

دستیابی به توسعه پایدار با رویکرد امکان‌سنجی بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر (پایلوت - استان کرمان)

فرزاد رضایی نامدار، جهاد دانشگاهی استان کرمان*

علی حسینی پور، جهاد دانشگاهی استان کرمان

محمد علی حیات ابدی - شرکت آب و فاضلاب شهری استان کرمان

حسین عطائی فر - دفتر تحقیقات شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

* farzad_rnm@yahoo.com

چکیده

امروزه با توجه به بحرانهای زیست‌محیطی و همچنین محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی، لازم است که حرکت به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر تسریع پیدا کند. در این میان لازم است که مطالعات پتانسیل‌سنجی در سطح کشور برای استفاده از منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر انجام شود. در این مطالعه ظرفیت استان کرمان در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر از قبیل انرژی خورشیدی، باد، زمین‌گرمایی و زیست‌توده مورد بررسی قرار گرفته است و مناطق دارای بیشترین پتانسیل برای بهره‌برداری از هر کدام از این انواع انرژی معرفی شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین‌گرمایی، انرژی زیست‌توده

۱- مقدمه

توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیا با چالش‌ها و موانع اقتصادی، فنی، مدیریتی و قانونی زیادی مواجه است که تاخیر در توسعه و استفاده از این منابع به دلیل استفاده بیش از حد از منابع سوخت‌های فسیلی با تخریب محیط زیست منجر به تهدید امنیت انسان‌ها شده است [۱].

با توجه به این موضوع، مطالعات مقدماتی و پتانسیل‌سنجی استفاده از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر لازمی بهره‌برداری از هر یک از این انواع انرژی می‌باشد. در این میان لازم است مطالعات امکان‌سنجی استفاده از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر در استان کرمان به عنوان بزرگترین استان کشور در اولویت قرار گیرد. استان کرمان در حال حاضر جزو استان‌های پیشرو در صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر به خصوص انرژی خورشیدی می‌باشد به نحوی که بزرگترین سایت انرژی خورشیدی کشور در منطقه‌ی ماهان احداث شده است و همچنین کلنگ زنی بزرگترین نیروگاه خورشیدی خاورمیانه با ظرفیت ۱۰۰ مگاوات در مسیر کرمان به بم انجام شده است.

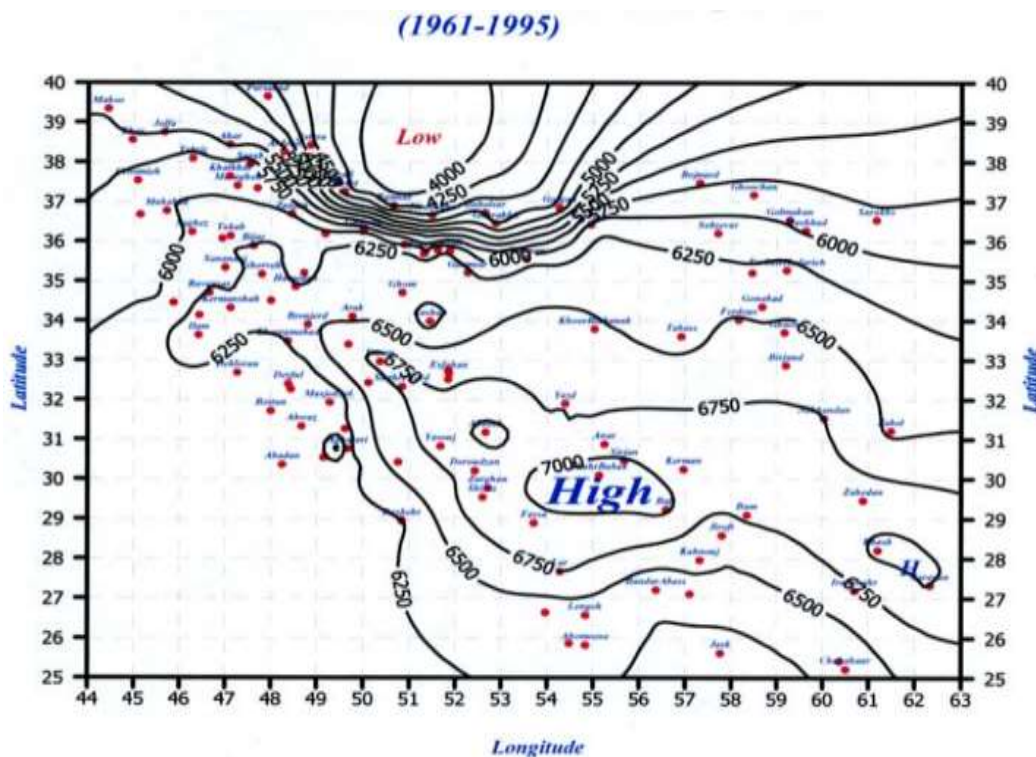
در این تحقیق پتانسیل شهرهای مختلف استان در زمینه‌ی چهار نوع انرژی تجدیدپذیر بر کاربرد از جمله انرژی‌های خورشیدی، باد، زمین‌گرمایی و زیست‌توده بررسی شده است و شهرستان‌های بالاترین اولویت برای بهره‌برداری از هر کدام از این انواع انرژی معرفی شده‌اند. همچنین در زمینه‌ی انرژی خورشیدی، که طبق نظر کارشناسان بیشترین پتانسیل را در میان انرژی‌های تجدیدپذیر در استان

دارد، مطالعه‌ای بر مبنای یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی نقاط مختلف استان برای احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک انجام شده است.

