

جغرافیا و توسعه شماره ۳۴ بهار ۱۳۹۳

وصول مقاله: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۱۰/۹

صفحات: ۱۵۳-۱۶۶

## نگرشی بر ناموزونی‌ها و روندهای ساعات آفتابی در ایران

دکتر فیروز مجرد<sup>۱</sup>، کامران مرادی<sup>۲</sup>

### چکیده

میزان ساعات آفتابی با تأثیری که در تعیین میزان تابش خورشید دارد، عامل اصلی کنترل حیات، آب و هوا و سایر فعالیت‌های زیستی در سطح زمین به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌رود. هدف این تحقیق آن است تا بر مبنای آخرین آمار، تصویری از ناموزونی‌ها و روندهای ساعات آفتابی در ایران، ارائه و مقادیر ساعات آفتابی را برآورد نماید. به این منظور سطح کشور با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS با بهره‌گیری از آمار ساعات آفتابی سالانه و فصلی ۸۷ ایستگاه سینوپتیک طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۵) پهنه‌بندی شد. برای تأیید صحت پهنه‌بندی از آزمون‌های پارامتریک سیداک و آنالیز واریانس یک طرفه یا آزمون‌های ناپارامتریک من-ویتنی و کروسکال-والیس استفاده شد. همچنین برای برآورد تعداد ساعات آفتابی و نیز شناسایی روندهای زمانی آن، به ترتیب از معادلات رگرسیون خطی چند متغیره و ساده استفاده گردید.

نتایج تحقیق نشان داد که از شمال به جنوب و از غرب به شرق کشور، بر میانگین تعداد ساعات آفتابی افزوده و از میزان تغییرپذیری آن کاسته می‌شود تا جایی که ضرایب تغییرات سالانه‌ی ساعات آفتابی، بر عکس توزیع مکانی تعداد آن، در سواحل دریای خزر بیشترین مقادیر و در کویرهای مرکزی کمترین مقادیر را دارد. در تمام سطح کشور، روندهای ساعات آفتابی، یا بطور معنی دار، افزایشی است و یا اصلاً معنی دار نیست. حتی یک مورد نیز روند کاهش معنی دار در سطح کشور مشاهده نشد. میانگین روند افزایشی در سطح کشور، ۱۶/۶ ساعت در سال محاسبه گردید. مدل آماری نشان می‌دهد که بجز فصل تابستان، نقش عرض جغرافیایی در توزیع مکانی ساعات آفتابی، بسیار چشمگیر است. با استفاده از این مدل، تعداد ساعات آفتابی در سطح کشور بر مبنای ارتفاع و عرض جغرافیایی با دقت خوب برآورد گردید.

کلیدواژه‌ها: ساعات آفتابی، ایران، روندیابی، پهنه‌بندی، تغییرپذیری، برآورد.

## مقدمه

یکی از عناصر مهم اقلیمی که آثار انکارناپذیری بر فعالیت‌های مختلف انسانی و فرآیندهای طبیعی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دارد، ساعات آفتابی است. میزان ساعات آفتابی در یک روز عبارت است از مدت زمانی در طی روز که خورشید در آسمان وجود دارد و به وسیله ابرها پنهان نمی‌گردد (Yin, 1999: 61). این عامل با تأثیری که در تعیین میزان تابش خورشید دارد، عامل اصلی کنترل حیات، آب و هوا و سایر فعالیت‌های زیستی در سطح زمین به شمار می‌رود (کاوینی و علیجانی، ۱۳۸۲: ۵۷).

در ارتباط با موضوع این تحقیق، در خارج از کشور تحقیقاتی صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. در قطب جنوب، پراکندگی مکانی داده‌های ماهانه، فصلی و سالانه‌ی میزان ساعات آفتابی در ۱۱ ایستگاه در دوره‌ی ۲۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی نشان داد که هر چند مقادیر ساعات آفتابی با عرض جغرافیایی رابطه دارد، ولی توپوگرافی محلی می‌تواند نقش مهم‌تری داشته باشد (Gilles, 1971: 21). در ایالات متحده، میزان ابرناکی و درصد تابش محتمل با استفاده از اطلاعات ۱۰۱ ایستگاه هواشناسی در دوره‌ی ۱۹۵۰ الی ۱۹۸۲ بررسی شد. نتیجه‌ی بررسی نشان داد که در طی این دوره، یک افزایش معنی‌دار به میزان ۳/۷ درصد در میزان ابرناکی رخ داده است؛ در حالی که میزان تابش آفتاب، یک کاهش معنی‌دار ۰/۹ درصدی را تجربه کرده است. بیشترین تغییرات میزان ابرناکی و ساعات آفتابی، در فصل پاییز و کمترین آن در فصل بهار مشاهده شده است (Angell et al, 1984: 752).

در ترکیه با استفاده از روش‌های آماری، تغییرات و روندهای ساعات تابش آفتاب در شهر آنکارا در دوره‌ی زمانی ۱۹۵۵ الی ۱۹۹۶ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج

بررسی، نشان‌دهنده‌ی کاهش میزان سالانه‌ی ساعات آفتابی از دهه‌ی ۱۹۶۰ به بعد بوده است که با تغییرات سایر پارامترها مانند رطوبت نسبی توجیه می‌شود (Askoy, 1999: 229). در سودان میزان تابش خورشیدی با بهره‌گیری از میزان ساعات آفتابی و برخی از پارامترهای دیگر در ۱۶ ایستگاه هواشناسی برآورد گردید (Elgaib and Mansell, 2000: 419). بررسی روند چند عنصر اقلیمی در ۱۱ ایستگاه سینوپتیک جمهوری چک مشخص نمود که میزان ساعات آفتابی، ابرناکی و دامنه‌ی شبانه‌روزی دما در این کشور تغییرات معناداری نداشته است (Huth and Pokorna, 2005: 469).

بر پایه‌ی ارزیابی میانگین ماهانه‌ی چند پارامتر هواشناسی در ۵۳ ایستگاه هواشناسی دلتای یانگ‌تسه و نواحی اطراف آن در یک دوره‌ی ۳۷ ساله این نتیجه حاصل شد که میزان ساعات آفتابی به صورت مشخصی کاهش یافته و این کاهش در شهرها بسیار واضح‌تر بوده است (Chen et al, 2006: 11). اما در بررسی مشابهی در کشور یونان بر روی توزیع زمانی و مکانی میزان ساعات آفتابی در یک دوره‌ی ۳۰ ساله معلوم شد که میزان سالانه‌ی ساعات آفتابی در دوره‌ی مورد بررسی تغییرات معنادار نداشته است (Matzarakis and Katsoulis, 2006: 107).

