم
 - سپس فاصله‌ی نزدیک‌ترین چاه داخل خوشه به آن منبع را پیدا می‌کنیم.
 - محاسبه فاصله طولی با استفاده از ابزارهای طول سنجی گوگل ارث
- بدیهی است که برای هر خوشه تنها یک خط انتقال از منبع به نزدیک‌ترین چاه هر کلاستر در نظر گرفته می‌شود و باقی چاه‌ها با اتصال به یکدیگر برق دار خواهند شد. پس از محاسبه‌ی فاصله‌ی منبع تا خوشه‌ها، لازم است تا طول خطوط انتقال (20kv) داخل هر کلاستر (خطوط آبی در شکل ۷-۱۱) محاسبه گردد. برای محاسبه‌ی طول خطوط داخل هر کلاستر از الگوریتم زیر استفاده شده است.

۱. ابتدا چاهی را که نزدیک‌ترین چاه به منبع بود به عنوان چاه نخست در نظر می‌گیریم. این چاه را چاه شماره

۱ مینامیم

۲. سپس نزدیک‌ترین چاه به چاه شماره یک را پیدا کرده و آن را چاه شماره دو نام گذاری می‌کنیم

۳. با محاسبه‌ی طول بین چاه ۱ و چاه ۲ اولین قسمت از طول خطوط داخل خوشه به دست می‌آید.

۴. چاه شماره دو را با چاه شماره یک جایگزین می‌شود

۵. در میان چاه‌ها، نزدیک‌ترین چاه را به چاه شماره یک جدید می‌یابیم با این شرط که این چاه با چاه شماره یک مرحله‌ی قبل یکی نباشد.

۶. فاصله‌ی چاه شماره دو جدید را با چاه شماره یک جدید محاسبه می‌کنیم

۷. این فاصله را با فاصله‌ی قبلی جمع می‌کنیم

۸. این عمل را تا جایی ادامه می‌دهیم تا نزدیک‌ترین چاه به چاه شماره ۱ مرحله آخر فاصله‌ای بیشتر از فاصله‌ی تعریف شده برای هر خوشه بندی یعنی برای مثال ۵ کیلومتر را داشته باشید. به این ترتیب اطمینان حاصل می‌کنیم که چاه انتخاب شده نهایی خارج از کلاستر قرار دارد و عملیات را متوقف می‌کنیم.

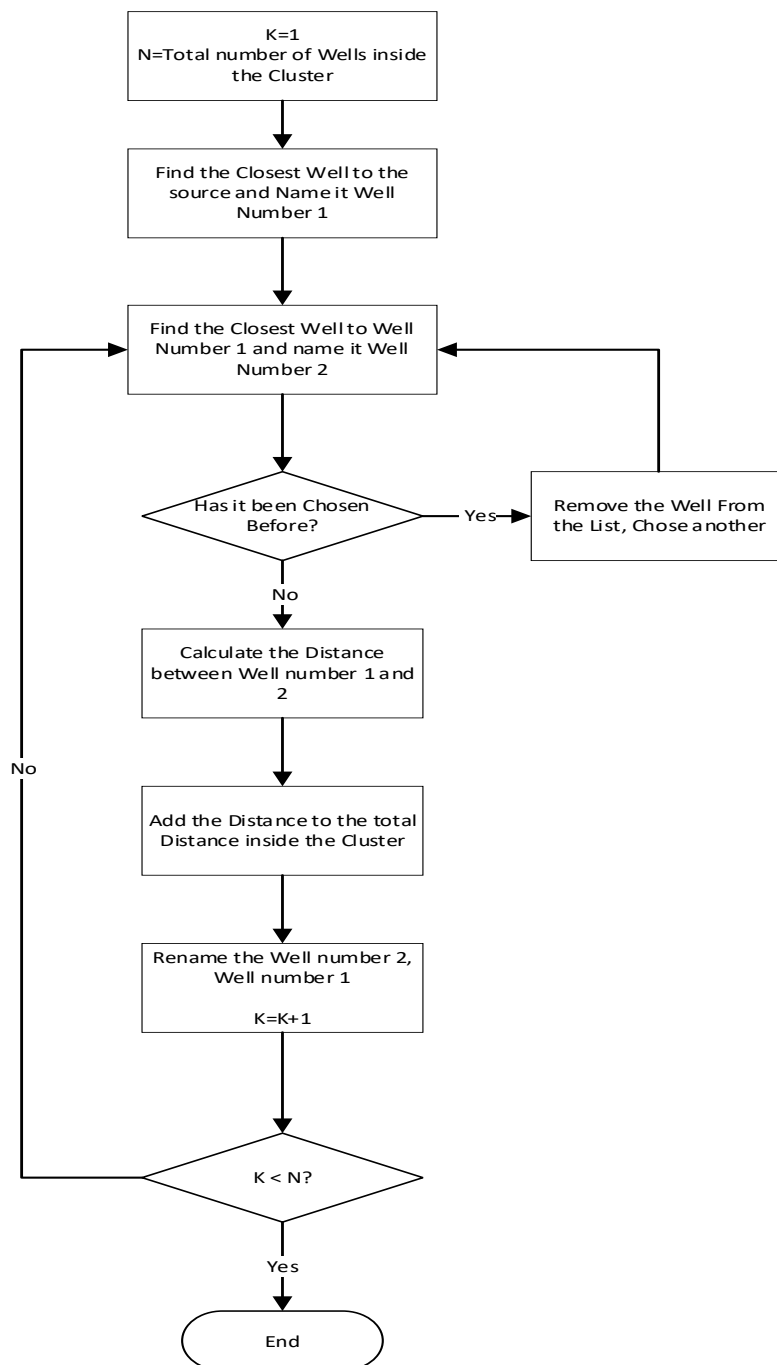
فاصله منبع تجدید پذیر تا پست شبکه فوق توزیع (خط قهوه‌ای در شکل ۷-۱۱) نیز با مشخص بودن نزدیک‌ترین پست فوق توزیع با استفاده از ابزارهای محاسبه فاصله طولی نرم افزار گوگل ارث تعیین می‌گردد. به این ترتیب مجموع طول فاصله خطوط انتقال جهت اجرای طرح در پایلوت مورد مطالعه قابل محاسبه می‌باشد.

۷-۲-۳ هزینه یابی اجرای طرح برق رسانی به چاه‌های کشاورزی

با هدف ارزیابی اقتصادی و انتخاب سناریوهای برتر برای موضوع برق رسانی به چاه‌های کشاورزی یکی از گام‌های اولیه هزینه‌های اجرای طرح و برآورد میزان سرمایه گذاری لازم می‌باشد. علاوه بر این پارامترهایی مانند ساعت کارکرد، دیماند چاه‌ها، میزان بازپرداخت، نرخ تنزیل، راندمان مبدل‌های واسطه، تلفات خطوط و همچنین اطلاعات اطلس خورشید (یا باد) نیز جهت برآورد جریان‌های ورودی و خروجی طرح در دوره بازپرداخت ۱۰ ساله حائز اهمیت می‌باشد. جدول ۷-۱ موله‌های هزینه‌ای اجرای طرح را نمایش می‌دهد. در این جدول متوسط ساعت کارکرد سالانه چاه‌های کشاورزی بر اساس داده‌های شرکت آب منطقه‌ای استان کرمان حدود ۴۰۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است. اطلاعات مربوط به احداث نیروگاه خورشیدی و هزینه‌های احداث نیروگاه از سایت

ساتبا گرد آوری شده است. بر اساس محاسبات تخمین مجموع طول خطوط انتقال مورد نیاز برای هر خوشه و با در اختیار داشتن هزینه‌ی احداث خطوط ۲۰ کیلو ولت بر کیلو متر، هزینه‌ی احداث خطوط قابل محاسبه می باشد. طبق برآورد های داده شده قیمت هر کیلومتر خط معادل ۱۲۰ میلیون تومان است که با احتساب دلاری ۱۲ هزار تومان حدودا ۱۰ هزار دلار میشود. بنابراین برای احداث خطوط سه مولفه‌ی هزینه ایی داریم که عبارتند از :

- هزینه های مربوط به رساندن خطوط از هر مرکز انرژی به هر خوشه و نزدیک ترین چاه
- هزینه های ترانس که با استفاده از اطلاعات مربوط به KVA مربوط به هر چاه با فرض ضریب قدرت ۰.۸ به دست می آیند.
- هزینه ی خطوط داخل هر خوشه که به وسیله ی الگوریتم به دست آمده و از همان قاعده ی کیلومتری ۱۰ هزار دلار پیروی می کنند.



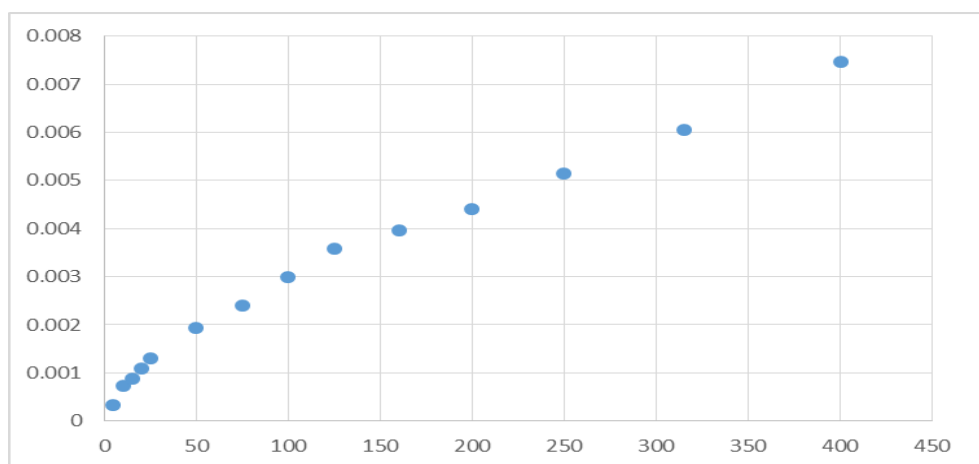
شکل ۱۲-۷: فلوچارت محاسبه ی طول خطوط داخل کلاستر

یکی از المان های هزینه بر در طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی هزینه ترانسفورماتور می باشد. برای قیمت ترانس های مورد نیاز دیتا به صورت گسسته در اختیار است. این دیتا به صورت جدول ۷-۲ نمایش داده شده است.

جدول ۷-۱: مولفه های هزینه ایی اجرای طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی

مقدار هزینه به دلار	نوع هزینه
4000	ساعت کارکرد
10-15 %	درصد تلفات خطوط
95%	راندمان مبدل‌های الکترونیک قدرت
700	هزینه نصب و احداث نیروگاه خورشیدی ((\$/kw))
340	متوسط هزینه نصب و راه اندازی مولد تولید پراکنده بر کیلو وات
15%	نرخ تنزیل
10000	هزینه احداث خط (\$/km)
10	تعداد ساعتهای دسترسی به نور خورشید در روز

با توجه به اینکه در محاسبات هزینه یابی طرح به دلار محاسبه می شود، کلیه مقادیر باید تبدیل به میلیون دلار شوند. با احتساب دلار ۱۲ هزار تومن نمودار ظرفیت قیمت این جدول ۷-۲ زیر می باشد. برای اینکه بتوانیم هزینه را برای هر نوع ترانس و با هر ظرفیتی محاسبه کنیم نیاز داریم تا تابعی را به دست آوریم که با نمودار همخوانی داشته باشد. به این منظور از جعبه ابزار curve fitting نرم افزار متلب استفاده شده است. شکل ۷-۱۳ مقادیر هزینه ترانس برای چند نمونه ترانس بر حسب KVA را نمایش می دهد. پس از انجام محاسبات با روش دون یابی حداقل مربعات خطا، رابطه محاسبه هزینه ترانس بر حسب KVA به صورت رابطه ۷-۴ محاسبه و مورد استفاده قرار می گیرد.

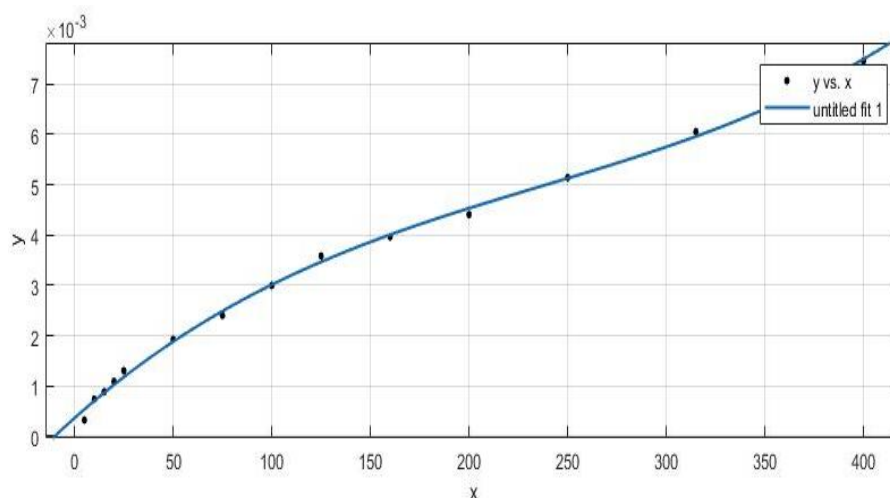


شکل ۷-۱۳: هزینه ی ترانسفورماتور ها بر حسب KVA

جدول ۷-۲: هزینه ی ترانسفورماتور ها بر حسب توان

توان ترانسفورماتور	هزینه به تومان به نرخ سال ۱۳۹۸
5	3860000
10	8860000
15	10640000
20	13120000
25	15661900

50	23119700
75	28843300
100	36010500
125	43017200
160	47589500
200	52915600
250	61723700
315	72689000
400	89634800



شکل ۱۴-۷: درونیابی تابع هزینه ی ترانس با استفاده از متلب

تابع درجه سوم به دست آمده به صورت زیر است:

$$F(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4 \quad (۷-۴)$$

$$p1 = 1.381e-10 \text{ (} 8.987e-11, 1.863e-10 \text{)}$$

$$p2 = -9.793e-08 \text{ (} -1.264e-07, -6.95e-08 \text{)}$$

$$p3 = 3.492e-05 \text{ (} 3.058e-05, 3.926e-05 \text{)}$$

$$p4 = 0.0003638 \text{ (} 0.0002193, 0.0005083 \text{)}$$

پس از محاسبه ی این هزینه ها، به منظور محاسبات اقتصادی اطلاعات مربوط به هر خوشه شمال هزینه ی خط کشی، هزینه ی ترانس ها و میزان تفکیکی و تجمعی مصرف در فایل Excel مربوطه وارد میشوند. در ادامه مدل هزینه ایی هر یک از راهکارهای برق رسانی به چاه های کشاورزی ارائه می گردد.

۷-۲-۳-۱- مدل هزینه ایی برق رسانی با استفاده از راهکار نیروگاه خورشیدی

در این بخش مدلسازی هزینه ایی مربوط به برق رسانی به چاه های کشاورزی با بهره گیری از مولد خورشیدی در طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی انجام گردید. رابطه ۷-۵ محاسبه هزینه احدث نیروگاه خورشیدی برای برق رسانی به چاه های کشاورزی را ارائه می دهد.

$$C_{PV}(P_{PV}, L_{PV}, s) = \frac{w_1}{h_i} [(C.I_{PV}) * (P_{PV})] + (C.L_{PV}) * (L_{PV}) + 1000000 \sum_{i=1}^n (p1 * s_i^3 + p2 \quad (۷-۵)$$

$$* s_i^2 + p3 * s_i + p4) + h_{Battery} * [H * P_{PV} - 365 * h_{PV} * P_{PV}] * (1 - w_1) * (C.I_{Battery})$$

که در این رابطه :

C.Ipv : هزینهٔ احداث نیروگاه خورشیدی بر حسب \$/kw

C.Lpv : هزینهٔ احداث خطوط بر حسب \$/km

Lpv : مجموع طول خطوط انتقال مورد نیاز (km)

n : تعداد چاه‌های کشاورزی در کلاستر

h_{pv} : مدت زمان دسترسی به خورشید در ۲۴ ساعت

S_i : توان ظاهری ترانسفورماتور برای هر یک از چاه‌ها

PPV : ظرفیت احداث مولد خورشیدی برای

η_{batt} : راندمان باتری

W₁ : در صد تامین تقاضا بار از سمت شبکه قدرت

H : متوسط ساعت کارکرد سالانه

مجموع دیماند چاه‌های کشاورزی در هر کلاستر بر اساس رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود که در این رابطه f_{ji} مجموع دیماند چاه‌های کشاورزی در هر کلاستر بر اساس رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود که در این رابطه f_{ji} راندمان کل مبدل‌های اتصال به شبکه، ترانس سمت شبکه و تلفات خطوط می‌باشد.

۷-۶

$$P_{PV} = \sum_{i=1}^n \frac{kw_i}{\eta_{ji}}$$

برای سناریو ی نیروگاه خورشیدی اطلاعات به شرح زیر مورد نیاز می باشد:

- تعداد چاه‌های عمیق
- مجموع دیماند چاه‌ها در هر کلاستر (kw)
- تعداد چاه‌های نیمه عمیق
- دیماند چاه‌های نیمه عمیق (kw)
- متوسط ساعت‌های متوسط روشن بودن چاه در سال
- میلیون کیلو وات ساعت مورد نیاز دیماند چاه‌های کشاورزی
- هزینهٔ تقریبی احداث نیروگاه خورشیدی \$/kwh
- هزینهٔ شارژر \$/kw
- هزینهٔ باتری با ازای (\$/kwh)
- هزینه نصب و احداث نیروگاه خورشیدی (\$/kw)
- محدوده شارژر باتری
- بازدهی باتری
- بازدهی اینورتر
- ظرفیت مبدل سمت شبکه

- ظرفیت توان مبدل (kw)
- ظرفیت نصب شده متوسط سلول خورشیدی (kw) برای یک حلقه چاه
- تعداد ساعت متوسط دسترسی به نور خورشید در روز
- تعداد ساعت متوسط دسترسی به نور خورشید در سال
- ظرفیت نصب مولد خورشیدی مورد نیاز بر حسب کیلو وات خروجی محاسبات توجیه اقتصادی شامل موارد زیر می باشد:
- هزینه نصب و راه اندازی نیروگاه خورشیدی برای پایلوت مورد مطالعه (میلیون دلار)
- حجم نفت گاز معادل سازی شده بطور متوسط در هر دوره (lit/perid) بر اساس برق مصرفی برای سرمایه گذار
- مجموع حجم نفت گاز معادل سازی شده متوسط در هر دوره (lit/perid) بر اساس برق مصرفی کشاورزان از شبکه
- حجم کل نفت گاز معادل سازی شده متوسط توسط کشاورزان و سرمایه گذار (lit/perid)
- مبلغ بازپرداخت به سرمایه گذار (میلیون دلار)
- مبلغ بازپرداخت به کشاورزان (میلیون دلار)
- متوسط بازپرداخت به هر چاه (دلار)
- سناریوی دوم : مولد خورشیدی بدون نصب باتری، متصل به شبکه و عدم دسترسی به شبکه قدرت می باشد. در این حالت محاسبات خروجی علاوه بر موارد فوق شامل موارد زیر نیز می باشد:
- کل هزینه برق رسانی به زمینهای کشاورزی بر اساس متوسط خطوط انتقال ۱.۶ کیلومتر برای هر چاه (میلون دلار)
- متوسط سرمایه گذاری مورد نیاز هر کشاورز جهت احداث خطوط ۲۰ کیلو ولت (میلون دلار)
- متوسط سرمایه گذاری مورد نیاز هر کشاورز جهت برق رسانی به چاه و دسترسی به شبکه (میلون تومان)
- هزینه ترانس بر حسب (kvar/\$) میلون دلار
- هزینه تعمیر و نگهداری سالانه نیروگاه خورشیدی (میلون دلار)
- سناریوی سوم : مولد خورشیدی همراه با نصب باتری و ایزوله از شبکه
- در این سناریو خروجی محاسبات به شرح زیر می باشد:
- کل ظرفیت باتری مورد نیاز جهت تامین انرژی در ساعتهای عدم وجود تابش خورشید (میلیون کیلووات ساعت)
- هزینه بخش ذخیره ساز باتری (میلیون دلار)
- مبلغ بازپرداخت به سرمایه گذار (میلیون دلار)
- کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)
- در آمد حاصل از سرمایه گذاری در سال (میلیون دلار)
- هزینه های نقدی سالانه خروجی (میلیون دلار) REP , m&O

- جریان ورودی خالص (میلیون دلار)

در پایان پس از محاسبات اقتصادی، شاخص کلیدی توجیه پذیری اقتصادی به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

- ارزش خالص فعلی

- نرخ بازده داخلی

- نرخ بازگشت سرمایه

همانگونه که قبلاً بررسی گردید این پارامترها برای مقایسه میان سناریوهای مختلف و انتخاب سناریو بهتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است مدل هزینه ایی احداث نیروگاه بادی نیز مشابه مدل ارائه شده برای مولد خورشیدی می‌باشد با این تفاوت که ضرائب هزینه ایی و مقادیر راندمان متفاوت خواهد بود. پس از پیاده سازی محاسبات جریان های نقدی ورودی و خروجی و محاسبه سود تجمیعی با در نظر گرفتن نرخ تنزل ۱۵٪، نتایج محاسبات برای هر یک از ۲۵ کلاستر در جدول ۷-۳ بطور خلاصه ارائه گردیده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود محاسبه شاخص های اقتصادی نشان می‌دهد برای یک دوره بازپرداخت ۱۰ ساله از بین ۱۵ کلاستر تنها ۹ کلاستر از نظر اقتصادی توجیه پذیر می‌باشند.

شکل ۱۵-۷: نتایج محاسبات توجیه پذیری اقتصادی برای منابع تجدید پذیر خورشیدی

شماره کلاستر ها	کل هزینه سرمایه گذاری	درآمد حاصل از سرمایه گذاری در سال	هزینه های نقدی سالانه خروجی	جریان ورودی خالص	ضریب تعدیل	NPV	IRR	ROI	نقطه سر به سر
1	0.912675 4	0.41573	0.01325208	0.40248	0.000005	0.8934	0.41329	1.97889	3
2	0.602270 25	0.00904	0.00028809	0.00875	0.000005	-0.563	-0.3258	0.06519	>> 8
3	0.240754 41	0.01627	0.00051856	0.01575	0.000005	-0.1701	-0.125	0.29355	>> 8
4	0.259055 43	0.03615	0.00115235	0.035	0.000005	-0.102	0.0176	0.60624	>> 8
5	0.566429 84	0.21826	0.00695734	0.2113	0.000005	0.38176	0.33637	1.67398	3.5
6	0.320093 1	0.10574	0.00337064	0.10237	0.000005	0.13928	0.27362	1.43512	4.5
7	0.697683 47	0.26706	0.00851302	0.25855	0.000005	0.46253	0.33353	1.66295	3.5
8	0.535800 92	0.03931	0.00125319	0.03806	0.000005	-0.365	-0.1109	0.31876	>> 8
9	0.316425 78	0.12133	0.00386759	0.11746	0.000005	0.21067	0.33426	1.66579	3.7 5
10	0.318611 29	0.03525	0.00112355	0.03412	0.000005	-0.1655	-0.0331	0.4806	>> 8
11	0.500873 9	0.08992	0.00286648	0.08706	0.000005	-0.1102	0.0797	0.77996	>> 8
12	0.894901 32	0.40037	0.01276233	0.3876	0.000005	0.84443	0.40453	1.9436	3
13	0.613858 96	0.02079	0.0006626	0.02012	0.000005	-0.5236	-0.2286	0.14711	>> 8
14	0.310516 79	0.05603	0.00178615	0.05425	0.000005	-0.0671	0.08104	0.78395	>> 8
15	0.128232 04	0.02937	0.00093629	0.02844	0.000005	-0.0006	0.14851	0.9951	8
16	0.348608 17	0.01175	0.00037452	0.01137	0.000005	-0.2976	-0.2292	0.14641	>> 8
17	0.421695 89	0.10981	0.00350028	0.10631	0.000005	0.05534	0.18897	1.13124	6.5
18	0.391566 97	0.03344	0.00106593	0.03237	0.000005	-0.2463	-0.0837	0.371	>> 8
19	0.543024 89	0.1925	0.00613629	0.18636	0.000005	0.29327	0.30152	1.54006	4
20	0.454240 97	0.01717	0.00054737	0.01662	0.000005	-0.3796	-0.2136	0.16423	>> 8
21	0.279939 24	0.08269	0.00263601	0.08006	0.000005	0.07931	0.23216	1.28332	5
22	0.826236 98	0.10258	0.00326981	0.09931	0.000005	-0.3806	-0.0086	0.53935	>> 8
23	0.504875 02	0.00407	0.00012964	0.00394	0.000005	-0.4872	-0.3879	0.035	>> 8
24	0.379567 25	0.047	0.00149806	0.0455	0.000005	-0.1754	-0.0092	0.53789	>> 8
25	0.314972 06	0.02576	0.00082105	0.02494	0.000005	-0.2031	-0.0917	0.35526	>> 8

۷-۲-۳-۲- مدل هزینه ایی برق رسانی با استفاده از راهکار نیروگاه تولید پراکنده

مدل هزینه ایی احداث نیروگاه تولید پراکنده گازسوز بر اساس رابطه ۷-۸ قابل توصیف می گردد.

۷-۷

$$C_{DG}(P_{DG} \cdot L_{DG} \cdot s) = \frac{1}{f_j} * [(C \cdot I_{DG}) * (P_{DG})] + (C \cdot L_{DG}) * (L_{DG}) + \sum_{i=1}^n (p1 * s_i^3 + p2 * s_i^2 + p3 * s_i + p4)$$

که در این رابطه :

C.IDG: هزینه احداث نیروگاه خورشیدی بر حسب \$/kw

C.LDG: هزینه احداث خطوط بر حسب \$/km

LDG: مجموع طول خطوط انتقال مورد نیاز (km)

n: تعداد چاه های کشاورزی در کلاستر

Si: توان ظاهری ترانسفورماتور برای هر یک از چاه ها

PDG: ظرفیت احداث مولد خورشیدی برای

fj: راندمان خطوط و مبدل های واسط

H: متوسط ساعت کارکرد سالانه

جدول ۷-۴ نتایج محاسبات اقتصادی را برای راهکار تامین انرژی از طریق احداث منابع تولید پراکنده گازسوز را برای هر یک از کلاسترها نشان می دهد. با توجه به فرضیات مساله و مقادیر داده های ورودی تعداد ۹ کلاستر واجد شرایط برق رسانی به استفاده از راهکار تولید پراکنده می باشند. لازم به ذکر است نتایج محاسبات انجام شده به میزان زیادی نسبت به پارامترهای اصلی مانند ساعت کارکرد و مجموع دیماند چاه ها در هر کلاستر، نرخ تنزیل و پراکندگی چاه ها بسیار حساس می باشد و با تغییر هر یک از این پارامترها نتایج تغییر خواهد کرد.

جدول ۷-۳: نتایج محاسبات توجیه پذیری اقتصادی برای منابع تجدید تولید پراکنده گازسوز

Cluster Number	Total investment cost (million dollars)	NPV	IRR	Payback Period (Year)
1	0.300444179	-0.046978503	0.100821095	NA
2	0.508290584	-0.366821369	-0.13393789	NA
3	0.174579957	0.044992054	0.225015017	5.5
4	0.377412956	0.705710719	0.626487353	2
5	0.240204096	-0.18715314	-0.170621436	NA
6	0.154454987	0.15500892	0.419396062	3
7	0.356230932	-0.270759948	-0.157826403	NA
8	0.331218045	-0.070384181	0.082236475	NA
9	0.508450617	-0.452452386	-0.265640704	NA
10	0.335518327	-0.297203748	-0.261168537	NA
11	0.222183786	0.218433872	0.414334919	3
12	0.262876742	-0.144985729	-0.047205864	NA
13	0.456834796	-0.35957471	-0.176174443	NA
14	0.197059078	0.131562119	0.33473658	3.5
15	0.552392782	0.891772118	0.566548223	2
16	0.292098498	-0.224311166	-0.163016481	NA
17	0.216170379	0.495596607	0.724368572	1.5
18	0.260150447	-0.151101261	-0.060545672	NA
19	0.28800394	0.347133888	0.468758681	3
20	0.196290373	0.028439369	0.192926843	6.5
21	0.313750375	0.056132676	0.202713632	6
22	0.443194299	-0.282567795	-0.088008037	NA
23	0.229443098	-0.223548547	-0.415702601	NA
24	0.233992651	0.035683039	0.195125237	6.5
25	0.241475441	0.3862942	0.563087091	2

۳-۲-۷- تحلیل نتایج محاسبات در حالت اتصال مستقیم به شبکه

راهکار اتصال مستقیم چاه‌های کشاورزی هم از نظر هزینه سرمایه گذاری اولیه و سرعت اجرای طرح نسبت به راهکارهای دیگر دارای برتری می باشد. با این وجود طبق مصوبه شورای عالی اقتصاد در تدوین اسناد بالادستی طرح، یکی از اولویتهای اصلی تامین دیماند چاه‌های کشاورزی از فیدرهای مستقل از شبکه با تاکید بر منابع تجدید پذیر و تولید پراکنده می باشد. برآورد هزینه سرمایه گذاری در راهکار اتصال مستقیم به شبکه شامل هزینه احداث خطوط ف نصب ترانس می باشد. در نقاطی که دسترسی به شبکه فراهم شده این هزینه به مراتب کمتر نیز خواهد بود. برای تعیین هزینه احداث خطوط نیاز به محاسبه فاصله ی مراکز خوشه ها به عنوان یک نماینده تا نزدیک ترین نقطه متصل به شبکه توزیع می باشد. به این منظور در نرم افزار گوگل ارث فواصل برای هر خوشه به صورت جداگانه و با استفاده از ابزار خط کش محاسبه می گردد. در این سناریو برای محدوده هایی که دسترسی به شبکه فراهم نیست و نیاز به احداث خطوط جدید باشد، عمده هزینه ها شامل موارد زیر می باشد:

- هزینه خط کشی از خوشه تا شبکه
- هزینه خطوط داخل هر خوشه
- هزینه ی ترانس های داخل هر خوشه

به این ترتیب پس از وارد کردن این اطلاعات در اکسل محاسبات، شاخص های اقتصادی محاسبه می گردد. بطور کلی سناریوی اتصال به شبکه از دو دیدگاه قابل بررسی می باشد. در دیدگاه اول که از نگاه سرمایه گذار بوده، سرمایه گذار برق یارانه ایی را با ایجاد زیر ساخت های مورد نیاز در اختیار مصرف کننده چاه های کشاورزی قرار می دهد و طبق دستورالعمل صحه گذاری تدوین شده توسط شرکت بهینه سازی مصرف سوخت از محل صرفه جویی سوخت در مددت زمان معین شده کسب در آمد خواهد کرد. این در حالی است که هزینه تمام شده برق با در نظر گرفتن هزینه های مخفی و یارانه های پنهان برای شبکه برق بسیار بالا بوده و در بلند مدت این مساله به زیان صنعت برق خواهد بود. عمده هزینه های مخفی عبارت اند از :

- هزینه تمام شده تولید برق در شبکه قدرت ($\text{kwh}/\$$)
- هزینه احداث نیروگاه ($\text{kw}/\$$)
- هزینه تعمیرات نیروگاهی ($\text{kw}/\$$)
- هزینه خاموشی برق ($\$/\text{kwh}$)

این هزینه ها از دید سرمایه گذار صفر خواهند بود.

