

# واسنجی و اعتبارسنجی مدل برآورد میزان تابش خورشید جهانی و پهنه‌بندی میزان آن ازداده های ایستگاه‌های هواشناسی استان مازندران غلامرضا جانباز قبادی<sup>۱</sup>

استادیار جغرافیا، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۲۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۷

## چکیده

تابش جهانی خورشید یکی از سازه های بنیادی هر گستره اقلیمی شمرده می‌شود. امروزه استفاده از انرژی خورشیدی بعنوان انرژی‌های نو، یکی از کارهای ریشه‌ای برای بهره برداری بهینه از توانایی های اقلیمی هر پهنه جغرافیایی است. این مطالعه با هدف واسنجی (کالیبره کردن) و اعتبارسنجی مدل موجود برای برآورد میزان تابش خورشید جهانی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی میزان آن در سطح استان مازندران می‌باشد. روش مطالعه در این تحقیق از نوع میدانی - کتابخانه‌ای بوده است. در این پژوهش از داده‌های ۵ ایستگاه هواشناسی سینوپتیکی مازندران به صورت روزانه از ابتدای سال ۲۰۰۰ الی اول ژانویه ۲۰۱۰ استفاده شده است. در این مطالعه، از طریق مدل‌های تابش خورشیدی آنگستروم و پرسکات، جهت واسنجی و اعتبارسنجی داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استان استفاده شد. لذا برای این کار از مهمترین پارامترهای آماری، مانند خطای تعادلی (MBE) و حداقل مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (r) برای برآورد تابش و ارزیابی دقت داده‌های برآورد شده استفاده گردید. در نهایت برای تولید نقشه اطلس میزان انرژی خورشیدی منطقه مورد مطالعه از مدل‌های متعددی استفاده شد که در این راه، از نرم افزار Arc GIS9.2 استفاده گردید. نتایج نشان داد که براساس مدل تابش خورشیدی، آنگستروم و پرسکات، بیشترین میزان تابش در مناطق مرکزی و شرقی استان با میزان ۲۲۰ تا ۳۵۴ وات بر متر مربع تخمین زده شده است.

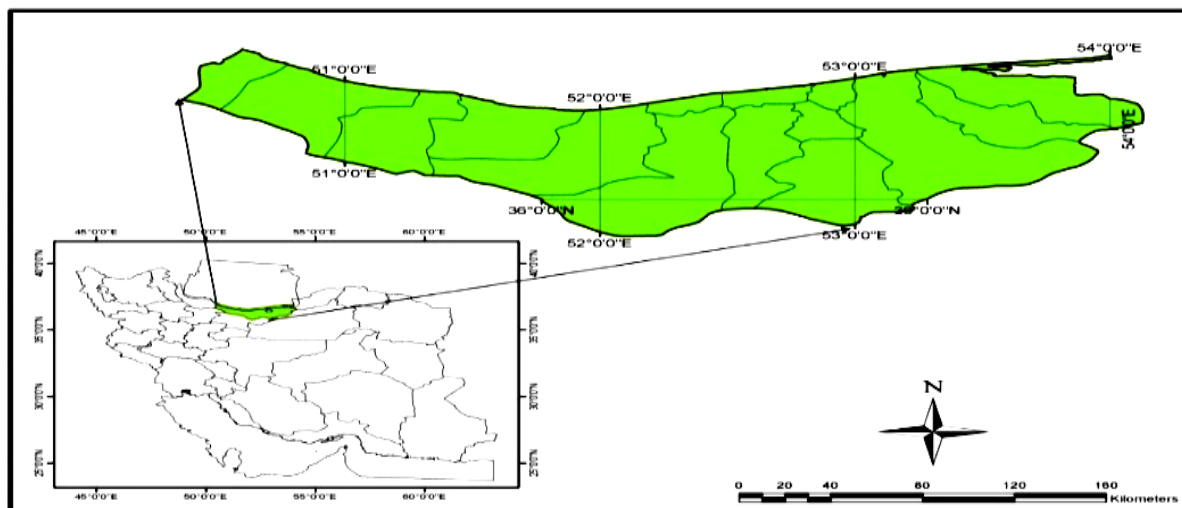
**واژگان کلیدی:** تابش خورشیدی، واسنجی و اعتبارسنجی، مدل آنگستروم- پرسکات، مازندران

## مقدمه

خورشید یکی از منابع اصلی و بزرگ برای کره خاکی بوده و بطور مستقیم و یا غیر مستقیم روی فعل و انفعالات پدیده‌های فیزیکی آن مؤثر می‌باشد. امروزه انسان با پیشرفت‌هایی که در زمینه‌های مختلف کرده، نیازی روز افزون به انرژی پیدا کرده و این امر او را بر آن داشت تا با روش‌های گوناگون انرژی مورد نیاز خود را کسب کند (جعفر کاظمی، ۱۳۹۰). خوشبختانه کشور ما به دلیل موقعیت ویژه جغرافیایی، توان بالایی در دریافت انرژی خورشیدی دارد به طوریکه میانگین سالانه تابش خورشیدی ۵ کیلو وات ساعت در روز برآورد شده است که این رقم در مقایسه با سایر کشورها بسیار قابل ملاحظه می‌باشد (Kettani, ۱۹۸۲ و Badran, ۲۰۰۱). عموماً مناطقی که تابش مستقیم سالانه خورشید در آنها حداقل ۱۸۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع است، جهت احداث نیروگاه خورشیدی و یابو طور کلی استفاده از انرژی خورشید مناسب می‌باشند (Ghobadian et al., ۲۰۰۹). در سال ۱۳۸۶ کل برق تولید شده توسط سیستم‌های فتوولتائیک در کشور ۶۷ کیلو وات بوده است، که نسبت به مجموع کل برق تولید شده در کشور کمتر از ۰/۸ درصد می‌باشد (غلامی و همکاران، ۱۳۸۸). مجنونی و همکاران (۱۳۸۷) مدل‌های تخمین تابش خورشیدی را بر اساس ساعات آفتابی و اطلاعات هواشناسی مورد ارزیابی قرار دادند. ابتدا به مدت دو سال داده‌های تابش، ساعات آفتابی، حداقل و حداکثر دمای روزانه، رطوبت نسبی و بارش روزانه را تهیه کردند. سپس با استفاده از مدل آنگستروم به تخمین تابش در سال بعد پرداختند. معینی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از یک مدل بهینه به تخمین تابش خورشیدی با استفاده از ساعات آفتابی و تعیین ضرایب آنگستروم در مناطق مختلف اقلیمی ایران پرداختند. موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۹) به منظور معرفی مناسبترین مدل در اقلیم نیمه خشک به بررسی مدل‌های مختلف تابش خورشیدی پرداختند. در این تحقیق از اطلاعات ایستگاه همدیدی شهر مشهد و فاکتورهای هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و بارش و از هفت روش برای برآورد  $R_s$  استفاده شد. با توجه به تغییرات آب و هوایی ایجاد شده در جهان و اینکه کشور ما ایران و استانهای شمالی کشور، خصوصاً مازندران نیز دستخوش این تغییرات خواهند بود و همچنین افزایش تعداد ساعات آفتابی خصوصاً در فصول سرد سال (نمونه پاییز سال ۱۳۸۹)، ضرورت پتانسیل یابی مکانهای مستعد جهت استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید انرژی و حفظ محیط زیست منطقه، مورد اهمیت قرار می‌گیرد و همچنین باتوجه به اجرای طرح هدفمند کردن یارانه‌ها و حذف یارانه فرآورده‌های نفتی و واقعی شدن قیمت سوخت در کشور، طبیعتاً استفاده از انرژی خورشیدی توجیه پذیری اقتصادی بیشتری در مقایسه با نیروگاه‌های گازی و حرارتی با سوخت فسیلی پیدا خواهند کرد (Keyanpour-Rad, 2000) و قبایی، ۱۳۹۰). لذا با توجه به اینکه میزان تابش خورشیدی در سطح استان مازندران، توسط همه ایستگاه‌های هواشناسی اندازه گیری و ثبت نمی‌گردد این مقاله سعی دارد از طریق مدل هابه بررسی مقادیر تابش خورشیدی پرداخته و به تهیه نقشه اطلس تابش خورشیدی در سطح استان اقدام نماید، تا از این طریق بتوان پتانسیل انرژی تابشی خورشید جهت استفاده از انرژی گرمایشی و الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه: استان مازندران در شمال ایران قرار دارد. حد شمالی آن دریای مازندران، حد شرقی آن استان گلستان، حد جنوبی آن استانهای سمنان، تهران و قزوین و حد غربی آن استان گیلان می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان مازندران در کشور