مطالعه‌ی سری‌های زمانی ساعات آفتابی و چندین پارامتر دیگر در رصدخانه‌ی آرماگ<sup>۱</sup> ایرلند شمالی مشخص نمود که میزان کل ساعات آفتابی از سال ۱۸۸۵ کاهش محسوسی داشته و این کاهش، با افزایش میزان ابرناکی و کاهش دامنه‌ی شبانه‌روزی دما همزمان بوده است. در بخش دیگر این مطالعه، مشخص شد که چرخه‌های ۷ تا ۸، ۲۰ تا ۲۳ و ۳۰ تا ۳۳ ساله در سری‌های فصلی و سالانه وجود دارد که بعضی از

در ایران به کمک یک مدل ساده ریاضی و با استفاده از میزان ساعات آفتابی و ابرناکی، مقدار تابش کلی خورشیدی مطالعه و سطح کشور از نظر میزان ساعات آفتابی و تابش خورشیدی به چهار منطقه‌ی مجزا تقسیم شد (صمیمی، ۱۳۷۱: ۱۸). در استان تهران مشخص گردید که مقادیر سالانه، فصلی و ماهانه‌ی میزان ساعات آفتابی، روندهای کاهشی داشته‌اند (محمدی، ۱۳۸۰: ۵۳). همچنین در پهنه‌بندی اقلیمی ایران بر اساس تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی، از تابش خورشیدی و شاخص میزان ساعات آفتابی به عنوان یکی از شش عنصر مؤثر در طبقه‌بندی استفاده به‌عمل آمد (مسعودیان، ۱۳۸۲: ۱۷۱). در پهنه‌بندی استان سیستان و بلوچستان نیز بر اساس تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی، از عامل میزان ساعات آفتابی به عنوان یکی از پنج عامل مؤثر در طبقه‌بندی اقلیمی استفاده شد (سلیقه و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۰۱). در ایستگاه ارومیه با استفاده از معادلات رگرسیونی (خلیلی/اقدم و سلطانی، ۱۳۸۸: ۱۴۱) و در ایستگاه‌های همدان (نوزه) و تبریز با استفاده از آزمون من-کندل و معادلات رگرسیونی (کریمی و سپهری، ۱۳۸۹: ۱۴۳)، افزایش معنی‌دار تعداد ساعات آفتابی در برخی از ماه‌ها و فصول سال به اثبات رسید. در مطالعه دیگری سطح ایران بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن و با در نظر گرفتن ساعات آفتابی، به پنج منطقه‌ی اقلیمی تقسیم و مقادیر تابش خورشیدی با مدل آنگستروم برآورد گردید (معینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱). همچنین طی سه مطالعه‌ی جداگانه و با مبنا قرار دادن میزان ساعات آفتابی، مقادیر تابش خورشیدی در ایستگاه تهران شمال با بهره‌گیری از مدل‌های یک متغیره و چند متغیره‌ی خطی (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۴۳)، در منطقه باجگاه استان فارس با مدل آنگستروم و چندمدل دیگر (مجنونی و همکاران، ۱۳۸۷: ۴۹۱) و در ایستگاه تهران

این چرخه‌ها به صورت کاملاً واضحی با نوسان اطلس شمالی<sup>۱</sup> مطابقت دارد (Butler et al, 2007: 157). در مطالعه‌ای در ناحیه پریبری<sup>۲</sup> کشور کانادا روند کاهشی میزان ساعات آفتابی از دهه‌ی ۱۹۵۰ به‌اثبات رسید (Cutforth and Judiesch, 2007: 167). همچنین در شرق چین معلوم شد که میزان ساعات آفتابی در فصول گرم به علت افزایش میزان هواویزها کاهش یافته است (Xiaohui et al, 2008: 730). طی مطالعه‌ای در ناحیه‌ی ابرو<sup>۳</sup> در شمال شرق اسپانیا تغییرات میزان ساعات آفتابی و ابرناکی در یک دوره‌ی ۹۷ ساله بررسی و بیان گردید که از دهه‌ی ۱۹۱۰ نوسانات شدید ولی بدون روند آماری معنی‌دار در میزان ساعات آفتابی رخ داده است (Curto et al, 2009: 2183). بررسی دیگری در شمال چین با استفاده از داده‌های ۸۱ ایستگاه هواشناسی، حکایت از کاهش ۸۲/۸۵ ساعتی در میانگین دهه‌ای ساعات آفتابی داشت؛ همچنین مشخص کرد که بیشترین کاهش ساعات آفتابی در فصل تابستان و کمترین کاهش در فصل زمستان رخ داده است. از نظر مکانی نیز کاهش میزان ساعات آفتابی در نواحی داخلی دشت‌ها، بیشتر از نواحی کوهستانی و ساحلی بوده است. در بخش دیگری از این بررسی، سرعت باد به دلیل نقش آن در حمل آئروسول‌ها و گرد و غبار به عنوان مهم‌ترین عامل در کاهش میزان ساعات آفتابی مطرح شده است (Yang et al, 2009: 91).

برای مدل‌سازی و برآورد میزان تابش خورشیدی براساس داده‌های اقلیمی، در چین (Wu et al, 2007: 2447)، ترکیه (Bakirci, 2009: 2580) و تبوک عربستان (Maghrabi, 2009: 2754) از عواملی مانند میزان ساعات آفتابی، بارش کل، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی، دما و فشار هوا استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

در راستای اهداف تحقیق، تعداد ساعات آفتابی در ۸۷ ایستگاه سینوپتیک کشور در یک دوره‌ی ۲۰ ساله (۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت. آمار اولیه از سایت سازمان هواشناسی کشور، جمع‌آوری و پس از بازسازی، به صورت سری‌های زمانی فصلی و سالیانه، تنظیم و با استفاده از نرم‌افزار SPSS پردازش‌های آماری بر روی آن‌ها انجام شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار surfer، نقشه‌های هم‌ارزش میانگین و ضریب تغییرات ساعات آفتابی رسم گردید. در مرحله‌ی بعد، سطح کشور بر مبنای داده‌های ساعات آفتابی فصلی و سالیانه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، با روش تحلیل خوشه‌ای به روش وارد پهنه‌بندی گردید. برای تأیید صحت پهنه‌بندی، در صورت برقرار بودن سه شرط (استقلال گروه‌ها، برابری واریانس‌ها و نرمال بودن توزیع جامعه) از آزمون‌های پارامتریک و در غیر این صورت از آزمون‌های ناپارامتریک به منظور آزمون معنی‌دار بودن اختلاف میانگین تعداد ساعات آفتابی بین خوشه‌ها استفاده شد. بدین ترتیب که برای سنجش معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌های دوه‌دویی گروه‌ها، از آزمون پارامتریک سیداک<sup>۲</sup> که آزمونی حساس برای کشف اختلافات است یا آزمون ناپارامتریک من-ویتنی<sup>۳</sup> استفاده شد و برای سنجش معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌های چند گروهی، از آنالیز واریانس یک طرفه<sup>۴</sup> یا آزمون ناپارامتریک کروسکال-والیس<sup>۵</sup> استفاده گردید. همچنین برای آزمون نرمال بودن توزیع جامعه از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> و برای برآورد تعداد ساعات آفتابی و نیز شناسایی روندهای زمانی آن، به ترتیب از معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره و ساده استفاده شد.