نتایج محاسبات توجیه پذیری اقتصادی در راهکار اتصال مستقیم به شبکه و از دید ذی نفع سرمایه گذار عامل صرفه جویی در جدول ۷-۵ ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد در حالت استفاده از راهکار اتصال مستقیم به شبکه، از ۲۵ کلاستر، ۱۶ کلاستر از نظر اقتصادی دارای توجیه پذیری اقتصادی می باشد.

جدول ۴-۷: خروجی‌های مسئله برای سناریوی برق‌رسانی از طریق اتصال به شبکه از دید سرمایه‌گذار

نقطه سر به سر	ROI	IRR	NPV	ضریب تعدیل	جریان ورودی خالص (میلیون دلار)	درآمد حاصل از سرمایه‌گذاری در سال (میلیون دلار)	کل هزینه سرمایه‌گذاری (میلیون دلار)	شماره کلاستر ها
0	5.20	1.38	0.300	0.000005	0.0797392	0.0797392	0.057701	1
2.5	1.38	0.51	0.117	0.000005	0.0449692	0.0449692	0.08478	2
>>8	-	-	-	0.000005	0.0048214	0.0048214	0.044566	3
4	0.60	0.31	0.057	0.000005	0.0339355	0.0339355	0.095003	4
0	9.49	2.33	0.287	0.000005	0.0708380	0.0708380	0.030293	5
7	0.08	0.17	0.004	0.000005	0.0120536	0.0120536	0.049826	6
>>8	-	-	-	0.000005	0.0202129	0.0202129	0.163591	7
>>8	-	-	-	0.000005	0.0137225	0.0137225	0.120613	8
3	1.08	0.43	0.025	0.000005	0.0107555	0.0107555	0.02316	9
0	4.76	1.28	0.118	0.000005	0.0318956	0.0318956	0.024838	10
2.5	1.22	0.47	0.028	0.000005	0.0114972	0.0114972	0.023186	11
>>8	-	-	-	0.000005	0.0048214	0.0048214	0.157149	12
1.5	2.58	0.79	0.095	0.000005	0.0296704	0.0296704	0.03717	13
3	1.08	0.43	0.098	0.000005	0.0420948	0.0420948	0.090513	14
>>8	-	-	-	0.000005	0.0148352	0.0148352	0.154014	15
0	14.8	3.52	0.810	0.000005	0.1928576	0.1928576	0.054719	16
>>8	-	-	-	0.000005	0.0192857	0.0192857	0.267182	17
0	6.54	1.68	0.151	0.000005	0.0389424	0.0389424	0.023157	18
0	13.7	3.28	0.808	0.000005	0.1932284	0.1932284	0.058909	19
0	5.05	1.34	0.216	0.000005	0.0576718	0.0576718	0.042726	20
1	3.58	1.01	0.111	0.000005	0.0318956	0.0318956	0.031201	21
2	1.44	0.52	0.022	0.000005	0.0085302	0.0085302	0.015635	22
>>8	-	-	-	0.000005	0.0066758	0.0066758	0.182299	23
>>8	-	-	-	0.000005	0.0178022	0.0178022	0.249499	24
1	4.22	1.16	0.101	0.000005	0.0280014	0.0280014	0.024029	25

به این ترتیب می‌توان گفت راهکار اتصال مستقیم به شبکه از نگاه سرمایه‌گذار در برخی موارد در بازه زمانی کمتر از یک سال به سودآوری می‌رسد. از نگاه دیگر، با در نظر گرفتن هزینه‌های مخفی و یارانه‌های پنهان، اجرای طرح در سناریوی اتصال مستقیم به شبکه از نگاه کلان صنعت برق توجیه‌پذیری اقتصادی نخواهد داشت. جدول ۶-۷ مقادیر متداول هزینه‌های مخفی را برای تعیین شاخص‌های عملکردی نمایش می‌دهد. همانگونه که داده‌ها ارائه شده در این جدول نشان می‌دهد، در این حالت کلیه شاخص‌ها برای همه کلاسترها منفی بوده، بدین معنی که از نگاه کلان صنعت برق، راهکار اتصال مستقیم به شبکه همواره زیان‌ده بوده و هزینه‌های تحمیلی ناشی از اجرای این طرح با استفاده از راهکار اتصال مستقیم به شبکه نسبت به راهکارهای انرژی‌های تجدیدپذیر دارای توجیه‌پذیری کمتری می‌باشد.

جدول ۵-۷ هزینه های تحمیلی بر شبکه قدرت در صورت استفاده از راهکار اتصال به شبکه

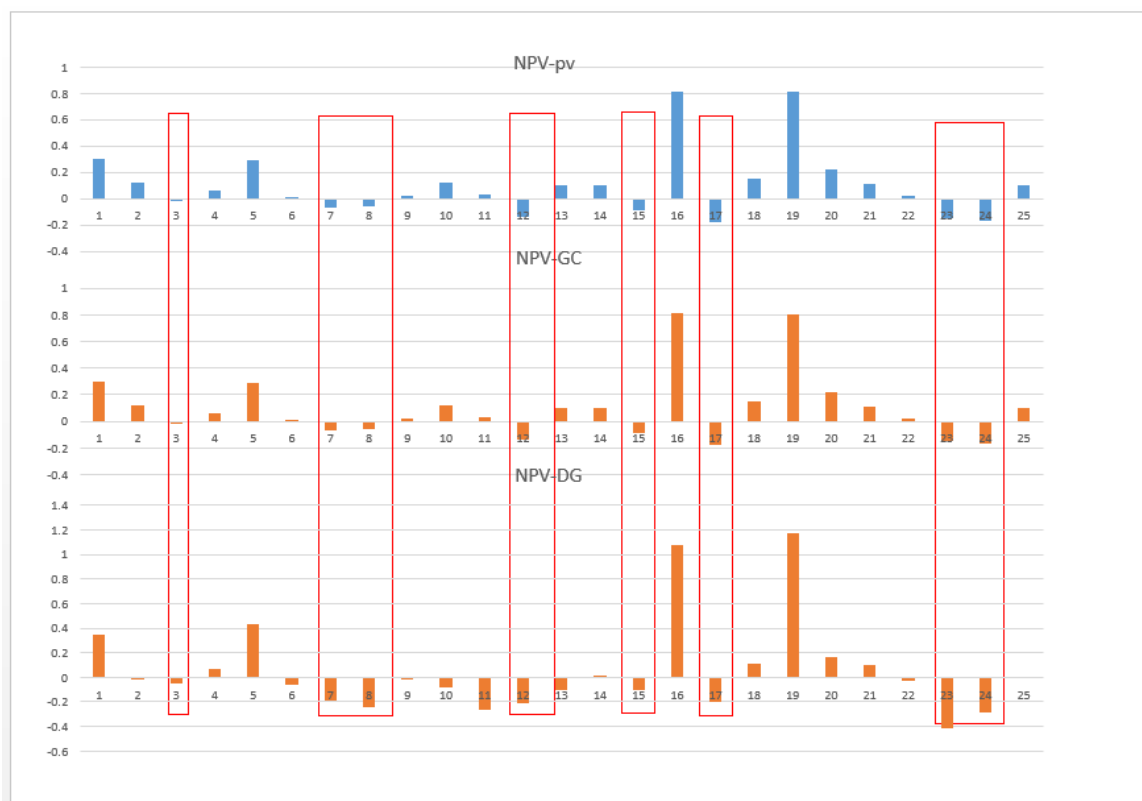
نوع هزینه	\$ قیمت
هزینه تمام شده تولید برق در شبکه (\$/kwh)	0.1
متوسط هزینه تعمیرات برای هر مگاوات ظرفیت نیروگاهی در سال (\$/kw)	8
هزینه خاموشی در بازارهای جهانی (\$/kwh)	1.5
خسارت هر کیلووات ساعت برق عرضه نشده بر اساس آمار و اطلاعات سال ۱۳۸۹	0
هزینه خاموشی برق (\$/kw)	1.5

جدول ۶-۷ نتایج خروجی برای سناریو اتصال به شبکه از دیدگاه بهره بردار

ROI	NPV	جریان ورودی خالص	هزینه های نقدی سالانه خروجی	درآمد حاصل از سرمایه گذاری	کل هزینه سرمایه گذاری	شماره
-15.966868	-0.921306054	-0.1924508	0.27219	0.0797392	0.057701112	1
-6.7446418	-0.571813417	-0.1085333	0.1535025	0.0449692	0.084780398	2
-2.1717073	-0.096783686	-0.01163656	0.016458	0.00482144	0.044565713	3
-4.8686399	-0.462537662	-0.08190348	0.115839	0.03393552	0.095003466	4
-26.326132	-0.797495451	-0.17096792	0.241806	0.07083808	0.030292921	5
-3.6200201	-0.180370862	-0.0290914	0.041145	0.0120536	0.049825928	6
-2.3381752	-0.382505104	-0.04878404	0.068997	0.02021296	0.163591294	7
-2.2322052	-0.269233723	-0.03311944	0.046842	0.01372256	0.120613338	8
-6.0296743	-0.139646047	-0.02595848	0.036714	0.01075552	0.023159799	9
-14.907851	-0.370279888	-0.07698032	0.108876	0.03189568	0.024837911	10
-6.3704248	-0.147705989	-0.02774872	0.039246	0.01149728	0.023186207	11
-1.3322831	-0.209367017	-0.01163656	0.016458	0.00482144	0.157149044	12
-9.6450896	-0.358511766	-0.0716096	0.10128	0.0296704	0.037170392	13
-6.0369057	-0.546415604	-0.10159612	0.143691	0.04209488	0.09051253	14
-2.043219	-0.314685026	-0.0358048	0.05064	0.0148352	0.154014339	15
-39.171444	-2.14343834	-0.4654624	0.65832	0.1928576	0.054719411	16
-1.7817593	-0.47605375	-0.04654624	0.065832	0.01928576	0.267181857	17
-19.212966	-0.444917712	-0.0939876	0.13293	0.0389424	0.023157159	18
-36.524883	-2.151644706	-0.46635752	0.659586	0.19322848	0.05890901	19
-15.618738	-0.667333782	-0.13919116	0.196863	0.05767184	0.042726486	20
-12.071395	-0.376643282	-0.07698032	0.108876	0.03189568	0.031201305	21
-6.9088658	-0.108020734	-0.02058776	0.029118	0.00853024	0.015635089	22
-1.3966122	-0.254600321	-0.01611216	0.022788	0.00667584	0.182298512	23
-1.7727666	-0.442304237	-0.04296576	0.060768	0.01780224	0.249499413	24
-13.620807	-0.327294964	-0.06758156	0.095583	0.02800144	0.024029043	25

شکل ۷-۱۵ مقدار شاخص ارزش خالص فعلی (NPV) را برای سه راهکار خورشیدی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه نمایش می دهد. مقایسه نتایج بدست آمده برای هر یک از سناریو ها نشان می دهد برای برخی از کلاسترها شاخص NPV برای هر سه راهکار منفی می باشد. به عبارت دیگر برق رسانی به این کلاسترها با هیچ

کدام از راهکارهای پیشنهادی توجیه پذیری اقتصادی ندارد. در این شرایط راهکار پیشنهادی به منظور تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز استفاده از پمپ‌های خورشیدی می‌باشد.



شکل ۱۶-۷: مقایسه شاخص‌های NPV برای هر یک از ۲۵ کلاستر برای هر یک از راهکارهای خورشیدی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه

پمپ‌های خورشیدی نسبت به نیروگاه‌های خورشیدی متمرکز به دلیل حذف هزینه‌های احداث خطوط، ترانس، مبدل‌ها و... از نظر هزینه سرمایه‌گذاری دارای برتری می‌باشد. با این وجود به دلیل نیاز به اختصاص زمین برای نصب پنل و عدم دسترسی به نور خورشید در تمام شبانه‌روز دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. البته لازم به ذکر است موضوع سرقت و آسیب به پنل‌ها نیز یکی دیگر از چالش‌های این راهکار می‌باشد. جدول ۷-۸ محاسبات توجیه پذیری اقتصادی راهکار پمپ خورشیدی برای کلاسترهایی که هیچ‌یک از راهکارهای پیشنهادی توجیه‌پذیر نیست را نمایش می‌دهد.

جدول ۷-۷: محاسبات توجیه‌پذیری اقتصادی راهکار پمپ خورشیدی برای کلاسترهای

شماره خوشه‌ها	کل هزینه سرمایه‌گذاری (میلیون دلار)	درآمد حاصل از سرمایه‌گذاری در سال (میلیون دلار)	هزینه‌های نقدی سالانه خروجی (میلیون دلار) m&O, REP	جریان ورودی خالص (میلیون دلار)	ضریب تعدیل	نرخ تنزیل Discount rate	ارزش خالص فعلی (NPV)	نرخ بازده داخلی (IRR)	نرخ بازگشت سرمایه (ROI)	دوره بازگشت سرمایه (PBP)
۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ و ۲۵	1.567534626	0.913249256	0.029111357	0.884137899	0.000005	0.15	2.399951394	0.546828511	2.531035649	2.5

همانگونه که قبلاً ذکر گردید نتایج محاسبات اقتصادی تا حد زیادی تحت تاثیر داده های ورودی و مولفه های هزینه ای می باشد. در شکل ۷-۱۶ نتایج محاسبات اقتصادی برای ۲۵ کلاستر با تغییر تنظیمات خوشه بندی و افزایش ساعت کارکرد به ۵۰۰۰ ساعت در سال نمایش داده شده است. نتایج ارائه شده شامل شاخص NPV و دوره بازگشت سرمایه گذاری برای سناریو های نیروگاه خورشیدی (solar)، تولید پراکنده (DG)، اتصال به شبکه از نگاه سرمایه گذار (GC1)، اتصال به شبکه از نگاه توانیر (GC2) می باشد. در مواردی که هیچ یک از راهکارهای طرح توجیه پذیر نباشد، راهکار پمپ خورشیدی پیشنهاد گردیده است.

شماره کلاستر	تعداد چاه ها	مجموع توان کلاستر (kw)	solar	DG	GC1	GC2	sp	Payback Period	G.C	DG	SP
			NPV	NPV	NPV	NPV	NPV				
1	4	172	-0.011447432	-0.046978503	0.03383771	-0.37508	0.697067	solar	3	NA	Payback Period
2	3	96	-0.355065486	-0.366821369	-0.2143712	-0.442604		8	3	NA	2
3	3	149	0.062833519	0.044932054	0.03199538	-0.322241		NA	NA	NA	
4	16	735	0.672767411	0.705710719	0.22590976	-1.5215		5	2.5	5.5	
5	1	36	-0.170081729	-0.18715314	-0.1493129	-0.2349	solar pump	3	<1	2	
6	6	210	0.017804306	0.15500892	0.05094214	-0.448318		NA	NA	NA	
7	1	58	-0.236951262	-0.270759948	-0.2542031	-0.392094	solar pump	7.5	2	3	
8	4	177	-0.383054647	-0.070384181	0.02222513	-0.33858		NA	NA	NA	
9	1	38	-0.37964202	-0.452452386	-0.2910347	-0.381377	solar pump	NA	4	NA	
10	1	26	-0.297566791	-0.297203748	-0.1715539	-0.233367	solar pump	NA	NA	NA	
11	26	299	0.209155314	0.218433872	0.07854643	-0.632305		NA	NA	NA	
12	1	80	-0.102005023	-0.144985729	-0.1258908	-0.316085	solar pump	4	1.5	3	
13	2	66	-0.219271383	-0.35957471	-0.2431693	-0.40008	solar pump	NA	NA	NA	
14	3	223	-0.384820499	0.131562119	0.02772032	-0.502446		NA	NA	NA	
15	16	980	0.961352424	0.891772118	0.30811796	-2.021761		NA	4.5	3.5	
16	3	46	-0.523554974	-0.224311166	0.00094095	-0.108421		3	<1	2	
17	10	483	0.381762022	0.495536607	0.14495416	-1.003344		NA	7.5	NA	
18	4	74	-0.246295342	-0.151101261	-0.0825041	-0.258434	solar pump	4	<1	1.5	
19	8	431	0.332614956	0.347133888	0.12571559	-0.898956		NA	NA	NA	
20	2	152.5	0.077573227	0.028439369	-0.0222518	-0.38481		4	<1	3	
21	7	251	0.07168691	0.056132676	0.04569379	-0.551041		5	NA	6.5	
22	3	109	-0.130235203	-0.282567795	-0.1134655	-0.372605	solar pump	6	3	6	
23	1	4	-0.722170811	-0.223548547	-0.0864023	-0.095912	solar pump	NA	NA	NA	
24	2	183	0.07931358	0.035683039	-0.0260684	-0.461138		NA	NA	NA	
25	7	426	0.293268554	0.3862942	0.11274392	-0.90004		5	NA	6.5	
								4	1	2	

شکل ۷-۱۷: نتایج محاسبات نهایی توجیه پذیری اقتصادی برای پایلوت ۱۳۶ چاه محدوده سرچان

۷-۳- خوشه بندی بهینه چاه های کشاورزی مبتنی بر یک روش ابتکاری

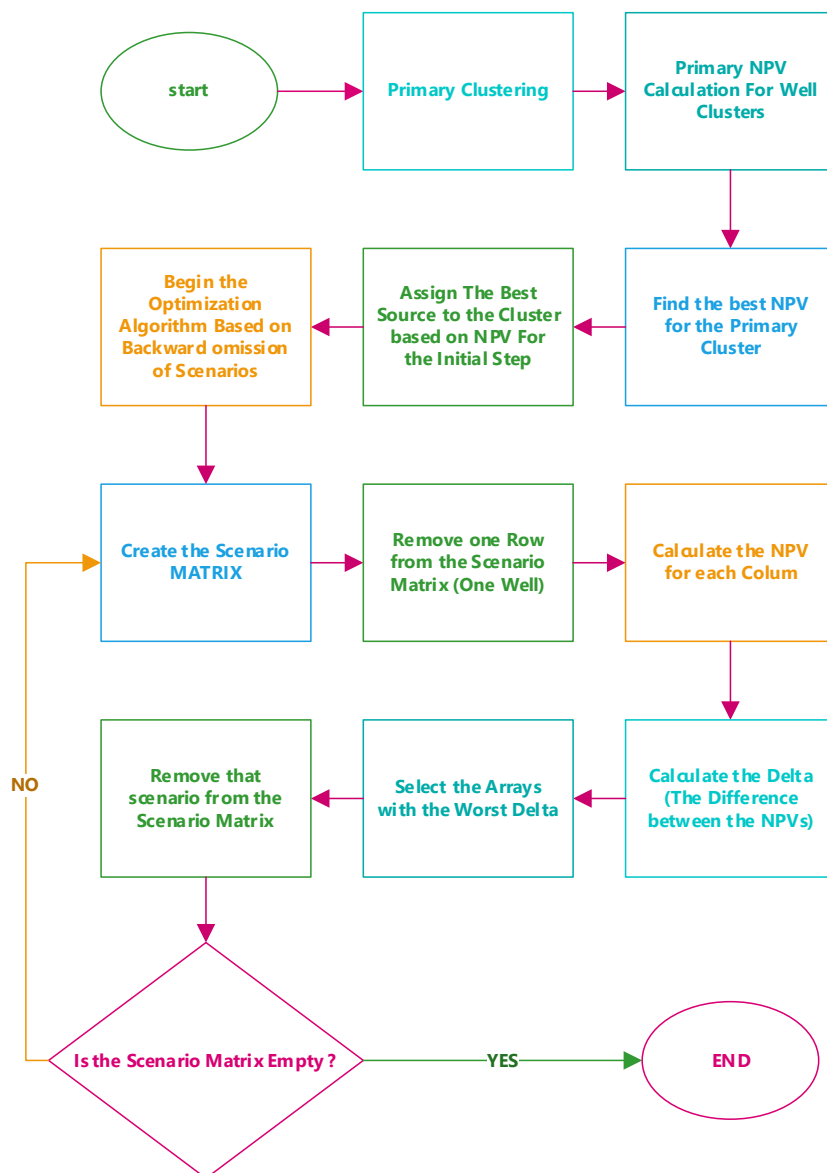
در بخش ۷-۲، با هدف شناسایی سناریو های برتر برق رسانی به چاه های کشاورزی از روش خوشه بندی فازی استفاده گردید. در این مطالعات، نقاط پرپتانسیل معرفی شده بر اساس گزارش امکان سنجی ارائه شده توسط ساتبا جهت احداث نیروگاه های خورشیدی، بادی و تولید پراکنده در استان کرمان استفاده گردید. سپس با تشکیل ماتریس کارایی برای هر یک از کلاستر ها (سطر ماتریس کارایی) محاسبات اقتصادی برای هر یک از راهکارهای پیشنهادی (ستون ماتریس کارایی) در پایلوت مورد مطالعه محاسبه گردید. در پایان پش از محاسبه شاخص های اقتصادی برای کلیه درایه ها و در پایان جستجو در نتایج بدست آمده سناریو های برتر انتخاب گردید. روش خوشه بندی فازی ارائه شده در بخش قبل و نحوه انتخاب سناریو های بهینه دارای محدودیتها و معایبی می باشد که مهم ترین آنها عبارتند از:

- در روش خوشه بندی فازی تعداد کلاسترها از ابتدا توسط کاربر تعیین می شود و روش دقیقی برای تعیین تعداد مناسب کلاسترها وجود ندارد. عموماً تعداد کلاسترها بر اساس سعی و خطا

بدست می‌آید که این مساله بخصوص برای زمانی که تعداد چاه‌ها خیلی زیاد باشد ممکن است به نتایج گمراه‌کننده و ناصحیح منجر گردد.

- صرف خوشه بندی چاه‌های کشاورزی نمی‌تواند منجر به حصول نتایج بهینه گردد. به عبارتی دیگر دستیابی به خوشه بندی بهینه و تخصیص بهینه یکی از منابع تولید (بادی، خورشیدی، تولید پراکنده و اتصال به شبکه) نیازمند به حل بهینه همزمان خوشه بندی چاه و تعیین نقطه بهینه محل احداث نیروگاه تجدید پذیر یا تولید پراکنده می‌باشد. این در حالی است که در بخش قبل در یک مرحله خوشه بندی بطور مستقل انجام گردید و پس از آن انتخاب منبع تامین انرژی بهینه نه از طریق یک الگوریتم بهینه سازی بلکه با محاسبه کلیه سناریوهای ممکن و جستجوی در نتایج بوده است.

به همین دلیل در این بخش یک الگوریتم ابتکاری جهت سناریو یابی بهینه طرح برق رسانی به چاه‌های کشاورزی ارائه گردیده است. شکل ۷-۱۷ دیاگرام کلی الگوریتم پیشنهادی را نمایش می‌دهد. ایده اصلی این روش به این صورت است که در یک مرحله خوشه بندی اولیه با تعداد کلاستر متغییر انجام می‌شود. نتایج این خوشه بندی اولیه علاوه بر تسهیل در روند محاسبه موقعیت فیدرهای اصلی و طول خطوط انتقال از فیدر اصلی به چاه‌های کشاورزی، به عنوان شرایط اولیه الگوریتم خوشه بندی مرحله دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش پیشنهادی به منظور بهینه سازی خوشه بندی اولیه به این صورت است که ابتدا به هر خوشه یک کاندیدای برق رسانی (یکی از منابع انرژی خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال به شبکه) بر اساس بهترین NPV تخصیص داده میشود. بعد از این یک ماتریس سناریو بر اساس چاه‌ها و کاندیدهای برق‌رسانی اختصاص داده شده ساخته میشود. در گام بعدی اجرای الگوریتم یکی از چاه‌ها به نوبت (به صورت سطری یا ستونی) از ماتریس سناریو حذف میگردد.

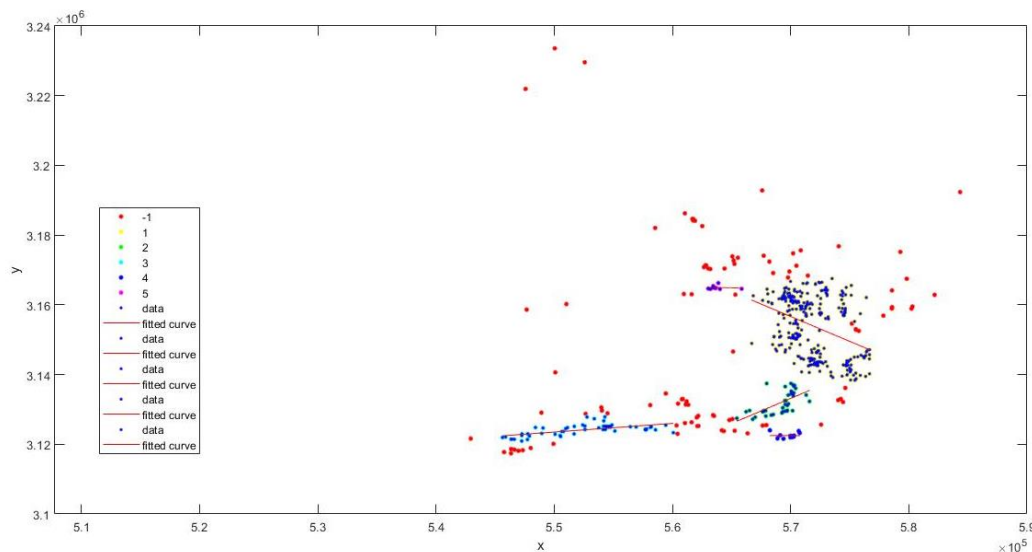


شکل ۱۸-۷: فلوچارت روش بهینه سازی تغییر یافته

در همین گام از محاسبات مجدد ماتریس کارایی (در اینجا NPV) محاسبه می گردد. در ادامه اختلاف میان NPV قبل و بعد از حذف چاه انتخاب شده محاسبه و در یک ماتریس مجزا ثبت می گردد. این روند برای تک تک چاه های هر ستون تکرار می شود. در واقع با حذف هر یک از چاه ها و محاسبه NPV بعد از حذف آن یک آنالیز

حساسیت انجام می‌شود (در یک فضای گسسته که شامل حضور یا عدم حضور هر کدام از چاه‌ها در آن کلاستر می‌باشند). به این ترتیب این روش نشان می‌دهد که اثر حذف هر یک از چاه‌ها بر روی NPV چه میزان تاثیر مثبت یا منفی ای می‌تواند داشته است. خروجی حاصل از این محاسبات با عنوان مقدار ΔNPV ذخیره می‌گردد. با محاسبه ی ماتریس دلتا ΔNPV ، چاه‌هایی که بدترین دلتای ممکن در این مرحله را داشته باشند در تکرار اول حذف می‌گردند و ماتریس سناریو‌ها آپدیت می‌شود. در گام محاسباتی بعدی مشابه تکرار اول برای یک ماتریس جدید با حذف یک چاه از هر یک از کلاسترهای اولیه (بدترین چاه از نظر کمترین تاثیر بر بهبود شاخص NPV) این امر تا جایی ادامه پیدا میکند که تمامی آرایه‌های ماتریس سناریو صفر شده و سناریو ای باقی نماند. در صورت نیاز و بزرگتر بودن ماتریس سناریو، میتوان عمل بهینه سازی را برای تعداد دوره ی محدود نیز انجام داد. پس از پایان دوره، با بررسی تغییرات NPV بر حسب تکرار محاسبات، مشخص می‌شود حداکثر مقدار ممکن برای این شاخص در کدام ماتریس سناریوی تقلیل یافته اتفاق می‌افتد. کد نویسی کلیه مراحل محاسباتی الگوریتم پیشنهادی در محیط نرم افزار مطلب پیاده سازی گردیده است که نزدیک به ۱۰۰۰۰ خط برنامه می‌باشد. در قسمت پایانی و برای دریافت خروجی های محاسبات، برنامه نرم افزاری سناریو هایی که NPV مثبت بوده و توجه پذیر می‌باشند را استخراج مینماید. در ادامه جزئیات روش های مورد استفاده، مراحل پیاده سازی و خروجی های نرم افزار مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. در ادامه مطابق فلوچارت ارائه شده در شکل ۷-۱۷، مراحل خوشه یابی بهینه چاه های کشاورزی و تخصیص منابع در ۱۴ گام به اختصار تشریح می‌گردد:

۱. خوشه بندی اولیه (Primary Clustering): در این مرحله خوشه بندی اولیه ی چاه‌ها بر اساس الگوریتم DBSCAN و پارامترهای تعیین شده ی خوشه بندی انجام میگردد. در هنگام محاسبه ی کلاسترها، میتوان علاوه بر مشخص کردن پارامترهای Epsilon و min point، حداقل مجموع ظرفیت چاه های داخل کلاستر را نیز معین کرد. برای مثال تعیین نمود که هر کلاستر باید حداقل شامل 50 kVA چاه به صورت مجموع باشد تا بتوان آن را به عنوان یک بسته سرمایه گذاری در نظر گرفت. الگوریتم با استفاده از یک حلقه پارامترهای خوشه بندی را تا جایی که شروط خوشه بندی برقرار شوند تکرار خواهد کرد. به این صورت، یک بهینه سازی اولیه نیز بر روی خوشه بندی چاه های کشاورزی انجام خواهد شد. در این مرحله همچنین فیدرها و خطوط برق‌رسانی با استفاده از الگوریتم درون یابی (Interpolation) پلینومیال مرتبه ی ۱ به طور تقریبی محاسبه می‌گردند. پس از محاسبه ی حداقل طول فیدر مورد نیاز و مجموع فواصل میان چاه‌ها تا فیدر اصلی، میتوان به یک تخمین حدودی از طول خطوط مورد نیاز برای هر کلاستر دست یافت. شکل ۷-۱۸ نتایج خوشه بندی و تخمین خطوط فیدر اصلی را نمایش می‌دهد. مائول محاسبه ی خطوط همچنین در این مرحله فواصل میان کاندیدا های احداث نیروگاه و فیدر های اصلی را نیز محاسبه می‌کند.



