

تغییرات زمانی - مکانی درازمدت شار تابش خالص در گستره ایران

احمد روشنی^۱ - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

هوشنگ قائمی - استاد پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

زهرا حجازی زاده - استاد آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۵/۱

چکیده

شارهای انرژی موجود در سطح زمین باید ترازمند باشند. آگاهی از توازن انرژی سطحی، مستلزم شناخت مؤلفه‌های توازن انرژی سطحی، از جمله شار تابش خالص بر اساس قانون پایستگی انرژی است. محاسبه مؤلفه‌های شار انرژی با استفاده از داده‌های ساعتی شبکه‌بندی شده و برای ساعات بیشینه و کمینه انرژی خورشیدی به صورت روزانه در ساعت‌های ۶ و ۱۲ محلی و در دوره زمانی ده ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ انجام شده است. نتایج پژوهش نشان‌دهنده رفتار سینوسی میانگین درازمدت سالانه شار تابش خالص است. مقادیر این شار در ساعت ۶ محلی همه ماه‌های سال در کشور منفی است و نشان می‌دهد که در این ساعت مقدار برون‌داد انرژی بیش از دریافت آن است. از سوی دیگر مقدار این شار در ساعت ۱۲ محلی همه ماه‌های سال مثبت است و نشان‌دهنده بیشتر بودن مقدار شارهای ورودی و ذخیره شدن انرژی در سطح زمین و گرم شدن آن است. تغییرات ماهانه شار انرژی تابش خالص از تغییرات زاویه تابش خورشید، گردش عمومی جو و پدیده‌های محلی پیروی می‌کند. در فصل‌های بهار و تابستان به سبب افزایش ارتفاع خورشید، مقادیر بیشینه شار به سوی عرض‌های بالاتر جابه‌جا شده و نواحی زاگرس و آذربایجان از مقدار شار بیشتری برخوردار هستند. در فصل بهار وجود مقادیر بیشتر شار در نواحی آذربایجان سبب گرم شدن بیشتر سطح زمین و سپس تقویت شار گرمای محسوس و افزایش بارش‌های همرفتی در این منطقه می‌شود. در ماه‌های می تا آگوست نیز انتظار می‌رود که بیشینه مقدار این شار در نواحی جنوب شرق دیده شود، اما به دلیل ورود سامانه‌های موسمی و افزایش ابرناکی، شارهای تابشی ورودی کاهش یافته و بیشینه این شار در عرض‌های بالاتر و به‌ویژه در زاگرس مرکزی دیده می‌شود. در دوره بارش، یعنی از اکتبر تا می نیز به سبب کاهش ارتفاع خورشید و انتقال بیشینه شارهای تابشی ورودی به عرض‌های پایین‌تر مقادیر بیشینه شار تابش خالص در نواحی جنوب شرق و به‌ویژه شرق ایران‌شهر دیده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: شار تابش خالص، مؤلفه‌های شار انرژی، توازن انرژی سطح زمین، ایران.

۱. مقدمه

دمای جهان در طی قرن گذشته در حدود ۰/۷۴ درجه سلسیوس افزایش پیدا کرده است (IPCC, ۲۰۰۷). توجه جهانی به توسعه پایدار و تغییر اقلیم سبب توجه سیاست‌گذاران انرژی به سوی منابع تجدیدپذیر انرژی شده است (راقووانشی^۱ و همکاران، ۲۰۰۸)؛ بنابراین استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از راه‌حل‌های بحران تغییر اقلیم است و استفاده از انرژی خورشیدی و انرژی سطح زمین می‌تواند سهم بسیاری از مصرف انرژی را به خود اختصاص دهد. از سوی دیگر تابش خورشید منبع اصلی انرژی سیاره زمین و عامل اصلی مهار حیات و آب و هوا در سطح زمین به شمار می‌آید. انرژی خورشید با مهار گرمای سطح زمین، پراکندگی زمانی و مکانی رطوبت و فشار را نیز تعیین می‌کند؛ بنابراین بررسی همه جانبه آن برای درک آب و هوای کره زمین ضروری است (علیجانی و کاویانی، ۱۳۸۸).

از سوی دیگر منبع اصلی تابش زمین، تابش ورودی خورشید است. تابش خالص، توازن بین تابش ورودی و خروجی در سطح زمین است که با فصل و عرض جغرافیایی تغییر می‌کند و به طور کلی، در روز مثبت و در شب منفی است (فرهادی^۲، ۲۰۱۲). این اختلاف محلی تابش خالص و تغییرات زمانی آن در سطح زمین، از یک سوی تحت تأثیر عوامل اقلیم تابشی و از سوی دیگر به واسطه اختلاف زمانی و مکانی به وجود می‌آید که سبب تغییر در تبدلات تابشی بین جو و سطح زمین می‌شود، بنابراین بیلان تابشی در نواحی مختلف سطح کره زمین، تفاوت‌های بسیاری دارد. از این روی، تابش خالص در کاربردهای مختلفی از جمله پایش اقلیم، پیش‌بینی هوا و هواشناسی کشاورزی، شناسایی نواحی دارای انرژی خورشیدی در دسترس برای تولید گرمایش و نیروی برق و ارزیابی اثر ابرناکی و پارامترسازی تابش جهت استفاده در مدل‌های وضع هوا و اقلیم اهمیت دارد (گوتیر^۳ و همکاران ۱۹۸۰، دیاک و گوتیر^۴ ۱۹۸۳، جاکوب^۵ و همکاران ۲۰۰۰، ما^۶ و همکاران ۲۰۰۲). شار تابشی همراه با شار گرمای محسوس و شار گرمای نهان بر ساختار گرمایی و حرکات در لایه‌های جو، شیمی جو، اندرکنش سطح زمین-جو و چرخه هیدرولوژی و بسیاری از فرآیندهای آب و خاک مانند تبخیر و تعرق، ذوب برف و رشد گیاهان تأثیر بسزایی دارد (زارع، ۱۳۸۷) و در معماری همساز با اقلیم، طراحی سیستم‌های استفاده از انرژی‌های پاک، برآورد نفوذ نور در مجتمع‌های ساختمانی و یا پوشش‌های نباتی و مدلسازی برای محاسبات مربوط به نورپردازی کاربرد گسترده‌ای دارند (کمالی، ۱۳۸۴). با توجه به قرارگیری ایران در منطقه حداکثر میزان انتقال انرژی سیاره‌ای (حدود ۴۰ درجه عرض جغرافیایی)، (علیجانی و کاویانی، ۱۳۸۸)، توزیع زمانی و مکانی مؤلفه‌های شار انرژی تابش خالص در این

1 Raghuvanshi

2 Farhadi

3 Gautier

4 Diak and Gautier

5 Jacobs

6 Ma

منطقه بسیار پیچیده است؛ بنابراین آگاهی از کمیت و جزئیات میدان تابش برای درک و پیش‌بینی تحول مؤلفه‌های سامانه زمین- جو مهم و ضروری است. از سوی دیگر برآورد شار انرژی در مناطق مختلف کشور و استفاده صحیح و کارآمد از آن نقش مهمی در برنامه‌ریزی و تأمین انرژی مورد نیاز کشور و کاستن از مصرف انرژی‌های فسیلی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ایفا می‌نماید.