شمال در مقیاس‌های زمانی مختلف با رابطه آنگستروم-پرسکات<sup>۱</sup> (آقاشریعتمداری و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۰۵) برآورد گردید. به منظور امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی جهت تأمین سرمایه‌های ساختمانی در نقاط مختلف ایران و تعیین پتانسیل شهرهای مختلف برای بهره‌مندی از این انرژی ارزان، تعداد ساعات آفتابی مبنای محاسبه‌ی مقدار انرژی خورشیدی تأیید به هر منطقه قرار گرفت و با استفاده از دمای هوا و مقدار تابش، بازدهی کلکتورهای (گردآورهای) خورشیدی در طراحی سیستم‌های چیلر جذبی خورشیدی بررسی گردید (عربی و دهقانی، ۱۳۸۹: ۶۰).

با جمع‌بندی تحقیقات فوق می‌توان ادعان نمود که گرچه تأثیر عواملی همچون عرض جغرافیایی، توپوگرافی و دوری و نزدیکی به منابع رطوبی بر میزان ساعات آفتابی قابل انکار نیست؛ لیکن مطالعه کم و کیف تأثیر این عوامل بر ساعات آفتابی، نیازمند مطالعات بیشتری است. اغلب تحقیقات مربوط به برآورد تابش خورشیدی، از مدل آنگستروم- که از ساعات آفتابی به عنوان مهم‌ترین ورودی خود بهره می‌برد- استفاده کرده‌اند. همچنین بیشتر تحقیقات خارجی، نشان‌دهنده‌ی کاهش یا عدم وجود روندهای معنی‌دار و تحقیقات داخلی نشان‌دهنده‌ی هر دو روند کاهشی یا افزایشی معنی‌دار در میزان ساعات آفتابی است. با توجه به اهمیت ویژه‌ای که عنصر ساعات آفتابی در برنامه‌ریزی‌های مختلف به‌خصوص برنامه‌ریزی‌های استفاده از انرژی‌های نو دارد و نیز به منظور شناخت دقیق‌تر آب و هوای کشور، هدف این تحقیق آن است تا تصویری از ناموزونی‌ها و روندهای ساعات آفتابی در ایران، ارائه و مقادیر ساعات آفتابی را برآورد نماید.

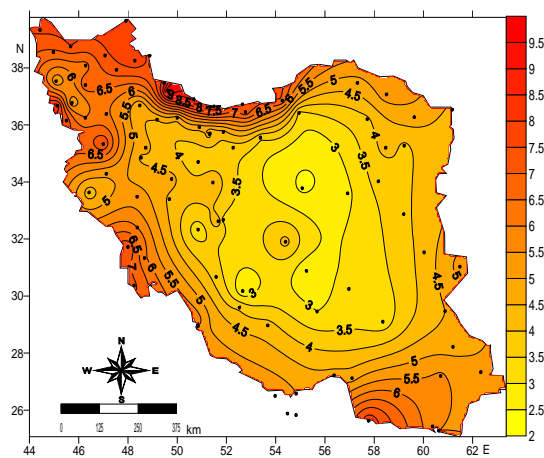
2-Sidak  
3-Mann-Whitney  
4-One-Way ANOVA  
5-Kruskal-Wallis

1-Angstrom-Prescott

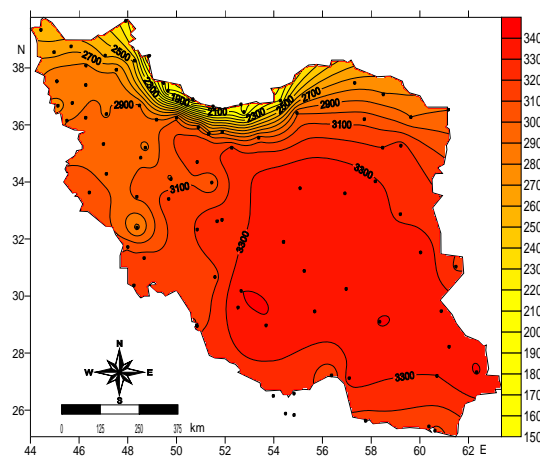
## نتایج و بحث

بر اساس محاسبات، میانگین سالانه‌ی تعداد ساعات آفتابی در ایستگاه‌های کشور در دوره‌ی مورد مطالعه، ۲۹۵۴ ساعت بوده است که قسمت‌های مرکزی و جنوب‌شرقی، بیشترین مقادیر (حداکثر در ایستگاه سراوان ۳۴۰۸ ساعت) و سواحل شمال کشور، کمترین مقادیر (حداقل در ایستگاه رامسر ۱۵۸۷ ساعت) را دارند (شکل ۱). میانگین تعداد ساعات آفتابی سالانه بیش از ۲۹۰۰ ساعت برای ایران توسط گزارش‌های معتبر دیگر (وزارت نیرو، ۱۳۸۹: ۱۸) نیز تأیید می‌شود. متوسط تغییرپذیری سالانه‌ی تعداد ساعات آفتابی در سطح کشور ۵/۳ درصد است که بر عکس توزیع میانگین ساعات آفتابی، در مناطق مرکزی کشور، دارای کمترین تغییرات (۲/۴ درصد در خوربیابانک) و در سواحل شمال کشور که کمترین مقادیر ساعات آفتابی را دارد، دارای بیشترین تغییرات (۱۰/۱ درصد در ایستگاه رشت) است (شکل ۲). توزیع میانگین‌های فصلی تعداد ساعات آفتابی نیز با میانگین سالانه