شکل ۱۹-۷: محاسبه طول فیدر اصلی برای هر کلاستر

۲. محاسبه ی اولیه NPV برای بهینه سازی (Primary NPV Calculation) : پس از آنکه چاه ها و فیدر ها و کاندیدا ها همگی مشخص شدند، یک سناریو اولیه شامل تمامی چاه ها و تمامی کاندیدا ها به ماژول محاسبه ی NPV داده میشود. این به دلیل آن است که هنگام محاسبه ی بهینه سازی، میزان سناریو های مورد بررسی را به میزان قابل قبولی کاهش دهیم تا الگوریتم به جواب نهایی برسد.

۳. پیدا کردن بهترین کاندیدا بر اساس NPV (Find the best NPV) : در این مرحله کاندیدا ها برای هر خوشه بر اساس NPV مرتب شده و بهترین کاندید مشخص میگردد.

۴. تخصیصی بهترین کاندید به هر خوشه بر اساس NPV (Assign the Best source to the NPV Cluster based on NPV) : به این ترتیب در این مرحله خوشه های چاه ها بر اساس بهترین NPV به یک کاندیدای احداث نیروگاه تعلق میگیرند تا مراحل بعدی بهینه سازی روی این خوشه از کاندید و چاه ها انجام شود. با این روش میتوان سناریو های مورد بررسی را تا حد بسیار مطلوبی کاهش داد.

۵. آغاز عملیات بهینه سازی تغییر یافته بر اساس الگوریتم پس رو پیش رو (Begin the Optimization Algorithm) : در این مرحله عملیات بهینه سازی آغاز میگردد. به این صورت که دیتا ها شامل شماره ی خوشه ها و کاندیدا ها و طول خطوط همه وارد ماژول بهینه سازی خواهد شد.

۶. تشکیل ماتریس سناریو (Create the Scenario Matrix) : در این مرحله ماتریس سناریو تشکیل می گردد. ماتریس سناریو یک ماتری n در m است که n ها سطر های ماتریس و چاه های کشاورزی و m ها کاندیدا های احداث نیروگاه می باشند. در مرتبه ی نخست کل ماتریس سناریو برابر با یک قرار داده می شود. در مراحل بعدی این ماتریس سناریو خواهد بود که در هر مرحله به روز رسانی خواهد شد.

۷. ماتریس سناریو باید بر اساس خوشه ها و کاندید ها و مرتب سازی اولیه باشد. به این صورت که شماره ش خوشه ی چاه ها و کاندیدا های مورد نظر مشخص بوده و سناریو هایی که این قید را رعایت نمیکنند در ماتریس سناریو ی کلی برابر با صفر قرار داده می شوند.

۸. حذف یک سطر از ماتریس سناریو به ترتیب (Remove one Row of the Scenario Matrix) : به منظور محاسبه ی تاثیر خروج هر چاه از هر خوشه و مشخص کردن این موضوع که آیا خروج یک چاه به خصوص بر NPV کلی سناریو چه تاثیری می گذارد، یک سطر شامل چاه مذکور از ماتریس سناریو حذف می شود. ۹. محاسبه ی NPV : پس از حذف چاه از سناریو، NPV ماتریس سناریو توسط ماژول NPV محاسبه میگردد.

۱۰. محاسبه ی اختلاف NPV : پس از به دست آوردن NPV ، و کم کردن آن از NPV اولیه ، مشخص میگردد که حذف چاه به NPV کلی سناریو کمک کرده است یا خیر. NPV اولیه در مرحله ی اول NPV محاسبه شده در گام ۳ است ولی در گام های بعدی NPV برابر با گام قبلی خواهد بود.

۱۱. پیدا کردن چاه با بدترین NPV : در این مرحله با یک دسته بندی بدترین تاثیر بر روی NPV و چاه مورد نظر به دست می آیند.

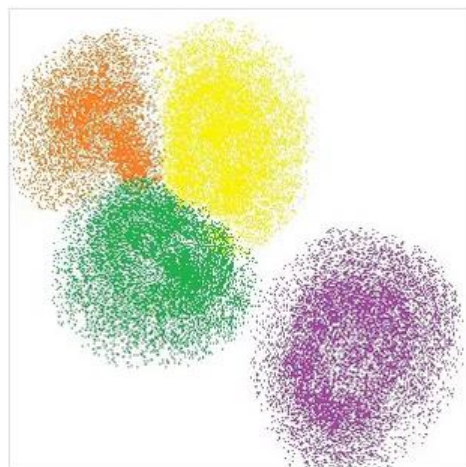
۱۲. حذف چاه با بدترین تغییر در NPV : پس از محاسبه ی اختلاف، چاه که بدترین میزان اختلاف NPV را با مراحل قبلی داشت از ماتریس سناریو حذف میکنیم.

۱۳. آیا همه ی درایه های ماتریس سناریو صفر هستند ؟ : در صورتی که همه ی درایه های ماتریس سناریو صفر باشند یعنی تمام فضای نمونه مورد بررسی قرار گرفته است، در غیر این صورت الگوریتم به گام ۶ باز خواهد گشت.

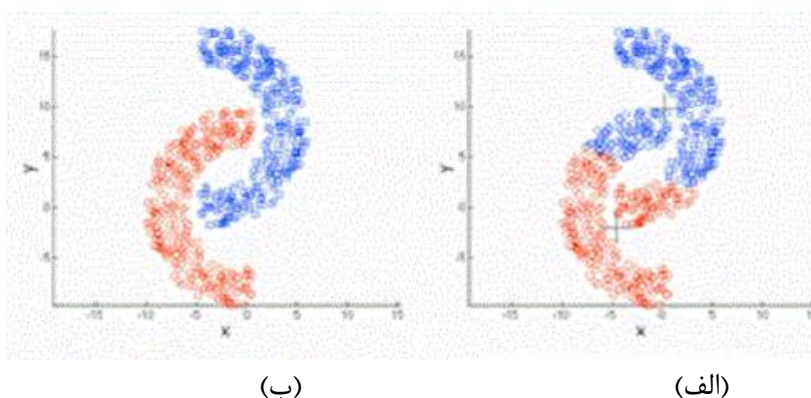
۱۴. پایان : پس از صفر شدن تمامی درایه های ماتریس سناریو، الگوریتم بهینه سازی به پایان خواهد رسید. در این مرحله سناریو ها و روند تغییرات NPV و ماتریس سناریو با بهترین NPV برای چاه ها در دسترس خواهد بود. میتوان با انتخاب ماتریس سناریو با بهترین NPV ، بهترین حالت به دست آمده را به نمایش در آوریم.

۱-۳-۷ خوشه بندی اولیه مبتنی بر روش خوشه بندی DBSCAN

همانگونه که قبلا نیز بررسی گردید یکی از معایب روش خوشه بندی فازی ، ثابت بودن تعداد کلاسترها و وابسته بودن نتایج محاسبات توجیه پذیری اقتصادی تحت تاثیر این پارامتر می باشد. ضمن اینکه روش خوشه بندی فازی برای داده های دو بعدی (یا غیر محدب) مناسب می باشند. شکل های ۷-۱۹ توزیع داده های دو بعدی را نمایش می دهد. برای این نوع داده های خوشه بندی فازی به خوبی جوابگو می باشد. برای داده های محدب مشابه آنچه در شکل ۷-۲۰ نمایش داده شده است، روش خوشه بندی فازی دچار اشتباه می شود و نتایج بدست آمده معتبر نمی باشد. از آنجاییکه توزیع مکانی چاه های کشاورزی الگوی ثابت و پیش بینی شده ای ندارد، خطای خوشه بندی ناشی از داده های محدب در روش فازی بسیار محتمل می باشد. به همین دلیل پس از بررسی دقیق سایر روشهای خوشه بندی و پیاده سازی و ارزیابی نتایج خروجی آنها از بین روشهای مختلف، روش DBSCAN به عنوان روش نهایی انتخاب گردید.



شکل ۲۰-۷: نتایج خوشه بندی فازی برای داده های دو بعدی

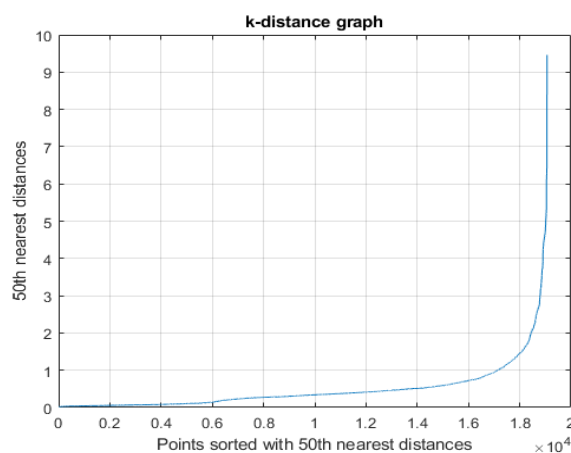


شکل ۲۱-۷: خطای روش خوشه بندی فازی برای داده های محدب روش خوشه بندی فازی (الف) روش خوشه بندی dbscan

از جمله ویژگی های روش خوشه بندی DBSCAN، unl نیاز به تعیین تعداد خوشه ها در ابتدای کار و قابلیت خوشه بندی داده های با الگوی غیر محدب می باشد. این الگوریتم ابتدا یک نمونه (که همان یک نقطه در فضای برداری می شود) را انتخاب می کند و با توجه به شعاع $Epsilon$ به دنبال همسایه برای این نقطه در فضا می گردد. اگر الگوریتم در آن شعاع مشخص $Epsilon$ حداقل توانست به تعداد $MinPoint$ (حداقل نقاط برای تشکیل یک کلاستر) نقطه پیدا کند، آن گاه همه ی آن نقطه ها با هم به یک خوشه تعلق می گیرند. الگوریتم سپس به دنبال یکی از نقطه های همجوار نقطه فعلی می رود تا دوباره با شعاع $Epsilon$ در آن نقطه به دنبال نقاط همسایه دیگر بگردد و اگر تعداد نقاط همسایه ی جدید باز هم پیدا شوند، این الگوریتم دوباره همه آن نقاط جدید را با نقاط قبلی به یک خوشه متعلق می کند و اگر نقطه ی جدیدی در همسایگی پیدا نکرد این خوشه تمام شده است و برای پیدا کردن خوشه های دیگر در نقاط دیگر، به صورت تصادفی یک نقطه دیگر را انتخاب کرده و شروع به یافتن همسایه و تشکیل خوشه ی جدید برای آن نقطه می کند. این کار آنقدر ادامه پیدا می کند تا تمامی نقاط بررسی شوند. الگوریتم DBSCAN به دو پارامتر حساس می باشد که عبارتند از پارامتر $MinPoints$ و پارامتر $epsilon$. هر چه $epsilon$ کوچکتر باشد، خوشه های بیشتر و کوچکتری تشکیل خواهد شد. همچنین هر چه قدر

MinPoint را بزرگ‌تر در نظر بگیریم، احتمال ایجاد خوشه‌ها، کمتر می‌شود زیرا الگوریتم باید تعداد نمونه‌های بیشتری را در یک شعاع خاص ببیند تا خوشه را تشکیل دهد. برای انتخاب یک مقدار برای minp ها، مقداری بزرگتر یا مساوی با یک بعلاوه تعداد ابعاد داده‌های ورودی را در نظر می‌گیریم [۱]. به عنوان مثال، برای ماتریس n-by-p مقدار 'minp' را بزرگتر یا برابر $p + 1$ قرار دادیم.

یک استراتژی برای تخمین مقدار epsilon، ایجاد نمودار فاصله k برای داده ورودی X است. برای هر نقطه در X، فاصله را تا نزدیکترین نقطه kth پیدا می‌کنیم و نقاط مرتب شده را در مقابل این فاصله ترسیم می‌کنیم که این نمودار دارای یک زانو است. فاصله ای که با زانو مطابقت دارد به طور کلی گزینه مناسبی برای اپسیلون است، زیرا منطقه ای است که نقاط شروع به خروج از مرز (نویز) می‌کنند [۱]. قبل از ترسیم نمودار فاصله k، ابتدا کوچکترین فاصله جفت را برای مشاهدات در X، به ترتیب صعودی پیدا می‌کنیم. برای تقسیم خوشه‌های بزرگ و تقسیم بیشتر نقاط، از مقدار کمتری برای اپسیلون استفاده می‌کنیم. شکل ۷-۲۱ نمودار فاصله K برای یک داده فرضی را نمایش می‌دهد. با استفاده از مقدار اپسیلون کوچکتر، DBSCAN قادر است تعداد جدیدی از نقاط را به صورت یک خوشه در نظر بگیرد. با این حال، برخی از خوشه‌هایی که DBSCAN قبلاً به درستی شناسایی کرده بود، اکنون بین نقاط خوشه و نقاط پرت تقسیم شده‌اند. پس نیاز است تا مصالحه ای میان بزرگی و کوچکی اپسیلون و تعداد خوشه‌ها پیدا کرد.

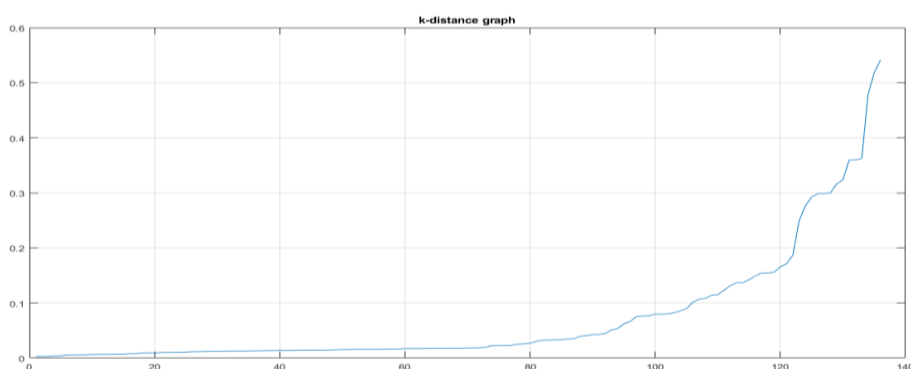


شکل ۷-۲۲: نمودار فاصله K برای دیتای فرضی

۷-۳-۲ بررسی نتایج خوشه بندی تحت تاثیر مقادیر مختلف پارامترهای Minpoint و Epsilon و تعیین مقادیر بهینه این پارامترها

همانگونه که ذکر گردید تنظیم پارامترهای Minpoint و Epsilon نیازمند یک مصالحه بین تعداد خوشه‌ها و شعاع کلاسترها (اپسیلن) می‌باشد. در این بخش تاثیر این پارامترها برای یک نمونه داده‌های ورودی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در هر مورد نتایج بدست آمده مورد آنالیز قرار می‌گیرد. شکل ۷-۱۰ نمودار فاصله به ازای داده‌های ورودی را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، برای مقدار $\text{Minpoint}=3$ نقطه‌ی حدی در محدوده 0.1 قرار دارد. در ادامه با هدف انجام آنالیز حساسیت، نتایج خوشه بندی را به ازای Min point ها و Epsilon های مختلف ارائه می‌گردد. سناریوهای شبیه سازی شده به طور خلاصه در جدول ۷-۹ نمایش داده شده است. نتایج

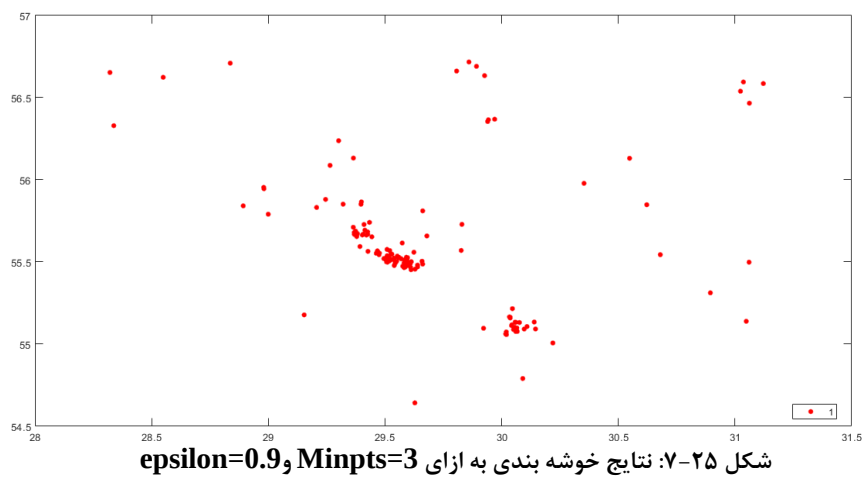
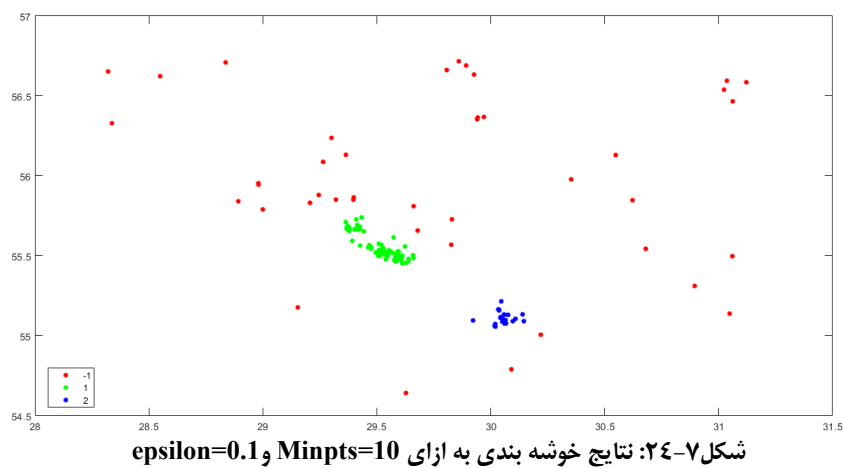
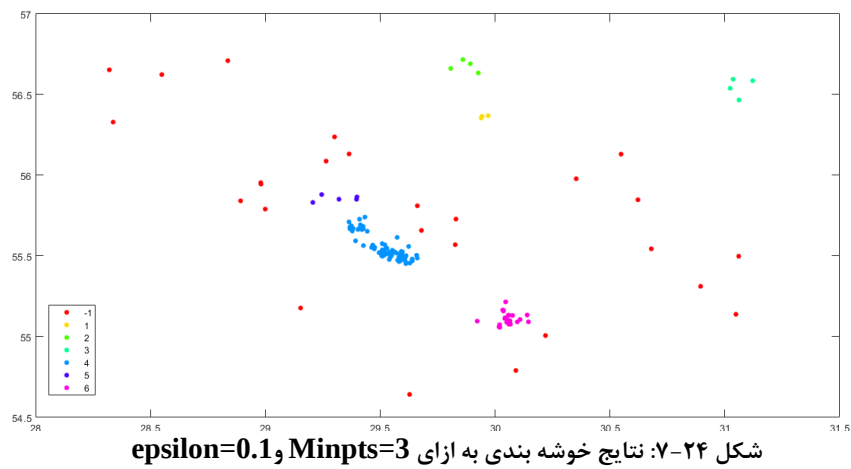
خوشه بندی های انجام شده در شکل های ۷-۲۳ تا ۷-۳۱ ارائه شده است. تغییر در پارامتر **Minpoint** سبب خواهد شد تا حداقل تعداد دیتا ها برای تشکیل یک خوشه تغییر کند. به این صورت که **MinPoint** برابر ۳ به این معناست که حداقل ۳ چاه دارای شرایط باید در خوشه قرار بگیرد تا بتوان یک خوشه تشکیل داد. به همین صورت تغییر در **Epsilon**، میزان فاصله ی ریاضی (اقلیدسی) دو دیتا را در تشکیل یک خوشه مشخص میکند. به این ترتیب هرچه اپسیلون بیشتر باشد، خوشه ها راحت تر شکل میگیرند و هرچه کمتر باشد خوشه ها سخت تر شکل خواهند گرفت. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل های ۷-۲۳ تا ۷-۳۱، به ترتیب اثرات افزایش و کاهش **MinPoint** در ثابت بودن **Epsilon** و افزایش و کاهش **Epsilon** در صورت ثابت بودن **Minpoint** بر روی دیتا ها ست پایلوت مشاهده می شود.

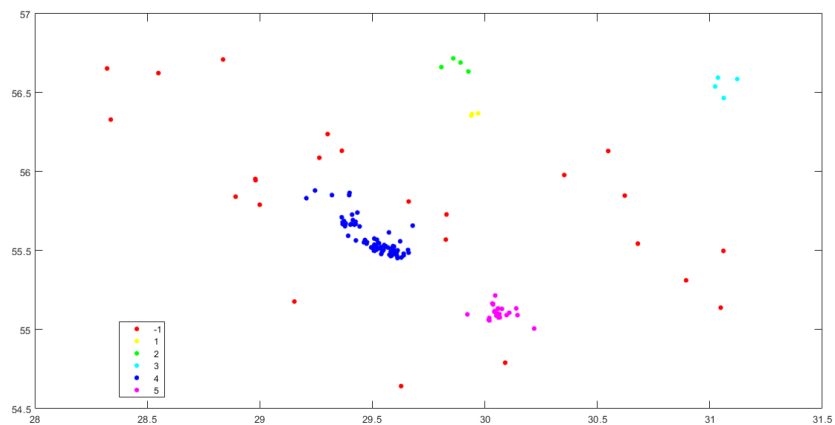


شکل ۷-۲۳: نمودار فاصله **K** برای دیتای فرضی به ازای **Minpoints = 3**

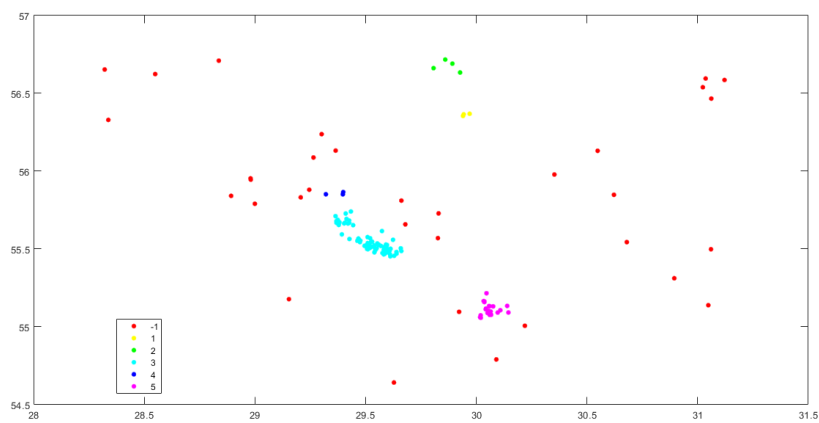
جدول ۷-۸: سناریو های خوشه بندی به ازای مقادیر مختلف **Minpts** و **epsilon**

شکل ۷-۲۳	خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.1$ و $\text{Minpts}=3$
شکل ۷-۲۴	خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.1$ و $\text{Minpts}=10$
شکل ۷-۲۵	خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.9$ و $\text{Minpts}=3$
شکل ۷-۲۶	خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.12$ و $\text{Minpts}=10$
شکل ۷-۲۷	خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.08$ و $\text{Minpts}=3$
شکل ۷-۲۸	خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.001$ و $\text{Minpts}=3$
شکل ۷-۲۹	خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.05$ و $\text{Minpts}=3$
شکل ۷-۳۰	خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.14$ و $\text{Minpts}=3$
شکل ۷-۳۱	خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.01$ و $\text{Minpts}=3$

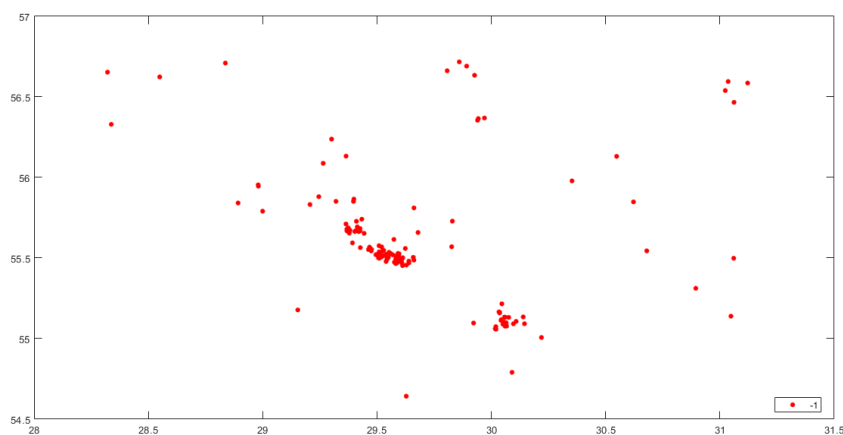




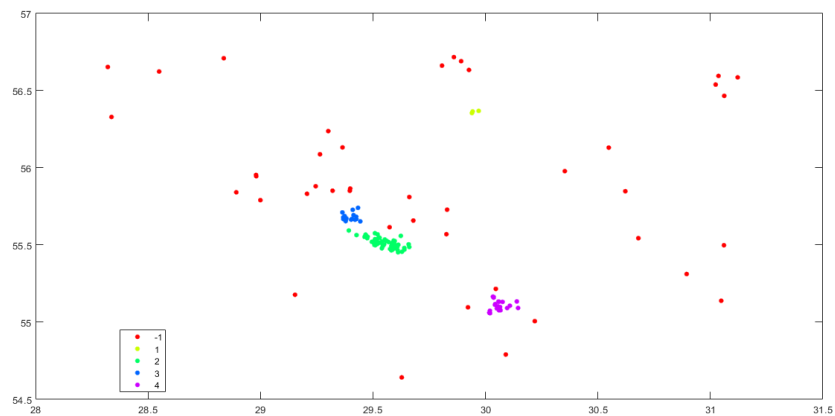
شکل ۲۶-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.12$ و $\text{Minpts}=10$



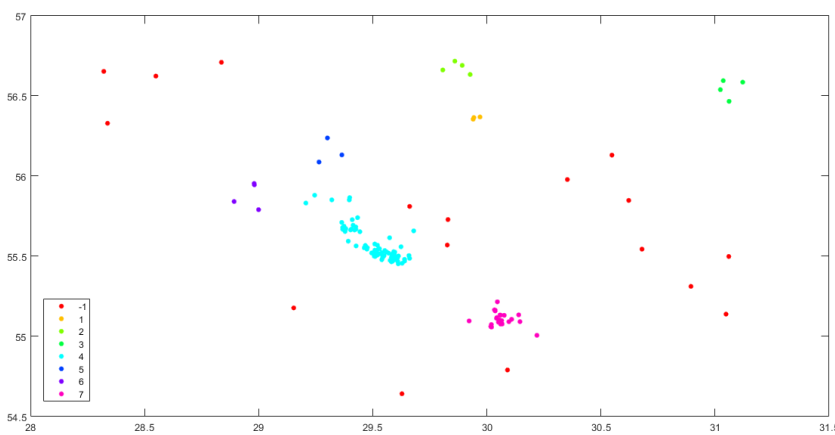
شکل ۲۷-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.08$ و $\text{Minpts}=3$



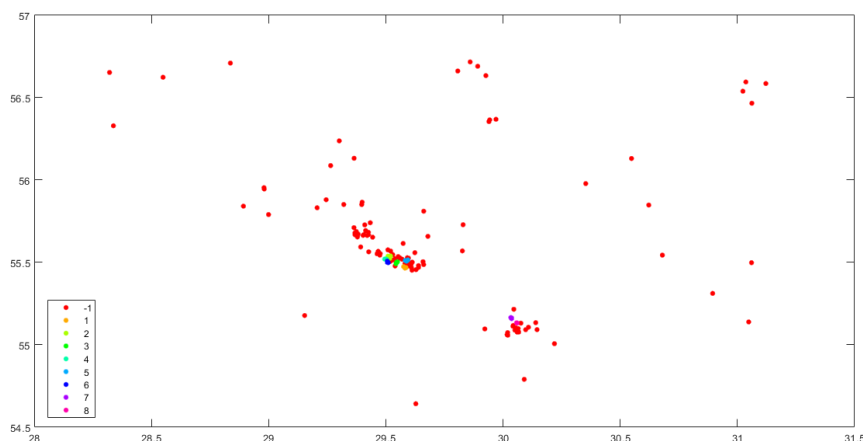
شکل ۲۸-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.001$ و $\text{Minpts}=3$



شکل ۲۹-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.05$ و $\text{Minpts}=3$



شکل ۳۰-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.14$ و $\text{Minpts}=3$



شکل ۳۱-۷: نتایج خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.01$ و $\text{Minpts}=3$

همچنین باید در نظر داشت که در الگوریتم استفاده شده، یک شرط جانبی نیز توسط کاربر اعمال میشود که این شرط حداقل توان مورد استفاده ی یک خوشه است. به این صورت الگوریتم با جا به جا کردن پارامتر Minpoint سعی میکند تا شرط حداقل توان داخل خوشه را برقرار بسازد. به منظور انتخاب بهینه ی پارامتر Epsilon، میتوان

از نمودار k-distance نیز استفاده نمود. در این صورت در نقطه‌ی زانوینی نمودار دیتا‌ها دارای میزان Epsilon بهینه خواهد بود. در این پروژه و بر اساس دیتا‌های مورد استفاده برای پروژه‌ی پایلوت ۰/۲ و پروژه‌ی دیتا‌های واقعی جیرفت ۱۰۰۰ است. میزان اپسیلون به مقیاس دیتا وابسته بوده و با هر ست از داده متفاوت خواهد بود. همانطور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، انتخاب هر دو متغیر Min point و Epsilon باید در محدوده‌ی مجاز قرار داشته باشد. انتخاب خارج از محدوده‌ی هر یک از متغیرها سبب خواهد شد تا الگوریتم به جواب مناسب دسترسی پیدا نکند. اثرات انتخاب مقادیر غیر ایده‌آل در شکل‌ها به وضوح مشخص است.

باید توجه داشت که فاصله اپسیلون فاصله ریاضی است و نه فاصله‌ی جغرافیایی روی کره زمین بنا براین نمیتوان به این فاصله به عنوان شعاع خوشه‌ها استناد کرد. به همین منظور برای اپسیلون‌های مختلف فاصله‌ی بین دیتا‌ها را به صورت فاصله‌ی بین طول و عرض نقاط در یک سایت محاسبه‌ی فاصله قرار دادیم. شکل‌های ۷-۳۲ الف و ب به ترتیب محاسبات فاصله را به ازای مقادیر اپسیلون 0.1 و 0.01 را نمایش می‌دهد.