۲- پتانسیل سنجی استان کرمان در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر

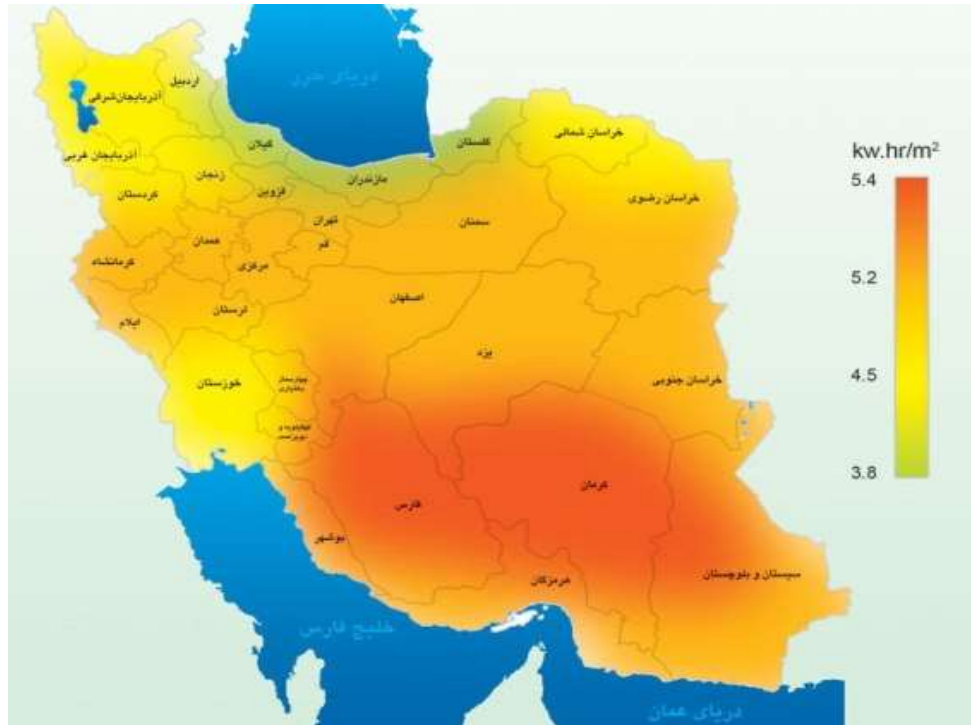
۱-۲- انرژی خورشیدی

در شکل ۱ میزان تابش خورشیدی کشور ایران نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، چگالی انرژی خورشیدی دریافتی استان کرمان یکی از بالاترین مقادیر را در کشور داراست که پتانسیل بالایی برای بهره‌برداری از این منبع تجدیدپذیر در اختیار قرار می‌دهد.



شکل ۱: خطوط هم تابش سالانه ایران براساس اطلاعات هواشناسی ۱۹۶۱-۱۹۹۵

در شکل ۲ نقشه تابش دریافتی کشور نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که استان کرمان از میانگین کشوری تابش دریافتی بالاتری دارد و این در حالی است که ایران خود نیز جزو کشورهای با سرانه دریافت تابش خورشیدی بالا در جهان به شمار می‌آید.



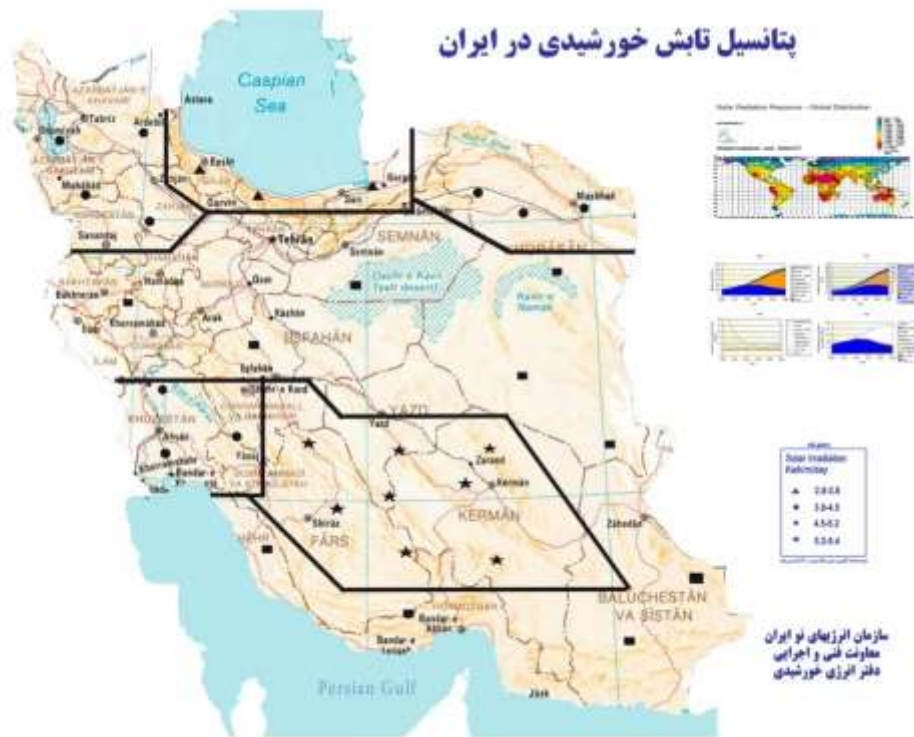
شکل ۲: نقشه تابش دریافتی کشور (ماخذ: شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت)

در اطلس تابش خورشیدی کشور که توسط سازمان انرژی‌های نو (شکل ۳) تهیه شده است، قابل مشاهده است که به غیر از برخی نقاط جنوبی و شمال شرقی استان کرمان، مابقی نقاط در محدوده با تابش زیاد در کشور دسته‌بندی می‌گردند. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته در این تحقیق که در جدول ۱ نمایش داده شده است، تنها ۶ شهر از ۷۱ شهر استان کرمان که در محدوده‌ی تابش $4/5-5/2$ کیلووات-ساعت در روز هستند در ناحیه بیشینه تابش دریافتی کشور قرار نمی‌گیرند.

در این تحقیق اولویت‌بندی بهره‌برداری از نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره با نام تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ (AHP) انجام شده است. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره است. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله‌مراتبی تصمیم‌آغاز می‌کند. درخت سلسله‌مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم‌را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم‌را نشان می‌دهد [۲]. در این تحقیق چهار معیار

¹ Analytical hierarchy process

موثر بر میزان توان تولیدی نیروگاه‌های فتوولتائیک از جمله تابش فرودی، دمای هوا، ساعات آفتابی و ارتفاع از سطح دریا برای تصمیم‌گیری درباره‌ی مکانهای مناسب احداث نیروگاه خورشیدی در نظر گرفته شده است. ساختار تصمیم‌گیری این روش براساس تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳: نقشه ناحیه بندی شده تابش دریافتی کشور (ماخذ: سازمان انرژی‌های نو ایران)

اولویت بندی مکانهای مستعد برای انرژی خورشیدی بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی و در نظر گرفتن معیارهای اشاره شده به صورت نقشه‌ی شکل ۵ قابل ارائه است. همانگونه که مشاهده می‌شود شهرستانهای غربی استان مانند سیرجان، شهربابک و بافت در روش تحلیل سلسله‌مراتبی امتیاز بالاتری نسبت به سایر نقاط در روش تحلیل سلسله‌مراتبی به دست آورده و در نتیجه بالاترین اولویت برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی را دارند.