تاکنون کارهای ارزشمندی در سطح جهان در موضوع تابش صورت گرفته است که از بین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: پرز^۱ و همکاران (۱۹۹۷)، بیان کردند که برآورد داده‌های تابش خورشیدی از تصاویر ماهواره‌ای نسبت به درون‌یابی داده‌های اندازه‌گیری شده به وسیله شبکه تشعشع سنج‌های جدید از دقت بیشتری برخوردار است. زلنکا^۲ (۱۹۹۴) بیان کرد که دقت برآوردها به جز در نواحی کوهستانی دارای عوارض پیچیده به منطقه جغرافیایی وابسته نیست و کیفیت نتایج به شدت به قدرت تفکیک داده‌ها وابسته است. در ایران کارهای اندکی در زمینه مؤلفه‌های تابش و به ویژه تابش موج کوتاه ورودی انجام گرفته است که می‌توان به مطالعات مرادی (۱۳۸۱)، خلیلی (۱۳۷۶ و ۱۳۸۱)، صمیمی (۱۳۶۴) و کمالی (۱۳۸۴) اشاره نمود که با استفاده از روش‌های تجربی و داده‌های ایستگاه‌های تابش سنجی انجام شده است و عمدتاً در مقیاس کشوری برای برنامه‌ریزی اقتصادی و منطقه‌ای کیفیت لازم برخوردار نمی‌باشند. زارعی (۱۳۸۷) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان محاسبه شار تابشی سطحی با استفاده از یک مدل یک بعدی تابشی در منطقه کویر مرکزی ایران، داده‌های مدل را با داده‌های مشاهداتی مدل SBDART مقایسه کرده و نشان داد که این مدل در برآورد تابش کارایی خوبی دارد و برای اصلاح برآورد خروجی‌های مدل، چرخه شبانه روزی دما و دمای سطح را وارد مدل کرد و نتیجه بهتری گرفت. سبزی پرور (۲۰۰۷)، مدل اصلاح شده دانشیار را برای تخمین تابش خورشیدی روزانه در مناطق ساحلی ایران به عنوان روش قابل قبول پیشنهاد نمود. سبزی پرور و شتایی (۲۰۰۶)، نشان دادند که مدل‌های پایه‌گذاری شده بر پارامتر ابرناکی تخمین‌های خوبی از تابش خورشیدی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک ارائه می‌دهد.

دسترسی به داده‌های تابش خورشیدی به دلیل پراکندگی شبکه‌های موجود دارای محدودیت است (زلنکا و همکاران، ۱۹۹۹). در ایران متأسفانه ایستگاه‌های سنجش تابش خورشیدی به تعداد کافی وجود ندارد و در بیشتر موارد اندازه‌گیری‌ها به دلیل مسائل مربوط به کالیبراسیون، نصب و نگهداری ابزار تابش سنجی و بعضی مشکلات دیگر از جمله مسائل مربوط به ثبت و انتقال داده‌های تابش از کیفیت مطلوب برخوردار نبوده و برای مطالعات درازمدت کارایی لازم را ندارند. اندازه‌گیری‌های تابش در این ایستگاه‌ها به صورت نقطه‌ای است، برای استفاده کارآمد و کاربردهای بهتر برآورد دقیق‌تر مؤلفه‌های تابش به صورت پهنه‌ای در گستره کشور ضروری است. با توجه به موارد بالا، تاکنون شناخت دقیقی از میزان تابش خالص خورشیدی و بودجه تابشی زمین در گستره ایران وجود ندارد. لذا،

1Perez

2 Zelenka

آگاهی از موارد فوق و دستیابی به میزان تابش خالص خورشیدی در سطح زمین در کشور ضروری به نظر می‌رسد؛ بنابراین با توجه به اینکه تاکنون کار جامعی در زمینه تابش خالص و مؤلفه‌های آن در ایران انجام نشده، این پژوهش برای نخستین بار به بررسی این موضوع پرداخته است. بدین منظور با توجه به پوشش بی‌ظنیر زمانی و مکانی به همراه تفکیک مکانی کمتر از یک درجه داده‌های پایگاه داده CFSR، این پژوهش برای نخستین بار به برآورد شار تابش خالص و مؤلفه‌های آن در سطح زمین و در گستره ایران می‌پردازد.

۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش گستره کشور ایران است که بین عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی قرار گرفته است.

۳. مواد و روش‌ها

محاسبات این پژوهش با استفاده از داده‌های روزانه CSFR و برای ساعات بیشینه و کمینه انرژی خورشیدی در دوره زمانی ده ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ انجام شده است. بر این اساس زمان بیشینه انرژی ورودی به سطح زمین در ساعت ۱۲ به وقت محلی و همچنین زمان کمینه انرژی موجود در سطح زمین در ساعت ۶ به وقت محلی در نظر گرفته شده است. داده‌های استفاده شده شامل شار انرژی طول موج بلند ورودی، شار برگشتی انرژی طول موج بلند، شار طول موج کوتاه خورشیدی ورودی، شار برگشتی انرژی طول موج کوتاه خورشیدی است. این داده‌ها دارای فرمت GRIB2 هستند و برای استفاده از این داده‌ها در محیط لینوکس برنامه‌ای با زبان فرترن نوشته شد که داده‌های ساعتی روزانه شار با فرمت cti تولید و پس از آن در محیط نرم‌افزار GRADS فرمت DAT میانگین ساعتی ماهانه درازمدت این داده‌ها ساخته و برای تحلیل آماری این داده‌ها در محیط فرترن به فرمت txt تبدیل گردیدند و الگوریتم محاسبات مورد نظر در محیط نرم‌افزار GRADS برنامه‌نویسی شده و در پایان خروجی‌های مورد نظر به دست آمده است.

اساساً توازن مؤلفه‌های شارهای تابشی در سطح زمین برابر شار انرژی تابش خالص است که این شار سپس به شارهای گرمایی از جمله شار گرمای نهان، شار گرمای محسوس و شار گرمای درون زمین تبدیل می‌شود. شارهای انرژی موجود در سطح زمین باید ترازمند باشند؛ بنابراین توازن انرژی سطحی عبارت است از:

$$R_N + H_L + H_S + H_G = 0 \quad (1)$$

آگاهی از توازن انرژی سطحی مستلزم شناخت هر یک از مؤلفه‌های رابطه فوق است. انرژی ورودی و خروجی در سطح زمین بر اساس قانون پایستگی انرژی به توازن می‌رسد. تابش خالص که با R_n نشان داده

می‌شود، از توازن تابش بین تابش خالص موج کوتاه و تابش خالص موج بلند در سطح زمین به دست می‌آید (آریا^۱، ۲۰۰۹). توازن تابشی در جهت قائم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$R_N = R_{S\downarrow}(1 + \alpha) + \varepsilon(R_{L\downarrow} + R_{L\uparrow}) \quad (2)$$