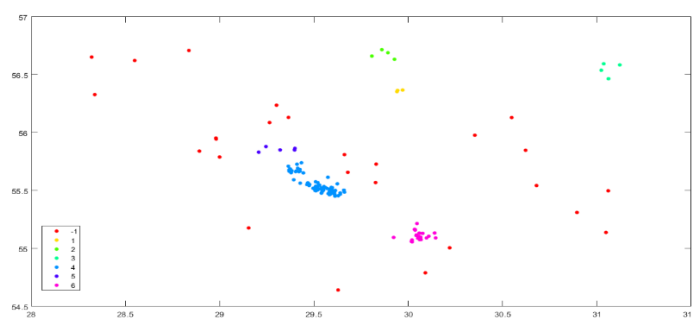
Point 1: 0 , 0.01	Distance: 1.112 km (to 4 SF")	Point 1: 0 , 0.1	Distance: 11.12 km (to 4 SF")
Point 2: 0 , 0	Initial bearing: 270°00'00"	Point 2: 0 , 0	Initial bearing: 270°00'00"
	Final bearing: 270°00'00"		Final bearing: 270°00'00"
	Midpoint: 00°00'00"N, 000°00'18"E		Midpoint: 00°00'00"N, 000°03'00"E

ب

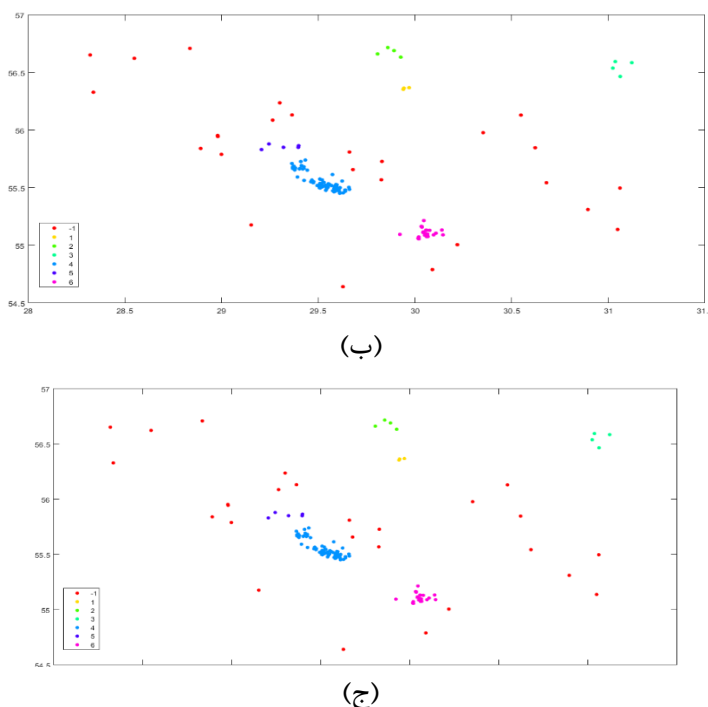
الف

شکل ۷-۳۲: محاسبه تبدیل فاصله به ازای اپسیلون‌های ۰/۱ (الف) و ۰/۰۱ به طول و عرض جغرافیایی

برای اطمینان از تکرار شدنی بودن نتایج برنامه را به ازای مقادیر $\epsilon=0.1$ $Minpts=3$ سه بار پشت سر هم اجرا گردید و همانگونه که در شکل‌های ۷-۳۳ الف تا ج نمایش داده شده، نتایج خوشه بندی بدست آمده یکسان بوده است.



(الف)



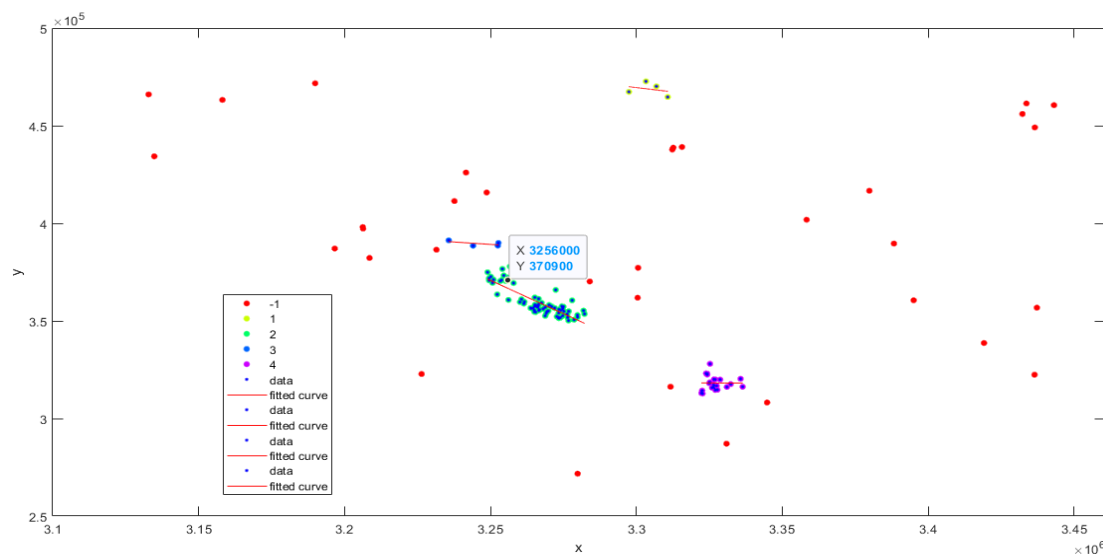
شکل ۳۳-۷: نتایج یکسان حاصل از تکرار خوشه بندی به ازای $\epsilon=0.1$ Minpts=3 بعد از سه بار تکرار خوشه بندی

۳-۳-۷ فصل نهم درون یابی برای تعیین تخمینی فاصله از فیدر

برای تخمین تقریبی فاصله از فیدر توسط جعبه ابزار درون یابی نرم افزار متلب، برای هر خوشه یک تابع خطی درجه ی یک برازش می گردد. تابع تخمینی از کلیه نقاطی که در هر کلاستر هستند (موقعیت چاه های کشاورزی) کمترین فاصله طولی را خواهد داشت. به این ترتیب حداقل طول فاصله خطوط انتقال برای فیدر اصلی خواهد شد. البته در عمل ناهمواریهای زمین و حریم ها در تعیین طول خطوط موثر خواهد بود که با توجه به پیچیدگی محاسبات و حجم زیاد داده های مورد نیاز در هر حلقه تکرار الگوریتم بهینه سازی، از این خطا صرفنظر شده است. همچنین بررسی نتایج آنالیز حساسیت نشان می دهد، حساسیت تابع هزینه نسبت به پارامتر طول خطوط (در محدوده ۲۰٪) نسبت به سایر پارامترها (مانند نرخ تنزیل، ساعت کارکرد و...) چندان بالا نمی باشد. به منظور محاسبه ی فاصله ی نقطه از خط و برای سادگی کار، از معادل مختصات UTM نقاط استفاده شده است. همانطور که پیشتر اشاره شد، مختصات UTM یک مختصات دکارتی است و چنانچه نقاط در یک زون قرار داشته باشند میتوان با فرمول های محاسبه نقطه از خط فاصله ی دکارتی مورد استفاده قرار داد.

$$\text{distance}(ax + by + c = 0, (x_0, y_0)) = \frac{|ax_0 + by_0 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (7-8)$$

همچنین به دلیل اینکه اینبار نقاط در مختصات UTM هستند، باید مقادیر Epsilon نیز به همان ترتیب مورد بازبینی قرار بگیرند تا نتایج یکسان باشد. پس از درست کردن مقدار Epsilon و درون یابی توابع درجه یک برای کلاستر ها نتایج به صورت شکل زیر است.



شکل ۷-۳۴ نتایج درونیابی چاه‌ها و تخمین فواصل فیدر

همانگونه که در شکل و با خط قرمز مشخص است می‌توان به صورت تخمینی و برای محاسبه ی طول خطوط مورد نیاز از چاه تا فیدر اصلی از روش درونیابی ریاضی استفاده نمود. به این ترتیب فواصل برای هرخوشه قابل محاسبه است. بر اساس نتایج بدست آمده اکثر چاه‌ها در رنج حدود ۲ کیلومتری قرار دارند به صورتی که میانگین کل برابر ۱۹۶۶ متر می باشد. همچنین بیشتر چاه‌ها در خوشه بندی وارد شده اند که نشان از مناسب بودن پارامترهای خوشه بندی دارد. نتایج محاسبات فواصل برای هر یک از چاه‌ها در جدول ۷-۹ پیوست آورده شده است. در این جدول سطرهایی که مقدار فاصله صفر درج شده ، چاه‌هایی هستند که در خوشه بندی دور تشخیص داده شده و وارد نشده اند (به عنوان داده های نویزی شناخته می شوند). با توجه به نتایج درونیابی میتوان دریافت که میانگین طول خطوط درونیابی شده در محدوده ی قابل قبول قرار داشته و می تواند به عنوان تخمینی از حد خطوط فیدر نهایی استفاده شود. با استفاده از این نتایج میتوان تابع هدف را که در مراحل بعدی پروژه تشریح خواهد شد به روز رسانی کرد و برآورد هزینه را برای احداث نیروگاه کاندید و اتصال چاه‌ها به آن محاسبه نمود.

۷-۴- روش خوشه بندی بهینه ابتکاری

طبق تعریفی که برای حل مسأله برق رسانی به چاه های کشاورزی تعریف شد، فضای جستجوی در دستیابی به سناریوی بهینه در حالت کلی از یک ماتریس سناریو تشکیل شده است. به صورتی که سطرهای این ماتریس را چاه‌ها و ستون‌های ماتریس را منابع تولید کاندید شده جهت تولید برق تشکیل میدهند. بنابر این بر فرض برای یک سناریو برق رسانی با ۵۰۰ چاه و ۳۰ کاندید احداث نیروگاه، فضای نمونه یک ماتریس ۵۰۰ در ۳۰ خواهد بود که آرایه ۱ به معنی اتصال چاه به کاندید یا منبع ۱ و مقدار ۰ به معنی عدم اتصال چاه به کاندید (یا منبع تامین انرژی) خواهد بود. در هر تکرار از الگوریتم بهینه سازی ، با توجه به قیود مسئله ی بهینه سازی تعدادی از سناریو ها حذف خواهند شد. با توجه به ابعاد بزرگ ماتریس سناریو و انجام محاسبات اولیه مشخص گردید که با توجه به تعداد حالت‌های تکرار برای انجام محاسبات برای هر یک از درایه های ماتریس حل این مساله برای پایلو ت های با تعداد کم چاه های کشاورزی میتواند به مسئله ی زمانبر با حجم بالای محاسبات گردد. به منظور تسریع در روند محاسبات

روش بهینه سازی و رسیدن سریعتر به نتایج بهینه میتوان در مرحله ی ابتدای بهینه سازی با استفاده از یک قاعده ابتکاری فضای نمونه ی را محدود تر و انتخاب نتیجه ی بهینه از میان نتایج نهایی آسان تر نمود. در این روش در مرحله ی اولیه بهینه سازی، ابتدا داده های توصیفی (ساعت کارکرد، دیماند، طول خطوط، منابع انرژی پیشنهادی براساس مطالعات پتانسیل سنجی و...) کلاستر های موجود (حاصل از خوشه بندی اولیه) را برای تعیین بهترین سناریوی ها (از نظر شاخص NPV) به نرم افزار داده می شود. در گام نخست بهترین سناریوی ممکن از بین سناریوی های پیشنهادی برای احداث نیروگاه (از بین کاندیدهای پیشنهادی احداث نیروگاه خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال به شبکه) بر اساس شاخص NPV انتخاب می گردد. در مراحل بعدی، بهینه سازی بر روی این سناریو های بهینه اولیه انجام می شود و خوشه بندیهای انجام گرفته تدقیق می شود. با استفاده از این روش حجم محاسبات و تعداد سناریو ها به میزان چشمگیری کاهش خواهد یافت. در مرحله بعد که شروع فرآیند بهینه سازی مبتنی بر الگوریتم پس رو پیش رو می باشد. به این ترتیب کلیه داده ها شامل شماره ی خوشه ها و کاندیدا ها و طول خطوط، مولفه های هزینه ایی و... به ماژول محاسبات بهینه ارسال خواهد شد. بطوریکه در فلوچارت شکل ۷-۱۷ نیز نشان داده شد، ابتدا تشکیل ماتریس سناریو تشکیل می گردد. ماتریس سناریو یک ماتری n در m است که n ها سطر های ماتریس و نشان دهنده چاه های کشاورزی و m ها کاندیدا های احداث نیروگاه (اعم از خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه) می باشند. در مرتبه ی نخست کل درایه های ماتریس سناریو برابر با یک قرار داده می شود. به این معنی که فرض می کنیم کلیه چاه ها به کلیه منابع متصل هستند. در مراحل بعدی از الگوریتم بهینه سازی ماتریس در هر تکرار به روز رسانی می شود. ماتریس سناریو باید بر اساس خوشه ها و کاندید ها و مرتب سازی اولیه باشد. همانگونه که ذکر گردید در صورتیکه بخواهیم کلیه درایه های ماتریس را در ابتدا ۱ در نظر بگیریم و سپس روش پس رو یا پیش رو را در پیش بگیریم حجم محاسبات بسیار بالا خواهد بود. بر همین مبنا براساس خوشه بندی اولیه، بهترین کاندید برق رسانی از بین منابع تامین انرژی مختلف معرفی شده انتخاب می گردد. بنابراین با در نظر گرفتن اطلاعات توصیفی خوشه ها و نتایج سناریوسازی بهینه اولیه، درایه های متناظر با سایر انتخاب ها در ماتریس سناریو صفر در نظر گرفته می شوند. در مرحله بعدی با هدف تدقیق خوشه بندی انجام گرفته ابتدا تاثیر حذف هر یک از چاه ها (هر یک از سطرها) بر روی تابع هزینه (در اینجا NPV) بدست آمده برای هر یک از خوشه ها محاسبه می گردد. هدف از انجام این محاسبات تعیین میزان افزایش یا کاهش شاخص NPV با حذف چاه مورد نظر (سطر ماتریس) می باشد. به این ترتیب یک آنالیز حساسیت نسبت به وضعیت قرار گرفتن هر یک از چاه ها در آن کلاستر (۱ قرار گرفتن در کلاستر و صفر حذف از آن کلاستر) در هر تکرار انجام می شود. لازم به ذکر است ممکن است یک چاه بطور مشترک در یک یا چند کلاستر قرار گیرد که پس از انجام همه تکرار ها و تحلیل نتایج مشخص می شود چاه شماره n در کدام کلاستر قرار گیرد بهینه تر می باشد. در ادامه روند محاسبات، پس از حذف چاه m از یک سناریو، NPV ماتریس سناریو جدید توسط ماژول NPV محاسبه میگردد. با تکرار محاسبات مقدار NPV جدید با حذف هر یک از چاه ها محاسبه و ثبت می گردد. پس از تکمیل ماتریس NPV جدید و کم کردن آن از NPV_0 اولیه، مشخص میگردد که حذف هر یک از چاه ها چه میزان به بهبود شاخص NPV هر یک از سناریو ها کمک کرده است. به این ترتیب پس از حذف هر یک از چاه ها ماتریس ΔNPV_1 قابل محاسبه می باشد. این مقدار می تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. مقدار مثبت ΔNPV_1 نشان می دهد با حذف چاه شماره ۱، مقدار تابع هدف بهبود داشته و به این معنی است

که خارج شدن این چاه از کلاستر مورد نظر به نفع سرمایه گذار می باشد. مقدار منفی یعنی حذه چاه مورد نظر از سناریوی مورد مطالعه موجب زیان به سرمایه گذار می گردد. تا اینجا تنها یک چاه حذف و تاثیر آن بر روی شاخص NPV سنجیده شد. در تکرار بعدی همین محاسبات برای تک تک چاه های هر سطر ماتریس سناریو انجام می شود. لازم به ذکر است در این مرحله برای تکرار محاسبات سطر دوم، چاه متناظر با سطر اول به ماتریس برگردانده می شود. به این ترتیب به تعداد سطرهای ماتریس سناریو این محاسبات تکرار خواهد شد. بعد از تشکیل ماتریس $\Delta NPV1$ و رتبه بندی مقادیر محاسبه شده (از بزرگترین مثبت به بزرگترین منفی)، بهترین چاه انتخابی (چاهی که حذف آن بیشترین تاثیر مثبت را بر روی NPV داشته باشد) برای حذف از سناریوی مورد مطالعه انتخاب می شود.

در این الگوریتم محاسبات در دو مرحله تکرار می شود: تکرار اول مربوط به انتخاب بهترین چاه برای حذف از آن سناریو و کاهش یک واحد (سطر ماتریس) از ابعاد ماتریس سناریو. پس از حذف یک چاه، محاسبات قبلی برای کلاستر (سناریوی جدید) مشابه آنچه در شروع الگوریتم توضیح داده شده تکرار می شود. با این تفاوت که مقدار NPV با حذف یکی از چاه ها، مقدار اولیه برای تکرار دوم خواهد بود ($NPV1$). در گام دوم، محاسبات حذف تک تک چاه ها و محاسبه ماتریس $\Delta NPV2$ ، مشابه گام اول می باشد. به این ترتیب در این مرحله نیز مشخص می شود از بین چاه های باقی مانده (پس از حذف یک چاه در گام اول)، کدام چاه حذف شود بهبود بیشتری در NVP ایجاد می شود. این روند حذف چاه ها از سناریو های اولیه تا آخرین چاه انجام می شود. لازم به ذکر است با توجه به اینکه در تکرارهای مختلف تا صفر شدن تعداد چاه ها در هر کلاستر، طول خط انتقال فیدر اصلی، مجموع طول خطوط چاه ها تا فیدر، خط انتقال فیدر اصلی تا منبع، مجموع دیماند چاه ها در کلاستر (ظرفیت نیروگاه) ظرفیت ترانس و... تغییر خواهد کرد که در هر تکرار این مقادیر مجدد محاسبه و بر اساس این مقادیر و محاسبه میزان بازپرداخت از محل صرفه جویی مقدار NPV محاسبه می گردد. طول فیدر یکی از هزینه های اصلی مربوط به مسئله ی برق‌رسانی چاه های کشاورزی است. با توجه به الگو ریتیم مسئله ی بهینه سازی، میتوان مشاهده نمود که در هر مرحله تعدادی از چاه ها از ماتریس ضرایب حذف خواهد شد و بنا براین هزینه ی مربوط به احداث خطوط برای چاه های حذف شده باید از هزینه ی کلی سناریو حذف گردد.

بعلاوه لازم است تا طول فیدر اصلی با استفاده از روش درونیایی مجدداً محاسبه گردد. همانگونه که در بخش های قبل تشریح گردید، برای این منظور از روش درون یابی درجه یک استفاده شده است. انجام محاسبات درون یابی با استفاده از روش مینیمم مربعات خطا تا زمان همگرایی محاسبات درون یابی موجب می گردد تا محاسبات الگوریتم بهینه سازی به شدت زمان بر گردد. برای رفع این مشکل در ابتدای شروع محاسبات الگوریتم و خارج از حلقه تکرار، ابتدا هزینه های مربوط به فیدر هر چاه و اتصال آن به فیدر اصلی در نرم افزار پیاده سازی شده توسط تابع "Well Feeder Table" محاسبه و به صورت یک جدول در دسترس برنامه خواهد گرفت. به دلیل اینکه خوشه ها فیدر های اصلی درون یابی شده برای خوشه ها و چاه ها مکان و طول ثابتی دارند، میتوان جهت جلوگیری از اتلاف وقت و تسریع مسئله ی بهینه سازی در ابتدا تمامی مقادیر فرضی را محاسبه استخراج و در مراحل محاسبات تکراری شبیه سازی به آن ها رجوع نمود.

به این ترتیب الگوریتم تا مرحله حذف همه چاه های هر کلاستر ادامه خواهد داشت. پس از صفر شدن تمامی درایه های ماتریس سناریو، الگوریتم بهینه سازی به پایان خواهد رسید. در این مرحله سناریو ها و روند تغییرات NPV

و ماتریس سناریو با بهترین NPV برای چاه‌ها به عنوان خروجی محاسبات در دسترس خواهد بود. بنابراین بعد از اتمام الگوریتم در مرحله Post-processing، با انتخاب ماتریس سناریو با حداکثر NPV، بهترین سناریوی ممکن را شناسایی کرد. نحوه محاسبات و بررسی خروجی الگوریتم الگوریتم در فصل بعدی برای پایلوت شهر جیرفت ارائه خواهد گردید.

۸- فصل هشتم: انجام محاسبات خوشه بندی بهینه برای پایلوت جیرفت

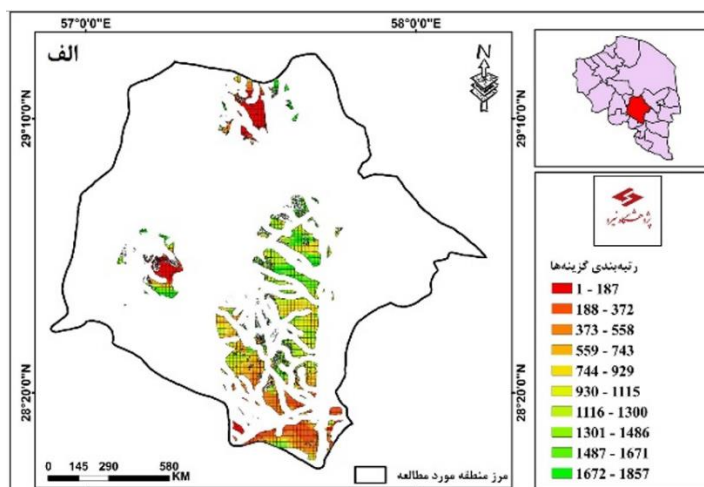
۸-۱- مقدمه

در فصل قبل مراحل مختلف پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی جهت خوشه بندی بهینه چاه های کشاورزی و انتخاب راهکار مناسب برق رسانی به چاه های کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل خروجی محاسبات نرم افزار پیاده سازی شده ارائه می گردد. لازم به ذکر است محاسبات روش پیشنهادی در محیط نرم افزار مطلب پیاده سازی شده که شامل ۶۰۰۰ خط برنامه نرم افزاری می باشد.

در فصل های ۱ تا ۴ پروژه مراحل پتانسیل سنجی و شناسایی ساخت گاه های منابع تجدید پذیر، تولید پراکنده و نقاط قابل اتصال به شبکه به صورت نقشه پیکسل بندی شده ارائه گردید. به طوریکه بررسی گردید چهار راهکار اصلی به منظور تامین دیمانند مورد نیاز چاه های کشاورزی در طرح ملی در نظر گرفته شده است که عبارتند از :

- برق رسانی به روش نیروگاه خورشیدی فوتو ولتائیک PV
- برق رسانی به روش نیروگاه بادی Wind Turbine
- برق رسانی به روش نیروگاه پراکنده Distributed Generation
- برق رسانی به روش اتصال به شبکه توزیع Grid Connection

در مرحله اول پروژه (فصل های اول تا چهارم) نتایج مطالعات پتانسیل سنجی برای هر یک از این راهکارها ارائه گردید. برای نمونه، شکل ۸-۱ نقاط دارای پتانسیل احداث همزمان نیروگاه خورشیدی و بادی را در پایلوت جیرفت نمایش می دهد.



شکل ۸-۱: نقاط دارای پتانسیل احداث همزمان نیروگاه خورشیدی و بادی به ترتیب اولویت

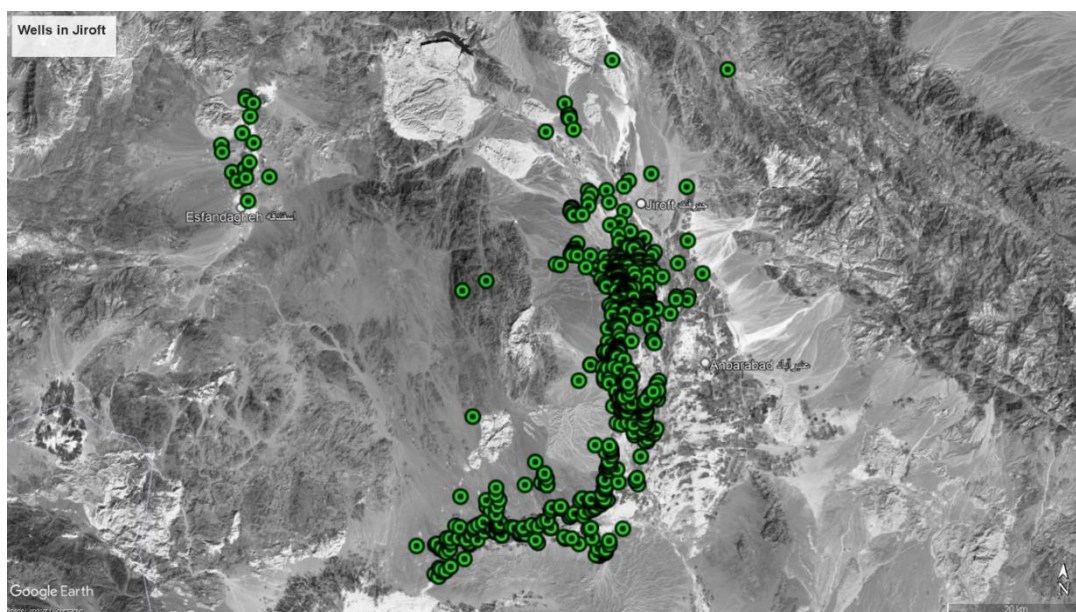
بطور کلی ۱۸۵۷ پیکسل رتبه شدند که نقاط دارای رنگ قرمز بیشترین پتانسیل را دارا می باشند. همانطور که در فصل چهارم بررسی گردید نقشه های پتانسیل سنجی پیکسل بندی شده برای سناریو های مختلف (خورشیدی - تولید پراکنده، خورشیدی - اتصال مستقیم به شبکه، بادی - تولید پراکنده، بادی - اتصال مستقیم به شبکه و سایر حالت های ترکیبی از چهار نوع منبع انرژی) ارائه گردید.

به این ترتیب نقاط دارای پتانسیل بالا برای هر یک از راهکارهای خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه و ترکیب های مختلف آنها به عنوان یک بخش از بانک داده مورد نیاز به منظور سناریو سازی و

بهینه‌سازی در اختیار طراح قرار می‌گیرد. در ادامه خروجی محاسبات الگوریتم پیشنهادی در پایلوت جیرفت ارائه می‌گردد.

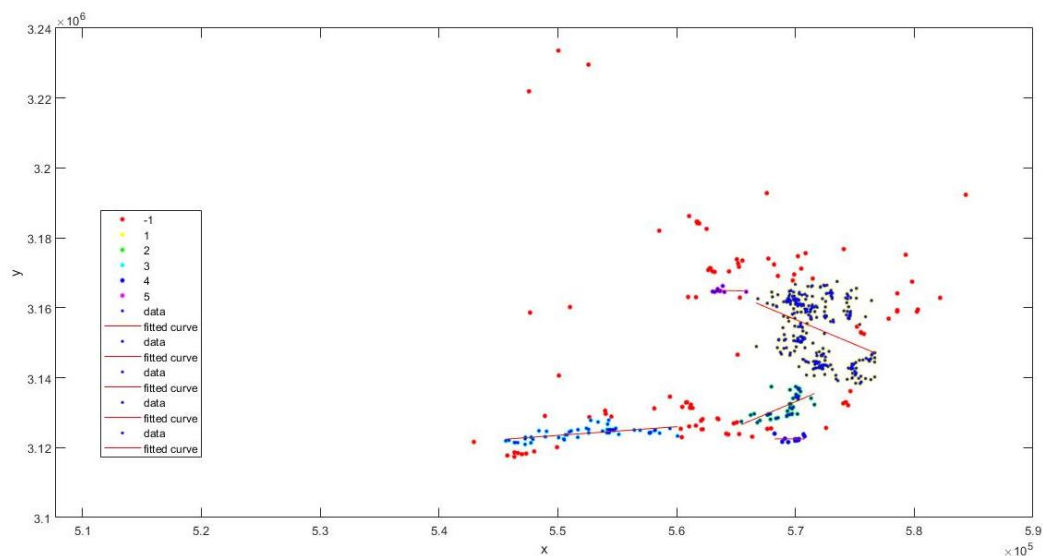
۸-۲- خوشه‌بندی اولیه چاه‌های کشاورزی پایلوت جیرفت بر اساس روش dbscan

در این بخش اطلاعات داده‌های چاه‌های کشاورزی (موقعیت، دیماند، ساعت کارکرد و...) برای ۵۳۶ چاه به منظور مطالعات برق‌رسانی انتخاب شده‌اند. موقعیت چاه‌های کشاورزی در شهر جیرفت مطابق شکل ۸-۲ بر روی نقشه جغرافیایی ترسیم شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود تمرکز عمده چاه‌ها در این شهرستان عمدتاً در بخش شرقی می‌باشد.



شکل ۸-۲: موقعیت چاه‌های کشاورزی شهر جیرفت

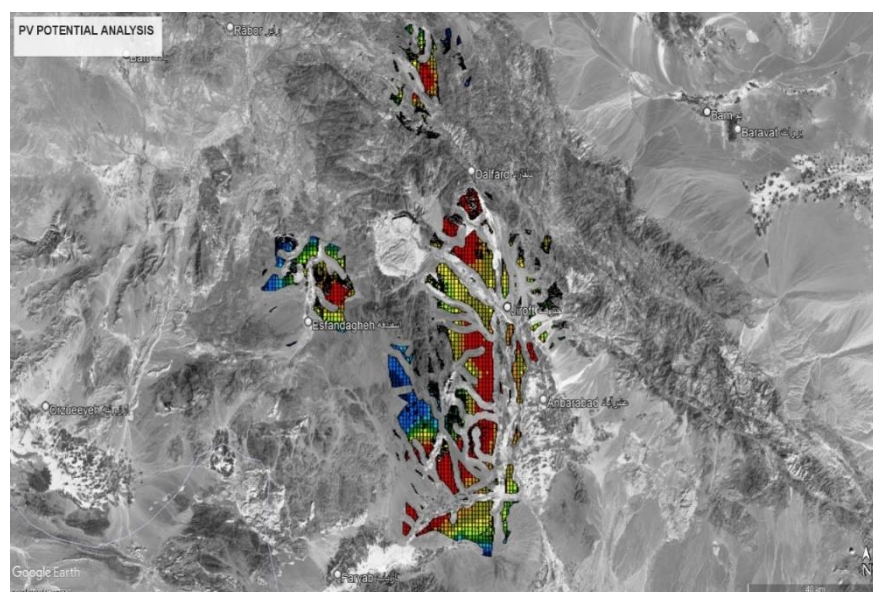
نتایج خوشه‌بندی اولیه چاه‌های کشاورزی برای پایلوت جیرفت در شکل ۸-۳ نمایش داده شده است. همانگونه که در فصل قبل بررسی گردید با استفاده از روش خوشه‌بندی DBSCAN که در فصول قبل به آن پرداخته شده، چاه‌های کشاورزی خوشه‌بندی شده و فیدرهای اصلی برق‌رسانی برای هر کلاستر با روش درون‌یابی تخمین زده می‌شوند. همانگونه که ملاحظه می‌شود پس از خوشه‌بندی ۵ کلاستر شناسایی شد که با رنگ‌های مختلف نمایش داده شده است. در این مرحله پارامترهای ϵ و $\min_point$ به ترتیب برابر با ۳ و ۲km می‌باشند. داده‌هایی که با رنگ قرمز نمایش داده شده به عنوان داده‌های نویز شناسایی شدند و در هیچ یک از خوشه‌بندی‌های پنج‌گانه قرار نگرفتند. همین‌طور که مشاهده می‌شود فیدرهای خوشه‌بندی‌های تخمینی انطباق قابل قبولی با مکان‌گیری چاه‌های کشاورزی دارند.



