مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی

دکتر فرامرز خوش اخلاق
استادیار دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران

غلامرضا روشن
کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی
دانشگاه تهران

رضا برنا
دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی
واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

در این پژوهش با استفاده از آمار ۳۳ ساله (۲۰۰۳-۱۹۷۰) فراسنج‌های تابش، ابرناکی و باد به امکان‌سنجی استقرار نیروگاه خورشیدی در مناطق خشک ایران اقدام گردیده است. در ادامه با در نظر گرفتن ایستگاه یزد به عنوان مناسب‌ترین مکان جغرافیایی جهت استقرار نیروگاه خورشیدی، ایستگاه‌های مناطق مجاور آن همچون اصفهان، کرمان، زاهدان از نظر رژیم تابش و دیگر عناصر آب و هوایی مؤثر در استقرار نیروگاه خورشیدی مورد مقایسه قرار گرفته است. در ابتدا پس از مشخص نمودن نوسانات اقلیمی ایستگاه‌ها و در ادامه، پس از استفاده از روشهای آماری انحراف معیار، ضریب تغییرات، آزمون تی T و.....، شبیه‌ترین ایستگاه به یزد جهت تأسیس نیروگاه خورشیدی ایستگاه اصفهان معرفی شده است.

کلمات کلیدی

انرژی خورشیدی، مطالعه مقایسه‌ای، ایستگاه یزد، ایستگاه مناطق خشک ایران.

مقدمه

یکی از مشکلات فزاینده موجود، روند رو به کاهش منابع انرژی تجدیدناپذیر است. از این رو مطالعه توانهای بالقوه محیطی جهت سازگاری و نهایتاً توسعه پایدار لازم می‌آید. لذا بهره‌گیری از پتانسیل‌های آب وهوایی می‌تواند اثرات مثبتی را در صرفه‌جویی منابع انرژی داشته باشد. انرژی خورشیدی یکی از گزینه‌های جایگزین است، در این خصوص شناسایی نواحی مستعد ومناسب که در آن انرژی خورشیدی در حد مناسبی بوده و بتواند جایگزین انرژی‌های فعلی شود از اهمیت بسیار زیادی برخوردار خواهد بود.

در این پژوهش با در نظر گرفتن ایستگاه یزد به عنوان مناسب‌ترین مکان جغرافیایی جهت استقرار نیروگاه خورشیدی، ایستگاه‌های مناطق مجاور آن همچون اصفهان، کرمان، زاهدان از نظر رژیم تابش و دیگر عناصر آب و هوایی مؤثر در استقرار نیروگاه خورشیدی مورد مقایسه قرار گرفته و با توجه به وجود پتانسیل‌ها و نیز، روندهای آب وهوایی موجود (ساعات آفتابی، ابرناکی و باد)، وضعیت مناطق فوق از جهت استقرار نیروگاه‌های مذکور مورد تحلیل قرار گرفته و مناسب‌ترین ایستگاه برای استقرار نیروگاه خورشیدی (بعد از ایستگاه مبنا) معرفی می‌شود. در ادامه، می‌توان از کار عمر همدان[1] (Omar Hamdan.2002) در زمینه استفاده از انرژی خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی و یا کار تلفیقی استفاده از انرژی بادی و خورشیدی توسط Ozdamal و Ozbalta در سال ۲۰۰۵ اشاره نمود.

روش کار

بررسی نوسانات آب وهوایی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

چون تمرکز اصلی این پژوهش بر روی تابش خورشیدی و ساعات آفتابی می‌باشد و از طرفی چون تابش با نوع آب و هوا و درجه خشک یا مرطوب بودن آن ارتباط دارد، لذا در ابتدا دوره آماری ۲۴ ساله به ۳ دوره ۸ ساله تقسیم و سپس شرایط آب و هوایی در این دوره‌های فرعی با روش آب و هوایی دمارتن مورد تحلیل قرار گرفت. در این تحلیل ایستگاه یزد به عنوان مناسب‌ترین ایستگاه از نظر برخورداری از تابش خورشیدی با ایستگاه‌های دیگر مورد مقایسه قرار گرفت. (جدول ۱)