۲-۲- انرژی زمین‌گرمایی

در شکل ۶ پتانسیل‌های مناسب بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی با نقاط قرمز رنگ نشان داده شده است. اگرچه سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) تنها منطقه بزمان در مرز جنوب شرقی استان را دارای ظرفیت زمین‌گرمایی معرفی نموده است، مرجع [۳] منطقه‌ای نسبتاً وسیع در شهرستان بافت را نیز بر اساس مطالعات، با توجه به برخی ویژگی‌های زمین‌شناسی و جغرافیایی، دارای ظرفیت بهره‌برداری از

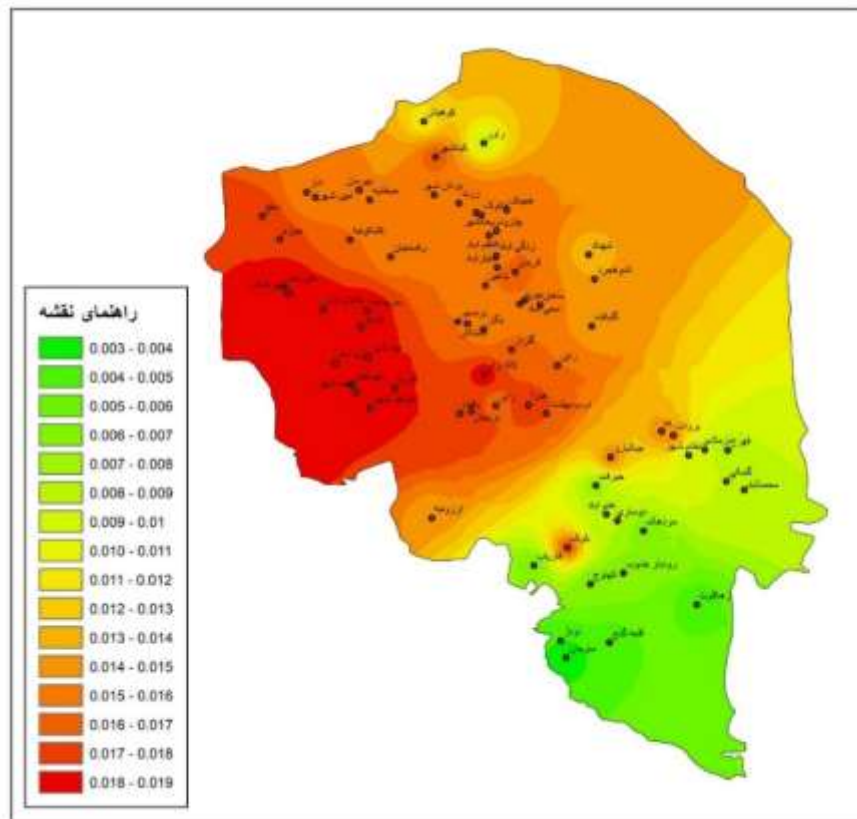
انرژی زمین گرمایی می‌داند. به این ترتیب انجام کارهای عملی، منوط به کشف نقاط بهره برداری مناسب است. مناطق مناسب بهره برداری از انرژی زمین گرمایی با توجه به نقشه‌ی شکل ۹ مطابق جدول ۲ به دست می‌آید.

جدول ۱: تابش دریافتی شهرهای استان کرمان

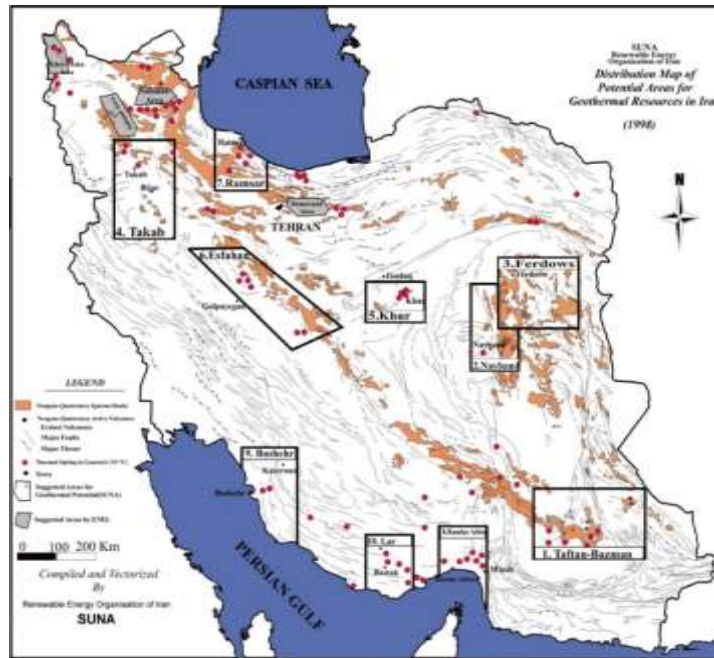
ردیف	شهر	تابش (Kwh/day)	ردیف	شهر	تابش (Kwh/day)	ردیف	شهر	تابش (Kwh/day)
۴۹	کیان‌شهر	۵.۲-۵.۴	۲۵	درب بهشت	۵.۲-۵.۴	۱	اختیارآباد	۵.۲-۵.۴
۵۰	گلبافت	۵.۲-۵.۴	۲۶	دشتکار	۵.۲-۵.۴	۲	ارزوئیه	۵.۲-۵.۴
۵۱	گلزار	۵.۲-۵.۴	۲۷	دهج	۵.۲-۵.۴	۳	امین شهر	۵.۲-۵.۴
۵۲	گنبدکی	۵.۲-۵.۴	۲۸	دوساری	۵.۲-۵.۴	۴	انار	۵.۲-۵.۴
۵۳	لاله زار	۵.۲-۵.۴	۲۹	رابر	۵.۲-۵.۴	۵	اندوهجرد	۵.۲-۵.۴
۵۴	ماهان	۵.۲-۵.۴	۳۰	راور	۵.۲-۵.۴	۶	باغین	۵.۲-۵.۴
۵۵	محمدآباد	۵.۲-۵.۴	۳۱	راین	۵.۲-۵.۴	۷	بافت	۵.۲-۵.۴
۵۶	مچی آباد	۵.۲-۵.۴	۳۲	رفسنجان	۵.۲-۵.۴	۸	بردسیر	۵.۲-۵.۴
۵۷	مردهک	۵.۲-۵.۴	۳۳	ریحان‌شهر	۵.۲-۵.۴	۹	بروات	۵.۲-۵.۴
۵۸	نجف شهر	۵.۲-۵.۴	۳۴	زرند	۵.۲-۵.۴	۱۰	بزنجان	۵.۲-۵.۴
۵۹	نرماشیر	۵.۲-۵.۴	۳۵	زنگی آباد	۵.۲-۵.۴	۱۱	بلورد	۵.۲-۵.۴
۶۰	نظام شهر	۵.۲-۵.۴	۳۶	زید آباد	۵.۲-۵.۴	۱۲	بلوک	۵.۲-۵.۴
۶۱	نگار	۵.۲-۵.۴	۳۷	سرچشمه	۵.۲-۵.۴	۱۳	بیم	۵.۲-۵.۴
۶۲	هجدک	۵.۲-۵.۴	۳۸	سیرجان	۵.۲-۵.۴	۱۴	بهرمان	۵.۲-۵.۴
۶۳	هما شهر	۵.۲-۵.۴	۳۹	شهداد	۵.۲-۵.۴	۱۵	پاریز	۵.۲-۵.۴
۶۴	هنزا	۵.۲-۵.۴	۴۰	شهرابک	۵.۲-۵.۴	۱۶	جبالبارز	۵.۲-۵.۴
۶۵	یزدان شهر	۵.۲-۵.۴	۴۱	صفائیه	۵.۲-۵.۴	۱۷	جوپار	۵.۲-۵.۴
۶۶	رودبار جنوب	۴.۵-۵.۲	۴۲	عنبرآباد	۵.۲-۵.۴	۱۸	جوزم	۵.۲-۵.۴
۶۷	زهک‌لوت	۴.۵-۵.۲	۴۳	فاریاب	۵.۲-۵.۴	۱۹	جیرفت	۵.۲-۵.۴
۶۸	قلعه گنج	۴.۵-۵.۲	۴۴	فهرج	۵.۲-۵.۴	۲۰	چترود	۵.۲-۵.۴
۶۹	کهنوج	۴.۵-۵.۲	۴۵	کاظم آباد	۵.۲-۵.۴	۲۱	خاتون آباد	۵.۲-۵.۴
۷۰	منوجان	۴.۵-۵.۲	۴۶	کرمان	۵.۲-۵.۴	۲۲	خانوک	۵.۲-۵.۴
۷۱	نودژ	۴.۵-۵.۲	۴۷	کشکوئیه	۵.۲-۵.۴	۲۳	خواجو شهر	۵.۲-۵.۴
			۴۸	کوهبنان	۵.۲-۵.۴	۲۴	خورسند	۵.۲-۵.۴