شکل ۳-۸: خوشه بندی چاه‌های کشاورزی و تخمین فیدرهای اصلی

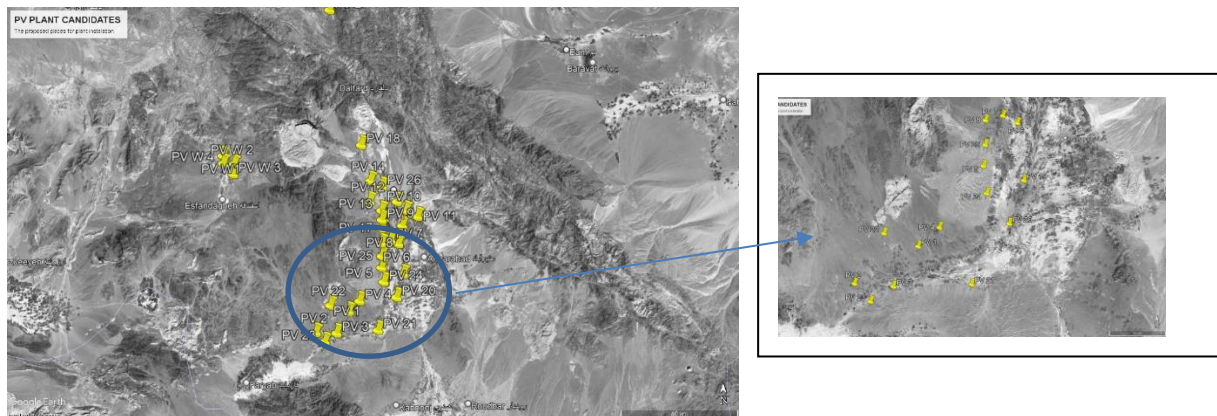
۳-۸- سناریو برق‌رسانی به روش خورشیدی PV

در این سناریو بر اساس نتایج مطالعات پتانسیل سنجی انجام شده در فصل ۴ ام، تعداد ۳۰ کاندیدای برتر برای احداث نیروگاه خورشیدی انتخاب گردیده است. موقعیت احداث این ۳۰ نیروگاه، همراه با سایر داده‌ها بصورت یک آرایه داده به برنامه نرم افزاری داده می‌شود. یکی از قابلیت‌های نرم افزار پیاده سازی شده در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مدل می‌باشد که در بخش بعدی به آن خواهیم پرداخت. در این حالت پارامتر میزان سطح تابش خورشید، به عنوان ضریبی از تابش خورشید متوسط نرمالایز شده و به نرم افزار وارد شده است. موقعیت جغرافیایی کاندیداها در شکل آورده شده است. شکل ۸-۴ نتایج پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی را نمایش می‌دهد. نقاط با رنگ قرمز نشان دهنده پتانسیل بالای احداث واحدهای خورشیدی می‌باشد.



شکل ۴-۸: نتایج پتانسیل سنجی انرژی خورشیدی در پایلوت چیرفت

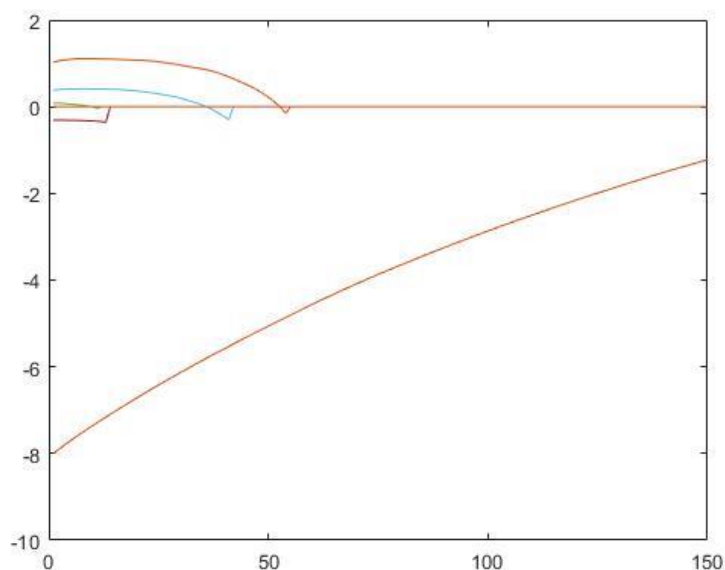
بطوریکه ذکر گردید به منظور برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی پایلوت جیرفت با در نظر گرفتن موقعیت چاه ای کشاورزی و نتایج خوشه بندی انجام شده در این پایلوت تعداد ۳۰ نقطه برای احداث نیروگاه خورشیدی انتخاب و مطابق شکل ۷-۱۴ بر اساس مختصات طول و عرض جغرافیایی این نقاط بر روی نقشه جغرافیایی نمایش داده شده است.



شکل ۵-۸: کاندیدا های احداث نیروگاه خورشیدی در پایلوت جیرفت

۸-۳-۱ نتایج الگوریتم خوشه بندی بهینه پیشنهادی

مراحل پیاده سازی الگوریتم خوشه بندی بهینه چاه‌های کشاورزی مبتنی بر روش پس رو-پیش رو در فصل ۷ تشریح گردید. همانگونه که بررسی شد کل محاسبات خوشه یابی بهینه در دو حلقه اصلی تکرار می شود که حلقه اول تعیین بهترین انتخاب برای حذف یک چاه از خوشه بندی اولیه و حلقه دوم تکرار این فرآیند (تعیین بهترین گزینه چاه برای حذف از ماتریس سناریو) برای ماتریس جدید پس از حذف چاه در مرحله قبل. این فرآیند تا مرحله حذف آخرین چاه کشاورزی ادامه خواهد یافت بطوریکه در پایان هیچ چاهی برای حذف شدن در هر کلاستر باقی نخواهد ماند. شکل ۷-۱۵ مقدار شاخص ارزش خالص فعلی (NPV) را برای هر یک از تکرارهای الگوریتم برای هر ۵ کلاستر تا زمان حذف همه چاه از خوشه بندی اولیه را در هر یک از ۵ کلاستر نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می گردد برای تعدادی از کلاسترها مقدار شاخص NPV مثبت بوده و با افزایش تکرار حلقه محاسباتی در یک نقطه به ماکزیمم مقدار خود می رسد و بعد از این نقطه این شاخص شروع به کاهش می کند. مشخصه NPV بر حسب تکرار حلقه دوم (معادل تعداد چاه در هر کلاستر) دارای یک نقطه ماکزیمم می باشد. به این ترتیب بهترین سناریوی خوشه بندی پس از اتمام محاسبات برای خوشه هایی که دارای مقدار NPV مثبت می باشند قابل استخراج می باشد.



شکل ۶-۸: نمودار NPV برای محتمل‌ترین حالت برای سناریو PV در ۱۵۰ دوره (iteration)

بررسی نتایج محاسبات نشان می‌دهد از ۵ کلاستر خروجی خوشه بندی اولیه تنها ۳ خوشه دارای NPV مثبت می‌باشند و از نظر اقتصادی برای سرمایه‌گذاران عامل صرفه جویی توجیه پذیر می‌باشد. در ادامه مشخصات هر یک از این خوشه‌ها در جداول ۸-۱ تا ۸-۴ آورده شده است. داده‌های ارائه شده شامل مشخصات چاه‌های کشاورزی و محل احداث نیروگاه خورشیدی می‌باشد. سایر پارامترها مانند هزینه سرمایه‌گذاری، در آمد تجمیعی، نرخ بازده داخلی و ... نیز از طریق نرم افزار قابل محاسبه می‌باشد.

جدول ۸-۱: مشخصات چاه‌های کشاورزی پس از خوشه بندی بهینه بر اساس راهکار خورشیدی

y	x	توان	ردیف
3126711	554195	28.5	1
3125113	551700	40	2
3125183	554178	4	3
3124213	554136	2	4
3122963	551685	13.5	5
3125019	558210	10	6
3125012	556446	1.5	7
3124882	554571	3.5	8
3124404	557817	8	9
3123116	548944	22.83	10
3124812	548417	35	11
3123805	555134	50	12
3122080	545893	20	13
3121459	546404	12	14
3121931	545629	10	15
3122223	550553	23.5	16
3121433	546352	8	17
3122461	550496	10.5	18
3120923	547252	21	19
3124857	558145	20	20
3124210	552608	16.5	21
3124757	551126	15	22

3125229	552595	40	23
3124956	556928	9	24
3124136	558573	15	25
3122360	547907	20	26
3124245	557698	8	27
3123099	548956	7	28
3124882	554738	2	29
3125518	554883	6	30
3125469	559443	12	31
3123637	550654	1.83	32
3124710	553770	3.5	33
3124257	554325	3	34
3122949	547271	20	35
3124101	557749	35	36
3121414	546629	25	37
3122965	547760	40	38
3122509	547264	40	39
3124490	550978	30	40
3125155	554474	5	41
3125088	554692	4	42
3125128	554381	5	43
3125148	554767	4	44
3125524	552413	16	45
3121361	547736	15	46
3123661	550778	9	47

جدول ۲-۸: مشخصات بهترین خوشه بندی های شناسایی شده رتبه ۱

خوشه با بهترین NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [KW]
۱.۱۱۰۰۴۵۴۷۹	۸	۴۷	۷۵۰.۶۶

جدول ۳-۸: مشخصات بهترین خوشه بندی های شناسایی شده رتبه ۲

NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [KW]
۰.۰۸۲۳۴۶۲۴۶	2	10	۸۵.۵

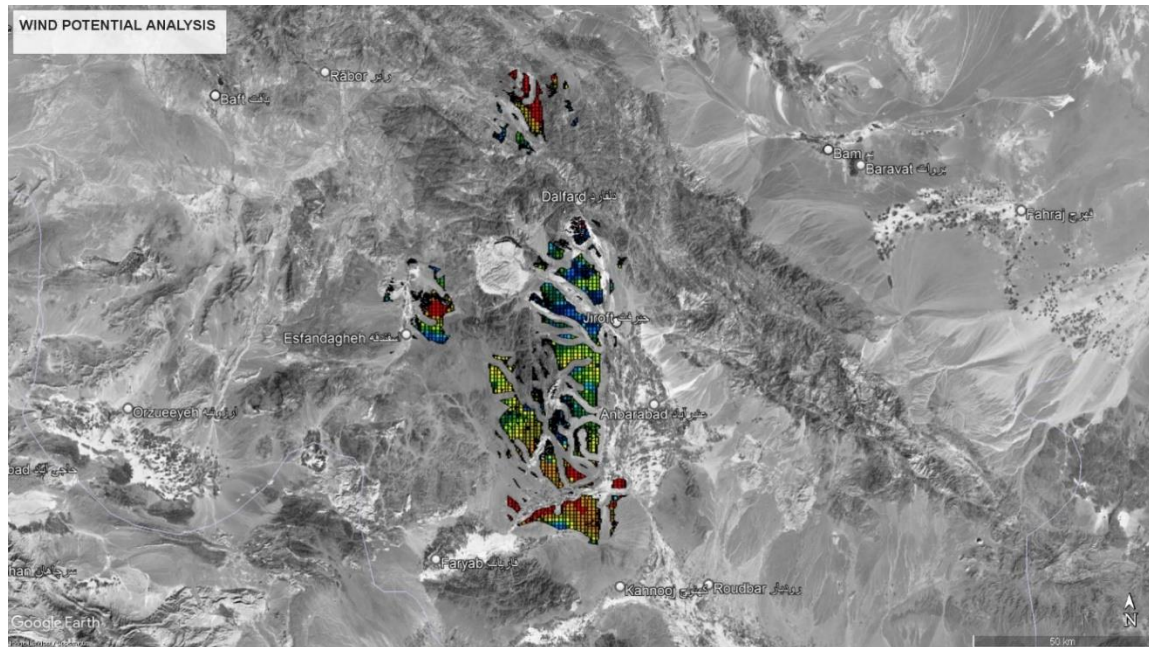
جدول ۴-۸: مشخصات بهترین خوشه بندی های شناسایی شده رتبه ۳

NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [KW]
0.410719484	۸	۳۴	474.5

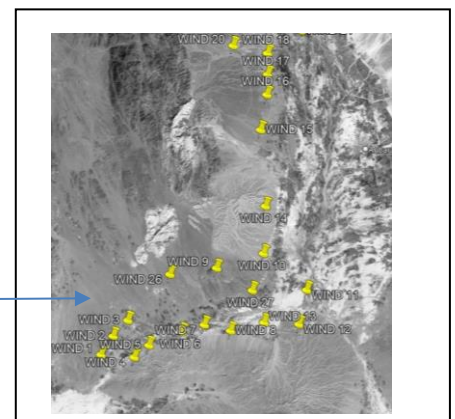
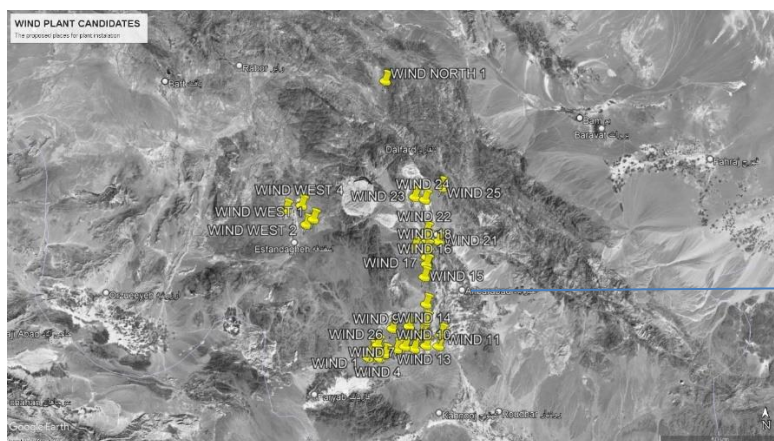
۱-۳-۸- سناریو برق‌رسانی به روش توربین بادی

یکی دیگر از راهکارهای مبتنی بر انرژی های تجدیدی پذیر در طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی، توسعه مولد های بادی می باشد. طبق مطالعات پتانسیل سنجی محدوده های مستعد جهت احداث نیروگاه بادی پایلوت جیرفت در فصل ۴ شناسایی و رتبه بندی گردید. با استفاده از داده های پتانسیل سنجی، ۳۳ کاندیدای مناسب جهت احداث نیروگاه بادی انتخاب گردید. برای ملاحظه ی مراحل انتخاب و پارامتر های انتخاب کاندیدا های نیروگاه بادی میتوان به گزارش پتانسیل سنجی (فصل ۴) رجوع نمود. شکل نقشه پیکسل بندی شده نقاط پرتانسیل جهت احداث نیروگاه بادی را نمایش می دهد. نقاط با رنگ قرمز دارای بیشترین پتانسیل برای احداث مولد های بادی می باشند. پس از وارد نمودن داده های مربوط به موقعیت طول و عرض جغرافیایی ۳۳ نقطه احداث

نیروگاه بادی به همراه سایر پارامترها (موقعیت چاه‌های کشاورزی، ساعت کارکرد، دیماندر هر چاه و...) محاسبات الگوریتم خوشه بندی بهینه اجرا می گردد.

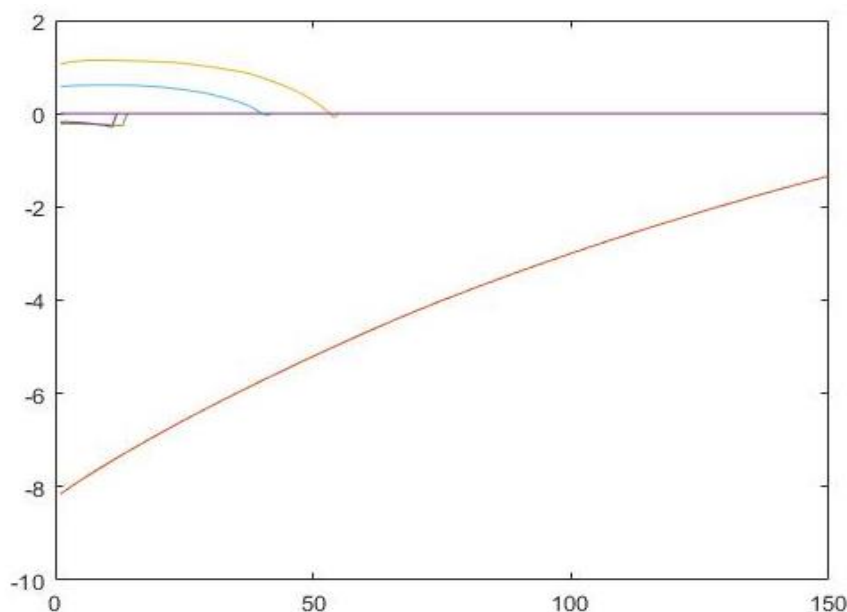


شکل ۷-۸: نقاط مستعد احداث نیروگاه بادی در پایلوت جیرفت



شکل ۸-۸: کاندیدا های انتخاب شده جهت احداث نیروگاه بادی

در مرحله قبل بر اساس نتایج خوشه بندی اولیه، برای ۵ کلاستر بدست آمده برق رسانی با استفاده از مولد خورشیدی توسط الگوریتم خوشه بندی بهینه گردید. پس از اجرای این الگوریتم علاوه بر تدقیق خوشه ها، موقعیت احداث نیروگاه خورشیدی نیز تعیین می گردد. در این بخش همین محاسبات برای مولد بادی انجام شده است. نتایج محاسبات خوشه بندی بهینه برای مولد بادی در شکل ۸-۹ نمایش داده شده است.



شکل ۹-۸: نتایج خروجی الگوریتم خوشه بندی بهینه برای سناریو بادی

به طوریکه ملاحظه می گردد از بین ۵ خوشه شناسایی شده، تنها دو خوشه دارای NPV مثبت هستند و برای سایر خوشه ها، استفاده از راهکار مولد بادی از نظر اقتصاد توجیه پذیر نمی باشد. همانگونه که در شکل ۹-۸ نمایش داده شده، برای دو کلاستر با NPV مثبت با استفاده از روش پیشنهادی در تکرارهای مشخص شاخص NPV دارای نقطه بهینه می باشد. جداول ۸-۵ و ۸-۶ مشخصات کلاسترهای بهینه سازی شده را پس از اتمام محاسبات ارائه می دهد.

جدول ۸-۵: مشخصات بهترین خوشه بندی های شناسایی شده رتبه ۱

خوشه با بهترین NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [KW]
۱/۱۴۵۲۵۷۳۴۱	8	47	۷۵۰/۶۶

جدول ۸-۶: مشخصات بهترین خوشه بندی های شناسایی شده رتبه ۲

NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [KW]
0.610001762	۱۰	۳۲	461.5

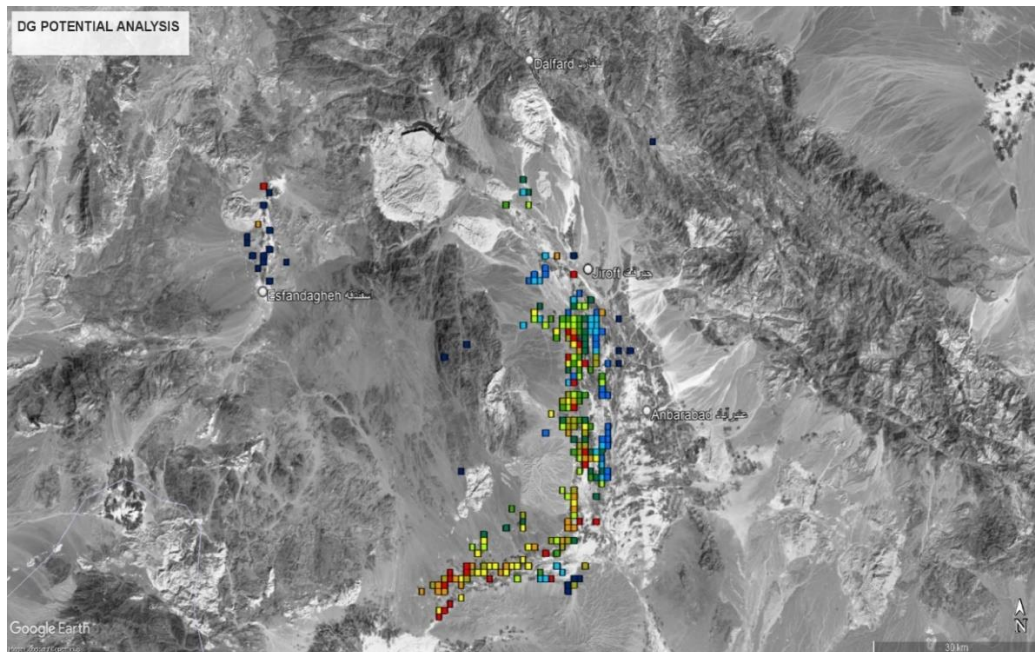
جدول ۸-۷: مشخصات چاه های کشاورزی پس از خوشه بندی بهینه بر اساس راهکار بادی

ردیف	توان	x	y
1	28.5	554195	3126711
2	40	551700	3125113
3	4	554178	3125183
4	2	554136	3124213
5	13.5	551685	3122963
6	10	558210	3125019
7	1.5	556446	3125012
8	3.5	554571	3124882
9	8	557817	3124404
10	22.83	548944	3123116
11	35	548417	3124812

3123805	555134	50	12
3122080	545893	20	13
3121459	546404	12	14
3121931	545629	10	15
3122223	550553	23.5	16
3121433	546352	8	17
3122461	550496	10.5	18
3120923	547252	21	19
3124857	558145	20	20
3124210	552608	16.5	21
3124757	551126	15	22
3125229	552595	40	23
3124956	556928	9	24
3124136	558573	15	25
3122360	547907	20	26
3124245	557698	8	27
3123099	548956	7	28
3124882	554738	2	29
3125518	554883	6	30
3125469	559443	12	31
3123637	550654	1.83	32
3124710	553770	3.5	33
3124257	554325	3	34
3122949	547271	20	35
3124101	557749	35	36
3121414	546629	25	37
3122965	547760	40	38
3122509	547264	40	39
3124490	550978	30	40
3125155	554474	5	41
3125088	554692	4	42
3125128	554381	5	43
3125148	554767	4	44
3125524	552413	16	45
3121361	547736	15	46
3123661	550778	9	47

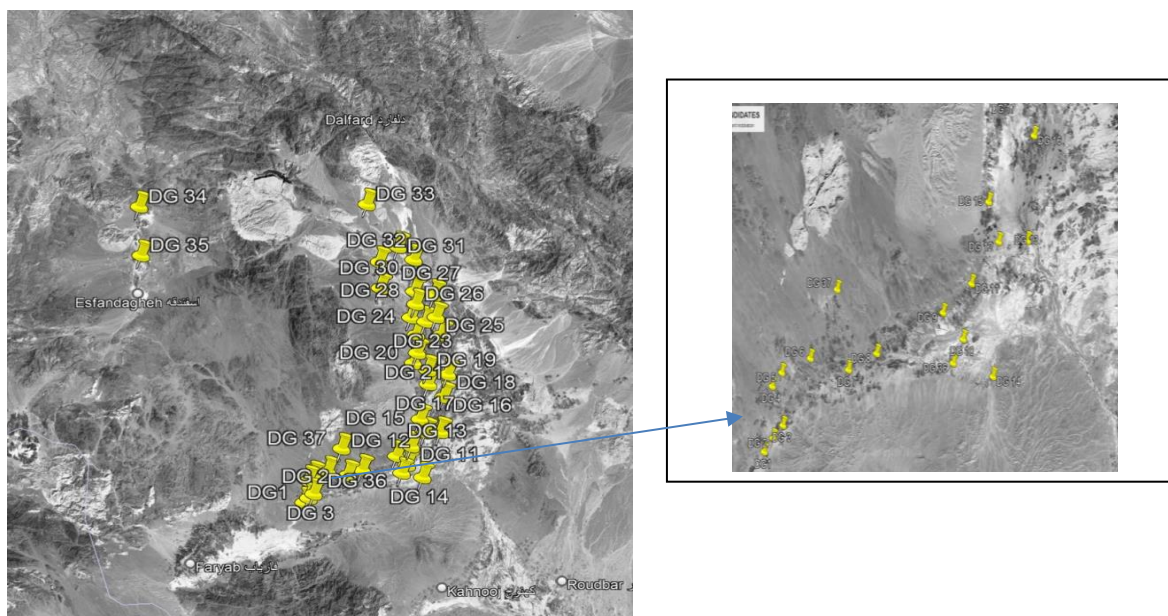
۸-۳-۲ سناریو برق‌رسانی به روش تولید پراکنده DG

علاوه بر راهکارهای خورشیدی و بادی، برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی با بهره‌گیری از مولد های تولید پراکنده گاز سوز یکی از اولیتهای مجریان طرح می باشد. شکل ۸-۱ نقشه پیکسل بندی شده محدوده های مستعد جهت احداث نیروگاه تولید پراکنده را نمایش می دهد. نقاط قرمز رنگ دارای بیشترین پتانسیل جهت احداث این نوع از مولد ها می باشند.



شکل ۱۰-۸: نقشه ی پتانسیل سنجی برای احداث نیروگاه DG

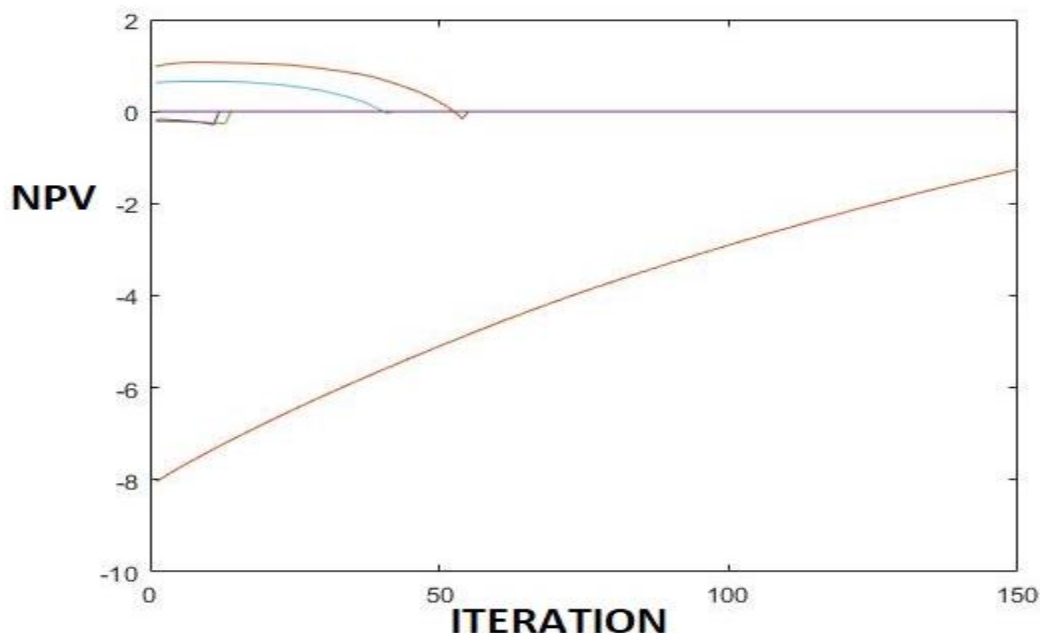
همانگونه که در شکل ۸-۱۱ نمایش داده شده از بین نقاط پر پتانسیل شناسایی شده تعداد ۳۷ نقطه مستعد جهت احداث مولد تولید پراکنده انتخاب گردید. انتخاب این نقاط بر اساس معیار فاصله تا چاه های کشاورزی و دسترسی به خطوط گاز بوده است.



شکل ۱۱-۸: کاندیدا های پر پتانسیل برای احداث نیروگاه DG

در ادامه نتایج حاصل از اجرای الگوریتم بهینه سازی بر روی نقاط پیشنهادی برای احداث نیروگاه DG مطابق شکل ۸-۱۲ ارائه می گردد. پس از اجرای الگوریتم خوشه بندی بهینه، بررسی نتایج خروجی نشان می دهد از بین

۵ خوشه پیشنهادی، دو خوشه دارای شاخص NPV، مثبت قابل قبولی می باشند. همانگونه که ملاحظه می گردد برای این دو خوشه یک نقطه بهینه برای شاخص NPV قابل ارائه می باشد.



شکل ۱۲-۸: نتایج مربوط به بهینه سازی NPV برای برق رسانی به روش DG

بر اساس نتایج بدست آمده برای دو خوشه X و مقدار NPV از مقدار منفی در تکرارهای اولیه، بعد از چند تکرار به مقادیر مثبت 0.030147845 و 0.07630979 بهبود می باشد. هر چند این مقادیر مثبت می باشند ولی از نظر سرمایه گذاری با توجه به مقادیر نزدیک صفر از نظر اقتصادی توجیه پذیر نمی باشد. جدول ۸-۸ تا ۸-۱۱ خوشه های پیشنهادی جهت سرمایه گذاری را به ترتیب اولویت نمایش می دهد. برای نمونه مشخصات چاه های کشاورزی برای خوشه با بیشترین شاخص NPV در جدول ۸-۱۲ ارائه شده است.