$$I = \frac{P}{T+10}$$

I: شاخص دمارتن

P: میانگین بارش سالانه

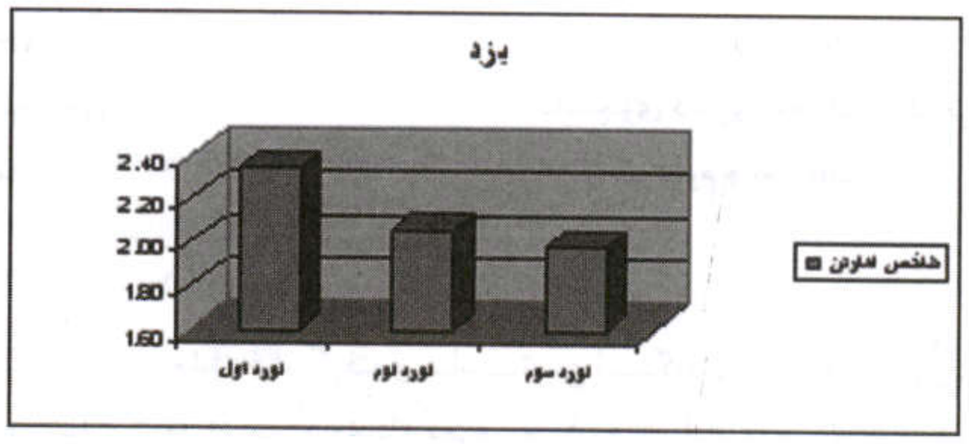
T: میانگین دمای سالانه

نوسانات آب و هوایی ایستگاهها با شاخص دمارتن

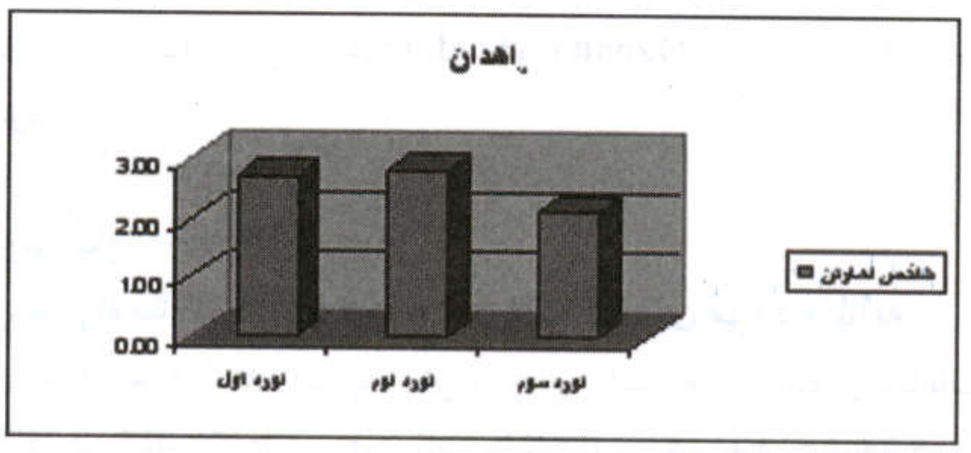
حدود طبقات	یزد	کرمان	زاهدان	اصفهان	دوره‌های زمانی
خشک	۲/۳۵	۵/۶	۲/۷۱	۴/۳	دوره اول
خشک	۲/۰۶	۵/۹	۲/۸	۴/۶	دوره دوم
خشک	۱/۹۸	۴/۷	۲/۱	۴/۸	دوره سوم

همانگونه که شاخص دمارتن ایستگاه یزد برای سه دوره آماری نشان می‌دهد، نوسانات آب وهوایی این ایستگاه، به سوی هر چه خشکتر شدن

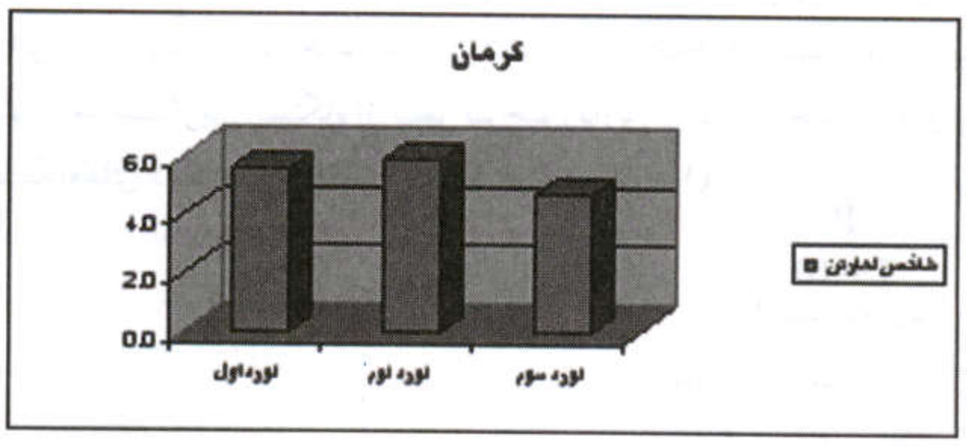
است، اما این وضعیت در مورد ایستگاه اصفهان معکوس می‌باشد، به طوری که در دوره آخر، گرایش به سوی کاهش خشکی این ایستگاه است. اما نوسانات آب وهوایی در دو ایستگاه کرمان و زاهدان شبیه یکدیگر است، به نحوی که شاخص دمارتن در هر دو ایستگاه در دوره دوم،افزایش اما در دوره سوم کاهش داشته است.