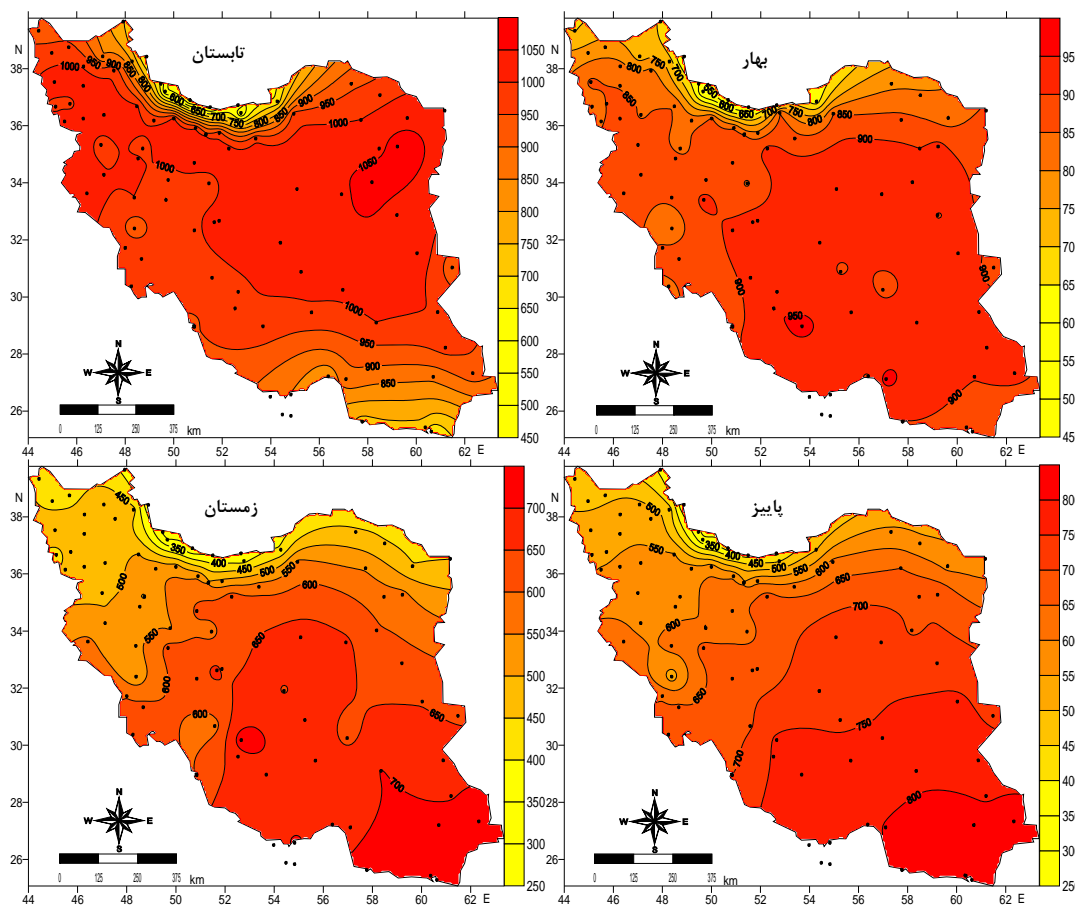
شباهت‌های زیادی دارد. افزایش ساعات آفتابی به سمت جنوب و شرق کشور را می‌توان به نزدیک‌تر شدن به مناطق تحت استیلای پرفشار جنب حاره‌ای آزور و نرسیدن رطوبت کافی به منطقه مرتبط دانست. تنها استثنای این امر، کاهش دوباره‌ی ساعات آفتابی به سمت سواحل جنوب و جنوب‌شرق به خصوص در فصل تابستان است (شکل ۳) که اندکی خود را در وضعیت سالانه نیز نشان می‌دهد (شکل ۱). علت این امر، افزایش رطوبت در سواحل و نفوذ سیستم‌های موسمی تابستانه به این مناطق است. در حالی که کاهش ساعات آفتابی رو به شمال کشور به دلیل عبور امواج کوتاه و سیکلون‌های غربی در دوره‌ی سرد سال دور از انتظار نیست. به خصوص کاهش قابل توجه آن در سواحل دریای خزر به دلیل تراکم رطوبت این دریا در این جلگه باریک و محصور، طبیعی به نظر می‌رسد. تعداد ساعات آفتابی تابستانه در کشور، اندکی کمتر از دو برابر ساعات آفتابی زمستانه است (جدول ۱).



شکل ۲: توزیع مکانی ضرایب تغییرپذیری سالانه‌ی تعداد ساعات آفتابی در ایران (بر حسب درصد)  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۱: توزیع مکانی تعداد ساعات آفتابی سالانه در ایران  
 (۱۹۸۶-۲۰۰۵)  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۳: نقشه‌های توزیع مکانی تعداد ساعات آفتابی فصلی در ایران (۱۹۸۶-۲۰۰۵)  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۱: آماره‌های تعداد ساعات آفتابی فصلی و سالانه در ایران (۱۹۸۶-۲۰۰۵)

دوره‌ی زمانی	میانگین (ساعت)	حداقل ایستگاه- ساعت	حداکثر ایستگاه- ساعت	تغییرپذیری (درصد)
بهار	۸۴۲	رامسر- ۴۸۷	میناب- ۹۶۳	۸/۳
تابستان	۹۳۰	رامسر- ۴۷۴	تربت حیدریه- ۱۰۶۹	۵/۱
پاییز	۶۲۵	آستارا- ۲۹۶	سراوان- ۸۲۷	۹/۷
زمستان	۵۵۷	انزلی- ۲۹۳	سراوان- ۷۴۳	۱۲/۹
سال	۲۹۵۴	رامسر- ۱۵۸۷	سراوان- ۳۴۰۸	

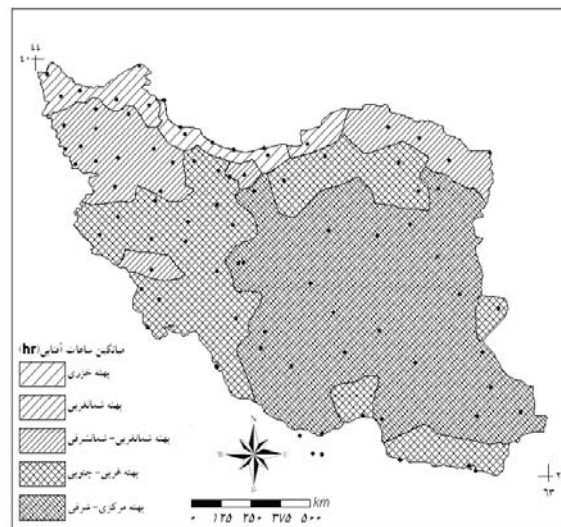
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

نقشه‌های پهنه‌بندی سالانه و فصلی ایران بر مبنای تعداد ساعات آفتابی، در شکل‌های ۴ و ۵ و اطلاعات مربوطه، در جدول ۲ ارائه شده است. در تمام نقشه‌های پهنه‌بندی، نقش عرض جغرافیایی و رطوبتِ

سواحل دریای خزر در تعداد ساعات آفتابی به خوبی مشخص است. برای تأیید صحت پهنه‌بندی‌ها، بر اساس مطالبی که در بخش مواد و روش‌ها عنوان شد، شروط استفاده از آزمون‌های پارامتریک (آزمون

سطح ۰/۰۵ تأیید نمودند. نمونه‌هایی از خروجی آزمون کروسکال-والیس برای پهنه‌بندی سالانه و آزمون من-ویتنی برای مقایسه‌ی پهنه‌های ۱ و ۳ سالانه (شکل ۴-جدول ۲) در جدول ۳ آورده شده است. به شماره‌ی پهنه‌ها، تعداد ایستگاه‌ها و سطح معناداری صفر در این جدول- که نشان‌دهنده‌ی رد شدن فرض صفر برابری میانگین تعداد ساعات آفتابی سالانه بین پهنه‌ها و تأیید صحت پهنه‌بندی است- توجه فرمایید.