میزان تابش خالص در بودجه انرژی سطح زمین توسط رابطه ۲ و با استفاده از چهار مؤلفه رابطه توازن تابشی، برآورد می‌گردد. در رابطه ۲ و R_N تابش خالص (برحسب Wm^{-2})، $R_{S\downarrow}$ تابش موج کوتاه ورودی (برحسب Wm^{-2})، $R_{S\uparrow}$ تابش موج کوتاه خروجی (برحسب Wm^{-2})، $R_{L\downarrow}$ تابش موج بلند ورودی گسیل شده از جو (برحسب Wm^{-2})، $R_{L\uparrow}$ تابش موج بلند خروجی گسیل شده از سطح زمین (برحسب Wm^{-2})، α سپیدایی سطح برای تابش موج کوتاه (-) و $0 \leq \varepsilon$ گسیلابی گرمایی سطح (-) است. R_N می‌تواند مثبت یا منفی باشد. تابش خالص مثبت در مدت روزهای آفتابی هنگامی که $R_{S\downarrow}$ بزرگ است رخ می‌دهد. در شب، تابش خالص معمولاً منفی است زیرا $R_{S\downarrow}$ حدود صفر است؛ بنابراین در شب تابش موج بلند خروجی از سطح زمین معمولاً برابر عبارتی بزرگ است. سپیدایی سطح (α) نسبت تابش بازتابیده به تابش خورشیدی رسیده در سطح زمین است.

$$\alpha = \frac{R_{S\uparrow}}{R_{S\downarrow}} \quad (3)$$

که $R_{S\downarrow}$ تابش موج کوتاه ورودی (برحسب Wm^{-2}) و $R_{S\uparrow}$ تابش موج کوتاه خروجی (برحسب Wm^{-2}) است. تابش موج بلند از سطح زمین به دما و گسیلابی سطح آن وابسته است و از رابطه زیر برآورد می‌شود.

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (4)$$

که ε گسیلابی سطح زمین است و در این مطالعه برابر رابطه زیر است.

$$\varepsilon = \frac{R_{L\uparrow}}{R_{L\downarrow}} \quad (5)$$

جهت شارها در نزدیکی زمین قراردادی است. بر اساس قرارداد در طی ساعاتی که جهت شار از سطح زمین به بیرون از آن است، آن را منفی و در طی ساعاتی که جهت شار از جو به سطح زمین است آن را مثبت در نظر گرفته‌ایم. جهت شارها در طی ساعات شب و ارون جهات روزانه می‌باشد. البته باید در نظر داشت که در ساعات گذر از روز به شب (غروب آفتاب) و شب به روز (طلوع آفتاب) جهت شارها در حال تغییر است.

۴. بحث و نتایج

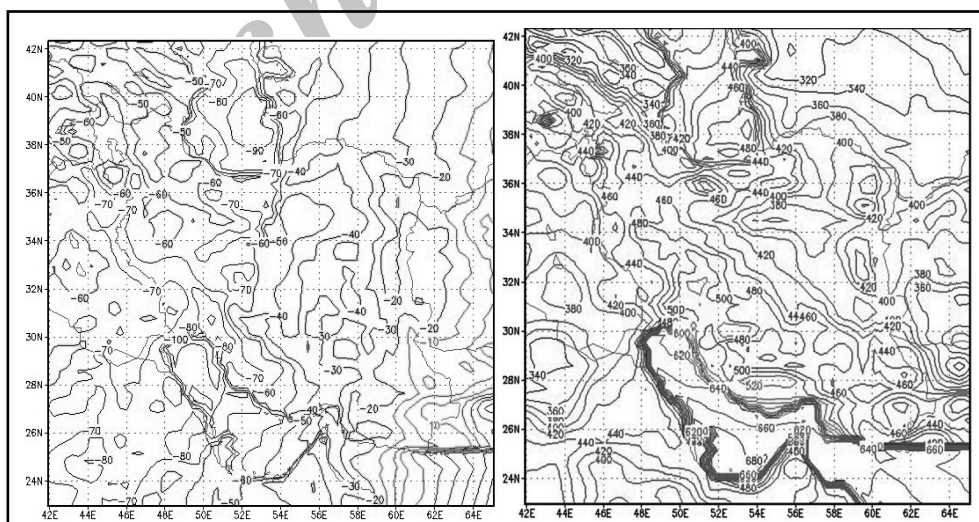
۴.۱. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه اکتبر

میانگین درازمدت این شار در ساعت ۳ UTC (۶ محلی) ماه اکتبر در بیشتر نواحی کشور به سبب از دست دادن انرژی منفی است و تنها در قسمت جنوب شرق به سبب ارتفاع بیشتر خورشید و بیشتر بودن میزان انرژی دریافتی از

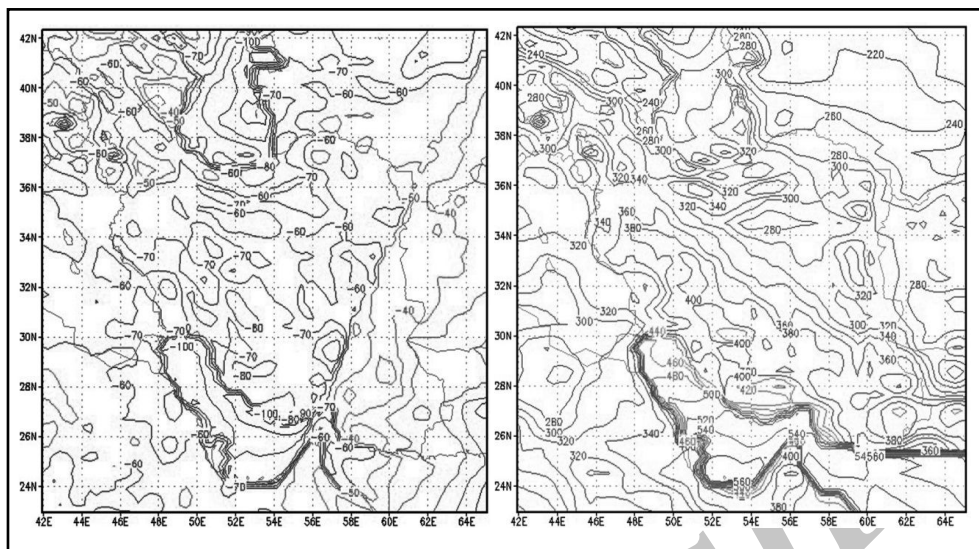
انرژی خروجی، مثبت است. با افزایش شارهای ورودی از غرب به سوی شرق مقدار این شار به تراز نزدیک شده است. بیشینه کمبود انرژی در هسته بارشی زاگرس از بندر دیلم تا دهلران در حدود -۸۰ وات دیده می‌شود. در شرق ایران شهر مقدار شار تابش خالص مثبت و در حدود ۱۰ وات است. در ساعت ۹ UTC (محلی ۱۲) به سبب ارتفاع بیشینه خورشید و افزایش شارهای ورودی، مقدار شار تابش خالص در کل کشور مثبت است و نشان‌دهنده دریافت انرژی و گرم شدن سطح زمین است. به طور کلی پراکندگی تابش خالص در این زمان از پراکندگی سپیدایی سیاره‌ای تأثیرپذیر است. در رشته کوه زاگرس با افزایش ارتفاع بر میزان تابش خالص افزوده شده و نواحی پرارتفاع آناز بیش از ۵۰۰ وات انرژی تابش خالص برخوردار هستند و دیده می‌شود که بیشینه شار بر کمینه سپیدایی سیاره‌ای منطبق است. تمرکز بیشینه سپیدایی سیاره‌ای بر روی کویر لوت و دشت کویر سبب کاهش میزان تابش خالص شده است و مرکز دشت کویر دارای کمینه شار حدود ۳۶۰ وات است. در ناهمواری‌های ارسباران و کرانه‌های غربی دریای کاسپین به دلیل عرض جغرافیایی زیاد، ناهمواری‌ها، پوشش گیاهی متراکم و نزدیکی به دریا تابش خالص بسیار اندک و حدود ۳۸۰ وات است.