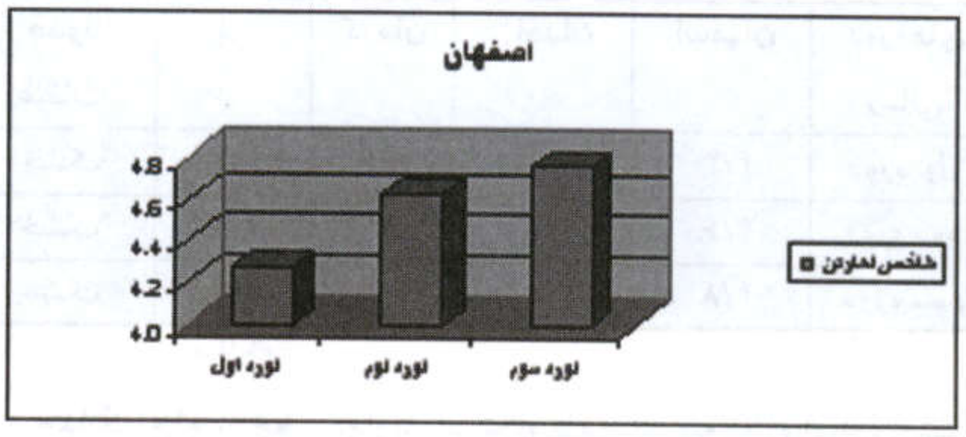
نگاره ۱: کاهش شاخص دمارتن در یزد



نگاره ۲: روند تغییرات شاخص ایستگاه زاهدان



نگاره ۳: روند تغییرات شاخص ایستگاه کرمان



نگاره ۴: روند تغییرات شاخص ایستگاه اصفهان

۲- فراسنج‌های مؤثر در بهره‌گیری از تابش خورشیدی

همان گونه که مشخص است در استفاده از انرژی خورشیدی از طریق نیروگاه‌های خورشیدی، فراسنج‌های آب و هوایی بسیار دخیل می‌باشد. از جمله مهمترین این عناصر می‌توان از تابش، ابرناکی و باد نام برد که در ادامه توضیح مختصری درباره هر یک از این عناصر داده شده است. (Muneer, T. Muneer, S.2006)

الف) تابش: مهمترین فراسنج آب و هوایی در رابطه با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، میزان تابش خورشید می‌باشد که مقدار آن در مناطق مختلف باتوجه به عرض جغرافیایی، ناهمواریها، دوری و نزدیکی به دریا و عوامل دیگر متفاوت است.

ب) ابرناکی: ابرناکی در سطوح مختلف ($\frac{2}{8}$ $\frac{3}{6}$ $\frac{7}{8}$)، رابطه بسیار نزدیکی با مقدار انرژی تابشی دریافتی دارد. به طوری که هر چه سطح آسمان صاف‌تر باشد، این انرژی بیشتر و هر چه ابرناکی بیشتر بوده این وضعیت وارونه می‌شود.

ج) باد: در این بررسی باد به عنوان یک فراسنج فرعی مورد نظر است، به طوری که هر چه میزان سرعت آن افزایش یابد با توجه به افزایش گردوغبار جوی و نیز حمل غبار و ماسه توسط آن، ابزار و ادوات نیروگاه (آئینه‌ها و...) مورد آسیب قرار می‌گیرند.

مقایسه فراسنجهای ایستگاه یزد با ایستگاه‌های مورد مطالعه

در این مرحله با مشخص نمودن میزان اختلاف داده‌های عناصر اقلیمی هر ایستگاه با ایستگاه یزد، مقادیر تفاضل هر ایستگاه مشخص شد و سپس مجموع اختلافات برآورد گردید. بدیهی است که هر چه اختلاف کوچکتر باشد، نشان دهنده مشابهت بیشتر ایستگاه مورد نظر با ایستگاه مبنا می‌باشد. (Ramos Ridao, A..Garcia,H.2005)

$\Sigma = A_i - A_0$

A_i = ایستگاه iام

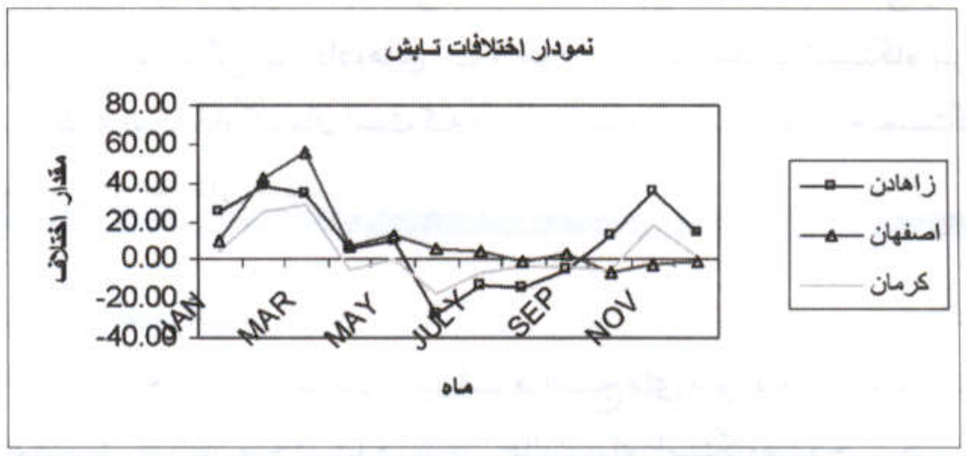
A_0 = ایستگاه مبنا (یزد)

رژیم تابش ایستگاه‌های مورد مطالعه

در رابطه با این فراسنج، مشاهده می‌شود که ۶ ماه از سال که اکثراً ماههای گرم سال می‌باشند، ایستگاه اصفهان به یزد نزدیک بوده و ۶ ماه دیگر، که اکثراً ماه‌های سرد بوده، کرمان به یزد نزدیک می‌باشد. اما پس از محاسبه جمع اختلافات، شبیه‌ترین ایستگاه‌ها به یزد به ترتیب کرمان، اصفهان و زاهدان می‌باشد.