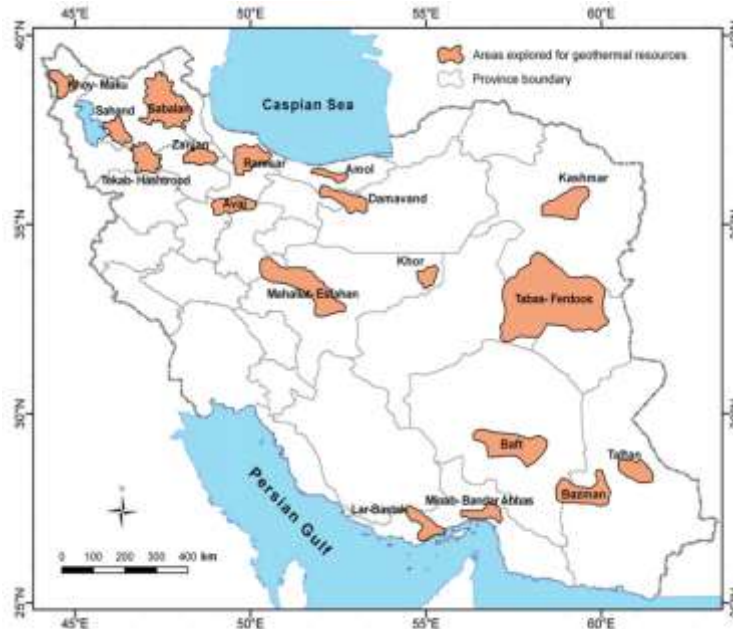
شکل ۴: ساختار تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی برای مکانیابی بهترین نقاط بهره‌برداری از نیروگاه‌های فتوولتائیک



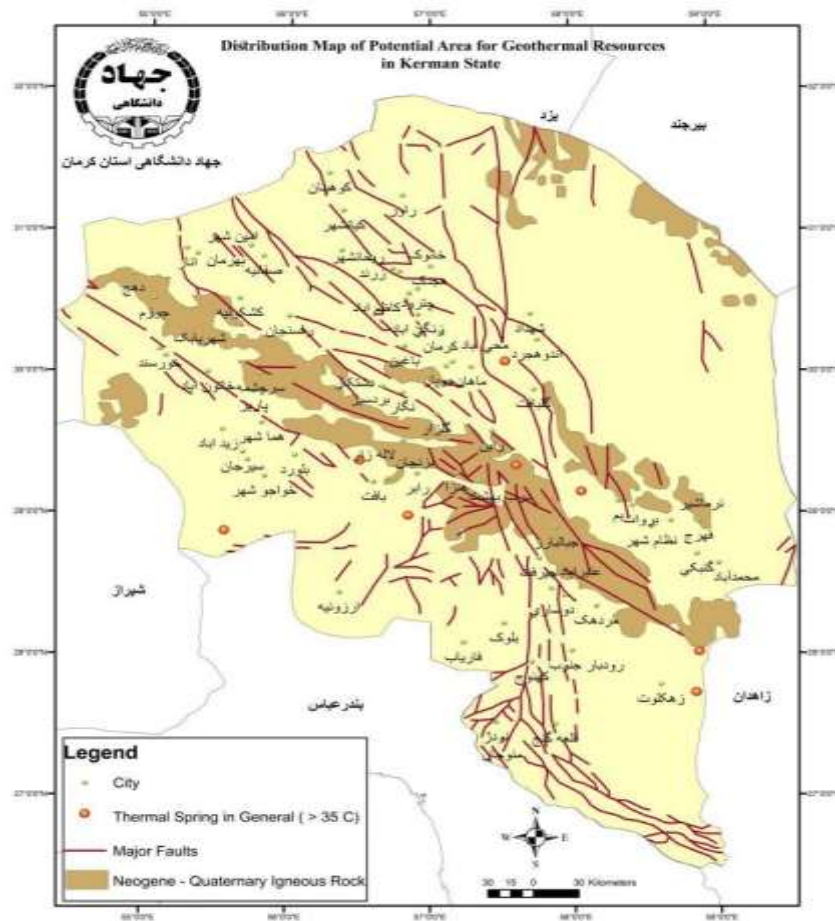
شکل ۵: اولویت بندی پتانسیل بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در استان کرمان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (ماخذ: جهاد دانشگاهی استان کرمان)