سیداک برای سنجش معنی‌دار بودن اختلاف دو به دویی میانگین‌های پهنه‌ها و آنالیز واریانس یک طرفه برای سنجش معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌های پهنه‌ها) فقط برای سری‌های زمانی پاییز و زمستان برقرار بود. برای بقیه‌ی سری‌های زمانی، از معادل‌های ناپارامتریک آن‌ها (آزمون من-ویتنی برای مقایسات دو به دویی و آزمون کروسکال-والیس برای مقایسات چندگانه) استفاده شد. تمام آزمون‌های فوق، اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های ساعات آفتابی پهنه‌ها را در



شکل ۴: پهنه‌بندی ایران بر اساس میانگین ساعات آفتابی سالانه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۲: مشخصات پهنه‌های میزان ساعات آفتابی سالانه در ایران (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

شماره‌ی پهنه	نام پهنه	تعداد ایستگاه‌ها	درصد مساحت تحت پوشش کشور	ساعات آفتابی میانگین تعداد ایستگاه‌ها	معیار ایستگاه‌ها متوسط انحراف	میانگین تغییرپذیری ایستگاه‌ها	بیشینه (ساعت)	کمینه (ساعت)
۱	مرکزی- شرقی	۲۶	۴۹/۳	۳۲۳۰	۶۳/۴	۱/۹	۳۴۰۸	۳۲۲۰
۲	شمال غربی- شمال شرقی	۲۰	۱۴/۸	۲۸۵۷	۵۹/۷	۲/۱	۲۹۲۵	۲۷۴۳
۳	غربی- جنوبی	۲۷	۲۹/۵	۳۰۹۲	۸۴/۷	۲/۷	۳۲۰۸	۲۹۴۴
۴	خزری	۷	۲/۱	۱۸۲۰	۱۴۴/۸	۸	۲۰۱۴	۱۵۸۷
۵	شمال غربی	۷	۴/۳	۲۴۷۵	۱۸۹/۹	۷/۷	۲۶۵۴	۲۲۰۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۳: نمونه‌هایی از خروجی آزمون کروسکال-والیس برای مقایسه میانگین تعداد ساعات آفتابی سالانه پهنه‌ها و آزمون من-ویتنی برای مقایسه میانگین تعداد ساعات پهنه‌های ۱ و ۳

آزمون کروسکال-والیس			آزمون من-ویتنی			
رتبه‌ها			رتبه‌ها			
رتبه‌ی متوسط	N	پهنه	جمع رتبه‌ها	رتبه‌ی متوسط	N	پهنه
۷۴/۵۰	۲۶	۱	۱۰۵۳	۴۰/۵۰	۲۶	۱
۲۵/۵۰	۲۰	۲	۳۷۸	۱۴/۰۰	۲۷	۳
۴۷/۱۷	۲۷	۳			۵۳	جمع
۴/۰۰	۷	۴				
۱۱/۳۶	۷	۵				
	۸۷	جمع				

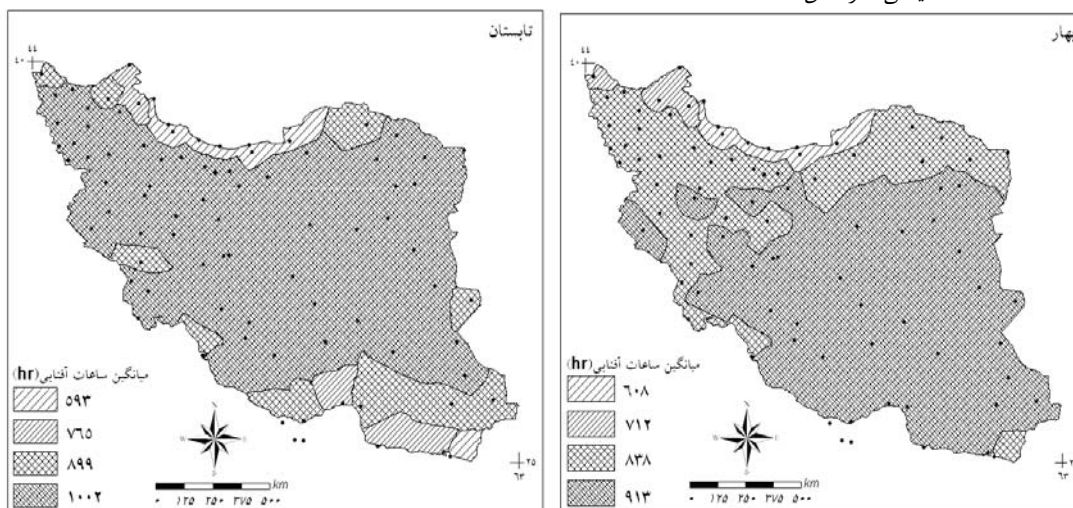
آماره‌های آزمون (متغیر گروه‌بندی: پهنه)

تعداد ساعات آفتابی	۰/۰۰۰	Mann-Whitney U Wilcoxon W Z سطح معناداری (دوطرفه)
۳۷۸		
-۶/۲۴۵		
۰/۰۰۰		

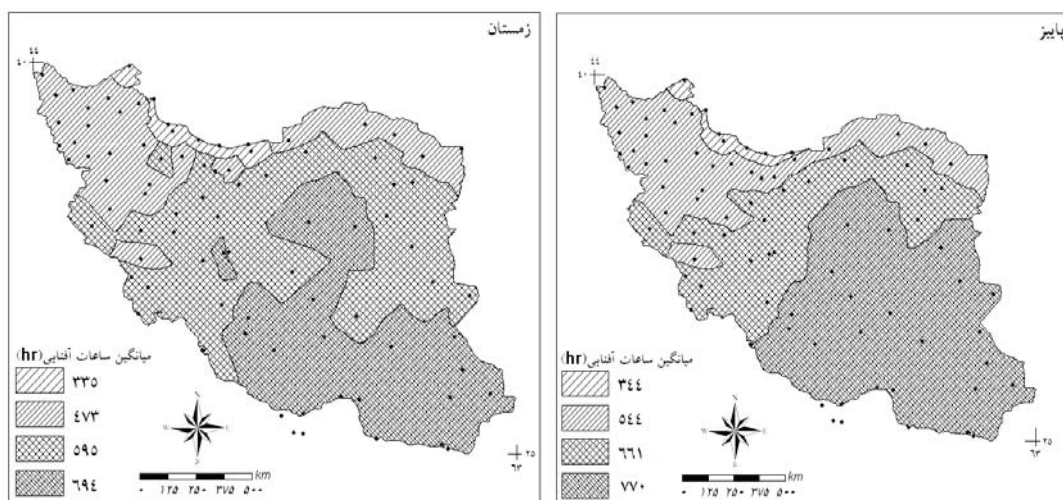
  

آماره‌های آزمون (متغیر گروه‌بندی: پهنه)	
تعداد ساعات آفتابی	۷۸/۳۱۳
۴	خی دو (Chi-square)
۰/۰۰۰	درجه آزادی (df)
	سطح معناداری