هدف از این مطالعه ارزیابی مدل‌های مختلف برای برآورد میانگین ماهانه تابش جهانی روزانه در یک سطح افقی از ساعت‌های آفتابی برای ایستگاه‌های استان مازندران بوده است. همچنین براساس مدل‌های جمع‌آوری شده و بر اساس آزمون‌های خطای آماری مانند خطای میانگین (MBE)، و خطای متوسط مربعات خطا، ضریب همبستگی ( $r$ ) و آزمون تی مدل‌ها مقایسه شدند. بر اساس نتایج، مدل آنگستروم-پرسکات، برآورد خوبی از متوسط ماهانه تابش خورشیدی جهانی روی سطح افقی ایستگاه‌ها بدست آمده است. مقادیر میانگین روزانه انرژی تابشی خورشیدی با استفاده از مدل مورد نظر با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شد. آزمون‌های آماری آزمون‌های  $t$  و  $r$ ،  $RMSE$ ،  $MBE$  برای کل دوره تعیین شد و نتایج آنها در جداولی آمده است. روش مطالعه در این تحقیق از نوع میدانی- کتابخانه‌ای بوده است. در این پژوهش از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیکی مازندران: شامل، ایستگاه‌های بابلسر، رامسر، نوشهر، ساری و سیاه‌بیشه استفاده شد. داده‌های مورد نظر به صورت روزانه از ابتدای سال ۲۰۰۰ الی اول ژانویه ۲۰۱۰ از بخش خدمات ماشینی، انفوماتیک و شبکه سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. در این تحقیق از ۷ مدل برآورد  $R_s$  استفاده شد که معادلات ریاضی و علایم اختصاری آنها در جدول ۱ ارائه شده است، اما به جهت حجم زیاد محاسبات آنها، فقط محاسبات و نمودارهای مدل آنگستروم-پرسکات در این تحقیق آمده است ولی از خروجی محاسبات مابقی مدل‌ها، نقشه‌های اطلس انرژی خورشیدی تهیه گردیده است. از آنجائی‌که اکثر معادلات تخمین تابش خورشیدی نیاز به تطبیق و تعدیل پارامترهای موجود دارند، عملیات تطبیق پارامترها جهت هماهنگی و سازگاری معادله در تولید داده‌هایی همانند داده‌های واقعی را واسنجی (کالیبراسیون ۱) معادله نموده‌ایم. جهت ارزیابی دقت مدل و اینکه آیا نتایج حاصل از آن رضایت بخش است یا نه؟ استفاده از روشهای بهبود و ارزیابی مدل ضروری است، این مرحله از آزمون تحت عنوان اعتبارسنجی ۲ شناخته می‌شود. از ۷۵ درصد داده‌ها

برای واسنجی (آموزش) و از ۲۵ درصد بقیه داده‌ها جهت اعتبارسنجی (آزمون) استفاده شده است. بدین منظور براساس روش حداقل مربعات خطا، و استفاده از رویه nline در محیط نرم افزار SAS اقدام به برآورد ضرائب و تعیین بهترین مدل شده است. برای تهیه نقشه اطلس انرژی خورشیدی منطقه مورد مطالعه، از نرم افزار Arc GIS9.2 استفاده شده است.

### معرفی مدل‌های تخمین میزان شدت تابش خورشیدی در تحقیقات انجام شده

روش مدل آنگستروم: در سال ۱۹۲۴ مدل جهانی تخمین  $R_s$  را به صورت زیر ارائه نمود:

$$R_s = R_a \left( a + b \left( \frac{n}{N} \right) \right) \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در آن  $R_a$  تابش خارج از جو  $(d^{-1} MJM^{-2})$  و  $n$  به ترتیب ساعات آفتابی ممکن و واقعی در دوره زمانی مورد بررسی و  $a$  و  $b$  ضرایب ثابت معادله می‌باشند.

$$R_a = \frac{24 * Ise}{\pi} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] * \left[ \cos \varphi \cos \delta \sin ws + \left( \frac{2\pi * ws}{360} \right) \sin \varphi \sin \delta \right]$$

جایی که  $Ise$  ثابت خورشیدی است  $(= 1367 Wm^{-2}, \varphi$  ارتفاع خورشید سایت است، میل خورشید و  $WS$  متوسط زاویه ساعت طلوع آفتاب برای ماه مورد نظر.