۲.۴. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه نوامبر

میانگین درازمدت این شار در ساعت ۳ UTC (محلی ۶) ماه نوامبر در کل کشور منفی و بین -۳۰ تا -۸۰ وات متغیر است که نشان دهنده از دست دادن انرژی و برون‌داد انرژی از سطح زمین است. در نواحی جنوب شرق به سبب رخداد طلوع خورشید و افزایش شارهای ورودی مقدار برون‌داد انرژی کاهش یافته است و در چابهار و ارتفاعات شرق ایران شهر به کمینه -۳۰ وات رسیده است. شار تابش خالص در نواحی مرکزی و غربی کشور تنها تحت تأثیر طول موج بلند است. بیشینه کمبود شار در استان فارس در حدود -۸۰ وات دیده می‌شود.



شکل ۱ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه اکتبر در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست)



شکل ۲ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه نوامبر در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست)

میانگین درازمدت شار تابش خالص در ساعت ۹ UTC (۱۲ محلی) ماه نوامبر در گستره کشور مثبت و نشان دهنده دریافت انرژی و گرم شدن سطح زمین است. در این ماه با کاهش ارتفاع خورشید و پیشروی سامانه‌های جوی به سوی عرض‌های پایین‌تر مقدار شار تابش خالص کاهش یافته است. به طوری که در نواحی استان فارس و اطراف لار به سبب دریافت تابش خالص زیاد و کم بودن سپیدایی سیاره‌ای مقدار تابش خالص به بیشینه ۴۲۰ وات رسیده است. مقدار کمینه شار تابش خالص در دشت کویر در حدود ۲۸۰ وات دیده می‌شود. در این زمان با اینکه بیشینه شار تابش کل در نواحی جنوب شرق قرار دارد، به دلیل استقرار بیشینه سپیدایی سیاره‌ای در این منطقه، مقدار تابش خالص در این منطقه کاهش یافته است.

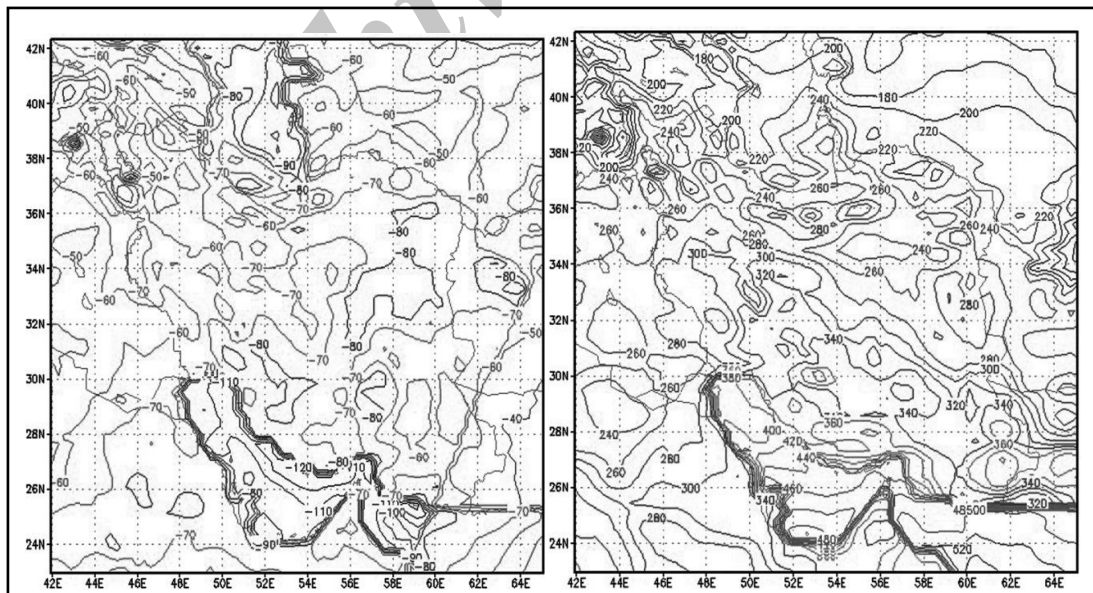
۴.۳. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه دسامبر

به طور کلی میانگین شار تابش خالص در ساعت ۳ UTC (۶ محلی) ماه دسامبر در گستره ایران منفی است و سطح زمین در حال از دست دادن انرژی است. مقدار این شار بین ۵۰- تا ۸۰- وات متغیر است. به سوی نواحی جنوب شرق با افزایش شارهای ورودی از مقدار کمبود شار تابش خالص کاسته شده و در چابهار به حدود ۵۰- وات رسیده است. در نواحی اطراف شیراز، هزار و لاله زار و همچنین اطراف بیرجند و مشهد به سبب بیشینه بودن سپیدایی سیاره‌ای مقدار کمبود شار تابش خالص به بیشینه ۸۰- وات رسیده است. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ساعت ۹ UTC (۱۲ محلی) ماه دسامبر از جنوب به سوی شمال کاهش یافته است. با آنکه بیشینه شار تابش کل در سواحل دریای عمان است اما به دلیل برخورداری از سپیدایی سیاره‌ای

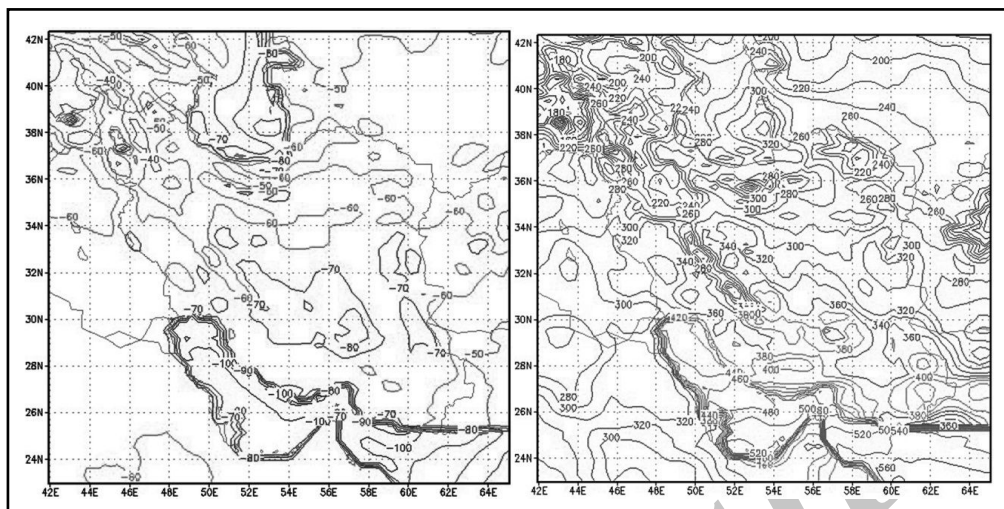
بیشتر، بیشینه شار تابش خالص در حدود ۳۶۰ وات در ناهمواری‌های شرق ایران‌شهر و همچنین شرق لار دیده می‌شود. با افزایش عرض جغرافیایی مقدار این شار کاهش یافته و کمینه آن در عرض‌های شمالی آذربایجان و همچنین رشته کوه کپه داغ در حدود ۲۰۰ وات دیده می‌شود.