شکل ۴: اطلس نقاط مستعد برای بهره‌برداری انرژی زمین‌گرمایی (ماخذ: سازمان انرژی‌های نو ایران، سانا)



شکل ۸: ۱۸ منطقه مستعد بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی کشور بر طبق مرجع [۳] بر اساس توزیع چشمه‌ها، مناطق دارای آب گرم، ناهمسانی‌های مغناطیسی، مدارک ژئولوژیکی و بررسی‌های ژئوشیمیایی



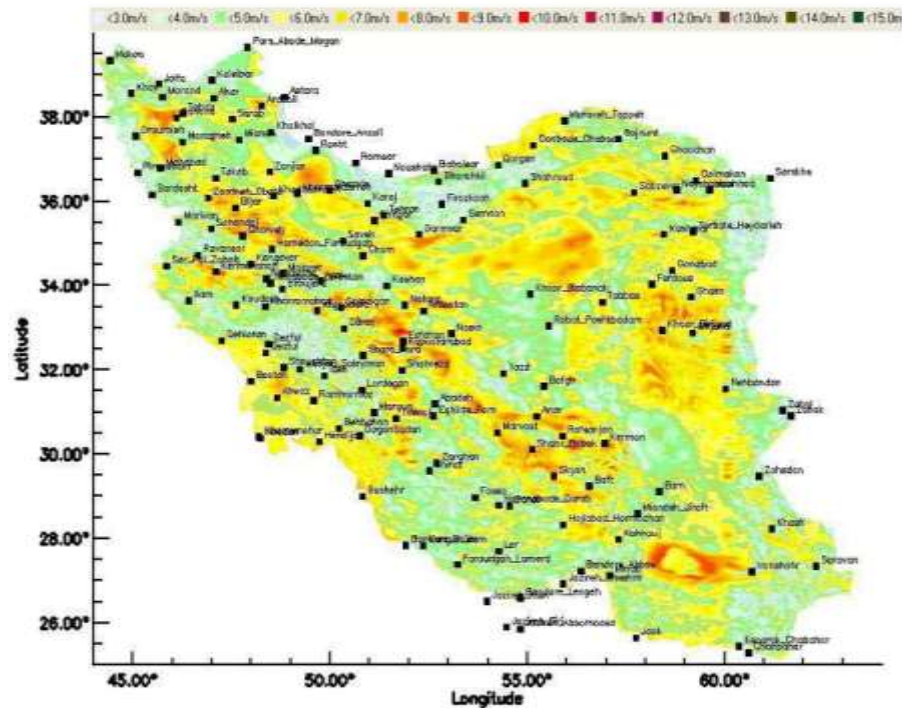
شکل ۹: نقاط مستعد بهره برداری از انرژی زمین گرمایی، (ماخذ: جهاد دانشگاهی استان کرمان)

جدول ۲: لیست شهرهای دارای ظرفیت زمین گرمایی

شهر	ردیف
بافت	۱
بروات	۲
بزنجان	۳
بم	۴
جبالبارز	۵
جیرفت	۶
درب بهشت	۷
هنزا	۸

۳-۲- انرژی باد

اطلس باد ایران در شکل ۱۱ آورده شده است.