مدل آنگستروم و مدل‌های اصلاح شده آن که تابعی از ساعات آفتابی می‌باشند در بین مدل‌های ارائه شده بیشترین کاربرد را دارند. تاکنون معادلات مختلفی مبتنی بر پارامترهای هواشناسی برای برآورد تابش خورشیدی ارائه شده‌اند در این تحقیق از 7 مدل برآورد  $R_s$  استفاده شد که معادلات ریاضی و علائم اختصاری آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: انواع معادلات مورد استفاده در برآورد تابش خورشیدی رسیده به زمین

مدل	علامت	روابط ریاضی
اختصاری مدل		
آنگستروم- پرسکات (۱۹۴۰)	M1	$R_s = R_a \left( a + b \left( \frac{n}{N} \right) \right)$
آکین اوغلو و اسویت (۱۹۹۰)	M2	$R_s = R_a \left( a + b \frac{n}{N} + c \left( \frac{n}{N} \right)^2 \right)$
الگیب و مانسل (۲۰۰۰)	M3	$R_s = R_a \times a \times \exp \left( b \frac{n}{N} \right)$
آن (۱۹۹۸)	M4	$R_s = R_a \times a \times \sqrt{T_{\max} - T_{\min}}$
بریسوتو و کمیل (۱۹۸۴)	M5	$R_s = R_a \times a \times \left( 1 - \exp \left( -b (T_{\max} - T_{\min})^c \right) \right)$
چمن و همکاران (۲۰۰۴)	M6	$R_s = R_a \left( a \times \ln(T_{\max} - T_{\min}) + b \left( \frac{n}{N} \right)^c + d \right)$
باهل و همکاران (۱۹۸۷)	M7	$R_s = R_a \left( a + b \frac{n}{N} + c \times RH + d (T_{\max} - T_{\min}) \right)$

یافته‌ها

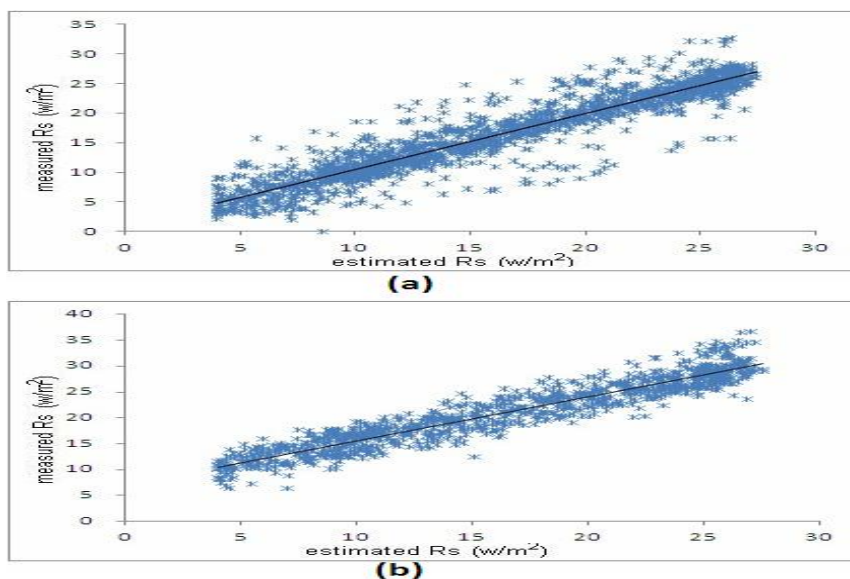
معادلات واسنجی شده

- بررسی مدل تابش آنگستروم- پرسکات ایستگاه نوشهر

بر اساس داده‌های موجود سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۰ ایستگاه نوشهر ضرایب معادله آنگستروم- پرسکات برابر  $a=0.25$  و  $b=0.42$  به دست آمد. بنابراین می‌توان این معادله را به

$$R_s = R_o (0.25 + 0.42 \frac{n}{N}) \quad \text{صورت زیرنوشت: (۱)}$$

ملاحظه می‌شود که مقدار  $a$  دقیقاً برابر مقدار آنچرا که آنگستروم پیشنهاد داده است می‌باشد. شکل (۲) تطابق مقادیر تابش اندازه‌گیری و برآورد شده را به ترتیب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی معادله نشان می‌دهد. همچنین جدول (۲) نتایج آنالیز آماری این معادله را نشان می‌دهد. طبق نمودارهای نشان داده شده و پارامترهای آماری مشاهده می‌شود که می‌توان ضرایب فوق را قابل قبول دانست. ضریب تبیین نزدیک به ۸۷ و ۸۹ درصد به ترتیب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی و نیز مقادیر پایین RMSE (به ترتیب ۲/۴۶ و ۵/۱۵) و MBE (به ترتیب ۰/۱۳- و ۴/۶۲-) این مسئله را تأیید می‌کند. البته بدیهی است که با توجه به مقدار RMSE و MBE، خطا در مرحله اعتبارسنجی بیشتر از مرحله واسنجی باشد.



شکل (۲). همبستگی مقادیر تابش اندازه‌گیری شده با تابش تخمین زده شده مدل آنگستروم (a) مرحله واسنجی و (b) مرحله اعتبارسنجی ایستگاه نوشهر

جدول (۲). شاخص‌های آماری محاسبه شده در مدل آنگستروم ایستگاه نوشهر

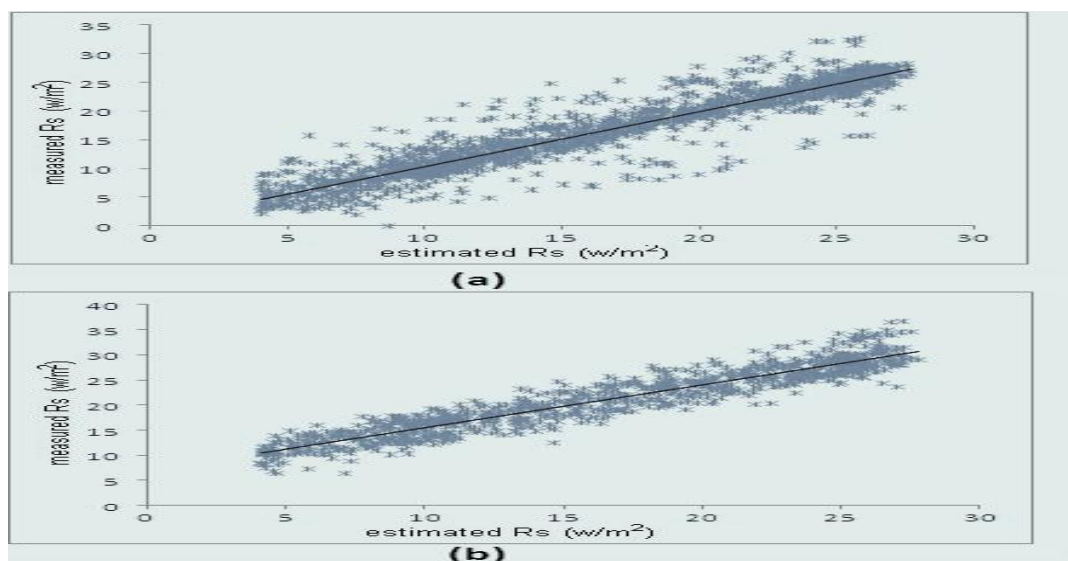
T	MBE	RMSE	R <sup>2</sup>
2.361	-0.1368	2.4648	0.8749
66.17	-4.6284	5.1495	0.8983