۴. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه ژانویه

در ساعت ۳ UTC (۶ محلی) ماه ژانویه دایره روشنایی تنها محدوده کوچکی از جنوب شرق کشور را در بر گرفته است. میانگین درازمدت شار تابش خالص نشان دهنده کمبود شار در کل کشور است. می‌توان نتیجه گرفت که شار تابش خالص در این ساعت بجز در نواحی جنوب شرق در سایر نواحی تحت تأثیر شار طول موج بلند است. مقدار شار تابش خالص در ناحیه رشته کوه هزار و لاله زار به سبب بیشینه گسیلایی و سپیدایی سیاره‌ای، به بیشینه کمبود خود در حدود ۸۰- وات رسیده است. مقدار شار تابش خالص در ساعت ۹ UTC (۱۲ محلی) در این ماه در کل کشور مثبت است و نشان می‌دهد که شار انرژی دریافتی بیش از شار خروجی است. مقدار شار از جنوب به سوی شمال کاهش یافته است و بیشینه شار در ناهمواری‌های شرق ایران‌شهر و نواحی جنوب لار بیش از ۴۰۰ وات دیده می‌شود. کمینه مقدار شار در نواحی آذربایجان، دماوند و رشته کوه بینالود کمتر از ۲۲۰ وات است که بر بیشینه سپیدایی سیاره‌ای منطبق است. همچنین در سواحل دریای کاسپین مقدار شار از شرق به سوی غرب کاهش یافته است.



شکل ۳ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه دسامبر در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست)



شکل ۴ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه ژانویه در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست)

۵. ۴. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه فوریه

میانگین درازمدت شار تابش خالص در ساعت ۳ UTC (۶ محلی) ماه فوریه نشان دهنده کمبود انرژی در سطح زمین و منفی بودن این شار در کل کشور است. به سبب ارتفاع بیشتر خورشید در جنوب شرق از مقدار کمبود شار تابش خالص کاسته شده و به کمینه ۴۰- وات رسیده است. در ناهمواری‌های بین آباده تا اراک به سبب وجود بیشینه سپیدایی سیاره‌ای و گسیلابی محلی، بیشینه کمبود انرژی در حدود ۸۰- وات دیده می‌شود. ملاحظه می‌شود که بیشینه کمبود شار تابش خالص بر کمینه شار تابش کل و همچنین کمینه کمبود شار تابش خالص بر مقادیر بیشینه شار تابش کل منطبق است. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ساعت ۹ UTC (۱۲ محلی) مثبت و نشان دهنده افزایش و ذخیره انرژی در سطح زمین و گرم شدن آن است. مقدار این کمیت از جنوب به سوی شمال کاهش یافته است. بیشینه شار در ناهمواری‌های شرق ایران شهر، اطراف لار و جنوب شرقی ابرکوه بیش از ۵۰۰ وات است. مقدار این کمیت در قله پر ارتفاع زاگرس به سبب وجود برف، کاهش شار طول موج بلند و افزایش سپیدایی سیاره‌ای به شدت کاهش یافته و به کمتر از ۳۰۰ وات رسیده است. همچنین در نواحی غرب و شمال غرب به سبب وجود برف، افزایش سپیدایی سیاره‌ای و کاهش شار تابش کل مقدار شار تابش خالص نیز کاسته شده و به کمتر از ۳۲۰ وات رسیده است. مقدار این شار در نواحی داخلی فلات ایران به دلیل برخورداری از سپیدایی محلی زیاد نسبت به نواحی هم‌جوار کمتر است و در کویر لوت و جازموریان حدود ۴۴۰ وات و در دشت کویر حدود ۳۸۰ وات است. به سوی خراسان از مقدار آن کاسته شده و در ناحیه کپه داغ به کمتر از ۳۰۰ وات کاهش یافته است. در سواحل دریای کاسپین به سبب افزایش ابرناکی و سپیدایی محلی، مقدار شار تابش خالص از شرق به سوی غرب کاسته شده است.

۴.۶. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه مارس

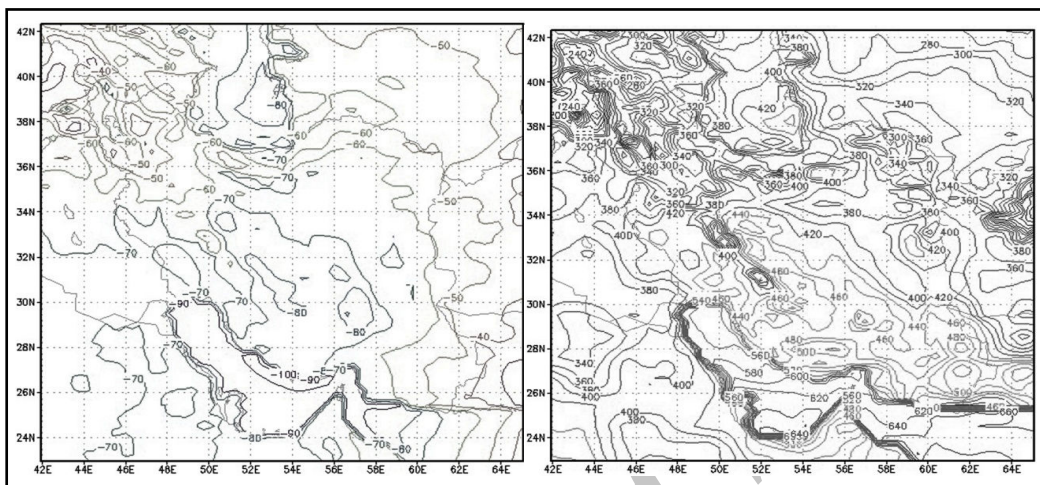
میانگین طولانی مدت شار تابش خالص در ساعت ۳ UTC (۶ محلی) در کل کشور منفی و نشان دهنده سرد شدن سطح زمین و برونداد بیشتر انرژی است. از شرق به سوی غرب به سبب کاهش شارهای ورودی و افزایش سپیدایی سیاره‌ای بر مقدار کمبود انرژی افزوده می‌شود. همچنین مقدار کمبود شار در نواحی زاگرس مرکزی و حوضه کارون-دز و بخش‌هایی از خوزستان به سبب وجود بیشینه گسیلایی محلی و سپیدایی سیاره‌ای به مقدار بیشینه ۸۰- وات رسیده است. به سوی شرق کشور به دلیل افزایش شارهای ورودی و کاهش سپیدایی سیاره‌ای از مقدار کمبود انرژی تقریباً به صورت نصف‌النهاری کاسته شده است. در سواحل شمالی نیز به سبب ارتفاع بسیار پایین خورشید و توزیع نسبتاً یکسان شرقی - غربی شار طول موج بلند ورودی و گسیلایی محلی مقدار شار از افت و خیز کمتری برخوردار است.