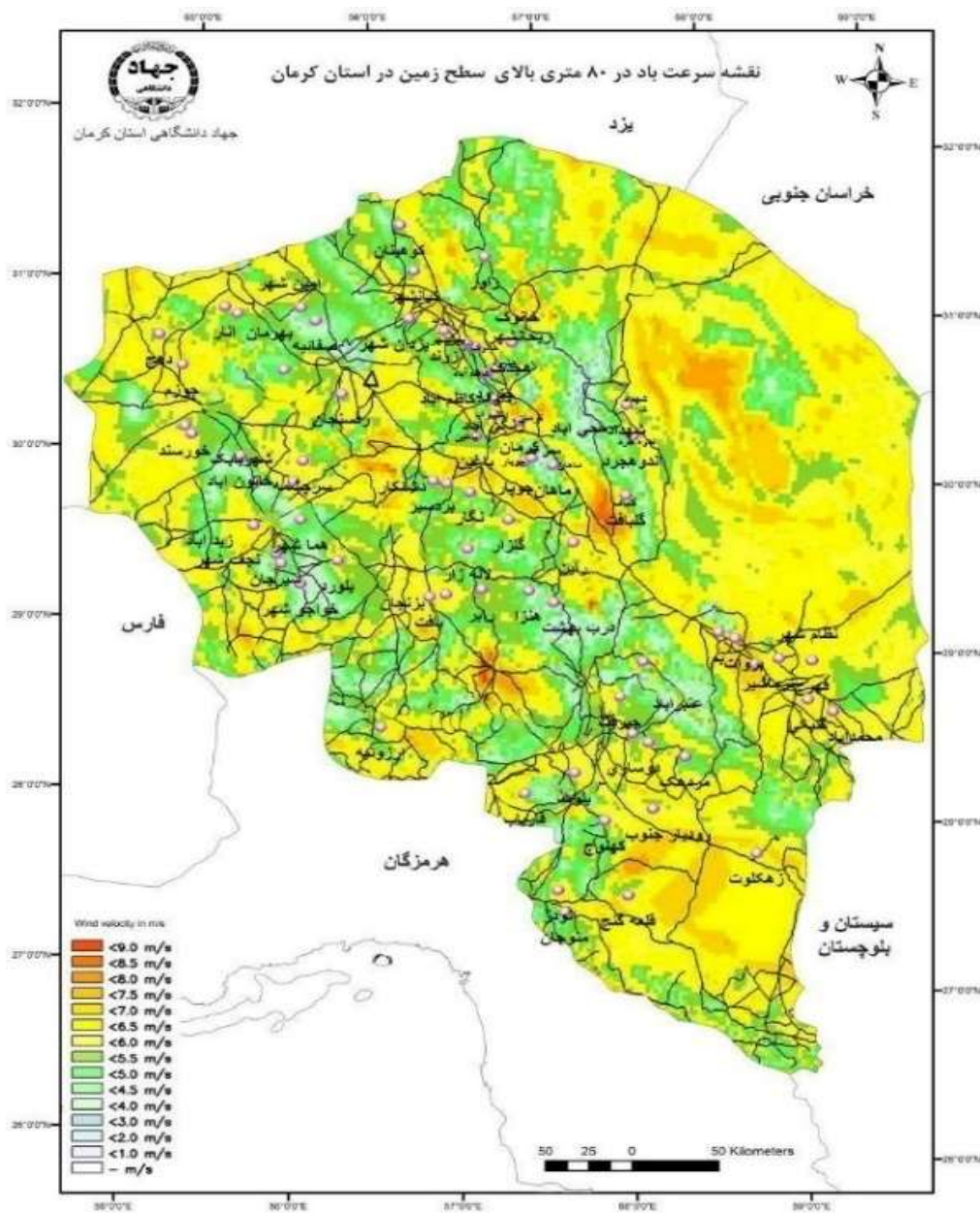


شکل ۱۱: نقشه سرعت باد کشور در ارتفاع ۸۰ متری (ماخذ: سازمان انرژی‌های نو ایران، سانا)

بر طبق مطالعات، مناطق کوهستانی در امتداد رشته کوه های کشور از پتانسیل بالایی برای بهره برداری از انرژی باد برخوردار هستند. براساس پهنه بندی انجام یافته برای سرعت باد نقشه شکل شماره ۱۲ برای استان کرمان تولید گردید. بر اساس پهنه بندی صورت گرفته، شهرهای استان به صورت نزولی بر اساس سرعت متوسط باد به ترتیب در جدول ۳ و شکل ۱۳ مرتب شده اند.

۴-۲- انرژی زیست توده

طبق تعریف اتحادیه اروپا زیست توده عبارت است از اجزا قابل تجزیه زیستی از محصولات، پسماندها و زائدات کشاورزی (شامل مواد گیاهی و دامی)، جنگلها و صنایع وابسته و همچنین زائدات صنعتی و شهری قابل تجزیه. استفاده از زیست توده برای تامین انرژی مورد نیاز برای نیازهای اولیه همچون گرمایش یا پخت و پز از گذشته‌های دور وجود داشته است. اگرچه آماری به تفکیک شهرهای استان ها در دسترس نیست، سهم ظرفیت انرژی تولیدی از زیست توده به طور کلی برای ایران طبق جدول ۴ به دست آمده است.



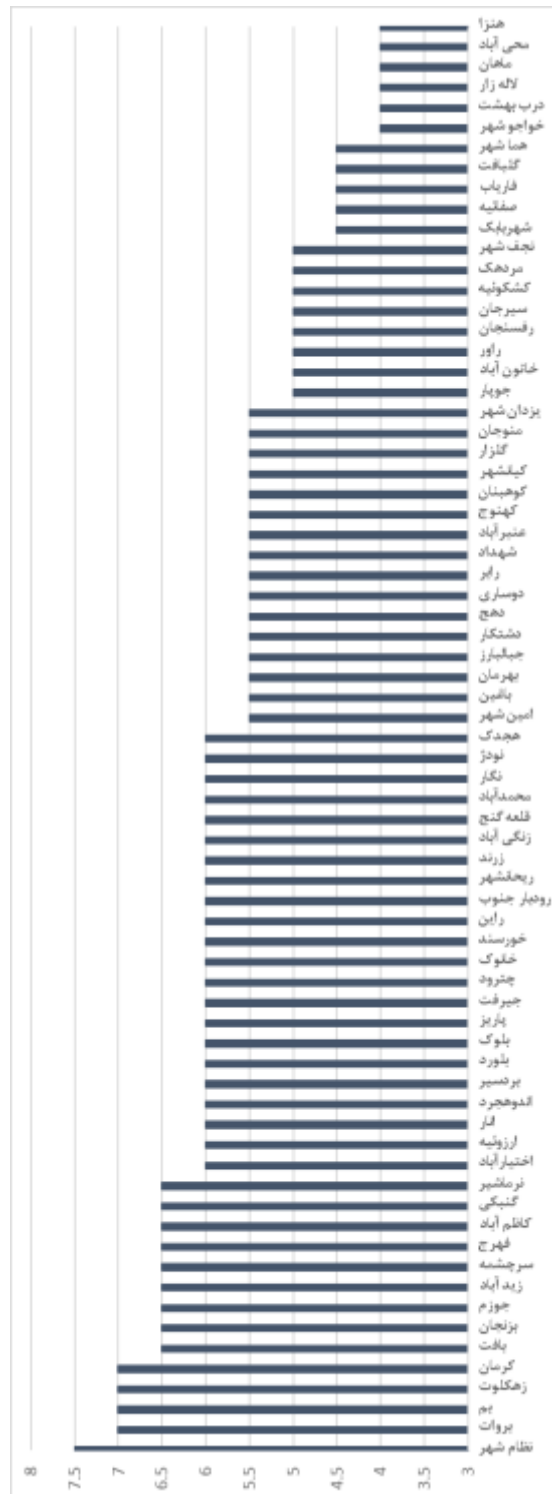
شکل ۱۲: نقشه سرعت باد در ارتفاع ۸۰ متری (مانند: جهاد دانشگاهی استان کرمان)

جدول ۳: سرعت باد شهرهای استان کرمان

باد m/s	شهر	ردیف
۵.۵	کوهبنان	۵۲
۵.۵	کیانشهر	۵۳
۵.۵	گلزار	۵۵
۵.۵	منوجان	۶۲
۵.۵	یزدان شهر	۷۱
۵	جوپار	۱۷
۵	خاتون آباد	۲۱
۵	راور	۳۰
۵	رفسنجان	۳۲
۵	سیرجان	۴۰
۵	کشکوئیه	۵۰
۵	مردهک	۶۱
۵	نجف شهر	۶۳
۴.۵	شهر بابک	۴۲
۴.۵	صفائیه	۴۳
۴.۵	فاریاب	۴۵
۴.۵	گلبافت	۵۴
۴.۵	هما شهر	۶۹
۴	خواجو شهر	۲۳
۴	درب بهشت	۲۵
۴	لاله زار	۵۷
۴	ماهان	۵۸
۴	مچی آباد	۶۰
۴	هنزا	۷۰