جدول ۱: مجموع اختلافات ایستگاه‌ها

ایستگاه	جمع
زاهدان	۲۳۴/۳۵
اصفهان	۱۵۱/۰۶
کرمان	۱۱۸/۶۲



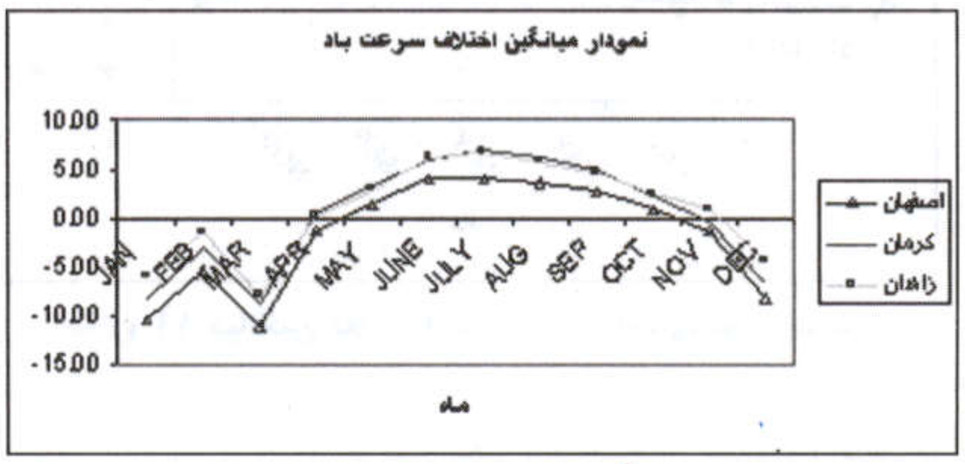
نگاره ۵: نمودار اختلاف تابش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه

اختلاف میانگین سرعت باد

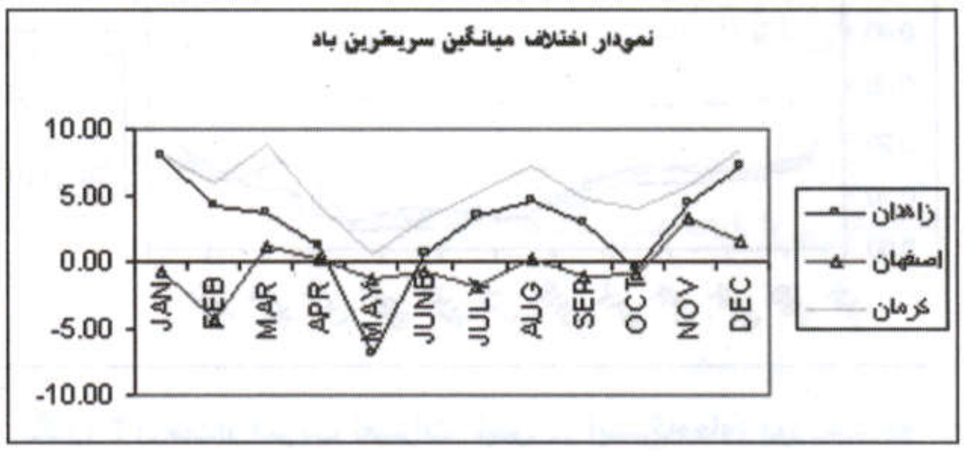
همان طور که در جدول (۲) دیده می‌شود، کمترین اختلاف ماهانه میانگین سرعت باد ایستگاه‌ها نسبت به ایستگاه یزد مربوط به زاهدان بوده و سپس ایستگاه اصفهان وکرمان در رتبه‌های دیگر قرار می‌گیرند.

جدول ۲: مجموع اختلافات میانگین سرعت باد

اصفهان	۵۳/۶۸
کرمان	۵۶/۹۰
زاهدان	۴۹/۷۳



نگاره ۶: اختلافات ماهانه میانگین سرعت باد



نگاره ۷: اختلافات ماهانه میانگین سریعترین باد

اختلاف میانگین سریع‌ترین باد

با توجه به محاسبه اختلافات این پارامتر در مورد ایستگاه‌های موردنظر از ایستگاه مبنای یزد، شبیه‌ترین ایستگاه به یزد، ایستگاه اصفهان بوده که از نظر اختلاف با ایستگاه‌های دیگر تفاوت فاحشی دارد.