- مدل تابش آنگستروم- پرسکات ایستگاه رامسر

بر اساس داده‌های موجود سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۰ ایستگاه رامسر ضرایب معادله آنگستروم- پرسکات برابر  $a=0.21$  و  $b=0.34$  به دست آمد. بنابراین می‌توان این معادله را به صورت زیرنوشت: (۲)

$$R_s = R_o (0.21 + 0.34 \frac{n}{N}) \quad \text{ملاحظه می‌شود که مقدار } a \text{ دقیقاً برابر مقدار آن چراکه آنگستروم پیشنهاد داده}$$

است می‌باشد. شکل (۳) تطابق مقادیر تابش اندازه گیری و برآورد شده را به ترتیب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی معادله نشان می‌دهد. همچنین جدول (۳) نتایج آنالیز آماری این معادله را نشان می‌دهد. طبق نمودارهای نشان داده شده و پارامترهای آماری مشاهده می‌شود که می‌توان ضرایب فوق را قابل قبول دانست. ضریب تبیین نزدیک به ۸۲ و ۸۱ درصد به ترتیب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی و نیز مقادیر پایین RMSE (به ترتیب ۲/۲۱ و ۴/۱۳۱) و MBE (به ترتیب ۰/۱۱- و ۴/۰۷-) این مسئله را تأیید می‌کند. البته بدیهی است که با توجه به مقدار RMSE و MBE، خطا در مرحله اعتبارسنجی بیشتر از مرحله واسنجی باشد.



شکل (۳). همبستگی مقادیر تابش اندازه گیری شده با تابش تخمین زده شده مدل آنگستروم (a) مرحله واسنجی و (b) مرحله اعتبارسنجی ایستگاه رامسر

جدول (۳). شاخص‌های آماری محاسبه شده در مدل آنگستروم ایستگاه رامسر

T	MBE	RMSE	R <sup>2</sup>
2.361	-0.1111	2.2120	0.82
66.17	-4.075	4.131	0.81

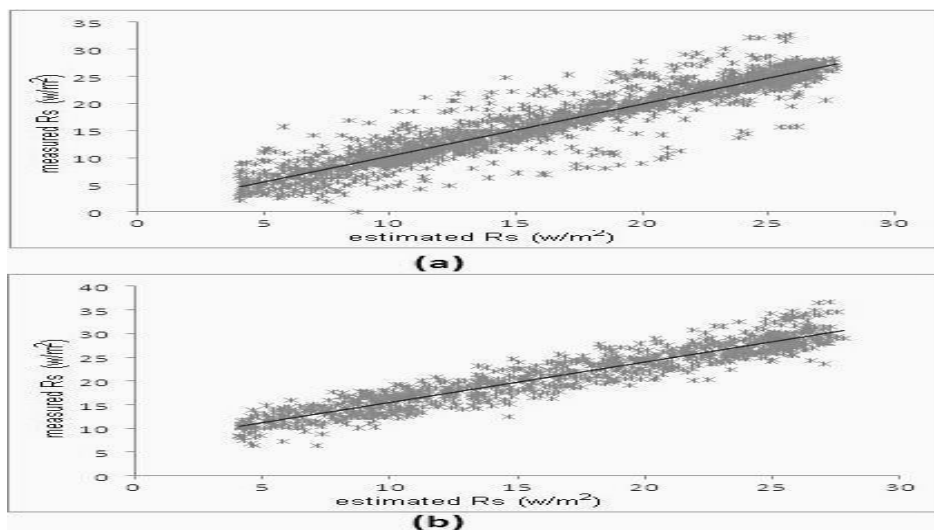
- مدل تابش آنگستروم- پرسکات ایستگاه سیاه پشه

بر اساس داده‌های موجود سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۰ ایستگاه سیاه پشه ضرایب معادله آنگستروم- پرسکات برابر

$a=0.18$  و  $b=0.49$  به دست آمد. بنابراین می‌توان این معادله را به صورت

$$R_s = R_o (0.18 + 0.49 \frac{n}{N}) \quad \text{رابطه (۳) زیرنویست:}$$

ملاحظه می‌شود که مقدار  $a$  دقیقاً برابر مقدار آن چراکه آنگستروم پیشنهاد داده است می‌باشد. شکل (۴) تطابق مقادیر تابش اندازه گیری و برآورد شده را به ترتیب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی معادله نشان می‌دهد. همچنین جدول (۴) نتایج آنالیز آماری این معادله را نشان می‌دهد. طبق نمودارهای نشان داده شده و پارامترهای آماری مشاهده می‌شود که می‌توان ضرایب فوق را قابل قبول دانست. ضریب تبیین نزدیک به ۸۲ و ۸۱ درصد به ترتیب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی و نیز مقادیر پایین RMSE (به ترتیب ۳/۵۲ و ۵/۱۳) و MBE (به ترتیب ۰/۱۱- و ۵/۴۷-) این مسئله را تأیید می‌کند. البته بدیهی است که با توجه به مقدار RMSE و MBE، خطا در مرحله اعتبارسنجی بیشتر از مرحله واسنجی باشد.



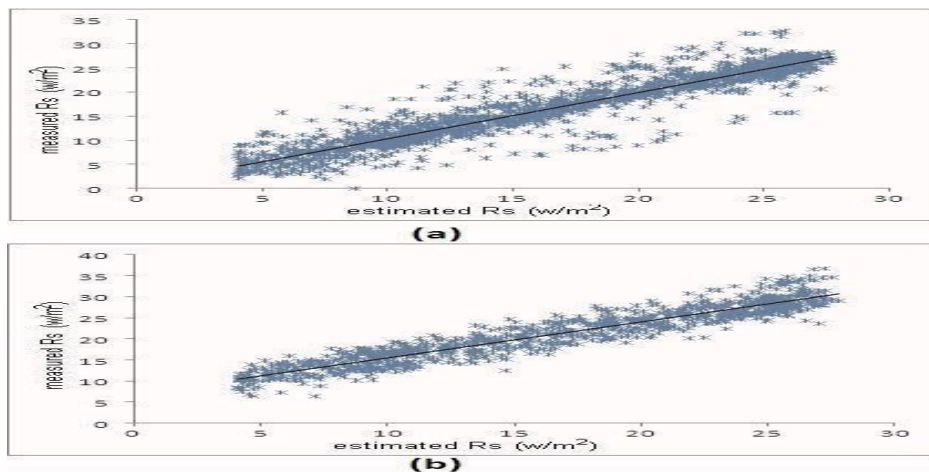
شکل (۴). همبستگی مقادیر تابش اندازه گیری شده با تابش تخمین زده شده مدل آنگستروم (a) مرحله واسنجی و (b) مرحله اعتبارسنجی ایستگاه سیاه بیشه