جدول ۸-۸: نتایج بهینه سازی برای سناریو تولید پراکنده خوشه ۱

خوشه با بهترین NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [W]
1.166636412	۸	47	750.66

جدول ۸-۹: نتایج بهینه سازی برای سناریو تولید پراکنده خوشه ۱

خوشه با بهترین NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [W]
0.612461113	۹	۳۳	۴۷۰

جدول ۸-۱۰: نتایج بهینه سازی برای سناریو تولید پراکنده خوشه ۱

خوشه با بهترین NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [W]
0.030147845	۲	۱۲	۵۸

جدول ۸-۱۱: نتایج بهینه سازی برای سناریو تولید پراکنده خوشه ۱

خوشه با بهترین NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [W]
0.07630979	۲	۱۰	۸۶

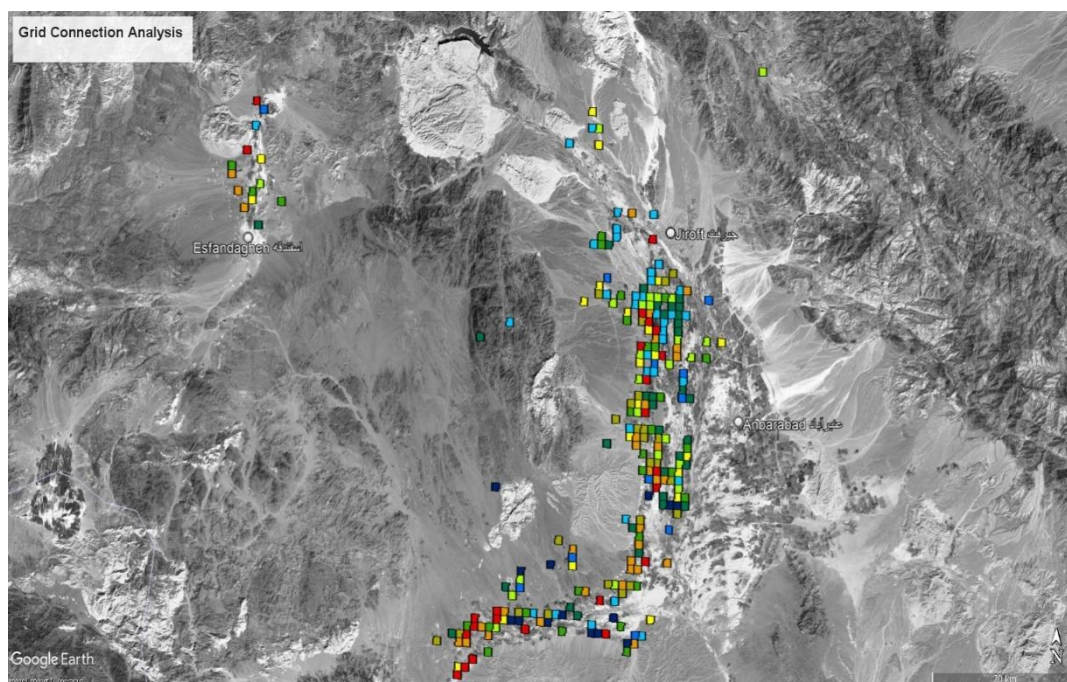
جدول ۸-۱۲: مشخصات چاه های کشاورزی پس از خوشه بندی بهینه بر اساس راهکار تولید پراکنده

ردیف	توان	x	y
1	28.5	554195	3126711

3125113	551700	40	2
3125183	554178	4	3
3124213	554136	2	4
3122963	551685	13.5	5
3125019	558210	10	6
3125012	556446	1.5	7
3124882	554571	3.5	8
3124404	557817	8	9
3123116	548944	22.83	10
3124812	548417	35	11
3123805	555134	50	12
3122080	545893	20	13
3121459	546404	12	14
3121931	545629	10	15
3122223	550553	23.5	16
3121433	546352	8	17
3122461	550496	10.5	18
3120923	547252	21	19
3124857	558145	20	20
3124210	552608	16.5	21
3124757	551126	15	22
3125229	552595	40	23
3124956	556928	9	24
3124136	558573	15	25
3122360	547907	20	26
3124245	557698	8	27
3123099	548956	7	28
3124882	554738	2	29
3125518	554883	6	30
3125469	559443	12	31
3123637	550654	1.83	32
3124710	553770	3.5	33
3124257	554325	3	34
3122949	547271	20	35
3124101	557749	35	36
3121414	546629	25	37
3122965	547760	40	38
3122509	547264	40	39
3124490	550978	30	40
3125155	554474	5	41
3125088	554692	4	42
3125128	554381	5	43
3125148	554767	4	44
3125524	552413	16	45
3121361	547736	15	46
3123661	550778	9	47

۳-۸ سناریو برق‌رسانی به روش اتصال به شبکه GC

مشابه محاسباتی که برای مولد های خورشیدی، بادی، تولید پراکنده انجام گردید، در این بخش محاسبات الگوریتم پیشنهادی برای راهکار اتصال به شبکه انجام گردیده است. نقشه پتانسیل سنجی برق رسانی به چاه های کشاورزی با استفاده از راهکار اتصال مستقیم به شبکه در شکل ۸-۱۳ نمایش داده شده است. در این مرحله از محاسبات تمامی نقاط پیشنهادی حاصل از مطالعات پتانسیل سنجی به عنوان ورودی به نرم افزار بهینه سازی داده شده اند.



شکل ۸-۱۳: نقشه پتانسیل سنجی سناریوی اتصال به شبکه

پس از انجام محاسبات و بررسی نتایج بدست آمده خوشه های دارای NPV مثبت در جداول ۸-۱۳ تا ۸-۱۶ ارائه شده است. مشخصات چاه های کشاورزی برای کلاستر دارای بیشترین مقدار NPV در جدول ۸-۱۷ آورده شده است.

جدول ۸-۱۳: نتایج بهینه سازی برای سناریو اتصال به شبکه خوشه ۱

خوشه با بهترین NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [W]
۰/۶۵۳۹۴۰۰۸۳	1	34	475

جدول ۸-۱۴: نتایج بهینه سازی برای سناریو اتصال به شبکه خوشه ۱

خوشه با بهترین NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [W]
۰/۶۵۳۹۴۰۰۸۳	1	34	475

جدول ۸-۱۵: نتایج بهینه سازی برای سناریو اتصال به شبکه خوشه ۱

خوشه با بهترین NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [W]
0.492229074	1	۵۵	769.7

جدول ۱۶-۸: نتایج بهینه سازی برای سناریو اتصال به شبکه خوشه ۱

خوشه با بهترین NPV	تعداد iteration	تعداد چاه ها	مجموع توان [W]
0.082857103	1	۴۲	519

جدول ۱۷-۸: مشخصات چاه های کشاورزی پس از خوشه بندی بهینه بر اساس راهکار اتصال به شبکه

ردیف	توان	x	y
1	30	569819	3131588
2	20	567906	3128072
3	25	570326	3136890
4	17	570030	3137432
5	21	571599	3132281
6	15	569335	3130453
7	7.5	567711	3129380
8	4	566792	3127177
9	6.5	570054	3135227
10	7.5	567719	3129405
11	10	569512	3132477
12	16	568360	3128346
13	4	570231	3133845
14	35	567892	3129641
15	25	569717	3131121
16	25	566532	3129661
17	25	566231	3129317
18	14	569608	3132512
19	11	569798	3134075
20	7	570190	3134376
21	10	568532	3128524
22	15	570265	3134748
23	27.5	565457	3127450
24	8	569268	3128961
25	9	569724	3129720
26	10	569343	3129352
27	5	570095	3135117
28	5	567743	3129650
29	10	570169	3129625
30	5	569608	3132512
31	15	570023	3134444
32	20	570427	3136021
33	1.5	567631	3129307
34	8	567009	3127759

۴-۸- خوشه یابی بهینه با در نظر گرفتن عدم قطعیت داده های ورودی

تاثیر عدم قطعیت داده های ورودی در خوشه بندی بهینه و تعیین راهکار بهینه برق رسانی به چاه های کشاورزی امری اجتناب ناپذیر می باشد. در فصل ۵ داده های دارای عدم قطعیت در طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی و روش مدل سازی عدم قطعیت این نوع از داده ها مورد بررسی قرار گرفته. هدف از مدل سازی عدم قطعیت داده های ورود مقاومت سازی روش خوشه یابی بهینه ارائه شده نسبت به این عدم قطعیتها می باشد. روشهای مختلفی به منظور مقاومت سازی بهینه سازی نسبت به عدم قطعیت ارائه شده اند که از جمله می توان به مدل احتمالی، شبیه سازی مونت کارلو (ترتیبی و غیر ترتیبی)، روش تخمین نقطه ای، روش تصمیم گیری بر اساس سناریو، مدل امکان پذیری، مدل ترکیب احتمالاتی، تئوری تصمیم شکاف اطلاعات (IGDT) و روش بهینه سازی مقاوم

اشاره نمود. به طوریکه در فصل ۸ بررسی گردید، برای مدل سازی عدم قطعیت در خوشه بندی بهینه از روش مبتنی بر مدل احتمال استفاده گردیده است. در این روش ابتدا بر اساس توابع توزیع احتمال پیوسته، عدم قطعیت مدلسازی گردیده است. در مرحله بعد با استفاده از نمونه برداری، تابع احتمال پیوسته به حالت گسسته تبدیل می گردد. در ادامه سناریو های عدم قطعیت استراخ گردیده است. با توجه به تعداد بسیار بالای سناریو های بدست آمده، به منظور کاهش سناریو ها از روش خوشه بندی k-means استفاده گردیده است. در نهایت با استفاده از این روش خوشه بندی و رسته بندی سناریو ها بر اساس میزان احتمال (قطعیت) آنها، ۱۰ سناریوی با بیشترین احتمال انتخاب و به عنوان ورودی به الگوریتم خوشه بندی بهینه ارائه می گردد. بطوریکه در فصل ۵ نیز بررسی گردید سناریو های عدم قطعیت پس از تولید توسط برنامه نرم افزاری پیاده سازی شده مطابق شکل ۸-۱۴، به عنوان ورودی به برنامه نرم افزار اعمال می گردد. پارامتر های ورودی نرم افزار عبارتند از:

Nsa: تعداد نمونه برداری های اولیه

Ns: تعداد سناریو های تولید شده

Noc: تعداد خوشه های اولیه

Sigma%: درصد انحراف معیار برای توابع توزیع



شکل ۱۴-۸: محیط نرم افزار تولید سناریو ی عدم قطعیت

خروجی این برنامه شامل ۱۰ سناریو با بیشترین احتمال بر اساس عدم قطعیت های موجود می باشد که هر یک دارای مقدار احتمال وقوع مشخص می باشند. مدلسازی عدم قطعیت و انتخاب سناریو های بهینه تنها یکبار قبل از اجرای برنامه خوشبندی بهینه انجام می شود و نیازی به تکرار این بخش از کد نمی باشد. به منظور کاهش زمان برنامه و بهینه شدن کد نرم افزاری، برای هر یک از ۱۰ سناریو های پیشنهادی تاثیر تغییر پارامتر های ورودی تحت تاثیر عدم قطعیت ورودی با اعمال یک ضریب اصلاح پیاده سازی می گردد. برای نمونه برای متغیر های سطح تابش خورشید و سرعت وزش باد، مقادیر داده های خروجی برنامه ابتدا بر مقدار متوسط کل تقسیم می گردد و عددی بین ۰ تا ۲ تولید می شود که این مقادیر میزان ضریب توان خروجی نیروگاه خورشیدی و نیروگاه بادی را نتیجه می دهد. این ضرائب در هنگام محاسبه ی NPV سناریو های برق رسانی، به عنوان ضریبی از توان تولیدی اعمال می گردد. به این صورت که سناریو های با تابش متوسط یا وزش باد کمتر از تابش متوسط یا وزش باد کل، توان

خروجی کمتر و سناریو‌های با تابش و وزش باد بیشتر از متوسط دارای تولید توان بیشتر خواهند بود. به این ترتیب هر سناریو ی عدم قطعیت دارای توان تولیدی مختص به خود می‌باشد که بر روی مقدار NPV تاثیرگذار خواهد بود. بطور مشابه سایر پارامترهایی که دارای عدم قطعیت می باشند نیز بر اساس خروجی نرم افزار مدل‌سازی عدم قطعیت سناریو سازی و سپس در نرم افزار خوشه بندی بهینه اعمال می گردند. در فصل ۸ داده های خروجی نرم افزار خوشه یابی بهینه برای داده های ورودی معین مورد ارزیابی قار گرفته بود.

به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت داده های ورودی برنامه بهینه سازی برای هر یک از سناریو های دارای یک احتمال مشخص اجرا و نتایج خروجی ثبت می گردد. برای نمونه برای داده های اطلس خورشید، برنامه خوشه یابی بهینه ۱۰ بار اجرا می شود و در هر اجرا مقادیر بهینه NPV و سناریو های برتر تعیین و ثبت می گردند. بعد از انجام مراحل بهینه سازی برای هر یک از دسته های داده های ورودی (با میزان تابع احتمال مشخص)، نتایج بدست آمده با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای ورودی، در سه دسته کلی محتمل ترین، ریسک پذیر ترین و ریسک گریز ترین قابل تقسیم می باشد. به عبارتی دیگر پس از اجرای برنامه خوشه یابی بهینه برای هر یک از ۱۰ سناریوی محتمل، نتایج خوشه یابی بهینه از سه دیدگاه مختلف به سرمایه گذار عامل صرفه جویی پیشنهاد می گردد.

❑ ریسک گریز ترین سناریو: در این دیدگاه، اولویت اصلی میزان قطعیت سود حاصل از سرمایه گذاری می باشد. این انتخاب لزوماً بهترین شاخص NPV را نتیجه نمی دهد و ممکن است شاخص NPV آن نسبت به سناریوی بهینه کمتر نیز باشد. از نگاه دیگر این سناریو یک انتخاب محافظه کارانه با کمترین شک و شبهه برای سرمایه گذاری می باشد. (مطمئن ترین)

❑ ریسک پذیر ترین سناریو: در این دیدگاه، از بین ۱۰ سناریوی عدم قطعیت، حالتی که پس از بهینه سازی بیشترین شاخص NPV را برای سرمایه گذار به همراه داشته باشد. در این حالت اولویت از دید سرمایه گذار عامل صرفه جویی بیشترین سود اقتصادی بوده بدون توجه به ریسک های احتمالی. سناریوی انتخاب شده از این دیدگاه لزوماً دارای قطعیت بالا نیست ولی علیرغم شک و عدم قطعیت بالا دارای انگیزه های مالی قابل قبولی می باشد. (پرسودترین)

❑ غیر محتمل ترین سناریو: این حالت از سناریو های عدم قطعیت شرایطی است که یا سود حاصل از سرمایه گذاری بسیار ناچیز هست یا علیرغم شاخص قابل قبول NPV، احتمال وقوع آن بسیار ناچیز باشد (بدترین)

بر این اساس نتایج محاسبات خوشه یابی بهینه با در نظر گرفتن عدم قطعیت داده های ورودی برای راهکار خورشیدی مطابق جدول ۸-۱۸ ارائه می گردد. همانگونه که ملاحظه می گردد با در نظر گرفتن عدم قطعیت محتمل ترین سناریو دارای شاخص NPV معادل 1.603111209 می‌باشد، در حالیکه برای ریسک پذیر ترین سناریو این شاخص برابر با 1.7504828925 می باشد. بنابراین سناریو های پیشنهادی برای هر دو دسته سرمایه گذران با ریسک پذیری بالا (سود اقتصادی بیشتر با قطعیت کمتر) و سرمایه گذاران محافظه کار (سود کمتر با قطعیت بیشتر) قابل ارائه می باشد.

جدول ۸-۱۸: نتایج خوشه یابی بهینه برای راهکار انرژی خورشیدی و بهترین خوشه از نظر شاخص NPV

تعداد چاه‌های خوشه با بیشترین NPV	NPV	احتمال وقوع	نوع سناریو
۸۴	1.603111209	0.1224	محتمل ترین
۹۱	1.7504828925	0.1042	ریسک پذیر ترین
۶۴	1.480666204	0.0828	ریسک گریز ترین

بطور مشابه برای راهکار برق‌رسانی مبتنی بر انرژی بادی نیز محاسبات عدم قطعیت انجام گردید. پس از انجام محاسبات، دسته‌بندی سناریو‌ها بر اساس محتمل‌ترین، ریسک‌پذیرترین و ریسک‌گریزترین مطابق جدول ۸-۱۹ ارائه می‌گردد. برای هر یک از سناریو‌ها تعداد چاه‌های موجود در خوشه با بیشترین مقدار NPV (خروجی برنامه خوشه‌یابی بهینه) نیز مشخص شده است.

جدول ۸-۱۹: نتایج خوشه‌یابی بهینه برای راهکار انرژی بادی و بهترین خوشه از نظر شاخص NPV

تعداد چاه‌های خوشه با بیشترین NPV	NPV	احتمال وقوع	نوع سناریو
۷۹	1.755259104	0.1224	محتمل ترین
۸۱	1.841700103	0.1042	ریسک پذیر ترین
۷۸	1.560235311	0.0828	ریسک گریز ترین

همانگونه که در شکل ۸-۱۴ بررسی گردید امکان تغییر پارامترهای مدل پیشنهادی عدم قطعیت داده‌های ورودی (σ , N_s , N_{sa} , N_{oc}) برای کاربر فراهم می‌باشد. به این ترتیب در نرم‌افزار پیاده‌سازی شده تنظیم پارامترهای مدل عدم قطعیت و تکرار محاسبات خوشه‌یابی و ارائه سناریو‌های نهایی بر اساس دسته‌بندی سه‌گانه محتمل‌ترین، ریسک‌پذیرترین و ریسک‌گریزترین امکان‌پذیر می‌باشد.

۹- فصل نهم: ارائه بسته های سرمایه گذاری و تهیه RFP بر اساس نتایج مطالعات امکان
سنجی

۹-۱-مقدمه

در فصل‌های گذشته مراحل مختلف پتانسیل‌سنجی، هزینه‌یابی، خوشه‌یابی بهینه با در نظر گرفتن عدم قطعیت داده‌های ورودی مورد بررسی و نتایج خروجی مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از شناسایی سناریوهای بهینه، مرحله بعد تهیه بسته‌های سرمایه‌گذاری در قالب RFP پیشنهادی اجرای پایلوت‌های شناسایی شده می‌باشد. بر این اساس در این فصل بسته‌های سرمایه‌گذاری پیشنهادی به منظور برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی در محدوده جیرفت کرمان بر اساس یکی از راهکارهای نیروگاه خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه جهت فراخوان و اجرای پایلوت پیشنهاد می‌گردد.

۹-۲-تهیه RFP در قالب بسته‌های سرمایه‌گذاری برای سناریوهای بهینه

فرم در خواست پروپوزال جهت اجرای پایلوت‌های پیشنهادی در جدول ۹-۱ ارائه گردیده است. در بخش اول تبیین و تشریح پروژه همراه با ذکر مراحل کلی اجرای پایلوت ارائه می‌شود. در ادامه مشخصات محصول نهایی (خروجی مورد انتظار) پروژه مشخص گردیده است. همچنین در راستای تسریع در روند اجرای پایلوت‌های پیش‌نهادی، تعهدات و تسهیل‌گری‌هایی که توسط پژوهشگاه نیرو ارائه خواهد شد نیز ذکر گردیده است. مشخصات فنی پایلوت شامل موقعیت چاه‌های کشاورزی و دیماند مصرفی آنها، موقعیت و ظرفیت نیروگاه مورد نظر، متوسط ساعت کاری سالانه در جداول پیوست ارائه می‌گردد. همچنین نتایج محاسبات اقتصادی برای پایلوت پیشنهادی شامل تخمین سرمایه‌گذاری اولیه و برآورد شاخص‌های اقتصادی حاصل از سرمایه‌گذاری (ارزش خالص فعلی، نرخ بازده داخلی، دوره بازگشت سرمایه‌گذاری) نیز محاسبه و در جدول پیوست فرم‌های درخواست پروپوزال اضافه می‌گردد.

جدول ۹-۱: فرم در خواست پروپوزال جهت اجرای پایلوت برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی - پایلوت جیرفت

 شرکت توانیر	فرم تشریح پروژه واگذاری	 پژوهشگاه نیرو
	TDF02-0	
	RFP?	
عنوان پروژه:		اجرای طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی پایلوت شهر جیرفت استان کرمان بر اساس راهکار با ظرفیت
عنوان طرح:		توسعه کاربست فن آوری های نوین در برق رسانی به چاه های کشاورزی
واحد اجرایی:		معاونت فن آوری
برآورد مدت زمان اجرای پروژه: ۱ سال		
تبیین و تشریح پروژه همراه با ذکر مراحل کلی:		
به طور متوسط سالانه ۷۱۷/۴ الی ۱۷۳۶/۸ میلیون لیتر سوخت گازوئیل یارانه ایی به مالکین چاه های کشاورزی دارای پروانه تحویل داده می شود که تامین این مقدار سوخت یارانه ایی هزینه سنگینی را به اقتصاد کشور تحمیل می کند. بر اساس آمار اعلامی از سوی شرکت مدیریت منابع آب ایران، هم‌اکنون ۲۱۹ هزار حلقه چاه کشاورزی دارای پروانه استحصال آب با اولویت بالا در کشور وجود دارد که از این تعداد ، برق‌دار کردن ۱۰۰ هزار حلقه چاه کشاورزی بر اساس مصوبه شورای عالی اقتصاد (به استناد ماده ۱۲) در دستور کار قرار گرفته است. در صورت اجرای کامل طرح،		

۷۵۰ میلیون لیتر نفت‌گاز از چرخه مصرف داخلی حذف و ۰.۷ میلیون تن کاهش انتشار کربن در طول اجرای طرح حاصل می‌گردد. از جمله مزایای اجرای این طرح در سطح کلان ملی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- صرفه جویی در مصرف گازوئیل و امکان فروش سوخت صرفه جویی شده با قیمت مناسب در بازارهای جهانی
- افزایش راندمان تجهیزات استحصال آب در چاه‌های کشاورزی
- کاهش آلودگی‌های هوا ناشی از سوخت‌های فسیلی
- مدیریت هوشمند مصرف آب و انرژی با برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی و نصب کنتورهای هوشمند

یکی از رویکردهای اصلی در طرح برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی، بهره‌گیری از ظرفیت منابع انرژی‌های تجدید پذیر و تولید پراکنده گازسوز جهت تامین دیماند مورد نیاز چاه‌های کشاورزی می‌باشد. بر اساس مصوبه شورای عالی اقتصاد (مصوبه شماره ۱۵۷۱۵۶۱۰، موضوع بند ق تبصره ۲ قانون بودجه سال ۱۳۹۳ کل کشور و با استناد به ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید) و مطابق با دستورالعمل اندازه‌گیری و صحت‌گذاری شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، به ازای صرفه جویی هر لیتر گازوئیل بر اساس راهکارهای انرژی خورشیدی و نیروگاه‌های کوچک گازسوز به ترتیب مبلغ ۴۶ و ۳۲ سنت در دروه‌های بازپرداخت تعیین شده به سرمایه‌گذاران بازپرداخت می‌گردد. یکی از الزامات اساسی در بکارگیری راهکارهای پیشنهادی در تامین دیماند مورد نیاز چاه‌های کشاورزی انجام مطالعات دقیق امکان‌سنجی فنی و اقتصادی و ارائه بسته‌های سرمایه‌گذاری توجیه پذیر می‌باشد.

در همین راستا پس از انجام مطالعات امکان‌سنجی و تحلیل سناریوهای مختلف بر روی پایلوت شهر جیرفت استان کرمان و ارزیابی شاخص‌های اقتصادی بدست آمده، اجرای پروژه برق‌رسانی به تعداد محدودی از چاه‌های کشاورزی در محدوده رودبار جنوب (استان کرمان) شامل کلیه مراحل احداث نیروگاه خورشیدی، انتقال توان، نصب و راه‌اندازی تجهیزات سرچاهی (الکتروپمپ، درایو و بخش‌های مکانیکی) در دستور کار قرار گرفته است. هدف از اجرای این پروژه احداث یک واحد نیروگاه با ظرفیت کیلو وات توسعه خطوط انتقال جهت تامین توان الکتریکی مصرفی چاه‌های کشاورزی و نصب و راه‌اندازی کلیه تجهیزات سرچاهی در پایلوت رودبار جنوب استان کرمان می‌باشد. از جمله اهداف مورد انتظار در این پروژه به شرح زیر اعلام می‌گردد:

- ۱- انجام مراوده با کشاورزان جهت جلب مشارکت مالکین چاه‌های کشاورزی در تحویل پمپ‌های دیزلی و جایگزینی آن با الکتروپمپ‌ها
- ۲- تامین دیماند چاه‌های کشاورزی از طریق نیروگاه خورشیدی در ساعتهای روز و بخصوص در ساعتهای پیک مصرف بدون نیاز به اتصال به شبکه
- ۳- امکان اتصال به شبکه و قابلیت فروش مازاد توان تولیدی بر اساس راهکارهای خرید تضمینی با هدف ایجاد حاشیه سود بیشتر
- ۴- امکان اتصال به شبکه و تامین دیماند چاه‌های کشاورزی در ساعت‌های شب (در نبود نور خورشید) یا کاهش شدید سطح تابش
- ۵- توسعه خطوط انتقال و نصب و راه‌اندازی ترانسفورماتور، تابلو برق، تجهیزات سرچاهی و تجهیزات اندازه‌گیری

مراحل پروژه:

هدف از اجرای این پروژه احداث نیروگاه بر اساس مشخصات بار مصرفی جدول ۱ پیوست و در محدوده جغرافیایی مشخص شده در جدول ۲، ۳ و ۴ پیوست می‌باشد.

۱. مطالعات پتانسیل سنجی مبتنی بر اندازه‌گیری‌های دقیق میدانی با هدف تعیین محل دقیق احداث نیروگاه خورشیدی با حداقل هزینه انتقال مورد نیاز جهت انتقال توان و دسترسی به شبکه سراسری

۲. تعیین ذی‌نفعان و تسهیل‌گری برای مالکین چاه‌های کشاورزی جهت جمع‌آوری پمپ‌های دیزلی و جایگزینی آن با الکتروپمپ‌ها
 ۳. ایجاد سازوکارهای مورد نیاز جهت تسهیل در خرید و راه‌اندازی تجهیزات سرچاهی بر اساس مشخصات فنی خواسته شده
 ۴. طراحی نقشه خطوط انتقال با در نظر گرفتن نقشه توپوگرافی و محدودیتهای فنی، اقتصادی و زیست محیطی
 ۵. اخذ پروانه احداث نیروگاه خورشیدی و خطوط انتقال، اخذ مجوز استفاده از زمین، مجوز اتصال به شبکه و مجوز سازمان حفاظت محیط زیست
 ۶. دریافت مجوز تخصیص آب و حریم بستر از شرکت مدیریت منابع آب یا شرکت آب‌های منطقه‌ای یا شرکت آب و فاضلاب ذیربط
 ۷. برآورد هزینه سرمایه‌گذاری، ارائه مدل اجرایی و تعیین شیوه تأمین مالی پروژه
 ۸. تنظیم و مبادله قرارداد مابین کارفرما و پیمانکار یا پیمانکاران
 ۹. انجام عملیات مقدماتی و تأمین مالی پروژه در دوره پیشبرد قرارداد
 ۱۰. انجام عملیات اجرایی دوره احداث نیروگاه و نظارت بر پیشرفت احداث نیروگاه
 ۱۱. هماهنگی جهت اتصال به شبکه پس از تکمیل احداث نیروگاه و کنترل تاسیسات اتصال به شبکه توسط ناظر پروژه
 ۱۲. احداث خطوط انتقال، ترانسفورماتور و تجهیزات اندازه‌گیری**
 ۱۳. صحنه‌گذاری عملیاتی و شروع بهره‌برداری از نیروگاه خورشیدی
 ۱۴. تهیه کاربرگ صرفه جویی مصرف سوخت و محاسبه مبلغ بازپرداخت توسط سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت از طریق سامانه ایجاد شده
 ۱۵. نظارت بر بهره‌برداری
- *** اندازه‌گیری مصرف برق و آب با استفاده از کنتورهای هوشمند طرح فهم (طرح ملی فراسامانه هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی)
- مشخصات محصول نهایی (خروجی مورد انتظار):**
- مشخصات پروژه به شرح زیر اعلام می‌گردد:
۱. مشخصات چاه‌های کشاورزی شامل نقشه جغرافیایی و طول و عرض جغرافیایی، دیماند چاه‌ها در جداول ۱ تا ۴ ارائه شده است.
 ۲. مشخصات فنی پنل خورشیدی، مبدل‌های واسطه، دنبال‌کننده خورشیدی، تجهیزات سرچاهی و ملاحظات ایمنی و حفاظتی مطابق با درخواست کارفرما
 ۳. برآورد اولیه اقتصادی طرح در جدول ۵ ارائه گردیده است.
- تعهدات پژوهشگاه نیرو:**
- تسهیل‌گری منابع مالی مورد نیاز جهت اجرای پروژه
 - تسهیل در اخذ مجوزهای مورد نیاز اجرای پروژه
 - ارائه مشاوره‌های مهندسی در مراحل امکان‌سنجی، احداث و بهره‌برداری پروژه
 - برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل عملیات مرتبط با زنجیره تأمین
 - ضمانت پرداخت یارانه صرفه جویی نفت گاز صحنه‌گذاری شده

در ادامه مشخصات بسته های سرمایه گذاری استخراجی از مطالعات پتانسیل سنجی و سناریو سازی بهینه بر اساس روش های خوشه بندی فازی (بخش ۸-۷) و روش خوشه بندی بهینه ابتکاری ارائه شده در فصل نهم ارائه می گردد.

۳-۹- مشخصات بسته سرمایه گذاری ارائه شده پس از مطالعه و انجام محاسبات در پایلوت

سیرجان با استفاده از روش فازی

بر اساس مطالعات امکان سنجی و سناریو سازی انجام گرفته در بخش ۷-۲-۱ بر اساس روش خوشه بندی فازی، پایلوت پیشنهادی انتخاب و در قالب فرمت RFP تعیین شده جهت فراخوان تهیه گردید. در ادامه مراحل انجام گرفته جهت انجام مطالعات میدانی پایلوت پیشنهادی اولیه تا مرحله نهایی سازی پایلوت برق رسانی با استفاده از راهکار خورشیدی با همکاری دفتر مهندسی شرکت توزیع کرمان جنوب مورد بررسی قرار می گیرد. نسخه اولیه پایلوت پیشنهادی: برق رسانی با راهکار انرژی خورشیدی در محدوده زید آباد شهرستان سیرجان با ظرفیت 1.3 Mw نیروگاه خورشیدی

مشخصات فنی و داده های مکانی پایلوت سیرجان در جداول ۹-۱ و ۹-۲ ارائه شده است. همچنین در شکل ۹-۱ نقشه جغرافیایی و موقعیت چاه های کشاورزی در این پایلوت را نمایش می دهد.