جدول ۳: اختلافات سریعترین باد

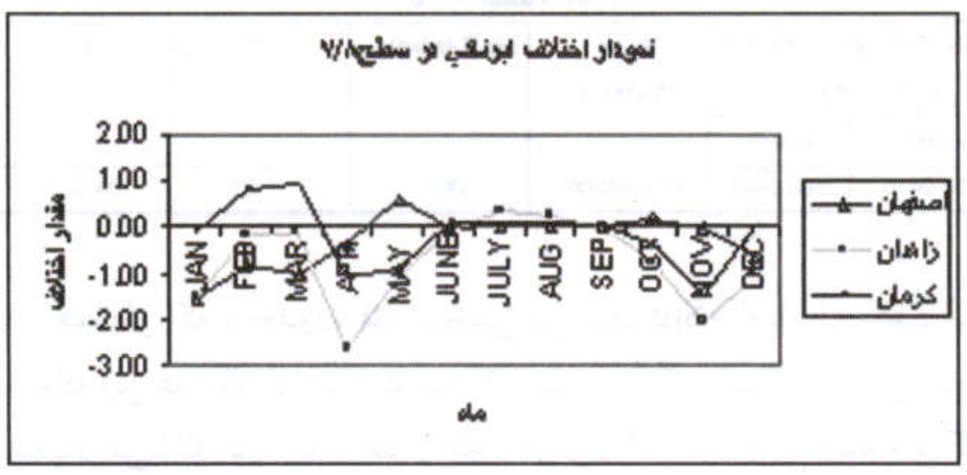
زاهدان	۴۷/۲۶
اصفهان	۱۷/۴۱
کرمان	۶۵/۹۱

اختلاف ابرناکی آسمان در سطوح $\frac{2}{8}$، $\frac{3}{6}$، $\frac{7}{8}$

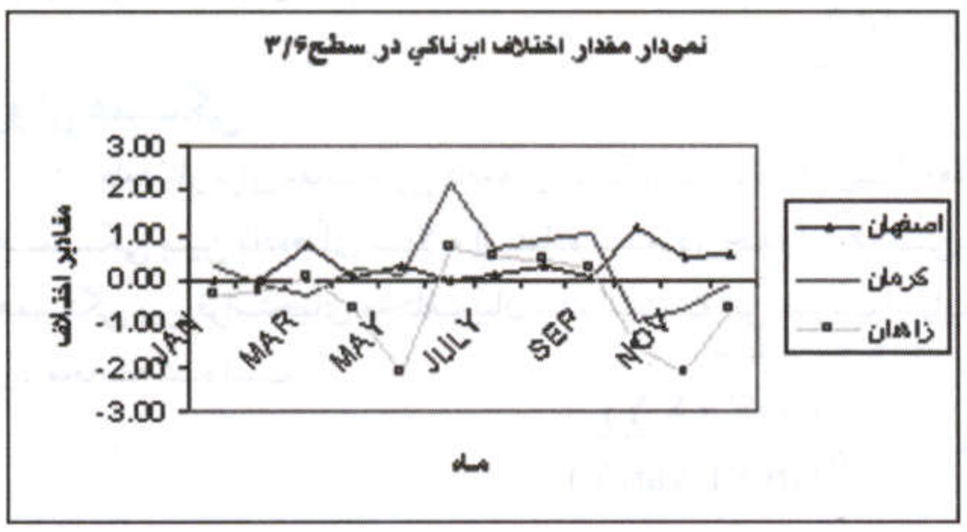
در مورد فراسنج ابرناکی در هر سه سطح مورد نظر، ایستگاه اصفهان تشابه بیشتری با یزد، نسبت به ایستگاه‌های دیگر نشان می‌دهد و ایستگاه کرمان در رده بعدی قرار دارد. این شرایط در جدول (۴) نشان داده شده است و نمودارهای هر یک از سطوح ابرناکی جهت مقایسه این اختلافات در ادامه ارائه داده شده است.

جدول ۴: مقادیر اختلاف ایستگاهها در سطوح مختلف ابرناکی

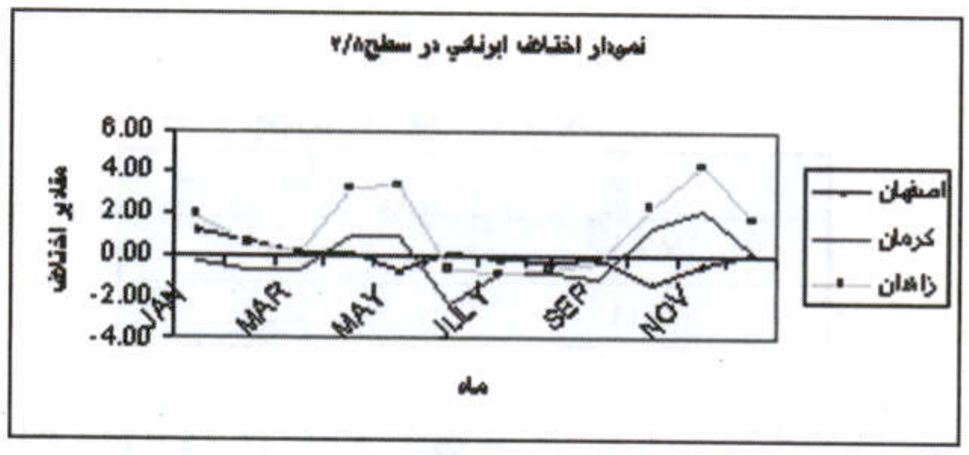
ایستگاه	مقدار اختلاف در سطوح مختلف		
	سطح ابرناکی $\frac{2}{8}$	سطح ابرناکی $\frac{3}{6}$	سطح ابرناکی $\frac{7}{8}$
اصفهان	۵/۳۲	۴/۰۳	۵/۳۲
کرمان	۱۱/۷۶	۷/۶۲	۱۰/۰۶
زاهدان	۱۹/۵۶	۹/۷۹	۷/۹۷



نگاره ۸: اختلافات ماهانه ابرناکی در سطح ۷/۸



نگاره ۹: اختلافات ماهانه ابرناکی در سطح ۳/۶



نگاره ۱۰: اختلافات ابرناکی در سطح ۲/۸

مقایسه میانگین فراسنجهای آب و هوایی با آزمون تی (T)

روش آماری مورد استفاده در این پژوهش آزمون T مستقل می‌باشد. آزمون T مستقل برای مقایسه میانگین‌های دو گروه مستقل استفاده می‌شود. در حقیقت اگر خواسته شود که دو جامعه را در یک متغیر که در مقیاس فاصله‌ای اندازه‌گیری شده است مقایسه کرد باید از آزمون T استفاده شود. در این قسمت به صورت نمونه، آزمون T در مورد فراسنج میانگین تابش سالانه اصفهان و یزد انجام گرفته که در پایین نشان داده شده است. (سرعد، زهره، ۱۳۸۴: ۶۰-۵۴)