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰







شکل ۵: پهنه‌بندی ایران بر اساس میانگین تعداد ساعات آفتابی فصلی (۱۹۸۶-۲۰۰۵)

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

علامت این ضریب، نشانگر جهت تأثیر و مقدار ضریب، از ۱ تا -۱ متغیر است) نشان می‌دهد که عموماً نقش عرض جغرافیایی در کنترل تعداد ساعات آفتابی، به‌خصوص در دو فصل پاییز و زمستان (ضریب  $-0/94$ ) بسیار چشمگیرتر از ارتفاع است؛ در حالی که نقش این عامل در تابستان، ضعیف‌تر (ضریب  $-0/19$ ) و در مقابل، نقش ارتفاع بارزتر است (ضریب  $0/71$ ). نمونه‌ای از خروجی‌های رگرسیون برآورد سالانه در جدول ۵ نشان داده شده است. سطوح معناداری صفر در این جدول (علاوه بر مقدار بالای  $r^2$  که در فوق نیز گفته شد) تأییدی دیگر بر اعتبار مدل است. مقادیر سطح معناداری معادلات فصول نیز به همین گونه بود.

جدول ۴، معادلات رگرسیونی چندمتغیره‌ی برآورد تعداد ساعات آفتابی را در کشور نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر بالای  $r^2$ ، می‌توان تعداد ساعات آفتابی ( $N$ ) را در سطح کشور بر مبنای عرض جغرافیایی ( $lat$ ) و ارتفاع ( $h$ ) به خوبی برآورد کرد. بر اساس معادله‌ی ردیف اول جدول، ۷۰ درصد از تغییرات سالانه‌ی تعداد ساعات آفتابی، توسط عرض جغرافیایی و ارتفاع، توجیه می‌شود. با هر درجه افزایش عرض جغرافیایی، در حدود ۸۶ ساعت از تعداد سالانه‌ی ساعات آفتابی، کاسته و با هر متر افزایش ارتفاع،  $0/35$  ساعت به تعداد سالانه‌ی ساعات آفتابی افزوده می‌شود. مقایسه‌ی ضرایب  $\beta$  استاندارد مربوط به ارتفاع و عرض جغرافیایی (به ترتیب ستون‌های  $\beta lat$  و  $\beta h$  جدول و با یادآوری این نکات که

جدول ۴: معادلات رگرسیونی برآورد تعداد ساعات آفتابی در ایران

دوره‌ی زمانی	مدل	$r^2$	SE	$\beta h$	$\beta lat$	سطح معناداری
سال	$N = 5497 + 0/35 h - 86 lat$	۰/۷	۲۳۷	۰/۵۶	-۰/۷۹	۰/۰۰۰
زمستان	$N = 1426 + 0/06 h - 27/6 lat$	۰/۸۳	۴۸	۰/۳۳	-۰/۹۴	۰/۰۰۰
بهار	$N = 1408 + 0/09 h - 19/4 lat$	۰/۶۴	۶۲	۰/۵۶	-۰/۷۴	۰/۰۰۰
تابستان	$N = 1015 + 0/14 h - 6/7 lat$	۰/۴۷	۱۰۱	۰/۷۱	-۰/۱۹	۰/۰۰۰
پاییز	$N = 1630 + 0/07 h - 31/9 lat$	۰/۸۴	۵۴	۰/۳۵	-۰/۹۴	۰/۰۰۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۵: نمونه‌ای از خروجی‌های رگرسیون چندمتغیره (سالانه)

خلاصه مدل

مدل	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> تطبیق یافته	خطای معیار برآورد (SE)
۱	۰/۸۳۶ <sup>a</sup>	۰/۷	۰/۶۸۸	۲۳۷/۳۴

a. پیش‌بینی کننده‌ها: (Constant)، ارتفاع، عرض جغرافیایی

ضرایب<sup>a</sup>

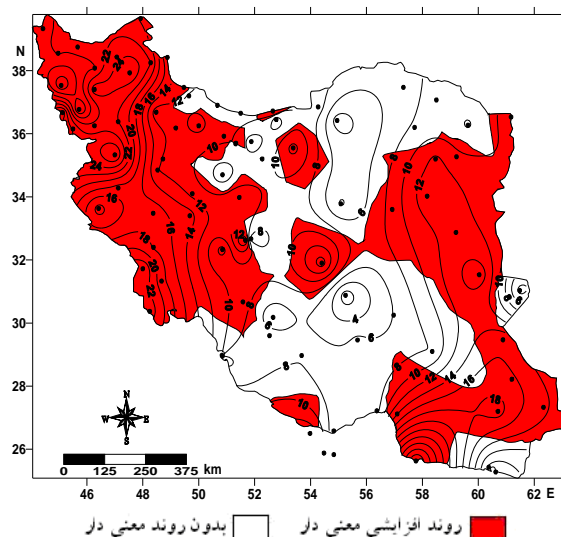
مدل	ضرایب استاندارد نشده		t	سطح معناداری
	B	خطای معیار		
(Constant)	۵۴۹۷/۴۱۶	۲۲۲/۷۶۴	۲۴/۶۷۸	۰/۰۰۰
عرض جغرافیایی (lat)	-۸۶/۰۴۱	۶/۸۲۲	-۱۲/۶۱۲	۰/۰۰۰
ارتفاع (h)	۰/۳۵۰	۰/۰۳۹	۸/۹۵۶	۰/۰۰۰

a. متغیر وابسته: تعداد ساعات آفتابی سالانه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