جدول ۲-۹: مجموع دیماند مصرفی و ظرفیت مورد نیاز جهت احداث نیروگاه خورشیدی

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۴۰۰۰
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۱۱۳۶
برآورد ظرفیت مورد نیاز مولد خورشیدی (kw)	۱۳۰۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی در سال Mkwh	۵.۲

جدول ۳-۹: نتایج آنالیز اقتصادی

برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	1.115338
نرخ تنزیل Discount rate	0.15
ارزش خالص فعلی (NPV)	1.114778
نرخ بازده داخلی (IRR) %	0.418386
نرخ بازگشت سرمایه (ROI)	0.999497
دوره بازگشت سرمایه (PBP)	3



شکل ۱-۹: مشخصات جغرافیایی چاه‌های کشاورزی و محل احداث نیروگاه خورشیدی

پس از تهیه RFP، جهت اجرای پایلوت مطالعه و ارسال آن برای دفتر فنی و مهندسی شرکت توزیع جنوب کرمان، موضوع پیشنهادی طی چندین جلسه کارشناسی مورد بررسی قرار گرفت. طی این جلسات پس از رفع ابهامات فنی و انجام مطالعات میدانی توسط کارشناسان شرکت توزیع مشخص شد عمده چاه‌های موجود در پایلوت پیشنهادی مشاع بوده و پس از انجام مذاکرات اولیه به دلیل عدم همکاری کشاورزان محدوده پایلوت پیشنهادی، مقرر گردید در گام بعدی محدوده مورد مطالعه توسط شرکت توزیع پیشنهاد و سپس توسط مطالعات امکان‌سنجی برای این محدوده‌ها انجام شود. براین اساس، طی بررسی‌های میدانی انجام گرفته توسط کارشناسان دفتر مهندسی، محدوده‌های رودبار جنوب به عنوان یکی از محدوده‌های مناسب جهت اجرای پایلوت پیشنهاد گردید. پس از پیشنهاد محدوده‌های جدید مطالعات پتانسیل‌سنجی و امکان‌سنجی انجام گردید که نتیجه آن انتخاب پایلوت نهایی در محدوده شهر رودبار جنوب بوده است.

ویرایش اول: اجرای طرح برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی پایلوت رودبار جنوب - نازدشت استان کرمان بر اساس راهکار انرژی خورشیدی با ظرفیت 1.2Mw

شکل ۹-۲ موقعیت چاه‌های کشاورزی و موقعیت احداث نیروگاه خورشیدی را در پایلوت رودبار جنوب را نمایش می‌دهد. همچنین مشخصات فنی و داده‌های مکانی پایلوت سیرجان در جداول ۹-۳ و ۹-۴ ارائه شده است. پس از بررسی میدانی چاه‌های کشاورزی انتخاب شده و بر اساس آخرین آمارهای ارائه شده توسط شرکت توزیع مشخص گردیده تعداد زیادی از این چاه‌ها با روش اتصال مستقیم به شبکه برق‌رسانی گردیده شده است. شکل ۹-۳ وضعیت چاه‌های کشاورزی پایلوت مورد مطالعه را پس از مطالعات میدانی را نمایش می‌دهد.



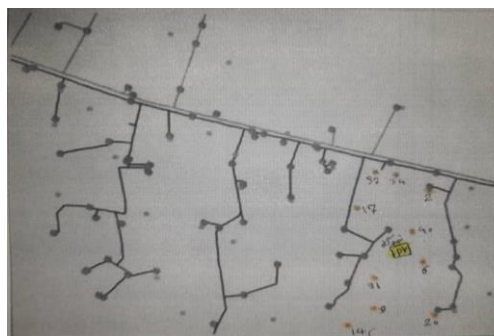
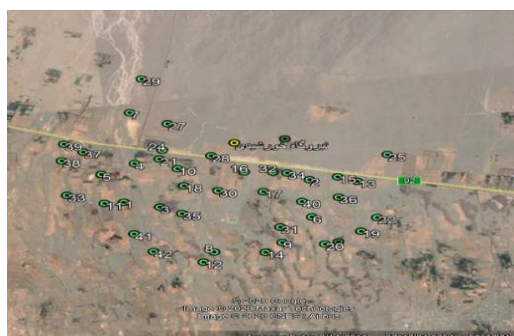
شکل ۲-۹: مشخصات جغرافیایی چاه‌های کشاورزی و محل احداث نیروگاه خورشیدی در محدوده روبار جنوب (نازدشت کرمان)

جدول ۴-۹: مجموع دیماند مصرفی و ظرفیت مورد نیاز جهت احداث نیروگاه خورشیدی پایلوت رودبار جنوب (ویرایش اول)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	4000
مجموع دیماند چاه‌ها (kw)	972.892745
ظرفیت مورد نیاز مولد خورشیدی (kw)	1200
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	3.89157098

جدول ۵-۹: نتایج آنالیز اقتصادی

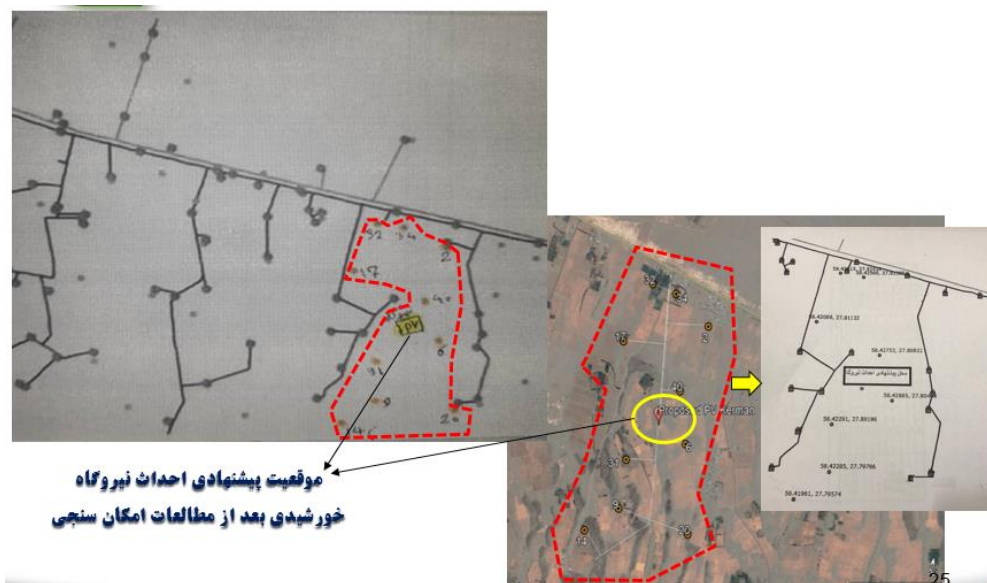
برآورد کل هزینه سرمایه‌گذاری (میلیون دلار)	1.077435
نرخ تنزیل Discount rate	0.15
ارزش خالص فعلی (NPV)	0.861464408
نرخ بازده داخلی (IRR) %	37.3995126
نرخ بازگشت سرمایه (ROI)	0.821654692
دوره بازگشت سرمایه (PBP)	3.5



شکل ۳-۹: نتایج مطالعات میدانی وضعیت چاه‌های کشاورزی در محدوده روبار جنوب (نازدشت کرمان) - ویرایش اول

ویرایش نهایی: اجرای طرح برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی پایلوت رودبار جنوب/ استان کرمان براساس راهکار انرژی خورشیدی با ظرفیت 200kw

پس از مطالعات میدانی و اصلاح وضعیت چاه‌های کشاورزی در پایلوت رودبار جنوب، پایلوت نهایی مطابق شکل ۹-۴ شامل ۱۰ چاه با ظرفیت نیروگاه مورد نیاز حدود ۲۰۰ کیلو وات به عنوان پایلوت نهایی انتخاب گردید. جدول‌های ۵-۹ و ۶-۹ مشخصات فنی و نتایج محاسبات اقتصادی برای پایلوت نهایی را ارائه می‌دهد.



شکل ۹-۴: مشخصات جغرافیایی چاه‌های کشاورزی و محل احداث نیروگاه خورشیدی در محدوده روبار جنوب (نازدشت کرمان)

جدول ۹-۶: مجموع دیماند مصرفی و ظرفیت مورد نیاز جهت احداث نیروگاه خورشیدی (ویرایش سوم)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	4000
مجموع دیماند چاه‌ها (kw)	155.1056
ظرفیت مورد نیاز مولد خورشیدی (kw)	200
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	0.620422

جدول ۹-۷: نتایج آنالیز اقتصادی

برآورد کل هزینه سرمایه‌گذاری (میلیون دلار)	0.219603793
Discount rate نرخ تنزیل	0.15
ارزش خالص فعلی (NPV)	0.113043891
نرخ بازده داخلی (IRR) %	0.294846117
نرخ بازگشت سرمایه (ROI)	0.514762926
دوره بازگشت سرمایه (PBP)	3.5

شکل ۹-۵ مراحل مختلف جهت نهایی سازی پایلوت برق رسانی با استفاده از راهکار خورشیدی در محدوده جنوب کرمان با استفاده از روش خوشه بندی فازی را نمایش می دهد.



شکل ۹-۵: مراحل نهایی سازی پایلوت مطالعاتی با استفاده از روش خوشه بندی فازی پس از انتخاب نهایی پایلوت نهایی، جهت جذب سرمایه گذار برای اجرای پایلوت پیشنهادی مطابق شکل ۹-۶ فراخوان عمومی انجام گردید.



فراخوان

اجرای طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی پایلوت رودبار جنوب استان کرمان بر اساس راهکار انرژی خورشیدی با ظرفیت ۲۰۰kw

پژوهشگاه نیرو با همکاری شرکت توزیع کرمان جنوب در راستای راهبرد توسعه فن آوری های نوین در طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی و بهره گیری از ظرفیت های ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید، در نظر دارد اولین پایلوت برق رسانی به چاه های کشاورزی با استفاده از راهکار انرژی خورشیدی را در محدوده شهر رودبار جنوب استان کرمان اجرایی نماید.

در این زمینه مساعدت هائی نظیر مشاوره فنی، تسهیل گری در اخذ مجوزهای لازم، تسهیل گری مالی و صدور ضمانت بازپرداخت یارانه و... با هدف حمایت از سرمایه گذاران عامل صرفه جویی، توسط پژوهشگاه نیرو فراهم خواهد گردید. لذا از کلیه شرکتهای علاقمند به مشارکت در طرح فوق الذکر دعوت می گردد جهت دریافت مستندات فراخوان درخواست خود را حداکثر تا تاریخ ۹۹/۹/۱۲ به آدرس زیر ارسال فرمایند.

آدرس: تهران- شهرک غرب- انتهای بلوار شهید دادمان- پژوهشگاه نیرو- مرکز توسعه فناوری موتورهای الکتریکی

پیشرفته- صندوق پستی ۱۴۶۶۵۵۱۷ ، تلفکس: ۸۸۳۶۴۲۳-۰۲۱ وب سایت: www.motor.nri.ac.ir

ایمیل: info@motor.nri.ac.ir

شکل ۹-۶: فراخوان عمومی پایلوت رودبار جنوب پس از انجام مطالعات امکان سنجی

۹-۴- مشخصات بسته های سرمایه گذاری مبتنی بر روش ابتکاری ارائه شده:

پس از آنالیز نتایج محاسبات روش خوشه یابی بهینه پیشنهادی برای پایلوت جیرفت، نتایج محاسبات برای محتمل ترین سناریو برای هر یک از راهکارهای خورشیدی، بادی، تولید پراکنده اتصال به شبکه در قالب بسته های سرمایه گذاری پیشنهاد می شود.

۹-۴-۱ بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی با استفاده از راهکار خورشیدی برای پایلوت جیرفت

پس از اجرای برنامه نرم افزاری و تحلیل نتایج، بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی جهت برق رسانی به چاه های کشاورزی محدوده جیرفت با استفاده از راهکار مولد خورشیدی مطابق جداول ۹-۷ تا ۹-۹ ارائه می گردد. لازم پایلوت های پیشنهادی به ترتیب اولویت و بر اساس شاخص NPV رتبه بندی شده است. در هر مورد مشخصات چاه های کشاورزی آن پایلوت (موقعیت، دیماند و ساعت کارکرد) در فایل اکسل خروجی برنامه موجود می باشد.

جدول ۹-۸: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار خورشیدی (PILOT-PV1)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۰۵۸
تعداد چاه های کشاورزی	۴۷
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۷۵۰/۶۶
ظرفیت مورد نیاز مولد خورشیدی (kw)	۹۳۸
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه خورشیدی	۵۴۶۲۴۸
	۳۱۲۱۳۶۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۵۰۲۱/۳۹
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۱/۲
ارزش خالص فعلی (NPV)	۱/۱۱

جدول ۹-۹: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار خورشیدی (PILOT-PV2)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۳۵۳
تعداد چاه های کشاورزی	۳۴
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۴۷۴/۵
ظرفیت مورد نیاز مولد خورشیدی (kw)	۵۳۹
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه خورشیدی	۵۷۳۳۸۱
	۳۱۳۳۳۵۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۳۲۸۰
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۱/۰۷
ارزش خالص فعلی (NPV)	۰/۴۱۰۷

جدول ۱۰-۹: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار خورشیدی (PILOT-PV3)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۴۹۶۵
تعداد چاه های کشاورزی	۱۰
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۸۵/۵
ظرفیت مورد نیاز مولد خورشیدی (kw)	۱۰۶/۸۷
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه خورشیدی	۵۶۴۲۴۷
	۳۱۶۵۳۶۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۵۰۹/۶۲
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۰/۱۶۵
ارزش خالص فعلی (NPV)	۰/۰۸۲۳

همانگونه که کلاحظه می گردد پایلوت شماره PILOT-PV3 با توجه به مقدار NPV تقریباً برابر صفر از نظر سود سرمایه گذاری تقریباً خنثی بوده و از نظر اقتصادی توجیه پذیر نخواهد بود.

۹-۴-۲ بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی با استفاده از راهکار بادی برای پایلوت جیرفت

پس از اجرای برنامه نرم افزاری و تحلیل نتایج ، بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی جهت برق رسانی به چاه های کشاورزی محدوده جیرفت با استفاده از راهکار نیروگاه بادی مطابق جداول ۹-۱۰ و ۹-۱۱ ارائه می گردد.

لازم به ذکر است پایلوت های پیشنهادی به ترتیب اولویت و بر اساس شاخص NPV رتبه بندی شده است. در هر مورد مشخصات چاه های کشاورزی آن پایلوت (موقعیت، دیماند و ساعت کارکرد) در فایل اکسل خروجی برنامه موجود می باشد. بررسی نتایج محاسباتی و مقادیر NPV محاسبه شده نشان می دهد نشان می دهد هر دو پایلوت مولد بادی و خورشیدی دارای توجیه پذیری اقتصادی می باشند.

جدول ۱۱-۹: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار بادی (PILOT-W T1)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۰۵۸
تعداد چاه های کشاورزی	۳۸
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۶۵۰
ظرفیت مورد نیاز مولد بادی (kw)	۸۱۲/۵
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه بادی	۵۴۶۲۴۸
	۳۱۲۱۳۶۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۴۰۶۲/۵
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۱/۱

ارزش خالص فعلی (NPV)	۱/۱۴۵
----------------------	-------

جدول ۹-۱۲: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار بادی (PILOT- W T2)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۳۶۳
تعداد چاه های کشاورزی	۳۲
مجموع دیماند چاه ها (kW)	۴۶۱/۵
ظرفیت مورد نیاز مولد بادی (kW)	۵۷۶/۸۷۵
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه بادی	۵۱۴۴۱۹
	۳۱۸۰۳۸۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۲۸۸۴/۳۷
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۰/۸۱۹
ارزش خالص فعلی (NPV)	۰/۶۱

۹-۴-۳ بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی با استفاده از راهکار تولید پراکنده برای پایلوت جیرفت پس از اجرای برنامه نرم افزاری و تحلیل نتایج ، بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی جهت برق رسانی به چاه های کشاورزی محدوده جیرفت با استفاده از راهکار احداث مولد تولید پراکنده گاز سوز مطابق جداول ۹-۱۲ و ۹-۱۳ ارائه می گردد. لازم به ذکر است پایلوت های پیشنهادی به ترتیب اولویت و بر اساس شاخص NPV رتبه بندی شده است. در هر مورد مشخصات چاه های کشاورزی آن پایلوت (موقعیت، دیماند و ساعت کارکرد) در فایل اکسل خروجی برنامه موجود می باشد. بررسی نتایج محاسباتی و مقادیر NPV محاسبه شده نشان می دهد نشان می دهد تعداد ۴ پایلوت های شناسایی شده جهت برق رسانی به چاه های کشاورزی با استفاده از مولد تولید پراکنده شناسایی گردیده است. بر اساس شاخص NPV ، سناریو های (PILOT-DG3) و (PILOT-DG4) با در نظر گرفتن مقادیر NPV تقریباً صفر آنها، از نظر سود دهی اقتصادی خنثی بوده و توجیه پذیر نمی باشد.

جدول ۹-۱۳: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار تولید پراکنده (PILOT-DG1)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۰۵۸
تعداد چاه های کشاورزی	۴۷
مجموع دیماند چاه ها (kW)	۷۵۰/۷
ظرفیت مورد نیاز مولد DG (kW)	۹۳۸/۳۷
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه DG	۵۴۸۲۴۷
	۳۱۲۳۳۶۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۵۰۲۱/۳۹

برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۰/۸۴۲
ارزش خالص فعلی (NPV)	۱/۱۶۶

جدول ۹-۱۴: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار تولید پراکنده (PILOT-DG2)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۳۶۴
تعداد چاه های کشاورزی	۳۳
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۴۷۰
ظرفیت مورد نیاز مولد DG (kw)	۵۸۷/۵
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه DG	۵۶۸۲۴۷
	۳۱۲۹۳۶۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۳۲۴۹/۵
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۰/۶۸۸
ارزش خالص فعلی (NPV)	۰/۶۱۲

جدول ۹-۱۵: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار تولید پراکنده (PILOT-DG3)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۳۳۸
تعداد چاه های کشاورزی	۱۲
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۵۸
ظرفیت مورد نیاز مولد DG (kw)	۷۲/۵
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه DG	۵۷۰۲۴۷
	۳۱۲۲۳۶۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۳۸۱/۴
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۰/۱۲۲
ارزش خالص فعلی (NPV)	۰/۰۳

جدول ۹-۱۶: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار تولید پراکنده

(PILOT-DG4)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۴۹۶۵
تعداد چاه های کشاورزی	۱۰
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۸۶
ظرفیت مورد نیاز مولد DG (kw)	۱۰۷/۵
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه DG	۵۶۳۲۴۷
	۳۱۶۵۳۶۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۵۰۹/۶۲
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۰/۱۲۷
ارزش خالص فعلی (NPV)	۰/۰۷۶۳

۹-۴-۴ بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی با استفاده از راهکار اتصال مستقیم به شبکه برای پایلوت جیرفت پس از اجرای برنامه نرم افزاری و تحلیل نتایج ، بسته های سرمایه گذاری پیشنهادی جهت برق رسانی به چاه های کشاورزی محدوده جیرفت با استفاده از راهکار اتصال مستقیم به شبکه در جداول ۹-۱۶ و ۹-۱۷ ارائه می گردد. لازم به ذکر است پایلوت های پیشنهادی به ترتیب اولویت و بر اساس شاخص NPV رتبه بندی شده است. در هر مورد مشخصات چاه های کشاورزی آن پایلوت (موقعیت، دیماند و ساعت کارکرد) در فایل اکسل خروجی برنامه موجود می باشد.

جدول ۹-۱۷: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار اتصال به شبکه

(PILOT-GC1)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۰۳۹
تعداد چاه های کشاورزی	۵۵
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۷۶۹/۶۶
ظرفیت فیدر مورد نیاز (kw)	۸۸۵
موقعیت جغرافیایی فیدر	۵۶۸۲۴۹
	۳۱۴۳۳۶۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۴۷۳۰/۴۲
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۰/۷۴
ارزش خالص فعلی (NPV)	۰/۴۹۲۲

جدول ۹-۱۸: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار اتصال به شبکه

(PILOT-GC2)

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۲۶۲
تعداد چاه های کشاورزی	۴۲
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۵۱۹

ظرفیت فیدر مورد نیاز (kw)	۵۹۶/۸۵
موقعیت جغرافیایی فیدر	۵۶۴۲۴۷
	۳۱۶۵۳۶۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۳۲۵۴/۲۷
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۰/۷۶۵
ارزش خالص فعلی (NPV)	۰/۰۸۲۸

بررسی نتایج محاسباتی و مقادیر NPV محاسبه شده نشان می دهد نشان می دهد تعداد ۴ پایلوت های شناسایی شده جهت برق رسانی به چاه های کشاورزی با استفاده از مولد تولید پراکنده شناسایی گردیده است. بر اساس شاخص NPV ، سناریوی (PILOT-GC2) با در نظر گرفتن مقادیر NPV تقریباً صفر، از نظر سود دهی اقتصادی خنثی بوده و توجیه پذیر نمی باشد.

۱۰- فصل دهم: نتیجه گیری

۱۰-۱- نتیجه گیری

یکی از راهبردهای فن آورانه در طرح برق رسانی به چاه های کشاورزی توسعه منابع تجدید پذیر و تولید پراکنده جهت پاسخگویی به تقاضای بار می باشد. تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز الکترو پمپ های کشاورزی از طریق فیدهای مستقل از شبکه علاوه بر کاهش پیک بار و عدم نیاز به توسعه زود هنگام زیر ساخت های شبکه توزیع، مزایای اقتصادی قابل ملاحظه ایی را برای ذی نفعان طرح به همراه دارد. بکار گیری از پتانسیل انرژی های تجدید پذیر و تولید پراکنده، بخصوص در شرایطی که موقعیت چاه های کشاورزی در فواصل دور از شبکه قرار گرفتند، می تواند یک انتخاب ایده آل جهت تامین انرژی مورد نیاز در برق رسانی به چاه های کشاورزی باشد. شرایط اقلیمی متنوع (از نظر سطح تابش و سرعت باد) و الگوی تصادفی توزیع چاه های کشاورزی ایجاب می کند تا بر اساس یک روش مهندسی شده نقاط پرتانسیل جهت احداث واحد های نیروگاه های تجدید پذیر و تولید پراکنده با توجه به مشخصات مکانی و مصرفی چاه های کشاورزی شناسایی و به صورت بسته های سرمایه گذاری در اختیار مجریان این طرح قرار گیرد. بر همین اساس در این پروژه مراحل مختلف مطالعات امکان سنجی برق رسانی به چاه های کشاورزی در مقیاس پایلوت در محدوده شهر جیرفت اجرا گردیده است. در ادامه هر یک از گام های انجام گرفته و نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار می گیرد.

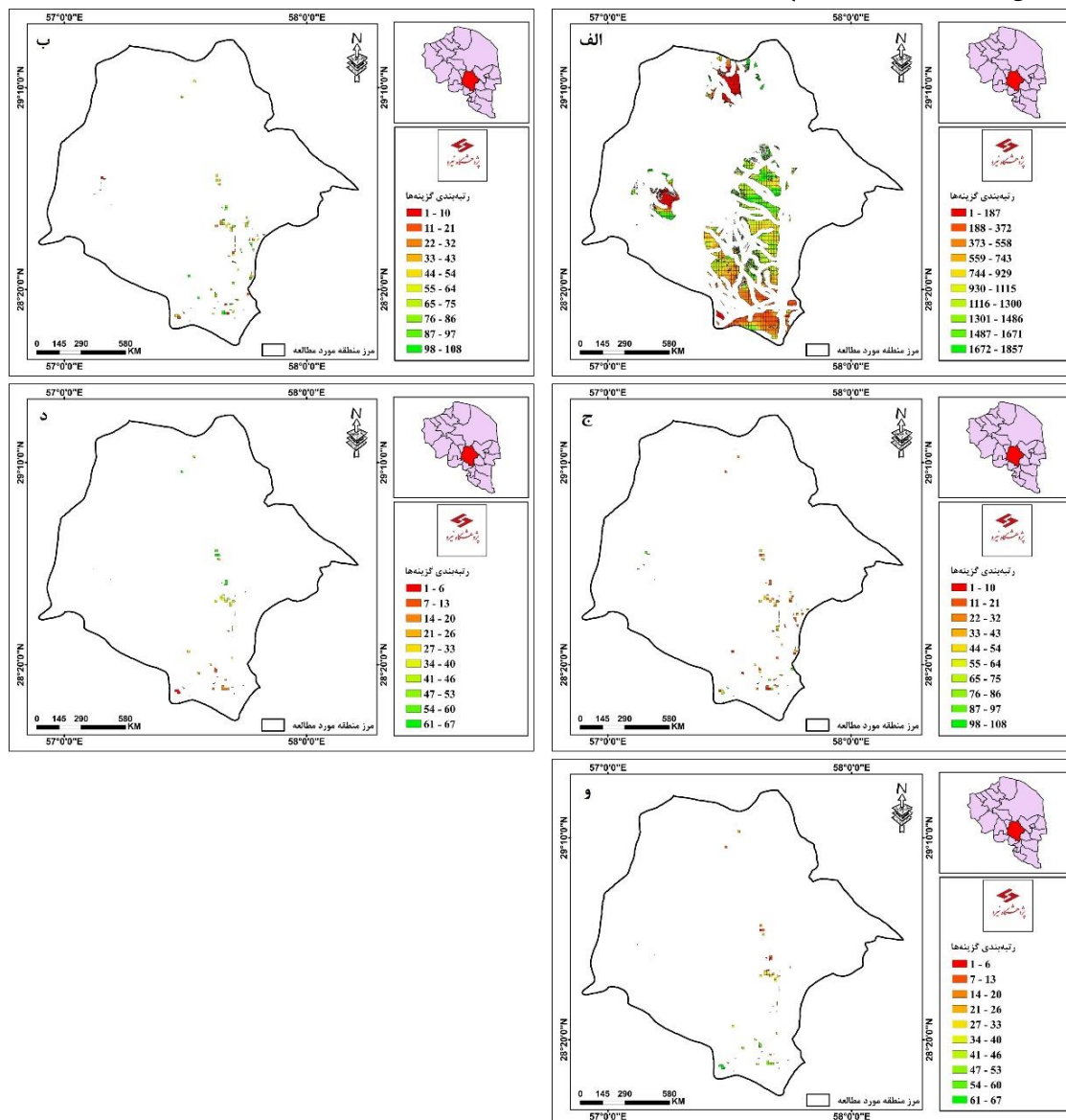
۱- گردآوری داده ها و مطالعات پتانسیل سنجی و تهیه نقشه پتانسیل سنجی : هدف از اجرای این بخش از پروژه، در گام نخست گردآوری داده های مورد نیاز و ایجاد یک بانک داده و در گام بعدی ارائه یک الگوریتم جهت پتانسیل سنجی مناطق مستعد جهت تاسیس انرژی های خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه در شهرستان جیرفت بوده است.

- در این مطالعه از معیارهای مکانی شامل معیارهای وکتوری و رستری استفاده شده است. همچنین جهت به دست آوردن وزن و اهمیت معیارها و رتبه بندی گزینه ها به ترتیب از روش آنترپی شانن و روش تاپسیس استفاده شده است. کلیه مراحل پتانسیل سنجی در محیط نرم افزار ARC-GIS انجام گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده می توان، نتایج اصلی و مهم این تحقیق را به صورت زیر بیان نمود:

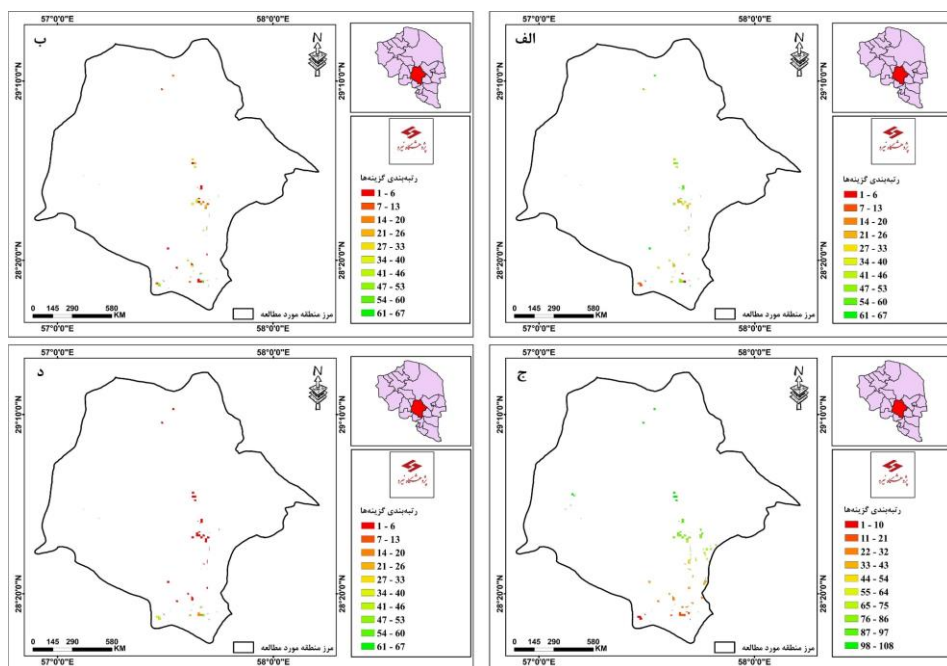
- از مجموع مساحت کل منطقه مورد مطالعه (۹۸۰۲۰۶ هکتار)، به ترتیب ۱۲۸۳۴۵ هکتار و ۱۰۵۷۳۹ هکتار جهت ساخت نیروگاه های خورشیدی و بادی مناسب می باشد و مساحت ۲۴۹۰۰ هکتار از کل مساحت منطقه مورد مطالعه برای تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه مناسب می باشد.
- از مجموع پیکسل های منطقه مورد مطالعه برای تاسیس نیروگاه های انرژی خورشید در منطقه ۱، منطقه ۲ و منطقه ۳ به ترتیب ۵۱۲، ۲۷ و ۳۴ پیکسل در کلاس با پتانسیل خیلی بالا قرار گرفتند.
- از مجموع پیکسل های منطقه مورد مطالعه برای تاسیس نیروگاه های انرژی بادی در منطقه ۱، منطقه ۲ و منطقه ۳ به ترتیب ۱۲۸، ۷۲ و ۱۹ پیکسل در کلاس با پتانسیل خیلی بالا قرار گرفتند.
- از مجموع پیکسل های منطقه مورد مطالعه برای تاسیس نیروگاه های انرژی تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه ۲۴ پیکسل در کلاس با پتانسیل خیلی بالا قرار گرفتند.
- نتایج نقشه های پتانسیل نشان می دهد که منطقه مورد مطالعه از لحاظ انرژی های خورشیدی نسبت به سایر انرژی های دارای پتانسیل بالای می باشد. به طوری که از مجموع پیکسل های منطقه مورد مطالعه ۲۳ دارای پتانسیل خیلی بالایی جهت تاسیس نیروگاه های انرژی خورشیدی باشند.