مقدار شار تابش خالص در ساعت ۹ UTC (۱۲ محلی) مثبت و نشان دهنده ذخیره کردن انرژی و در نتیجه گرم شدن سطح زمین است. مقدار آن از جنوب به سوی شمال با کاهش همراه است. بیشینه شار تابش خالص در این ماه به سبب افزایش شار موج کوتاه ورودی و سپیدایی نسبتاً اندک در ناهمواری‌های شرق ایران شهر و از بافت تا گلپایگان در شرق زاگرس و همچنین اطراف لار با مقدار بیش از ۵۶۰ وات دیده می‌شود. مقدار این شار در خوزستان حدود ۵۰۰ وات است که در نواحی مرتفع زاگرس به دلیل دریافت بیشتر شار طول موج کوتاه ورودی بیشتر شده و به بیش از ۵۶۰ وات رسیده است و به سوی آذربایجان به دلیل کاهش شار تابش کل با کاهش همراه است. در نواحی دشت لوت، دریاچه هامون و دشت کویر و خراسان به سبب افزایش سپیدایی سیاره‌ای از مقدار شار تابش خالص کاسته شده است. در سواحل دریای کاسپین در اثر کاهش شار طول موج کوتاه ورودی از شرق به سوی غرب مقدار شار تابش خالص نیز از ۵۲۰ وات در استان گلستان به کمتر از ۴۴۰ وات در آستارا رسیده است.

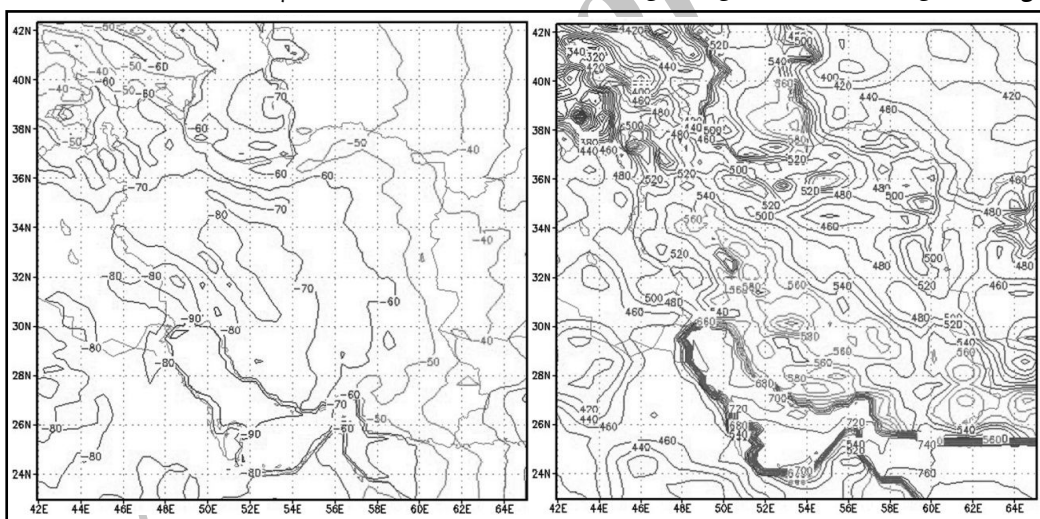
۴.۷. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه آوریل

میانگین طولانی مدت شار تابش خالص در ساعت ۲ UTC (۶ محلی) در کل کشور منفی است و کمبود انرژی در سطح زمین و سرد شدن آن را نشان می‌دهد. با کاهش شارهای ورودی از شرق به سوی غرب بر مقدار کمبود شار افزوده شده و در جنوب غربی کشور به بیشینه ۸۰- وات رسیده است. در این ماه به سبب تغییر زاویه دایره روشنایی و افزایش طول روز در عرض‌های شمالی‌تر مقدار کمبود انرژی نیز در این عرض‌ها کمتر است؛ بنابراین کمینه کمبود انرژی در نواحی شمال شرقی کشور در حدود ۴۰- وات دیده می‌شود. مقادیر مثبت این شار در ساعت ۸ UTC (۱۲ محلی) نشان دهنده افزایش انرژی دریافت شده نسبت به انرژی خروجی از سطح زمین است. الگوی این شار تحت تأثیر شار طول موج کوتاه ورودی و سپیدایی سیاره‌ای است و مقدار آن در نواحی مرتفع به دلیل افزایش شار طول موج کوتاه ورودی و کاهش سپیدایی سیاره‌ای، بسیار زیاد است. در ناهمواری‌های شرق ایران شهر و هزار و لاله زار و

نواحی پرارتفاع زاگرس و البرز مرکزی بیشینه شار تابش خالص بیش از ۶۲۰ وات دیده می‌شود. در نواحی داخلی ایران مرکزی به سبب افزایش سپیدایی سیاره‌ای و همچنین در سواحل دریای کاسپین با افزایش سپیدایی سیاره‌ای و کاهش شارهای ورودی به دلیل رطوبت جو از مقدار شار تابش خالص کاسته شده است.



شکل ۵ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه فوریه در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست)



شکل ۶ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه مارس در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست)

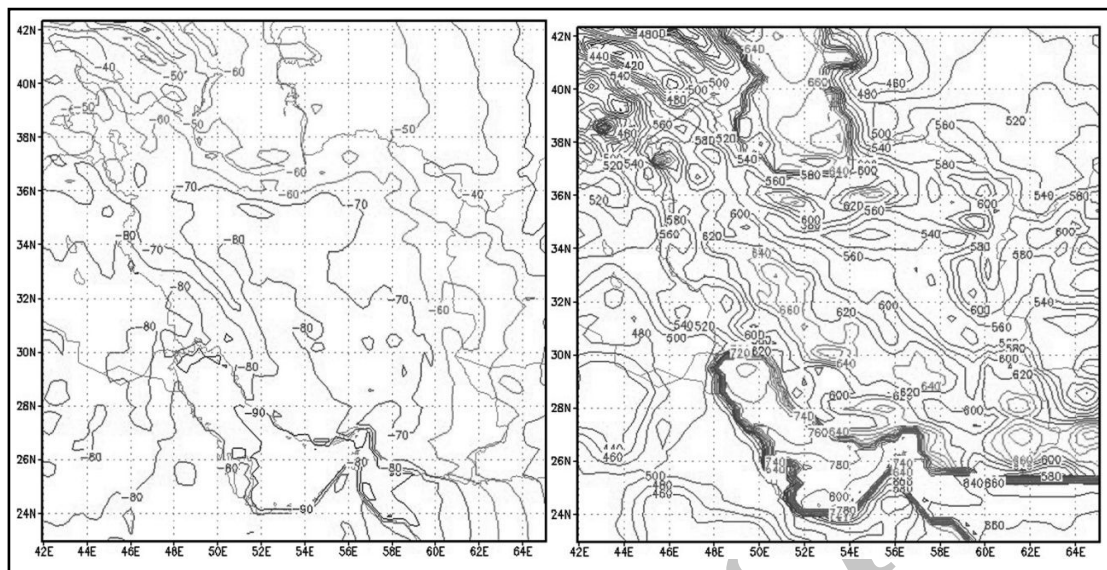
۸. ۴. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه می

در این ماه با وجود نزدیکی دایره روشنایی به مرزهای غربی کشور و ارتفاع بیشتر خورشید، اما میانگین درازمدت شار تابش خالص در ساعت ۲ UTC (۶ محلی) در کشور منفی است و نشان می‌دهد که شارهای ورودی به سطح زمین هنوز به اندازه‌ای نیستند تا کمبود انرژی در سطح زمین را جبران نمایند. از شرق به سوی غرب به سبب کاهش