باد m/s	شهر	ردیف
۶	چترود	۲۰
۶	خانوک	۲۲
۶	خورسند	۲۴
۶	راین	۳۱
۶	رودبار	۳۳
۶	جنوب	۳۳
۶	ریحانشهر	۳۴
۶	زرند	۳۵
۶	زنگی آباد	۳۶
۶	قلعه گنج	۴۷
۶	محمدآباد	۵۹
۶	نگار	۶۶
۶	نودژ	۶۷
۶	هجدک	۶۸
۵.۵	امین شهر	۳
۵.۵	باغین	۶
۵.۵	بهرمان	۱۴
۵.۵	جبالبارز	۱۶
۵.۵	دشتکار	۲۶
۵.۵	دهج	۲۷
۵.۵	دوساری	۲۸
۵.۵	رابر	۲۹
۵.۵	شهداد	۴۱
۵.۵	عنبرآباد	۴۴
۵.۵	کهنوج	۵۱

باد m/s	شهر	ردیف
۷.۵	نظام شهر	۶۵
۷	بروات	۹
۷	بم	۱۳
۷	زهکلو	۳۷
۷	کرمان	۴۹
۶.۵	بافت	۷
۶.۵	بزنجان	۱۰
۶.۵	جوزم	۱۸
۶.۵	زید آباد	۳۸
۶.۵	سرچشمه	۳۹
۶.۵	فهرج	۴۶
۶.۵	کاظم آباد	۴۸
۶.۵	گنبدکی	۵۶
۶.۵	نرماشیر	۶۴
۶	اختیارآباد	۱
۶	ارزوئیه	۲
۶	انار	۴
۶	اندوهجرد	۵
۶	بردسیر	۸
۶	بلورد	۱۱
۶	بلوک	۱۲
۶	پاریز	۱۵
۶	جیرفت	۱۹

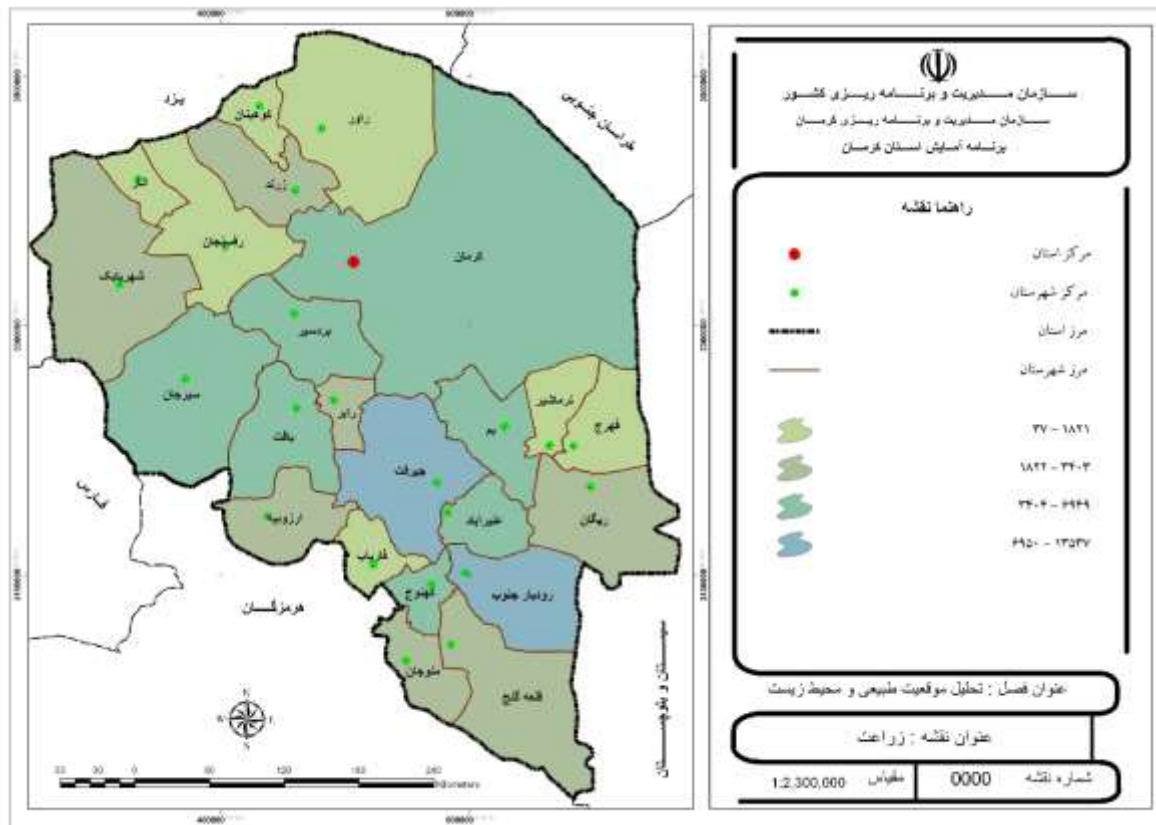


شکل ۱۳: سرعت متوسط باد در شهرهای استان کرمان

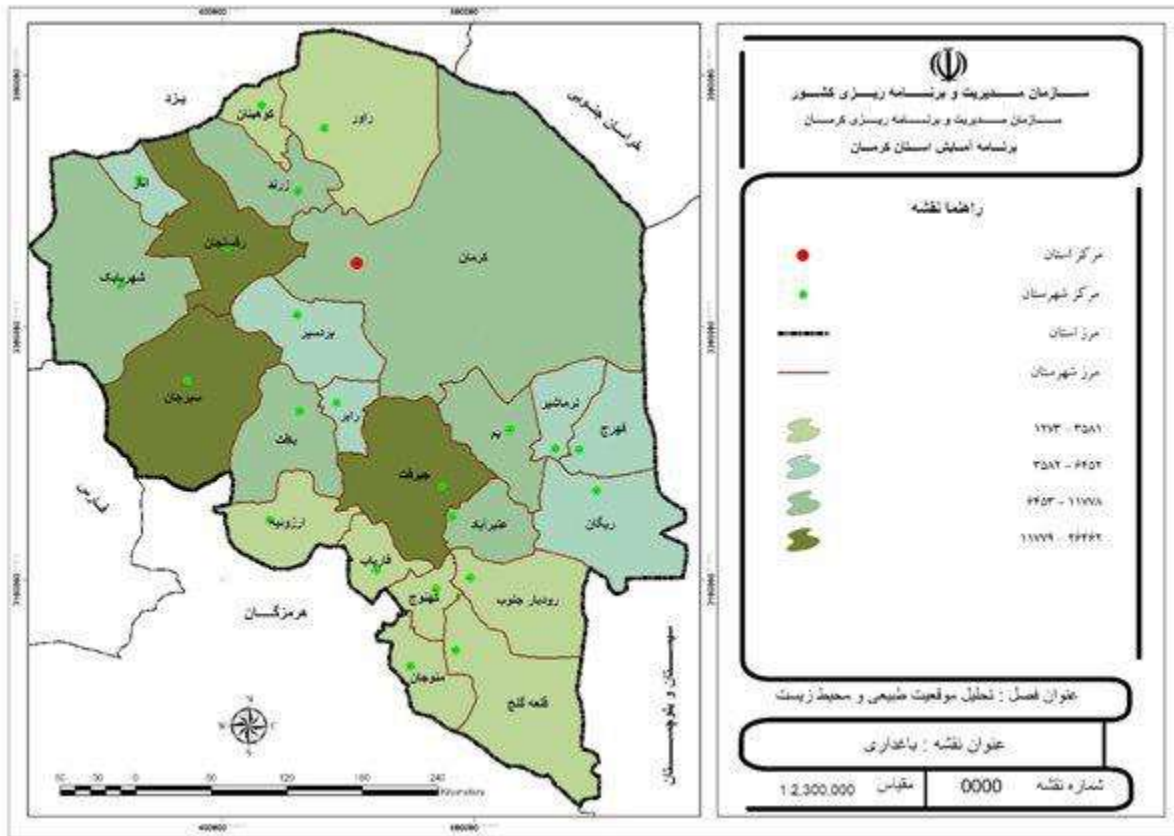
جدول ۴: میزان ضایعات برخی از شهرهای ایران بر حسب تن در روز