جدول (۴). شاخص‌های آماری محاسبه شده در مدل آنگستروم ایستگاه سیاه بیشه

T	MBE	RMSE	R <sup>2</sup>
2.061	-0.1111	3.52120	0.82
60.17	-5.475	5.131	0.81

#### - مدل تابش آنگستروم- پرسکات ایستگاه بابلسر

بر اساس داده‌های موجود سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۰ ایستگاه بابلسر ضرایب معادله آنگستروم- پرسکات برابر  $a=0.18$  و  $b=0.49$  به دست آمد. بنابراین می‌توان این معادله را به صورت زیر نوشت: رابطه (۱۸).  $R_s = R_n (0.18 + 0.49 \frac{n}{N})$ . ملاحظه می‌شود که مقدار  $a$  دقیقاً برابر مقدار آن چراکه آنگستروم پیشنهاد داده است می‌باشد. شکل (۵) تطابق مقادیر تابش اندازه‌گیری و برآورد شده را به ترتیب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی معادله نشان می‌دهد. همچنین جدول (۵) نتایج آنالیز آماری این معادله را نشان می‌دهد. طبق نمودارهای نشان داده شده و پارامترهای آماری مشاهده می‌شود که می‌توان ضرایب فوق را قابل قبول دانست. ضریب تبیین نزدیک به ۸۲ و ۸۱ درصد به ترتیب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی و نیز مقادیر پایین RMSE (به ترتیب ۳/۱۲ و ۴/۱۳) و MBE (به ترتیب -۰/۴۴ و -۵/۱۲) این مسئله را تأیید می‌کند. البته بدیهی است که با توجه به مقدار RMSE و MBE، خطا در مرحله اعتبارسنجی بیشتر از مرحله واسنجی باشد.



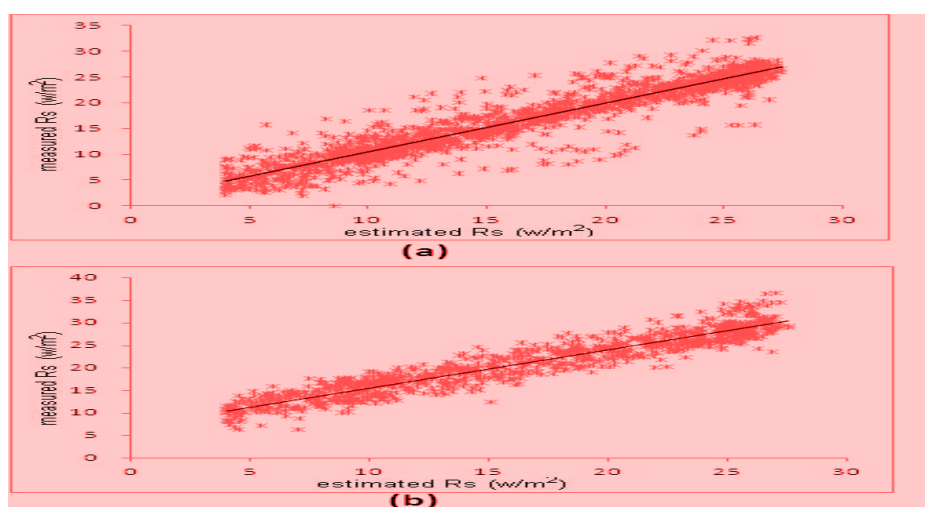
شکل (۵). همبستگی مقادیر تابش اندازه گیری شده با تابش تخمین زده شده مدل آنگستروم (a) مرحله واسنجی و (b) مرحله اعتبارسنجی ایستگاه بابلسر

جدول (۵). شاخص‌های آماری محاسبه شده در مدل آنگستروم ایستگاه بابلسر

T	MBE	RMSE	R <sup>2</sup>	
2.061	-0.4444	3.12120	0.82	واسنجی
60.17	-5.120	4.131	0.81	اعتبارسنجی

### - مدل تابش آنگستروم - پرسکات ایستگاه ساری

بر اساس داده‌های موجود سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۰ ایستگاه ساری ضرایب معادله آنگستروم - پرسکات برابر  $a=0.18$  و  $b=0.55$  به دست آمد. بنابراین می‌توان این معادله را به صورت زیر نوشت: رابطه (۵)  $R_s = R_a(0.18 + 0.55n/N)$  ملاحظه می‌شود که مقدار  $a$  دقیقاً برابر مقدار آن چراکه آنگستروم پیشنهاد داده است می‌باشد. شکل (۶) تطابق مقادیر تابش اندازه‌گیری و برآورد شده را به ترتیب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی معادله نشان می‌دهد. همچنین جدول (۶) نتایج آنالیز آماری این معادله را نشان می‌دهد. طبق نمودارهای نشان داده شده و پارامترهای آماری مشاهده می‌شود که می‌توان ضرایب فوق را قابل قبول دانست. ضریب تبیین نزدیک به ۸۷ درصد به ترتیب در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی و نیز مقادیر پایین RMSE (به ترتیب ۲/۴۶ و ۵/۱۴) و MBE (به ترتیب ۰/۱۳۶۸ و -۴/۶۲۸۴) این مسئله را تأیید می‌کند. البته بدیهی است که با توجه به مقدار RMSE و MBE، خطا در مرحله اعتبارسنجی بیشتر از مرحله واسنجی باشد.



شکل (۶). همبستگی مقادیر تابش اندازه‌گیری شده با تابش تخمین زده شده مدل آنگستروم (a) مرحله واسنجی و (b) مرحله اعتبارسنجی ایستگاه ساری

جدول (۶). شاخص‌های آماری محاسبه شده در مدل آنگستروم ایستگاه ساری

T	MBE	RMSE	R <sup>2</sup>	
2.061	-0.1368	2.4648	0.8649	واسنجی
66.17	-4.6284	5.1495	0.8683	اعتبارسنجی

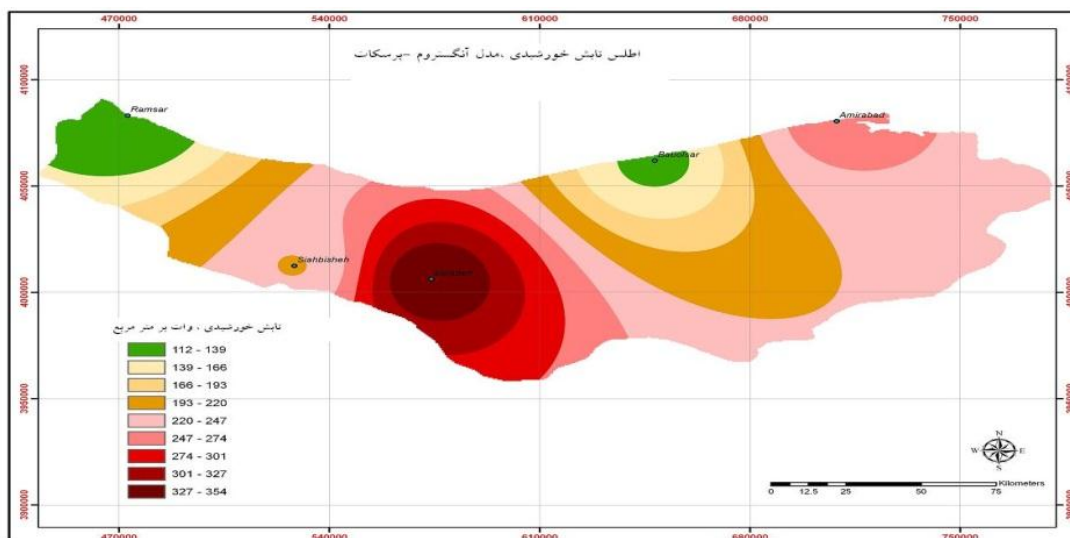
### پهنه‌بندی تابش خورشیدی بر مبنای مدل‌های پیشنهادی:

#### - اطلس تابش خورشیدی به روش مدل آنگستروم - پرسکات:

پیش از هر چیز، نقشه سازی تابش نیازمند مدلی است که در گام نخست کلیه عوامل ممکن مؤثر تخمین تابش را در نظر بگیرد و در گام دوم برازش خوب و قابل قبولی از عوامل ورودی را بدست دهد. با توجه به شکل (۷) اطلس تابش خورشیدی با استفاده از مدل آنگستروم - پرسکات، بیشترین میزان تابش در مناطق مرکزی و شرقی استان با



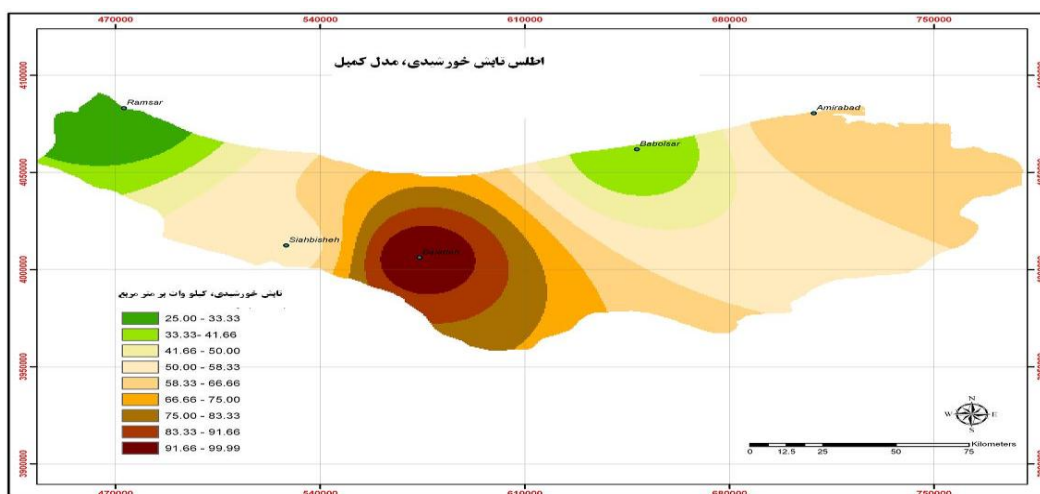
میزان ۲۲۰ تا ۳۵۴ وات بر متر مربع تخمین زده شده است. در نواحی ساحلی بدلیل مجاورت به دریا و ابرناکی بودن آسمان میزان تابش به طور محسوسی کاهش یافته است و به کمتر از ۱۴۰ وات بر متر مربع رسیده است.



شکل (۷). نقشه اطلس تابش خورشیدی بر مبنای مدل آنگستروم - پرسکات

#### ۲-۴ اطلس تابش خورشیدی به روش مدل کمبل و بریستو:

با توجه به شکل (۸) نقشه اطلس تابش خورشیدی، بیشترین میزان تابش خورشیدی برآورد شده توسط مدل در منطقه مرکزی و نواحی شرقی استان مازندران بوده، که بیشترین میزان آن، ۹۹ وات بر متر مربع بوده و در نواحی ساحل مرکزی و سواحل مرکزی بدلیل نزدیکی به دریا و وجود رطوبت این میزان به کمتر از ۴۱ کیلو وات بر متر مربع رسیده است.

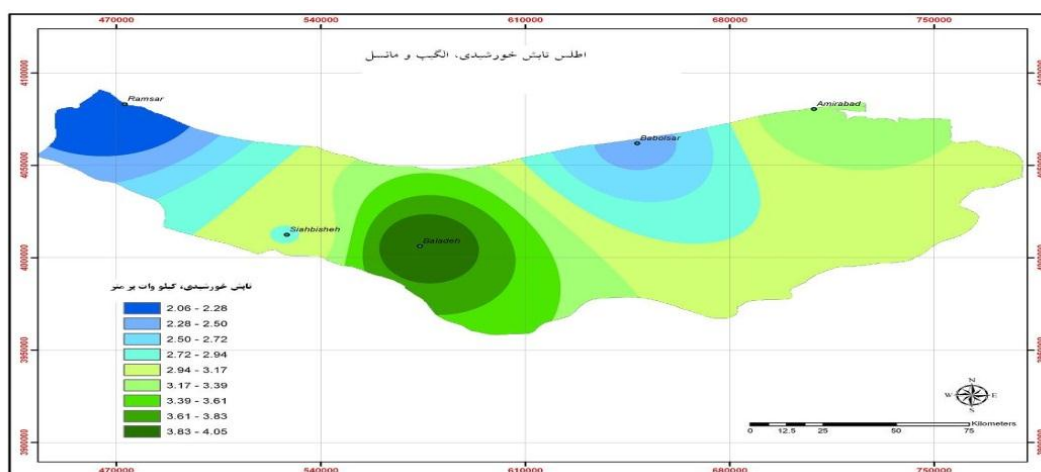


شکل (۸). نقشه اطلس تابش خورشیدی بر مبنای مدل کمبل و بریستو

#### - اطلس تابش خورشیدی به روش مدل الگیب و مانسل:

با توجه به شکل (۹) نقشه اطلس تابش خورشیدی، بیشترین میزان تابش خورشیدی برآورد شده توسط مدل در منطقه مرکزی و نواحی شرقی استان مازندران بوده، که بیشترین میزان آن، ۴ کیلو وات بر متر مربع بوده و در نواحی