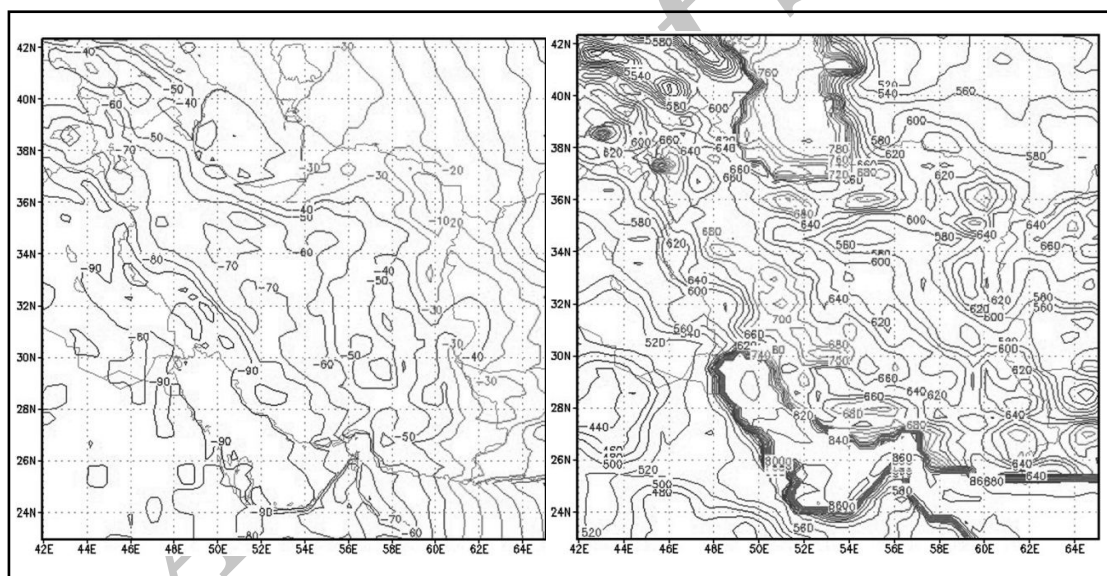
شارهای ورودی بر مقدار کمبود شار تابش خالص افزوده شده است. بیشینه کمبود انرژی در حدود ۹۰- وات در نواحی جنوب غرب منطبق بر بیشینه سپیدایی سیاره‌ای دیده می‌شود. به سبب انحراف زاویه دایره روشنایی، افزایش شارهای ورودی و افزایش طول روز در عرض‌های شمالی، در نواحی شمال شرق مقدار شار تابش خالص به سوی مقادیر مثبت میل نموده و کمینه کمبود انرژی در این ناحیه دیده می‌شود. همچنین موقعیت مکانی بیشینه شار تابش خالص نیز به عرض‌های بالاتر انتقال یافته است. در نقشه میانگین شار تابش خالص در ساعت UTC۸ (۱۲ محلی) دیده می‌شود که به دلیل ارتفاع بیشینه خورشید و افزایش شارهای ورودی مقادیر این شار مثبت هستند و سطح زمین در حال گرم شدن و ذخیره انرژی است. توزیع این کمیت از نظم خاصی برخوردار نیست و با آنکه بیشینه شار تابش کل در نواحی جنوب شرق است، اما به سبب وجود بیشینه سپیدایی سیاره‌ای در این ناحیه، بیشینه آن در نواحی پرارتفاع زاگرس با مقدار بیش از ۷۰۰ وات دیده می‌شود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که نواحی پرارتفاع به سبب دریافت بیشتر شار طول کوتاه ورودی و برخورداری از سپیدایی اندک از مقدار شار بیشتری برخوردار هستند. کمینه شار تابش خالص در حدود ۵۶۰ وات در مرکز دشت کویر به سبب برخورداری از سپیدایی محلی و سیاره‌ای بسیار زیاد دیده می‌شود.

۴.۹. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه ژوئن

در این ماه دایره روشنایی مرزهای غربی کشور را در بر گرفته است و میانگین درازمدت شار تابش خالص در ساعت UTC۲ (۶ محلی) نشان می‌دهد که عرض‌های بالاتر مقدار انرژی بیشتری دریافت کرده و شار تابش خالص به سوی مقادیر مثبت میل کرده است. روند مقدار شار تابش خالص نشان دهنده افزایش کمبود شار از شمال شرق به سوی جنوب غرب است. کمبود شار در نواحی شمال شرق به حدود صفر وات رسیده است و نشان دهنده دریافت شارهای ورودی بیشتر در این ناحیه است. از سوی دیگر بیشینه کمبود شار در خوزستان و حوضه کارون دز و کرخه در حدود ۱۰۰- وات است. سپیدایی سیاره‌ای در شمال شرق دارای مقادیر کمینه و در جنوب غرب دارای مقادیر بیشینه است. به سبب مقدار زاویه دایره روشنایی و افزایش طول روز عرض‌های بالاتر از مقدار انرژی دریافتی بیشتری برخوردار هستند. مقدار میانگین درازمدت شار تابش خالص در ساعت UTC۸ (۱۲ محلی) در نواحی زاگرس مرکزی و شمالی، آذربایجان و البرز مرکزی و به ویژه در ارتفاعات این نواحی به دلیل برخورداری از سپیدایی سیاره‌ای کمتر از افزایش چشم‌گیری برخوردار بوده و بیش از ۶۸۰ وات است. از سوی دیگر کمترین میزان شار تابش خالص به دلیل بیشترین مقدار سپیدایی سیاره‌ای در نواحی دشت کویر در حدود ۵۶۰ وات است.



شکل ۷ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه آوریل در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست)



شکل ۸ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه می در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست)

۱۰. ۴. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه ژوئیه

در این ماه جابه جایی شرق سوی دایره روشنایی سبب تغییراتی در مقادیر شارهای ورودی و خروجی شده است. میانگین شار تابش خالص در ساعت ۲ UTC (۶ محلی) ماه ژوئیه نشان دهنده ارقام منفی است که حاکی از کمبود انرژی در سطح زمین می باشد. الگوی کلی در این ماه نیز نشان دهنده روند افزایش کمبود

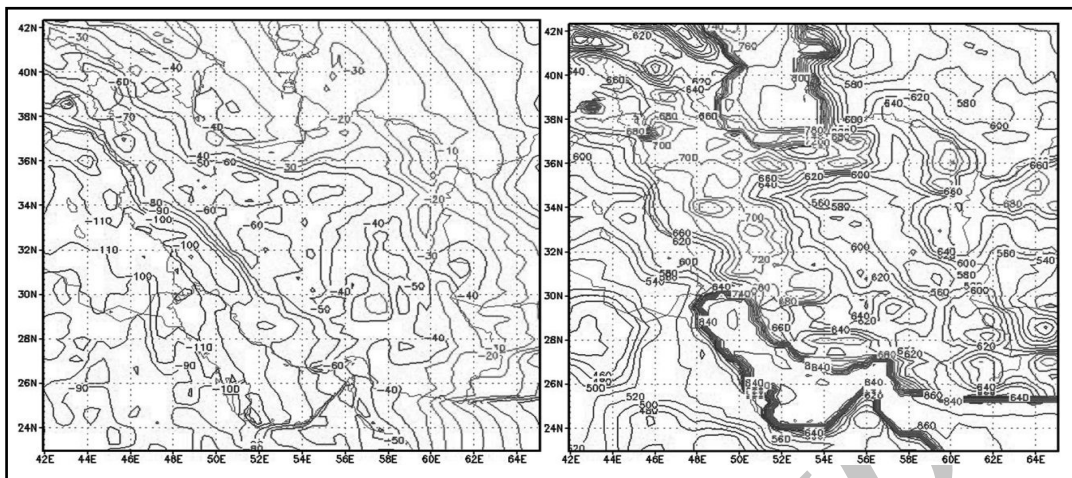
انرژی از شمال شرق به سوی جنوب غرب است. مقدار کمبود شار انرژی از نواحی شمال شرق به سوی جنوب غرب افزوده شده و در خوزستان و حوضه کارون-دز و کرخه به بیش از ۱۰۰- وات رسیده است. میانگین درازمدت تابش خالص در ساعت UTC۸ (۱۲ محلی) نشان می‌دهد که بیشینه این شار در این ماه نیز در نواحی زاگرس مرکزی و شمالی و همچنین در نواحی آذربایجان و البرز مرکزی دیده می‌شود. در این نواحی به سبب افزایش شارهای ورودی و کاهش سپیدایی سیاره‌ای مقدار بیشینه شار تابش خالص وجود دارد. کمینه آن نیز در نواحی مرکزی دشت کویر به سوی دریاچه هامون در اثر افزایش سپیدایی سیاره‌ای دیده می‌شود. در سواحل دریای کاسپین نیز مقدار شار از شرق به سوی غرب به سبب کاهش شارهای ورودی کاهش یافته است.