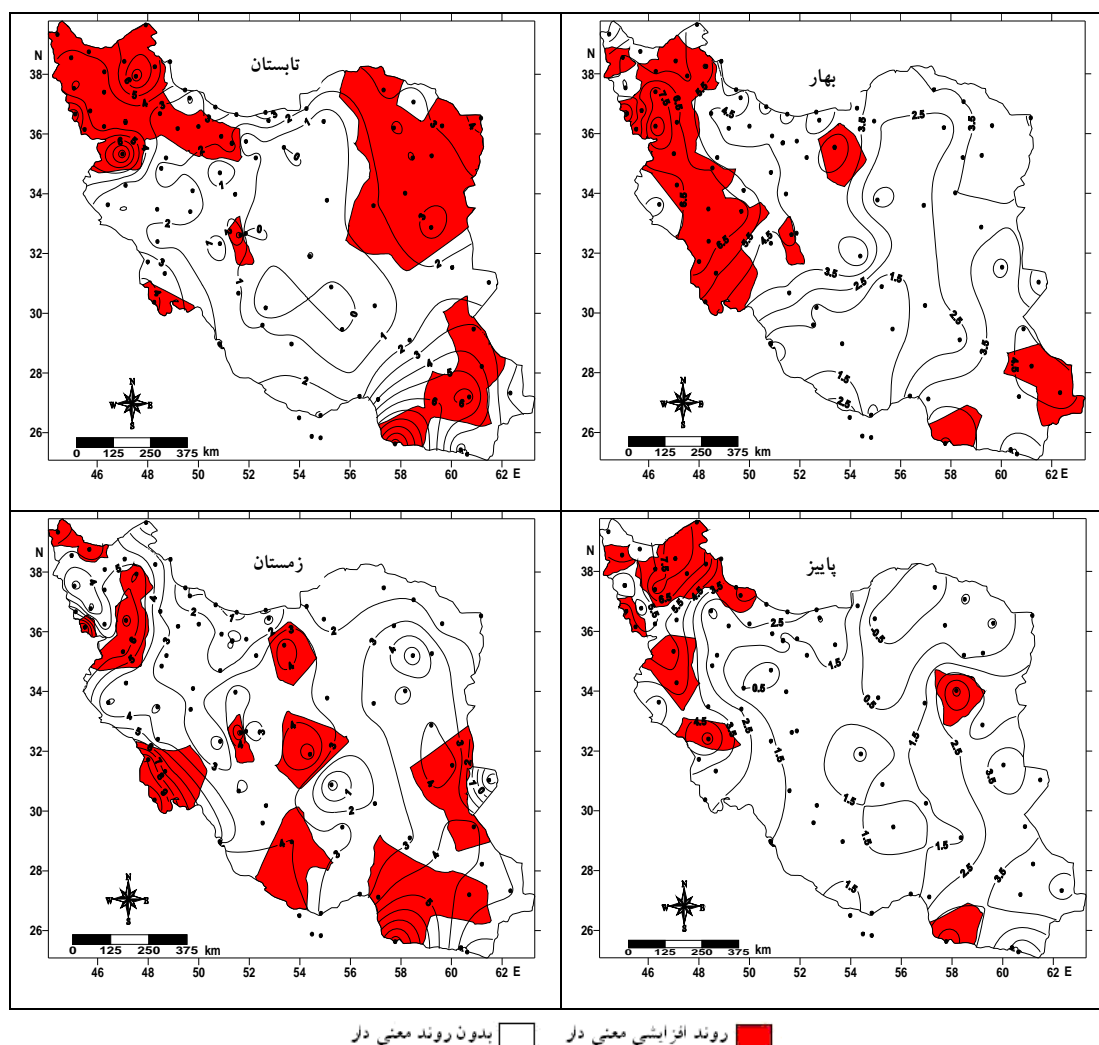
ایستگاه شهرکرد به میزان ۷/۱ ساعت در سال محاسبه شده است. در ۴۴ درصد از مساحت باقی مانده‌ی کشور، روندها معنی‌دار نیست (گرچه مقادیر روند مثبت است) (شکل ۶). در هیچ ایستگاهی از کشور، روند کاهشی معنی‌دار مشاهده نشده است. وضعیت روندهای فصلی (شکل ۷) نیز مشابه روند سالانه است و به طور کلی در هر چهار فصل، مساحت بیشتری از کشور، روندهای معنی‌دار را نشان نمی‌دهد.

روندهای زمانی تعداد ساعات آفتابی با استفاده از معادلات رگرسیون خطی محاسبه شد. بر این اساس، در بیش از نصف مساحت کشور (۵۶ درصد)، تعداد ساعات آفتابی به‌طور میانگین ۱۶/۶ ساعت در سال افزایش معنی‌دار می‌یابد. این روندها در نیمه‌ی غربی و قسمت‌هایی از شرق، جنوب‌شرق و جنوب کشور مشاهده می‌شود (شکل ۶). بیشترین مقدار روند افزایشی در این منطقه در ایستگاه جاسک در سواحل جنوبی کشور با ۳۲/۵ ساعت در سال و کمترین آن در



شکل ۶: نقشه‌ی مقادیر روند سالانه‌ی تعداد ساعات آفتابی در ایران (ساعت در سال)

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۷: نقشه‌های مقادیر روند فصلی ساعات آفتابی در ایران (ساعت در سال) (۱۹۸۶-۲۰۰۵)

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

### نتیجه

به طور کلی از شمال به جنوب و از غرب به شرق کشور بر تعداد ساعات آفتابی افزوده و از تغییرپذیری آن کاسته می‌شود (شکل‌های ۱ و ۲). نقش پر فشار جنب حاره‌ای آזור در مناطق مرکزی و جنوبی کشور و حالت بادپناهی این نواحی، در وقوع وضعیت یادشده تأثیر چشمگیری دارد. کاهش دوباره‌ی ساعات آفتابی به سمت جنوب به خصوص در فصل تابستان به دلیل افزایش رطوبت و نفوذ سیستم‌های موسمی به این

مناطق اتفاق می‌افتد (شکل ۳). در نقشه‌های پهنه‌بندی ساعات آفتابی (شکل‌های ۴ و ۵)، نقش عرض جغرافیایی و رطوبت سواحل، به خصوص در شمال کشور، کاملاً مشهود است؛ اما در تابستان، نقش ارتفاع، بارزتر است. مدل رگرسیونی به کار رفته (جدول ۴)، نشان‌دهنده‌ی نقش بارز عرض جغرافیایی و ارتفاع در کنترل تعداد ساعات آفتابی و نتیجتاً امکان برآورد مناسب تعداد ساعات آفتابی بر مبنای این دو عامل است.