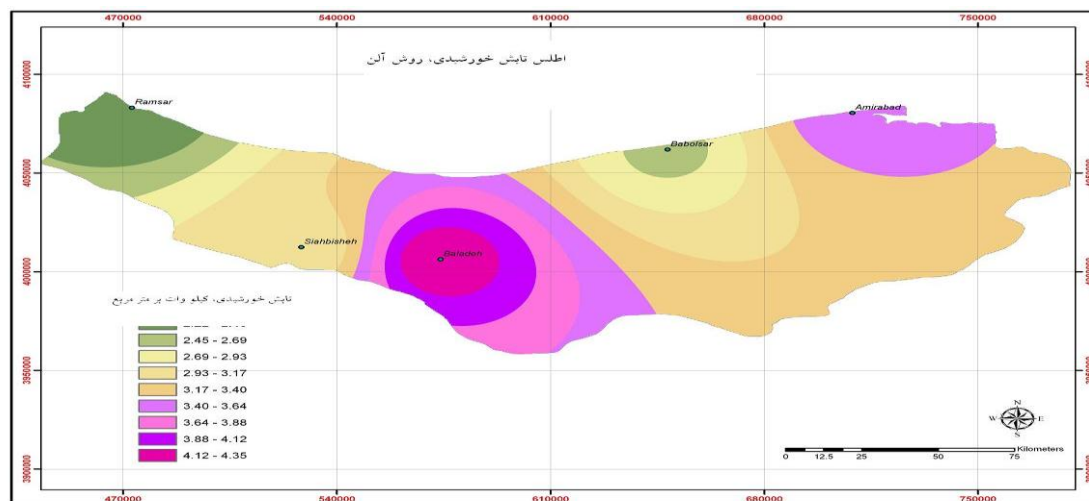
ساحل مرکزی و سواحل مرکزی بدلیل نزدیکی به دریا و وجود رطوبت این میزان به کمتر از ۲/۵ کیلو وات بر متر مربع رسیده است.



شکل (۹). نقشه اطلس تابش خورشیدی بر مبنای مدل الگب و مانسل

- اطلس تابش خورشیدی به روش مدل آلن:

با توجه به شکل (۱۰) نقشه اطلس تابش خورشیدی، بیشترین میزان تابش خورشیدی برآورد شده توسط مدل آلن در منطقه مرکزی و نواحی شرقی استان مازندران بوده، که بیشترین میزان آن، ۴/۳۵ کیلو وات بر متر مربع بوده و در نواحی ساحل مرکزی و سواحل مرکزی بدلیل نزدیکی به دریا و وجود رطوبت این میزان به کمتر از ۲/۵ کیلو وات بر متر مربع رسیده است.

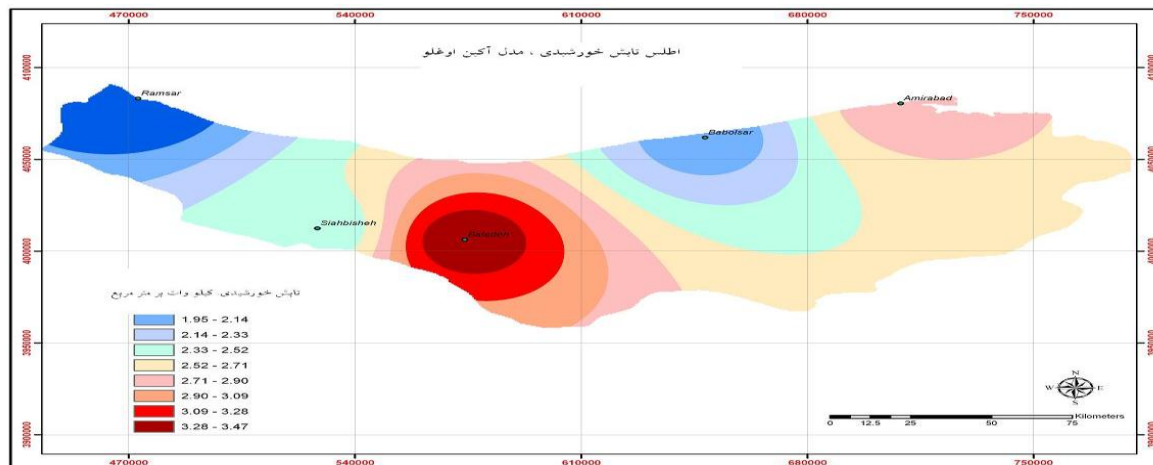


شکل (۱۰). نقشه اطلس تابش خورشیدی بر مبنای مدل آلن

- اطلس تابش خورشیدی به روش مدل آکین و اوغلو:

با توجه به شکل (۱۱) نقشه اطلس تابش خورشیدی، بیشترین میزان تابش خورشیدی برآورد شده توسط مدل آلن در منطقه مرکزی و نواحی شرقی استان مازندران بوده، که بیشترین میزان آن، ۳/۴۷ کیلو وات بر متر مربع بوده و در

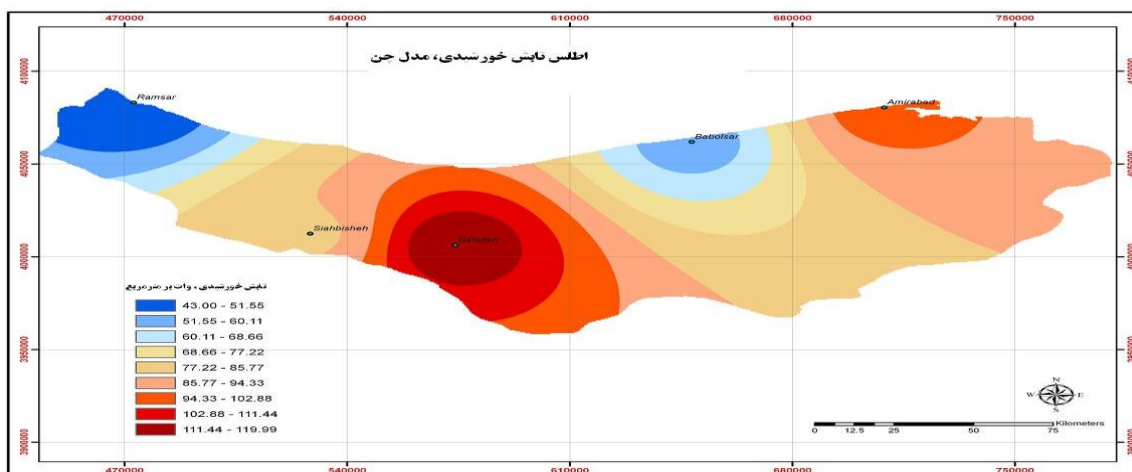
نواحی ساحل مرکزی و سواحل مرکزی بدلیل نزدیکی به دریا و وجود رطوبت این میزان به کمتر از ۲/۵ کیلو وات بر متر مربع رسیده است.



شکل (۱۱). نقشه اطلس تابش خورشیدی بر مبنای مدل آکین اوغلو

– اطلس تابش خورشیدی به روش مدل چن و همکاران

با توجه به شکل (۱۲) نقشه اطلس تابش خورشیدی، بیشترین میزان تابش خورشیدی برآورد شده توسط مدل آلن در منطقه مرکزی و نواحی شرقی استان مازندران بوده، که بیشترین میزان آن، ۱۲۰ وات بر متر مربع بوده و در نواحی ساحل مرکزی و سواحل مرکزی بدلیل نزدیکی به دریا و وجود رطوبت این میزان به کمتر از ۵۰ وات بر متر مربع رسیده است.