شهر	میزان ضایعات بر حسب تن در روز	شهر	میزان ضایعات بر حسب تن در روز
تهران	۶۶۴۸	بروجرد	۱۰۰
مشهد	۱۶۵۵	خرم‌آباد	۳۰۰
اصفهان	۱۲۰۳	دزفول	۱۵۱
کرج	۱۱۶۴	یزد	۲۳۸
تبریز	۱۰۷۰	اهواز	۱۰۸۰
گرگان	۲۰۷	آبادان	۱۴۵/۵
ساری	۲۲۹/۳	کرمان	۳۰۸
قزوین	۳۳۹/۳	شیراز	۹۰۰
رشت	۳۷۲/۴	بندرعباس	۲۹۵
زنجان	۲۵۸/۳	زاهدان	۱۹۶
اردبیل	۳۳۸	همدان	۵۷۸
ارومیه	۴۷۰	قم	۵۸۹/۳
سنندج	۲۱۳	کاشان	۱۸۵
شهر قدس	۱۷۰	اراک	۳۴۵
اسلامشهر	۲۹۷	کرمانشاه	۱۰۰

همانطور که در جدول ۴ مشخص شده است، شهر کرمان در هر روز ۳۰۸ تن زباله تولید می‌کند که پتانسیل مناسب برای احداث نیروگاه زباله سوز را نشان می‌دهد. استفاده از ضایعات و پسماندهای کشاورزی و بقایای گیاهان می‌تواند در مناطق زراعی و باغات استان کرمان به عنوان گزینه مناسبی برای تولید زیست‌گاز در نظر گرفته شود. نقشه‌ی پهنه بندی مناطق زراعی و باغی استان کرمان در ادامه آمده است.



شکل ۱۴: پهنه بندی مناطق زراعی استان کرمان (ماخذ: طرح آمایش استان کرمان، [۵])



شکل ۱۵: پهنه بندی باغات استان کرمان (ماخذ: طرح آمایش استان کرمان، [۵])

با ترکیب اطلاعات نقشه‌ها در شکل‌های بالا، اولویت مکانهایی را که ضایعات کشاورزی بیشتری دارد مطابق جدول پایین به دست می‌آید. لازم به ذکر است مناطق محروم از گاز طبیعی در هریک از این مناطق از اولویت بالاتری نسبت به سایر نقاط برخوردار هستند.

جدول ۵: اولویت شهرستانهای استان کرمان برای استفاده از انرژی زیست گاز

اولویت	شهرستان
۱	جیرفت
۲	سیرجان
۳	کرمان، بافت، بم، عنبرآباد
۴	زرنند، رفسنجان، شهرابک، بردسیر، رودبار،
۵	رابر، ریگان، کهنوج
۶	انار، منوجان، قلعه گنج، نماشیر، فهرج، ارزوئیه
۷	راور، کوهبنان

۳- جمع بندی

در تحقیق صورت گرفته پتانسیل منابع انرژی تجدید پذیر از جمله انرژی‌های خورشیدی، باد، زمین گرمایی و زیست توده در استان کرمان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به پتانسیل بالای تابش خورشید در استان کرمان مناطق زیادی مستعد بهره‌برداری از انرژی خورشیدی هستند که طبق تحقیق صورت گرفته بر اساس عوامل موثر بر میزان تولید نیروگاه‌های فتوولتائیک از جمله تابش فرودی، دما، ساعات آفتابی و ارتفاع از سطح دریا، مناطق غربی استان از جمله شهرستانهای سیرجان، شهربابک و بافت دارای بیشترین پتانسیل بهره‌برداری از نیروگاه‌های فتوولتائیک می‌باشند. در زمینه‌ی انرژی باد با توجه به بادخیز بودن و سرعت بالای باد در مناطق شرقی استان از جمله نظام‌شهر، بهم، بروات و زهکلوک این مناطق به عنوان مستعدترین مکان‌ها برای احداث نیروگاه‌های بادی محسوب می‌شوند. در زمینه‌ی انرژی زمین گرمایی نیز هشت منطقه از جمله بافت، بروات، بزنجان، بهم، جبالبارز، جیرفت، درب بهشت و هنزا دارای پتانسیل بهره‌برداری از این انرژی شناخته شده‌اند. در زمینه‌ی انرژی زیست توده نیز با توجه به میزان ضایعات کشاورزی شهرستان جیرفت و مناطق محروم از گاز رسانی دارای بالاترین پتانسیل شناخته شده‌اند.

۴- مراجع

- [۱]. شفائی، م. (۲۰۱۶)، "امنیت انسانی و چالش‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، با تاکید بر امنیت زیست محیطی"، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست.
- [2]. Saaty, Thomas L. (2008). "Decision making with the analytic hierarchy process." *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- [3]. Yousefi, Hossein, et al. (2010). "Developing the geothermal resources map of Iran." *Geothermics* 39(2), 140-151.
- [4]. Ericsson, Karin, and Lars J. Nilsson. (2006). "Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach." *Biomass and Bioenergy*, 30(1), 1-15.
- [۵]. طرح آمایش استان کرمان، تحلیل اقتصادی، ۱۳۹۵