جدول ۵: محاسبه آزمون تی در مورد میانگین تابش ایستگاه زِد و اصفهان

One - Sample Statistics

Std.Error Mean	Std. Deviation	Mean	N
24.08355	140.43002	3234.9426	34

One - Sample Test

Test Value = 0					
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig.(2-tailed)	df	t
Upper	Lower				
3283.9410	3185.9443	3234.94265	.000	33	134.322

همانطور که از جدول (۵) مشخص می‌باشد، Sig حاصل شده عدد صفر بوده که این عدد گویای تفاوت معنادار بین میانگین سالانه تابش یزد و اصفهان می‌باشد. در دنباله بعد از انجام آزمون Tها در مورد همه میانگین فراسنج‌ها مشخص می‌گردد که تفاوت معناداری بین میانگین فراسنجهای تابش، ابرناکی و باد در ایستگاه‌های منتخب نسبت به ایستگاه مبنای یزد برقرار می‌باشد (هومن، حیدر، ۱۳۸۳: ۱۸۵ - ۱۸۲).

روش همبستگی

در ادامه کار برای مقایسه بین داده‌های ایستگاه یزد با دیگر ایستگاه‌ها از همبستگی بین داده‌های سالانه استفاده شده، در جدول (۶) ضرایب همبستگی بین فراسنجهای مختلف بیان شده است. که این ضریب از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$P_{X,Y} = \frac{COV\ (X,Y)}{\sqrt{Var(X)\ Var(Y)}}$$

$P_{X,Y}$: ضریب همبستگی X,Y: نشان دهندهٔ مقادیر شاخص‌ها می‌باشند.

با توجه به ضرایب همبستگی محاسبه شده این نکته به دست می‌آید که قویترین همبستگی بین داده‌های آب و هوایی ایستگاه‌ها با ایستگاه یزد، مربوط به ایستگاه کرمان است که در آن بیشتر فراسنجها از همبستگی بیشتری برخوردار است.

ضریب تغییرات

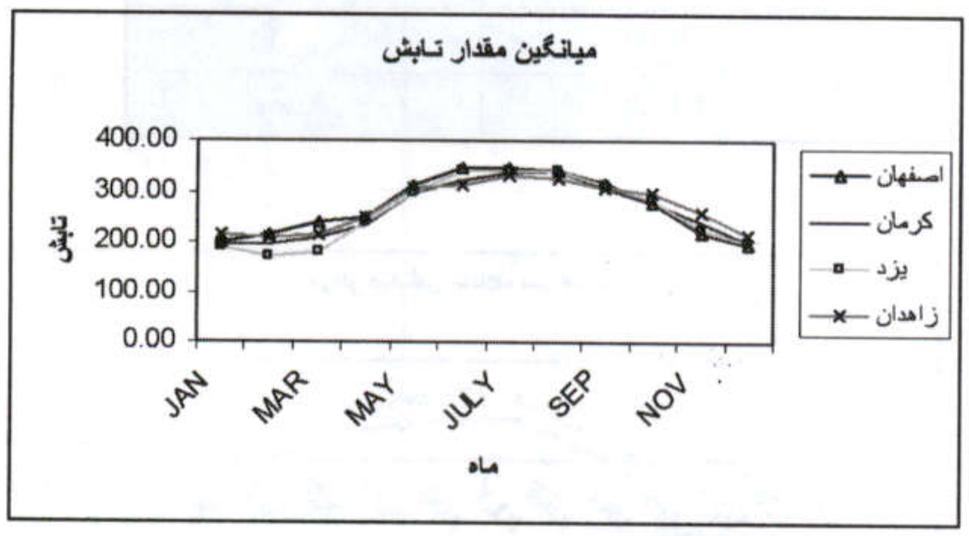
در این قسمت از ضریب تغییرات فراسنج‌های مورد مطالعه استفاده شده است. در این مرحله ایده‌آل‌ترین حالت برای ایستگاه‌ها، وجود ضریب تغییرات پایین و یا نزدیک به یزد و نیز شباهت میانگین داده‌های نزدیک به میانگین‌های یزد می‌باشد لازم به ذکر است که از آنجا که مهمترین فراسنج مورد استفاده در پهنه‌بندی از انرژی خورشیدی، عنصر تابش می‌باشد. لذا فقط از داده‌های تابش استفاده شده است.