- خلیلی، علی؛ پرویز ایران‌نژاد؛ زهرا آقاشریعتمداری (۱۳۸۹). مقایسه‌ی کارآیی مدل‌های یک متغیره و روابط چند متغیره‌ی خطی در برآورد تابش دریافتی بر سطح افقی در سطح زمین با استفاده از متغیرهای هواشناسی، مطالعه‌ی موردی ایستگاه تهران شمال (اقدسیه). چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران. تهران.
- سلیقه، محمد؛ فرامرز بریمانی؛ مرتضی اسماعیل‌نژاد (۱۳۸۷). پهنه‌بندی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان، جغرافیا و توسعه. ۱۲.
- عربی، مهسا؛ محمدرضا دهقانی (۱۳۸۹). بررسی فنی و اقتصادی سیستم‌های چیلر جذبی خورشیدی در ایران، مجله‌ی مهندسی شیمی ایران ۴۶.
- صمیمی، جلال (۱۳۷۱). برآورد تابش خورشیدی در ایران و مطالعه‌ی امکان استفاده گرمایشی از انرژی خورشیدی، فیزیک. ۱۲ (۲۰۱).
- کاویانی، محمدرضا؛ بهلول علیجانی (۱۳۸۲). میانی آب و هواشناسی، چاپ نهم. تهران. انتشارات سمت.
- کریمی‌کاخکی، مصطفی؛ علی سپهری (۱۳۸۹). روندهای تغییر اقلیم طی دو دوره در همدان و تبریز، دانش آب و خاک. ۲۰ (۴).
- مجنون‌هریس، ابوالفضل؛ شاهرخ زندپارسا؛ علیرضا سپاسخواه؛ محمدجعفر ناظم‌السادات (۱۳۸۷). توسعه و ارزیابی مدل‌های تخمین تابش خورشیدی بر اساس ساعات آفتابی و اطلاعات هواشناسی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۶.
- محمدی، مریم (۱۳۸۰). بررسی روند تغییرات دما، بارش، رطوبت و ساعات آفتابی در تهران در دوره‌ی زمانی (۱۳۷۴-۱۳۴۰)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. گروه جغرافیا. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۲). نواحی اقلیمی ایران، جغرافیا و توسعه. ۲.

گرچه همان‌طور که در مقدمه‌ی مقاله ذکر شد، اغلب مطالعات انجام یافته در سطح جهان، از کاهش تعداد ساعات آفتابی، سخن به میان می‌آورند، لیکن با توجه به نتایج این تحقیق، هیچ کاهش معنی‌داری در تعداد ساعات آفتابی در هیچ ایستگاهی مشاهده نشد (شکل‌های ۶ و ۷) و در مقابل، در ۵۶ درصد از مساحت کشور، تعداد ساعات آفتابی به طور میانگین ۱۶/۶ ساعت در سال افزایش معنی‌دار می‌یابد. به نظر می‌رسد که قرارگیری کشورهای یاد شده در عرض‌های جغرافیایی خاص (به خصوص عرض‌های بالا) و اثرگذاری متفاوت عوامل اقلیمی در این عرض‌ها، در کاهش تعداد ساعات آفتابی تأثیرگذار بوده باشد. از این‌رو شاید در پژوهش‌های آتی با مطالعه‌ی کامل وضعیت ابرناکی و رابطه‌ی آن با ساعات آفتابی و نیز مقایسه‌ی تطبیقی ساعات آفتابی در مناطق واقع در عرض‌های جغرافیایی مختلف (مثلاً عرض‌های حاره، معتدله و بالا)، ابعاد مسأله، روشن‌تر شده، نتایج بهتری حاصل گردد. همچنین استفاده از روش‌های جدیدتر مانند شبکه‌ی عصبی مصنوعی می‌تواند به افزایش دقت برآوردها کمک شایان توجهی نماید.

#### منابع

- آقاشریعتمداری، زهرا؛ علی خلیلی؛ پرویز ایران‌نژاد؛ عبدالمجید لیاقت (۱۳۹۰). واسنجی و تغییرات سالانه‌ی ضرایب رابطه‌ی انگستروم- پرسکات (a و b) در مقیاس‌های زمانی مختلف، مطالعه‌ی موردی: ایستگاه تهران شمال (اقدسیه). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵ (۴).
- خلیلی‌اقدام، نبی؛ افشین سلطانی (۱۳۸۸). بررسی تغییر اقلیم ارومیه طی ۵۰ سال گذشته، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۶ (۴).

- Elgaib, N. A.; Mansell, M. G (2000). New approaches for estimating global solar radiation across Sudan; energy conversion and management; 41.
- Giles, B (1971). The variation of bright sunshine in the Antarctic Peninsula 1945-1966; department of geography, university of Birmingham; 24.
- Huth, R.; Pokorna, L (2005). Simultaneous analysis of climatic trends in multiple variables; international journal of climatology; 25.
- Maghrabi, A. H (2009). Parameterization of simple model to estimate monthly global solar radiation based on meteorological variables and evaluation of existing solar radiation models for Tabuk, Saudi Arabia; energy conversion and management; 50.
- Matzarakis, A. P.; Katsoulis, V. D (2006). Sunshine duration hours over the Greek region; theoretical and applied climatology; 83.
- Wu, C.; Liu, Y.; Wang, T (2007). Methods and strategy for modeling daily global solar radiation with measured meteorological data; case study in Nanchang station, China; energy conversion and management; 47.
- Xiaohui, S.; Xiangde, X.; Lian, X (2008). Characteristics of climate change in the significant impact zone affected by aerosols over Eastern China in warm seasons; science in china press; 51.
- Yang, Y. h.; Zhao, N.; Hao, X. H.; Li, C. Q (2009). Decreasing trend of sunshine hours and related driving forces in North China; theoretical and applied climatology; 97 (1-2).
- Yin, X (1999). Bright sunshine duration in relation to precipitation, air temperature and geographic location; theoretical and applied climatology; 64.
- معینی، سام؛ شهرام جوادی؛ محسن کوکبی؛ محسن دهقان‌منشادی (۱۳۸۹). برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه، نشریه‌ی انرژی ایران. ۱۳(۲).
- وزارت نیرو (۱۳۸۹). آمار و نمودارهای انرژی ایران و جهان؛ دفتر برنامه‌ریزی‌های کلان وابسته به معاونت امور برق و انرژی.
- Angell, J. K.; Korshover, J.; Cotton, G. F (1984). Variation in United States cloudiness and sunshine 1950-1982; journal of climate and applied meteorology; 23.
- Askoy, B (1999). Analysis of changes in sunshine duration data for Ankara; theoretical and applied climatology; 64.
- Bakirci, K (2009). Models of solar radiation with hours of bright sunshine; a review; renewable and sustainable energy reviews; 13.
- Butler, C. J.; Suarez, G.; Palle, E (2007). Trends and cycles in long Irish meteorological series; proceedings of the royal Irish academy; 107.
- Chen, L. X.; Li, W. L.; Zhu, W. Q.; Zhou, X. J.; Zhou, Z. J.; Lio, H. L (2006). Seasonal trends of climate change in Yangtze Delta (China) and its adjacent regions and their formation mechanisms; meteorology and atmospheric physics; 92 (1-2).
- Curto, J. J.; Also, E.; Palle, E.; Sole, J. G (2009). Short communication sunshine and synoptic cloud, observations at Ebro Observatory 1910-2006; international journal of climatology; 29.
- Cutforth, H. W.; Judisch, D (2007). Long term changes to incoming solar energy on the Canadian Prairie; agricultural and forest meteorology; 145.