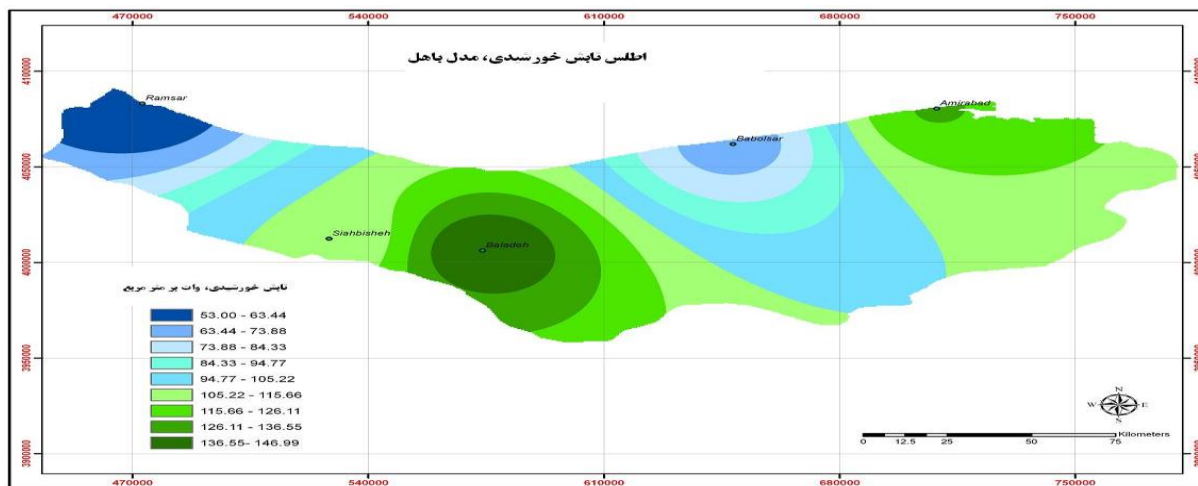


شکل (۱۲). نقشه اطلس تابش خورشیدی بر مبنای مدل چن و همکاران

– اطلس تابش خورشیدی به روش مدل باهل و همکاران

با توجه به شکل (۱۳) نقشه اطلس تابش خورشیدی، بیشترین میزان تابش خورشیدی برآورد شده توسط مدل آلن در منطقه مرکزی و نواحی شرقی استان مازندران بوده، که بیشترین میزان آن، ۱۴۶ وات بر متر مربع بوده و در نواحی

ساحل مرکزی و سواحل مرکزی بدلیل نزدیکی به دریا و وجود رطوبت این میزان به کمتر از ۷۰ وات بر متر مربع رسیده است.



شکل (۱۳). نقشه اطلس تابش خورشیدی بر مبنای مدل باهل و همکاران

### نتیجه گیری

پتانسیل یابی مکانهای مستعد جهت استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید انرژی و حفظ محیط زیست منطقه، امری ضروری به نظر می‌رسد. همچنین باتوجه به اجرای طرح هدفمند کردن یارانه‌ها و واقعی شدن قیمت سوخت در کشور، طبیعتاً استفاده از انرژی خورشیدی توجیه پذیری اقتصادی بیشتری درمقایسه بانیروگاه‌های گازی و حرارتی با سوخت فسیلی پیدا خواهند کرد. روش‌های مختلفی توسط محققین برای تخمین میزان شدت تابش خورشید در یک نقطه سطح زمین برای نقاط مختلف جهان پیشنهاد شده است. از بین مدل‌های توسعه یافته در این تحقیق، مدل آنگستروم- پرسکات و آن نسبت به سایر مدل‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. علیرغم اثر بخار آب موجود در اتمسفر بر میزان تابش ورودی، و نیز بهتر بودن نتایج حاصل از معادله تجربی، در این تحقیق ملاحظه شد که تفاوت زیادی بین نتایج معادلات وجود ندارد و از نظر میزان تخمین توسط مدل‌های مختلف، تاحدودی مقادیر متفاوت را ثبت کرده‌اند ولی در اکثر موارد از نظر شدت و مقدار میزان مشابهی را داشته‌اند.

لذا استفاده از معادله آنگستروم- پرسکات به دلیل نیاز به داده‌های هواشناسی به همراه سایر معادلات که به داده‌های هواشناسی نیاز دارند توصیه می‌شود. اطلس تابش خورشیدی تهیه شده با استفاده از مدل‌های تجربی نشان داده است که بیشترین میزان تابش در مناطق مرکزی و شرقی استان و کمترین آن در نواحی ساحلی بدلیل مجاورت به دریا و ابرناکی بودن آسمان بوده است.

### منابع

- مجنونی هریس، ا. زند پارسا، ش. سپاسخواه، ع. ناظم السادات، م. توسعه و ارزیابی مدل‌های تخمین تابش خورشیدی بر اساس ساعات آفتابی و اطلاعات هواشناسی. (۱۳۸۷). مجله علوم و فنون کشاورزی، سال دوازدهم، شماره ۴۶، ص ۴۹۹-۴۹۱.
- معینی، س. جوادی، ش. کوبکی، م. دهقان منشادی، ر. برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه. (۱۳۸۹). نشریه انرژی ایران. دوره ۱۳، شماره ۲، ص ۱-۱۰.

- جعفرکاظمی، ف. مردی، ح. بررسی داده‌های تابش خورشید در ایستگاه سینوپتیک دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب. (۱۳۹۰). نشریه مهندسی مکانیک، شماره ۸۰، سال بیستم. ص ۶۸-۷۵.
- قبایی سوق، م. مساعدی، ا. دهقانی، ا. مدل سازی هوشمند تابش خورشیدی با استفاده از آزمون گاما و مقایسه آن با معادلات تجربی واسنجی شده در کرمانشاه. (۱۳۹۰). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۸، شماره ۴، ص ۱۸۵-۲۰۸.
- موسوی بایگی، م، اشرف، ب. میان‌آبادی، آ. بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی مناسبترین مدل در یک اقلیم نیمه خشک. (۱۳۸۹). نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، ص ۸۳۶-۸۴۴.
- غلامی، ف. فروتن منش، ر. بررسی فنی و اقتصادی سیستم روشنایی خورشیدی با نگرش بر هدفمند کردن یارانه‌ها و اصلاح الگوی مصرف انرژی. (۱۳۸۸). اولین همایش از سلسله همایش‌های تخصصی چشم انداز. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.
- Badran, O, O. Study in industrial applications of solar energy and the range of its utilization in Jordan. *Renewable Energy* 24 (2001) 485-490.
- Ghobadian, B. Najafi, Gh. Rahimi, H. Yusuf, T, F. Future of renewable energies in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 689-695.
- Kettani, M, A. Photovoltaics in the Arab world. Islamic foundation for science, technology and development, P.O. Box 9833, Jeddah (Saudi Arabia). *Solar Cells*, 6 (1982) 239-249.
- Keyanpour-Rad, M. Haghgou, H, R. Bahar, F. Afshari, E. Feasibility study of the application of solar heating systems in Iran. *Renewable Energy* 20 (2000) 333-345.