$$CV = \frac{sd}{\overline{X}}$$

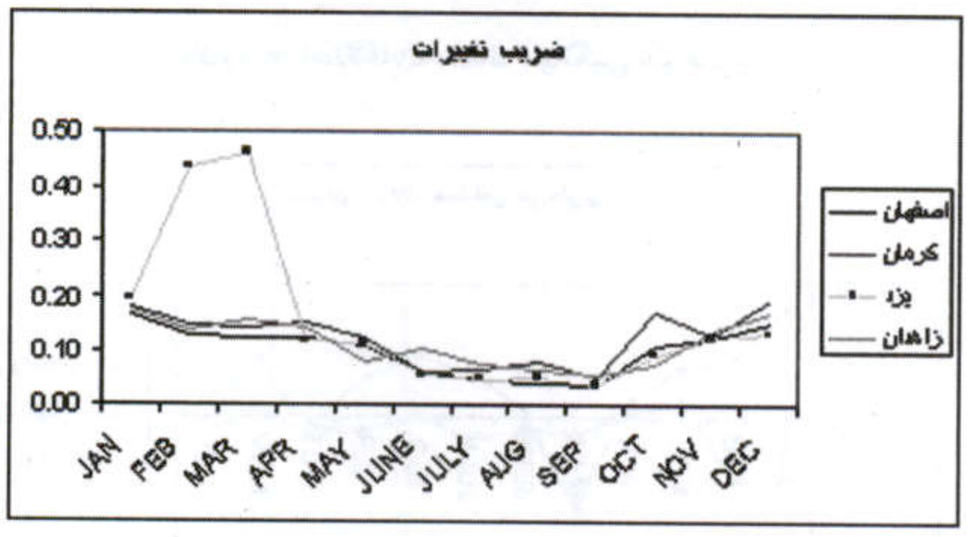
CV = ضریب تغییرات

$\overline{X}$ = میانگین داده‌های تابش

sd = انحراف معیار



نگاره ۱۱: میانگین مقدار تابش در ایستگاه‌های مورد مطالعه



نگاره ۱۲: مقدار ضریب تغییرات تابش در ایستگاه‌های موردمطالعه

در این قسمت، همان گونه که از میانگین و ضریب تغییرات تابش مشاهده می‌شود، بالاترین تابش و پایین‌ترین ضریب تغییرات به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های اصفهان، زاهدان و در نهایت کرمان می‌باشد.

جدول ۶: ضرایب همبستگی عناصر اقلیمی ایستگاهها با ایستگاه یزد

ایستگاه	تابش	میانگین سرعت باد	میانگین سریعترین باد	ابرناکی در سطح ۷/۸	ابرناکی در سطح ۳/۶	ابرناکی در سطح ۲/۸
اصفهان	۰/۷۲	۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۵۰	۰/۴۳	۰/۵۴
کرمان	۰/۷۳	۰/۵۴	۰/۲۹	۰/۶۹	۰/۶۴	۰/۶۸
زاهدان	۰/۶۷	۰/۲۶	۰/۱۶	۰/۵۲	۰/۴۶	۰/۵۲

جدول ۷: میانگین ماهانه ساعات تابش در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	میانگین ماهانه تابش	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی
اصفهان	۲۷۱/۷۱	۱۹۹/۲۳	۲۱۵/۲۰	۲۳۷/۱۶	۲۴۸/۴۴	۳۱۰/۹۷	۳۴۷/۱۶	۳۴۸/۴۲	۳۴۲/۴۳	۳۱۵/۲۶	۲۷۷/۸۰	۲۲۰/۹۸	۱۹۷/۴۳
کرمان	۲۶۳/۹۲	۱۹۴/۴۰	۱۹۷/۲۴	۲۱۰/۲۰	۲۳۶/۳۵	۲۹۸/۸۰	۳۲۳/۵۲	۳۳۷/۷۴	۳۳۹/۶۴	۳۰۸/۸۹	۲۷۹/۰۹	۲۴۰/۵۹	۲۰۰/۵۷
یزد	۲۶۰/۷۱	۱۸۹/۴	۱۷۲/۶	۱۸۱/۳	۲۴۱/۴	۲۹۸/۷	۳۴۱/۲	۳۴۳/۴	۳۴۳/۱	۳۱۲/۳	۲۸۳/۸	۲۲۲/۶	۱۹۸/۷
زاهدان	۲۷۰/۳۴	۲۱۴/۴۲	۲۱۰/۵۴	۲۱۵/۹۲	۲۴۶/۶۴	۳۰۸/۳۲	۳۱۳/۳۴	۳۳۰/۱۶	۳۲۹/۲۰	۳۰۷/۹۴	۲۹۶/۱۴	۲۵۸/۱۶	۲۱۳/۲۷

جدول ۸: ضریب تغییرات ساعات تابش

ایستگاه	ضریب تغییرات	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی
اصفهان	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۷
کرمان	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۸
یزد	۰/۱۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰	۰/۱	۰/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۴	۰/۵	۰/۲
زاهدان	۰/۱۱	/۰۷	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۸