نتایج بررسی ها نشان می دهد در برخی از پیکسل ها بطور همزمان امکان احداث چند نوع مولد (خورشیدی، بادی، تولدی پراکنده یا اتصال به شبکه) فراهم می باشد. بر همین اساس سناریو های مختلف شامل حداقل ترکیب دو نوع منبع انرژی؛

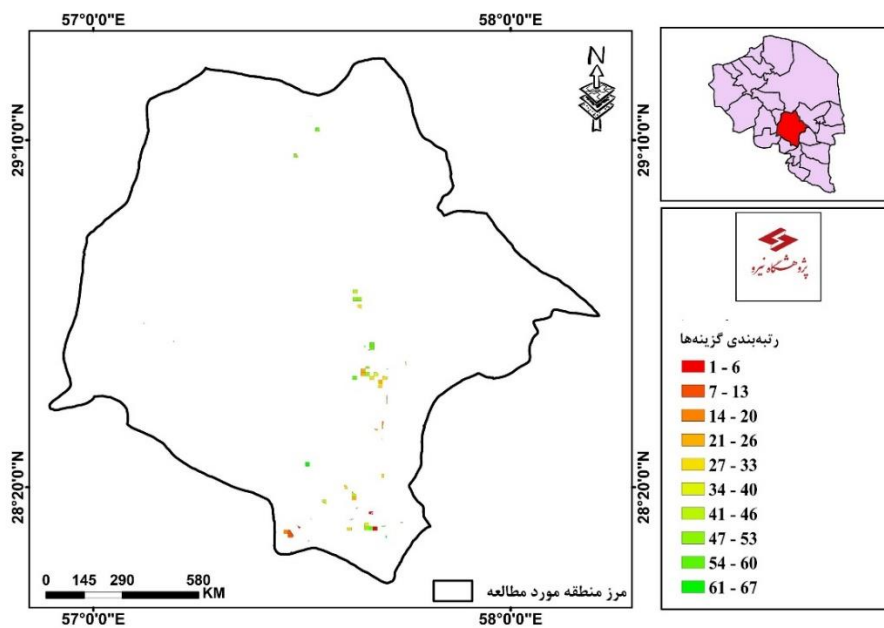
حداقل ترکیب سه نوع منبع انرژی؛ ترکیب همه چهار نوع منبع انرژی پتانسیل سنجی گردیده و نقشه پیکسل بندی شده مطابق شکل های ۱۰-۱ تا ۱۰-۳ تهیه شده است.



شکل ۱۰-۱: ترکیب دو نوع انرژی، الف) خورشیدی و بادی، ب) خورشیدی و تولید پراکنده، ج) خورشیدی و اتصال مستقیم به شبکه، د) بادی و تولید پراکنده، و) بادی و اتصال مستقیم به شبکه



شکل ۲-۱۰: ترکیب سه نوع انرژی، (الف) خورشیدی، بادی و تولید پراکنده؛ (ب) خورشیدی، بادی و اتصال مستقیم به شبکه؛ (ج) خورشیدی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه؛ (د) بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه



شکل ۳-۱۰: ترکیب هر چهار نوع انرژی

۲- *مدلسازی/احتمالاتی عدم قطعیت داده‌های ورودی*: عدم قطعیت در داده‌های ورودی در مرحله سناریو یابی بهینه امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. یک بخش از عدم قطعیت مربوط به ساعت کارکرد و دیمانند چاه‌ها می‌باشد که شامل متوسط تقاضای مصرف و ساعات کارکرد آنها در سال می‌شود. بخش دیگر عدم قطعیت مربوط می‌شود به پیشبینی‌هایی که برای وضعیت تابش خورشید و سرعت باد در نقاط مختلف جغرافیایی می‌باشد. در این بخش پس از بررسی روشهای مختلف عدم قطعیت، از روش احتمالی و ایجاد سناریوهای گسسته برای مدلسازی عدم قطعیت این پارامترها استفاده شده است. به هر کدام از این پارامترها یک تابع توزیع احتمال خاص نسبت داده شد و با استفاده از تابع توزیع تجمعی متناظر با این توزیع‌ها، نمونه برداری‌ها انجام شد. سپس با ترکیب این نمونه‌ها سناریوهای عدم قطعیت تشکیل شدند. برای کاهش تعداد این سناریو‌ها نیز از روش خوشه‌بندی *k-means* استفاده شد که بر اساس مشابهت بین سناریو‌ها آن‌ها را دسته بندی می‌کند. نتایج حاصل شده نشان می‌دهند که چارچوب مدلسازی پیشنهاد شده برای عدم قطعیت قادر است ویژگی تصادفی بودن داده‌های ورودی را لحاظ کند و تخمین مناسبی از توزیع‌های پیوسته متناظر با داده‌های ورودی ارائه دهد.

۳- *مدلسازی هزینه‌ایی و ارائه الگوریتم خوشه‌یابی بهینه*: در این مرحله ابتدا یک بررسی جامع بر روی نرم افزارها و الگوریتم‌های محاسباتی جهت برنامه ریزی بهینه در حل مسائل مشابه با طرح برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی انجام گردید. یکی از ابزارهای داده‌کاوی مورد کاربرد در طرح برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی روشهای خوشه‌بندی می‌باشد که در این بخش از گزارش به انواع روشهای خوشه‌بندی پرداخته شده است.

- با هدف تحلیل اقتصادی راهکارهای برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی کلیه مولفه‌های هزینه‌ایی اعم از هزینه نصب و راه‌اندازی و تعمیر و نگهداری راهکارهای خورشیدی، بادی، تولید پراکنده و اتصال مستقیم به شبکه، هزینه‌ی احداث خطوط، هزینه‌ی ترانس و مدلسازی گردید. همچنین با توجه به تعرفه‌های بازپرداخت تعیین شده در این طرح شاخص‌های اقتصادی اعم از ارزش خالص فعلی، نرخ بازگشت سرمایه، نرخ بازده داخلی و دوره‌ی بازگشت سرمایه محاسبه گردید.
- در این پروژه از دو روش خوشه‌بندی جهت دستیابی به سناریوی بهینه‌ی برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی اجرا شده است. در روش اول از تکنیک خوشه‌بندی فازی استفاده شده و برای یک پایلوت ۱۳۶ چاه انجام و نتایج آن مورد تحلیل قرار گرفت. در این روش با تشکیل ماتریس کارایی برای هر یک از کلاسترها (سطر ماتریس کارایی) محاسبات اقتصادی برای هر یک از راهکارهای پیشنهادی (ستون ماتریس کارایی) در پایلوت مورد مطالعه محاسبه گردید. در پایان پیش از محاسبه شاخص‌های اقتصادی برای کلیه درایه‌ها و در پایان جستجو در نتایج بدست آمده سناریوهای برتر انتخاب گردید. بررسی نتایج نشان می‌دهد روش خوشه‌دارای معایبی می‌باشد که عبارتند از:
 - لزوم تعیین تعداد خوشه‌ها از ابتدای خوشه‌بندی
 - در این روش خوشه‌بندی چاه و تعیین نقطه بهینه محل احداث نیروگاه تجدید پذیر بطور همزمان انجام نمی‌گردد. در یک مرحله خوشه‌بندی بطور مستقل انجام می‌گردد و پس از آن انتخاب منبع تامین انرژی بهینه با محاسبه کلیه سناریوهای ممکن و جستجوی در نتایج حاصل می‌گردد.
 - روش خوشه‌بندی فازی مخصوص داده‌های دو بعدی (یا غیر محدب) است. برای داده‌های محدب این روش دچار اشتباه می‌شود و نتایج بدست آمده معتبر نمی‌باشد. با توجه به اینکه توزیع چاه‌های کشاورزی

دارای توزیع تصادفی بوده، کاربرد این روش برای موضوع برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی در برخی موارد می‌تواند منجر به بروز خطا گردد.

- در این پروژه یک روش خوشه‌بندی بهینه ارائه پیاده‌سازی شد که ترکیبی از روش خوشه‌بندی DBSCAN و یک روش ابتکاری بوده است. هدف از ارائه این روش خوشه‌یابی بهینه و ارائه بهترین سناریوی برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی با در نظر گرفتن نتایج مطالعات پتانسیل‌سنجی بوده است. مراحل اجرای روش در بخش ۷-۳ در ۱۴ مرحله تشریح گردید. نتایج بدست آمده از روش خوشه‌یابی بهینه با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در داده‌های ورودی، در سه دسته کلی سناریوهای محتمل، ریسک‌پذیر و ریسک‌گریز جهت اجرا به سرمایه‌گذاران پیشنهاد گردیده است.
- بسته‌های سرمایه‌گذاری پیشنهادی جهت برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی در محدوده جیرفت در جداول ۱۰-۱ تا ۱۰-۴ ارائه گردیده است.

جدول ۱۰-۱: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه‌گذاری برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی مبتنی بر راهکار خورشیدی

مشخصات فنی و اقتصادی	(PILOT-PV1)	(PILOT-PV2)
متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۰۵۸	۵۳۵۳
تعداد چاه‌های کشاورزی	۴۷	۳۴
مجموع دیماند چاه‌ها (kw)	۷۵۰/۶۶	۴۷۴/۵
ظرفیت مورد نیاز مولد خورشیدی (kw)	۹۳۸	۵۳۹
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه خورشیدی	۵۴۶۲۴۸	۵۷۳۳۸۱
	۳۱۲۱۳۶۰	۳۱۳۳۳۵۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۵۰۲۱/۳۹	۳۲۸۰
برآورد کل هزینه سرمایه‌گذاری (میلیون دلار)	۱/۲	۱/۰۷
ارزش خالص فعلی (NPV)	۱/۱۱	۰/۴۱۰۷

جدول ۱۰-۲: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه‌گذاری برق‌رسانی به چاه‌های کشاورزی مبتنی بر راهکار بادی

مشخصات فنی و اقتصادی	(PILOT-WT1)	(PILOT-WT2)
متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۰۵۸	۵۳۶۳
تعداد چاه‌های کشاورزی	۳۸	۳۲
مجموع دیماند چاه‌ها (kw)	۶۵۰	۴۶۱/۵
ظرفیت مورد نیاز مولد بادی (kw)	۸۱۲/۵	۵۷۶/۸۷۵
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه بادی	۵۴۶۲۴۸	۵۱۴۴۱۹
	۳۱۲۱۳۶۰	۳۱۸۰۳۸۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۴۰۶۲/۵	۲۸۸۴/۳۷
برآورد کل هزینه سرمایه‌گذاری (میلیون دلار)	۱/۱	۰/۸۱۹

ارزش خالص فعلی (NPV)	۱/۱۴۵	۰/۶۱
----------------------	-------	------

جدول ۳-۱۰: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار تولید پراکنده

مشخصات فنی و اقتصادی	(PILOT- DG1)	(2PILOT- DG)
متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۰۵۸	۵۳۶۴
تعداد چاه های کشاورزی	۴۷	۳۳
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۷۵۰/۷	۴۷۰
ظرفیت مورد نیاز مولد DG (kw)	۹۳۸/۳۷	۵۸۷/۵
موقعیت پیشنهادی احداث نیروگاه DG	۵۴۸۲۴۷	۵۴۸۲۴۷
	۳۱۲۳۳۶۰	۳۱۲۹۳۶۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۵۰۲۱/۳۹	۳۲۴۹/۵
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۰/۸۴۲	۰/۶۸۸
ارزش خالص فعلی (NPV)	۱/۱۶۶	۰/۶۱۲

جدول ۴-۱۰: مشخصات فنی و اقتصادی بسته سرمایه گذاری برق رسانی به چاه های کشاورزی مبتنی بر راهکار اتصال به شبکه

متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۵۰۳۹
تعداد چاه های کشاورزی	۵۵
مجموع دیماند چاه ها (kw)	۷۶۹/۶۶
ظرفیت فیدر مورد نیاز (kw)	۸۸۵
موقعیت جغرافیایی فیدر	۵۴۸۲۴۹
	۳۱۴۳۳۶۰
میلیون کیلو وات ساعت مصرف انرژی Mkwh	۴۷۳۰/۴۲
برآورد کل هزینه سرمایه گذاری (میلیون دلار)	۰/۷۴
ارزش خالص فعلی (NPV)	۰/۴۹۲۲

مراجع:

یک تا ۴

- [۱] S. N. Shorabeh, M. K. Firozjaei, O. Nematollahi, H. K. Firozjaei, and M. Jelokhani-Niaraki, "A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran," *Renewable Energy*, vol. ۱۴۳, pp. 958-973, 2019.
- [۲] M. Uyan, "GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, pp. 11-17, 2013.
- [۳] J. Brink and S. Marx, "Harvesting of Hartbeespoort Dam micro-algal biomass through sand filtration and solar drying," *Fuel*, vol. 106, pp. 67-71, 2013.
- [۴] M. Zhang, D. Zhou, P. Zhou, and G. Liu, "Optimal feed-in tariff for solar photovoltaic power generation in China: A real options analysis," *Energy Policy*, vol. 97, pp. 181-192, 2016.
- [۵] C. Méndez and Y. Bicer, "Qatar's wind energy potential with associated financial and environmental benefits for the natural gas industry," *Energies*, vol. 12, no. 17, p. 3329, 2019.
- [۶] P. Alamdari, O. Nematollahi, and A. A. Alemrajabi, "Solar energy potentials in Iran: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 21, pp. 778-788, 2013.
- [۷] G. Giebel, "On the benefits of distributed generation of wind energy in Europe," 2001.
- [۸] M. Giamalaki and T. Tsoutsos, "Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach," *Renewable Energy*, vol. 141, pp. 64-75, 2019.
- [۹] W. Zhou, C. Lou, Z. Li, L. Lu, and H. Yang, "Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems," *Applied energy*, vol. 87, no. 2, pp. 380-389, 2010.
- [۱۰] A. Yushchenko, A. De Bono, B. Chatenoux, M. K. Patel, and N. Ray, "GIS-based assessment of photovoltaic (PV) and concentrated solar power (CSP) generation potential in West Africa," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 2088-2103, 2018.
- [۱۱] H. Z. Al Garni and A. Awasthi, "Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia," *Applied energy*, vol. 206, pp. 1225-1240, 2017.
- [۱۲] S. S. Korsavi, Z. S. Zomorodian, and M. Tahsildoost, "Energy and economic performance of rooftop PV panels in the hot and dry climate of Iran," *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 1204-1214, 2018.
- [۱۳] E. Noorollahi, D. Fadai, M. Akbarpour Shirazi, and S. H. Ghodsipour, "Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)—a case study of Iran," *Energies*, vol. 9, no. 8, p. 643, 2016.

[۱۴] S. N. Shorabeh, M. Argany, J. Rabiei, H. K. Firozjaei, and O. Nematollahi, "Potential assessment of multi-renewable energy farms establishment using spatial multi-criteria decision analysis: a case study and mapping in Iran," *Journal of Cleaner Production*, p . ۱۲۶۳۱۸, ۲۰۲۱.

[۱۵] "<http://www.satba.gov.ir>."

[۱۶] N. Mijani, S. K. Alavipanah, S. Hamzeh, M. K. Firozjaei, and J. J. Arsanjani, "Modeling thermal comfort in different condition of mind using satellite images: An Ordered Weighted Averaging approach and a case study," *Ecological Indicators*, vol. 104, pp. 1-12, 2019.

[۱۷] J. Malczewski and C. Rinner, *Multicriteria decision analysis in geographic information science*. Springer, 2015.

[۱۸] E. Aksoy and B. T. San, "Geographical information systems (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA) integration for sustainable landfill site selection considering dynamic data source," *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 78, no. 2, pp. 779-791, 2019.

[۱۹] H. Yousefi, S. Roumi, S. Tabasi, and M. Hamlehdar, "Economic and air pollution effects of city council legislations on renewable energy utilisation in Tehran," *International Journal of Ambient Energy*, vol. 39, no. 6, pp. 626-631, 2018.

[۲۰] T. Höfer, Y. Sunak, H. Siddique, and R. Madlener, "Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen," *Applied energy*, vol. 163, pp. 222-243, 2016.

[۲۱] Y. Noorollahi, H. Yousefi, and M. Mohammadi, "Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 13, pp. 38-50, 2016.

[۲۲] S. Ali, J. Taweekun, K. Techato, J. Waewsak, and S. Gyawali, "GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand," *Renewable Energy*, vol. 132, pp. 1360-1372, 2019.

[۲۳] M. K. Firozjaei, O. Nematollahi, N. Mijani, S. N. Shorabeh, H. K. Firozjaei, and A. Toomanian, "An integrated GIS-based Ordered Weighted Averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: Current conditions and future planning," *Renewable Energy*, vol. 136, pp. 1130-1146, 2019.

[۲۴] H. E. Colak, T. Memisoglu, and Y. Gercek, "Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey," *Renewable energy*, vol. 149, pp. 565-576, 2020.

[۲۵] T. L. Saaty, "Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process," *Management science*, vol. 32, no. 7, pp. 841-855, 1986.

[۲۶] A. Isalou, V. Zamani, B. Shahmoradi, and H. Alizadeh, "Landfill site selection using integrated fuzzy logic and analytic network process (F-ANP)," *Environmental Earth Sciences*, vol. 68, no. 6, pp. 1745-1755, 2013.

- [۲۷] A. Azizi, B. Malekmohammadi, H. R. Jafari, H. Nasiri, and V. A. Parsa, "Land suitability assessment for wind power plant site selection using ANP-DEMATEL in a GIS environment: case study of Ardabil province, Iran," *Environmental monitoring and assessment*, vol. 186, no. 10, pp. 6695-6709, 2014.
- [۲۸] Y. Wu, B. Zhang, C. Xu, and L. Li, "Site selection decision framework using fuzzy ANP-VIKOR for large commercial rooftop PV system based on sustainability perspective," *Sustainable cities and society*, vol. 40, pp. 454-470, 2018.
- [۲۹] Y. Zou, J. Zhang, M. Upadhyay, S. Sun, and T. Jiang, "Automatic image thresholding based on Shannon entropy difference and dynamic synergic entropy," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 171218-171239, 2020.
- [۳۰] E. Durmić, Ž. Stević, P. Chatterjee, M. Vasiljević, and M. Tomašević, "Sustainable supplier selection using combined FUCOM–Rough SAW model," *Reports in mechanical engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 34-43, 2020.
- [۳۱] N. G. Torlak, A. Demir, and T. Budur, "Using VIKOR with structural equation modeling for constructing benchmarks in the Internet industry," *Benchmarking: An International Journal*, 2021.
- [۳۲] X. Xu, Z. Zhang, T. Long, S. Sun, and J. Gao, "Mega-city region sustainability assessment and obstacles identification with GIS–entropy–TOPSIS model: A case in Yangtze River Delta urban agglomeration, China," *Journal of Cleaner Production*, vol. 294, p. 126147, 2021.
- [۳۳] S. N. Shorabeh, M. Argany, J. Rabiei, H. K. Firozjaei, and O. Nematollahi, "Potential assessment of multi-renewable energy farms establishment using spatial multi-criteria decision analysis: A case study and mapping in Iran," *Journal of Cleaner Production*, vol. 295, p. 126318, 2021.
- [۳۴] R. Zarin, M. Azmat, S. R. Naqvi, Q. Saddique, and S. Ullah, "Landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP, and WLC method based on multi-criteria decision analysis," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 16, pp. 19726-19741, 2021.
- [۳۵] K. Chrobak, G. Chrobak, and J. K. Kazak, "The use of common knowledge in fuzzy logic approach for vineyard site selection," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 11, p. 1775, 2020.
- [۳۶] M. M. Chamchali and A. Ghazifard, "The use of fuzzy logic spatial modeling via GIS for landfill site selection (case study: Rudbar-Iran)," *Environmental Earth Sciences*, vol. 78, no. 10, p. 305, 2019.
- [۳۷] L. A. Zadeh, "Fuzzy logic—a personal perspective," *Fuzzy sets and systems*, vol. 281, pp. 4-20, 2015.
- [۳۸] M. Sevkli, "An application of the fuzzy ELECTRE method for supplier selection," *International Journal of Production Research*, vol. 48, no. 12, pp. 3393-3405, 2010.
- [۳۹] H. Jiang and J. R. Eastman, "Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14, no. 2, pp. 173-184, 2000.

- [۴۰] R. R. Yager, "On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking," *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, vol. 18, no. 1, pp. 183-190, 1988.
- [۴۱] M. Tahri, M. Hakdaoui, and M. Maanan, "The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51, pp. 1354-1362, 2015.
- [۴۲] L.-I. Tegou, H. Polatidis, and D. A. Haralambopoulos, "Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study," *Journal of environmental management*, vol. 91, no. 11, pp. 2134-2147, 2010.
- [۴۳] P. V. Gorsevski, S. C. Cathcart, G. Mirzaei, M. M. Jamali, X. Ye, and E. Gomezdelcampo, "A group-based spatial decision support system for wind farm site selection in Northwest Ohio," *Energy Policy*, vol. 55, pp. 374-385, 2013.
- [۴۴] S. M. Baban and T. Parry, "Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK," *Renewable energy*, vol. 24, no. 1, pp. 59-71, 2001.
- [۴۵] J. Schallenberg-Rodríguez and J. Notario-del Pino, "Evaluation of on-shore wind techno-economical potential in regions and islands," *Applied Energy*, vol. 124, pp. 117-129, 2014.
- [۴۶] J. R. Janke, "Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado," *Renewable Energy*, vol. 35, no. 10, pp. 2228-2234, 2010.
- [۴۷] M. Zoghi, A. H. Ehsani, M. Sadat, M. javad Amiri, and S. Karimi, "Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, pp. 986-996, 2017.
- [۴۸] J. M. Sánchez-Lozano, J. Teruel-Solano, P. L. Soto-Elvira, and M. S. García-Cascales, "Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 24, pp. 544-556, 2013.
- [۴۹] M. Shadman Roodposhti, J. Aryal, H. Shahabi, and T. Safarrad, "Fuzzy shannon entropy: A hybrid gis-based landslide susceptibility mapping method," *Entropy*, vol. 18, no. 10, p. 343, 2016.
- [۵۰] H. R. Pourghasemi, M. Mohammady, and B. Pradhan, "Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran," *Catena*, vol. 97, pp. 71-84, 2012.
- [۵۱] P. H. Nyimbili, T. Erden, and H. Karaman, "Integration of GIS, AHP and TOPSIS for earthquake hazard analysis," *Natural hazards*, vol. 92, no. 3, pp. 1523-1546, 2018.
- [۵۲] A. Jozaghi et al., "A comparative study of the AHP and TOPSIS techniques for dam site selection using GIS: a case study of Sistan and Baluchestan Province, Iran," *Geosciences*, vol. 8, no. 12, p. 494, 2018.
- [۵۳] T. J. Stewart, and I. Durbach, "Dealing with uncertainties in MCDA," *Multiple criteria decision analysis*, pp. 467-496: Springer, 2016.

- [۵۴] M. Aien, A. Hajebrahimi, and M. Fotuhi-Firuzabad, "A comprehensive review on uncertainty modeling techniques in power system studies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, pp. 1077-1089, 2016.
- [۵۵] Fitiwi, D. Z., De Cuadra, F., Olmos, L., & Rivier, M. (2015). A new approach of clustering operational states for power network expansion planning problems dealing with RES (renewable energy source) generation operational variability and uncertainty. *Energy*, 90, 1360-1376.
- [۵۶] Liang, Z., Chen, H., Wang, X., Chen, S., & Zhang, C. (2019). Risk-based uncertainty set optimization method for energy management of hybrid AC/DC microgrids with uncertain renewable generation. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11(2), 1526-1542.
- [۵۷] Lv, Y., Guan, L., Tang, Z., & Zhao, Q. (2016). A probability model of PV for the middle-term to long-term power system analysis and its application. *Energy Procedia*, 103, 28-33.
- [۵۸] Fernandes, R. D. M., Wolff, W., & Folegatti, M. V. (2019). Probability distribution functions applied in the water requirement estimates in irrigation projects. *Revista Caatinga*, 32, 189-199.
- [۵۹] Elkadeem, M. R., Wang, S., Sharshir, S. W., & Atia, E. G. (2019). Feasibility analysis and techno-economic design of grid-isolated hybrid renewable energy system for electrification of agriculture and irrigation area: A case study in Dongola, Sudan. *Energy Conversion and Management*, 196, 1453-1478.
- [۶۰] Faraji, J., Hashemi-Dezaki, H., & Ketabi, A. (2021). Stochastic operation and scheduling of energy hub considering renewable energy sources' uncertainty and N-1 contingency. *Sustainable Cities and Society*, 65, 102578.
- [۶۱] Ullah, Z., Wang, S., Radosavljević, J., & Lai, J. (2019). A solution to the optimal power flow problem considering WT and PV generation. *IEEE Access*, 7, 46763-46772.
- [۶۲] Yesilbudak, M. (2016, November). Clustering analysis of multidimensional wind speed data using k-means approach. In *2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)* (pp. 961-965). IEEE.

پیوست:

نمونه‌های از کدهای دستوری نوشته شده در محیط GIS:

پیوست ۱: کد Euclidean Distance

```
# Name: EucDistance_Ex_02.py
# Description: Calculates for each cell the Euclidean distance to the nearest
               source.
# Requirements: Spatial Analyst Extension

# Import system modules
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *

# Set environment settings
env.workspace = "G:/sapyexamples/data"

# Set local variables
inSourceData = "rec_sites.shp"
maxDistance = 10000
cellSize = 1000
outDirectionRaster = "G:/sapyexamples/output/eucdirect"

# Check out the ArcGIS Spatial Analyst extension license
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

# Execute EucDistance
outEucDistance = EucDistance(inSourceData, maxDistance, cellSize,
                             outDirectionRaster)

# Save the output
outEucDistance.save("G:/sapyexamples/output/eucdist")
```

پیوست ۲: کد Interpolation

```
# Name: IDW_Ex_02.py
# Description: Interpolate a series of point features onto a rectangular
# raster using Inverse Distance Weighting (IDW).
# Requirements: Spatial Analyst Extension

# Import system modules
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *

# Set environment settings
env.workspace = "G:/sapyexamples/data"

# Set local variables
inPointFeatures = "ca_ozone_pts.shp"
zField = "ozone"
cellSize = 2000.0
power = 2
searchRadius = RadiusVariable(10, 150000)

# Check out the ArcGIS Spatial Analyst extension license
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

# Execute IDW
outIDW = Idw(inPointFeatures, zField, cellSize, power, searchRadius)

# Save the output
outIDW.save("G:/sapyexamples/output/idwout02")
```

پیوست ۳: کد Reclassify

```
# Name: reclassify_example02.py
# Description: Reclassifies the values in a raster.
# Requirements: Spatial Analyst Extension

# Import system modules
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *

# Set environment settings
env.workspace = "G:/sapyexamples/data"

# Set local variables
inRaster = "solar_center"
reclassField = " solar_center "
remap = RemapValue([["1-512", 1], ["513-738", 2], ["739-988",
3], ["989-1159", 4], ["1159-1335", 5], ["1336-1455", 6], ["1456-1558",
7], ["1559-1638", 8], ["1639-1729", 9], ["1730-1771", 10]])

# Check out the ArcGIS Spatial Analyst extension license
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

# Execute Reclassify
outReclassify = Reclassify(inRaster, reclassField, remap,
"NODATA")

# Save the output
outReclassify.save("G:/sapyexamples/output/outreclass02")
```

پیوست ۴: کد Zonal Statistics as

Table

```
# Name: ZonalStatisticsAsTable_Ex_02.py
# Description: Summarizes values of a raster within the zones of
#              another dataset and reports the results to a table.
# Requirements: Spatial Analyst Extension

# Import system modules
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *

# Set environment settings
env.workspace = "G:/sapyexamples/data"

# Set local variables
inZoneData = "zones.shp"
zoneField = "Classes"
inValueRaster = "valueforzone"
outTable = "zonalstattblout02.dbf"

# Check out the ArcGIS Spatial Analyst extension license
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

# Execute ZonalStatisticsAsTable
outZSaT = ZonalStatisticsAsTable(inZoneData, zoneField,
                                  inValueRaster,
                                  outTable, "NODATA", "MEAN")
```

محاسبه ی فواصل چاه ها تا فیدر اصلی تخمین زده شده

شماره چاه	فاصله از فیدر به صورت تخمینی (متر)
1	0
2	0
3	2894.60118567877
4	1803.23603398988
5	3684.33014120409
6	2592.96498951588
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	2662.43063211760
24	3344.40960262486
25	3507.40232571488
26	2107.64293734185
27	0
28	3114.42945031770
29	1641.90683922743
30	1924.36823356944
31	515.296340507076
32	1512.88685747740
33	2276.14222508453
34	3447.90539242088
35	4448.49856299976
36	3882.85324126437
37	7317.00969481196
38	1020.38185669846
39	5182.73106173721
40	1736.46686935283
41	589.931583163151
42	4689.25957450618
43	2240.70447651987
44	913.374662927637
45	4219.80802540801
46	1897.38403200352
47	540.874940440752
48	592.866277080007

49	2452.03436957798
50	2036.68742543889
51	2854.65020485512
52	958.503081078290
53	0
54	750.392870291561
55	2518.89879154043
56	983.605812371924
57	2389.22611123189
58	2962.76079601339
59	0
60	3973.06666461133
61	3516.76559112428
62	2265.31162581773
63	4823.40114054755
64	3352.22313149316
65	0
66	1639.40146457281
67	4661.62809803344
68	2914.46064132685
69	8594.51344489624
70	1271.43122818972
71	755.403647040064
72	694.935927860480
73	829.453490407940
74	379.383905827881
75	4769.60044544835
76	228.253292053450
77	657.430678412169
78	926.878144554381
79	1658.53012768406
80	0
81	2718.38906586579
82	2078.01585496051
83	0
84	4622.68319128618
85	875.617528642864
86	0
87	2310.26750151896
88	0
89	2779.94428119393
90	1364.30723642519
91	2932.52058579072
92	1260.06484251387
93	3928.35155224718
94	7160.62822221138
95	1908.92212115005
96	3371.21268247519
97	0
98	0
99	1089.78287975967
100	0

101	388.851056567639
102	1660.03570708627
103	0
104	647.329443298287
105	1001.58645578368
106	9664.27379589047
107	1985.10429732713
108	4567.61191975964
109	3577.55577302756
110	3923.99182310767
111	5154.76697265809
112	5448.61889460208
113	567.670497176375
114	0
115	138.126161995583
116	299.307163419738
117	2422.06226366458
118	1912.61254698214
119	4332.55456467411
120	1871.05513013911
121	0
122	2278.34954966434
123	0
124	1438.13193033654
125	0
126	0
127	1065.44864888778
128	4916.33454000330
129	1831.06098690327
130	1749.70458314304
131	4722.50452406576
132	9817.57861857429
133	1768.21259048490
134	2171.17905613072
135	2047.84885074503
136	3504.30784469042

طرح "توسعه کاربری فناوری‌های نوین در برق‌رسانی

کد گزارش/ویرایش: PDTPN09-1/TO-1-ویرایش یکم
چاه‌های کشاورزی"

مهر ماه ۱۴۰۰

پژوهشگاه نیرو

www.nri.ac.ir

تهران - شهرک قدس - انتهای بلوار شهید دادمان (پونک باختری) - صندوق پستی ۵۱۷-۱۴۶۶۵
تلفن : ۸۸۰۷۹۴۰۰ - فاکس : ۸۸۰۷۸۲۹۶