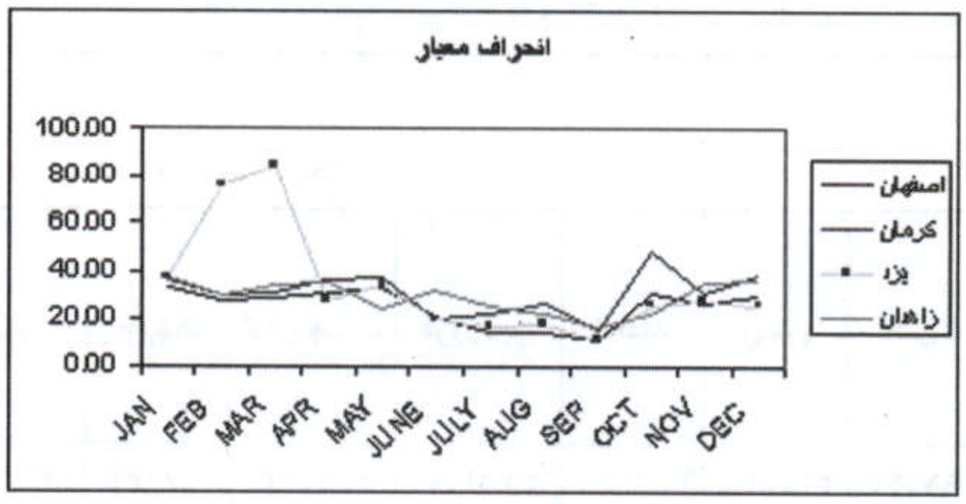
جدول ۹: انحراف معیار تابش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	میانگین انحراف معیار	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی
اصفهان	۲۵/۳۱	۳۰/۰۵	۲۶/۹۳	۳۰/۹۴	۱۱/۴۳	۱۳/۷۰	۱۴/۹۱	۲۱/۰۶	۳۳/۶۶	۳۰/۸۹	۲۸/۳۶	۲۸/۰۳	۳۳/۷۷
کرمان	۳۰/۹۹	۳۹/۲۵	۳۰/۸۳	۴۷/۸۱	۱۵/۹۴	۲۷/۱۶	۲۲/۰۹	۲۰/۴۱	۳۶/۶۴	۳۶/۲۳	۳۰/۳۴	۲۹/۳۳	۳۵/۸۴
یزد	۳۳/۵۳	۲۶/۲	۲۷/۵	۲۵/۷	۱۱/۵	۱۷/۳	۱۶/۲	۱۹/۳	۳۴/۳	۲۸/۰	۸۳/۹	۷۵/۵	۳۶/۹
زاهدان	۲۹/۲۷	۳۶/۴۸	۳۴/۸۴	۲۱/۸۱	۱۶/۵۱	۲۲/۰۴	۲۵/۹۴	۳۲/۰۵	۲۴/۵۴	۳۵/۵۶	۳۳/۸۶	۲۹/۵۰	۳۸/۰۴

انحراف معیار

در این قسمت از انحراف معیار فراسنج تابش ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شده است. در این مرحله ایده‌آل‌ترین حالت برای ایستگاه‌ها، وجود انحراف معیار پایین و یا نزدیک به یزد می‌باشد.

$$X = \sqrt{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n\,(n-1)}$$



نگاره ۱۳: مقدار انحراف معیار تابش در ایستگاه‌های مورد مطالعه

در این مرحله نیز همانند ضریب تغییرات، پایین‌ترین انحراف معیار تابش مربوط به ایستگاه اصفهان می‌باشد.

نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از آمار ۳۳ ساله (۲۰۰۳ - ۱۹۷۰) فراسنج‌های تابش، ابرناکی و باد، به امکان‌سنجی استقرار نیروگاه خورشیدی در مناطق خشک ایران اقدام گردیده است. همچنین، با در نظر گرفتن ایستگاه یزد به عنوان مناسب‌ترین مکان جغرافیایی جهت استقرار نیروگاه خورشیدی، ایستگاه‌های مناطق مجاور آن همچون اصفهان، کرمان، زاهدان از نظر رژیم تابش و دیگر عناصر آب و هوایی مؤثر در استقرار نیروگاه خورشیدی مورد مقایسه قرار گرفته است.

در ابتدا پس از مقایسه اختلاف تابش ایستگاه‌ها با یزد، کمترین اختلاف این پارامتر با یزد مربوط به ایستگاه کرمان بوده، اما در زمینه میانگین سریعترین سرعت باد و ابرناکی آسمان، ایستگاه اصفهان کمترین اختلافات را دارا می‌باشد.

در ادامه با توجه به آنکه بیشترین همبستگی داده‌های فراسنج‌های ایستگاه‌های فرعی با ایستگاه مبنا، مربوط به ایستگاه کرمان بوده، اما بهترین میانگین تابش، انحراف معیار و ضریب تغییرات مربوط به اصفهان می‌باشد. در نتیجه پس از جمع‌بندی تمام مراحل انجام گرفته، شبیه‌ترین ایستگاه به یزد جهت استقرار نیروگاه خورشیدی ایستگاه اصفهان و در دنباله ایستگاه کرمان معرفی شده است.

منابع

۱-سالنامه آماری سازمان هواشناسی -دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۷۰)

۲-سرعد، زهره، آمار استنباطی: گزیده‌ای از تحلیل‌های آماری تک متغیری. تهران: انتشارات سمت. تهران. ۱۳۸۴، ص ۶۰-۵۴.

۳-هومن، حیدرعلی، استنباط آماری در پژوهش رفتاری، انتشارات سمت، تهران، ۱۳۸۳، ص ۱۸۵-۱۸۲.

4- Muneer, T. Muneer, S. Discourses on solar radiation modeling. Renewable and sustainable energy review, volumell, Issuet 4, may 2006, pages 551-602.

5- Ozdamal, A.Ozbalta, N.an application of a combined wind and solar energy systemin izmir. renewable and substainable energy reviews, volume 11, Issue 6, January 2005, pages 148-161.

6- Ramos Ridao, A.Garcia, H. solar energy in Andalusia (Spain). present state and prospects for the future. renewable and substainable energy reviews, volum 9, Issue 6, December 2005, pages 624-637.

7- Hamdan, Omar. Overview of renewable energy sources in the Republic of the Sudan. Energy, volume 27, Issue 6, December 2002. pages 523- 547.

توضیح

در مقالهٔ «بررسی آلاینده‌های جوّی در منطقه ۲۲ شهرداری تهران» (چاپ شده در نشریه سپهر شماره ۶۶) عنوان علمی مؤلفین، به شرح ذیل اصلاح می‌گردد:

دکتر اسماعیل نصیری: استادیار دانشگاه پیام نور مرکز قیدار

مریم علیزاده زنوز: مدرس دانشگاه پیام نور