۴. ۱۱. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه آگوست

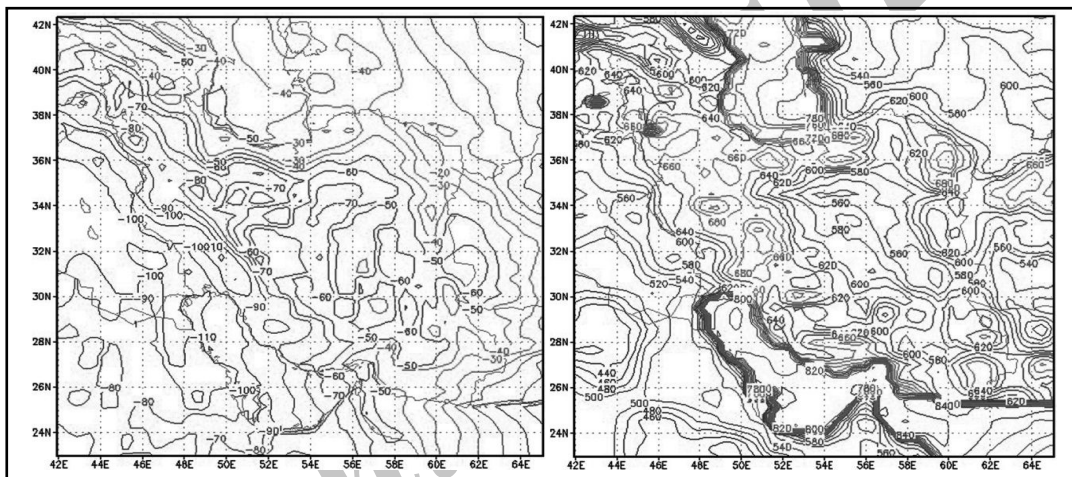
در این ماه با عقب نشینی دایره روشنایی به سوی شرق، تغییر زاویه آن و کاهش شارهای ورودی، مقدار کمبود شار تابش خالص در ساعت UTC۲ (۶ محلی) نیز افزایش یافته است. با تغییر زاویه دایره روشنایی نیز اختلاف مقادیر شارهای ورودی در طول یک نصف النهار با کاهش همراه بوده است. مقدار کمینه کمبود شار در نواحی جنوب شرق در حدود ۴۰- وات و مقدار بیشینه آن در حوضه‌های کارون-دز و کرخه با بیش از ۱۱۰- وات به سبب انطباق بر بیشینه سپیدایی سیاره‌ای دیده می‌شود. در ساعت UTC۸ (۱۲ محلی) به سبب وجود مقادیر بیشینه شارهای ورودی در ناهمواری‌های زاگرس مرکزی، مقدار بیشینه شار تابش خالص بیش از ۶۸۰ وات در این ناحیه دیده می‌شود. در این ماه به سبب تداوم فعالیت سامانه‌های مونسون در جنوب شرق از مقدار شارهای ورودی در این منطقه اندکی کاسته شده است. در نتیجه مقدار شار تابش خالص نیز در این ناحیه حدود ۶۲۰ وات می‌باشد. در سواحل دریای کاسپین نیز مقدار شار تابش خالص از شرق به سوی غرب در اثر افزایش ابرناکی و کاهش شارهای ورودی کاهش یافته است، مقدار این شار در استان گلستان بیش از ۶۶۰ وات است که به سوی غرب کاهش یافته و در بندر انزلی به کمتر از ۵۸۰ وات رسیده است.

۴. ۱۲. میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه سپتامبر

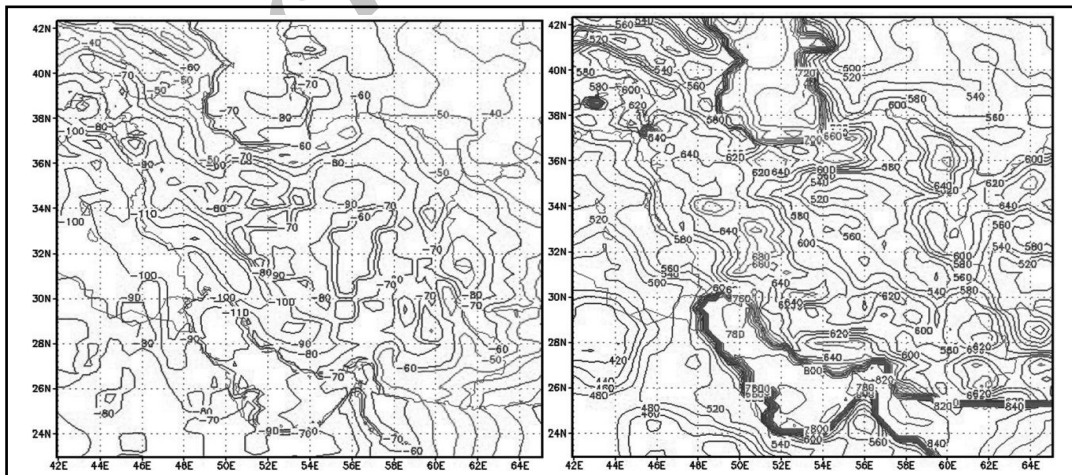
با رخداد اعتدالین در این ماه تغییرات شار ورودی موج کوتاه در راستای نصف النهاری اندک است. میانگین شار تابش خالص در ساعت UTC۲ (۶ محلی) در کل کشور منفی و نشان دهنده برونداد بیشتر انرژی نسبت به دریافت انرژی در سطح زمین و سرد شدن آن است. مقدار کمبود شار تابش خالص در نواحی شرق چابهار به سبب بیشینه شارهای ورودی به کمینه ۳۰- وات رسیده است. به سوی غرب بر مقدار کمبود شار افزوده شده و در هسته بارشی زاگرس و حوضه‌های رودخانه‌ای آن از بندر دیلم تا دهلران مقدار آن به بیش از ۱۰۰- وات رسیده است. مقدار کمبود شار در نواحی شمالی ایران به سبب افزایش ذخیره رطوبت جو کاهش یافته و حدود ۵۰- وات است.



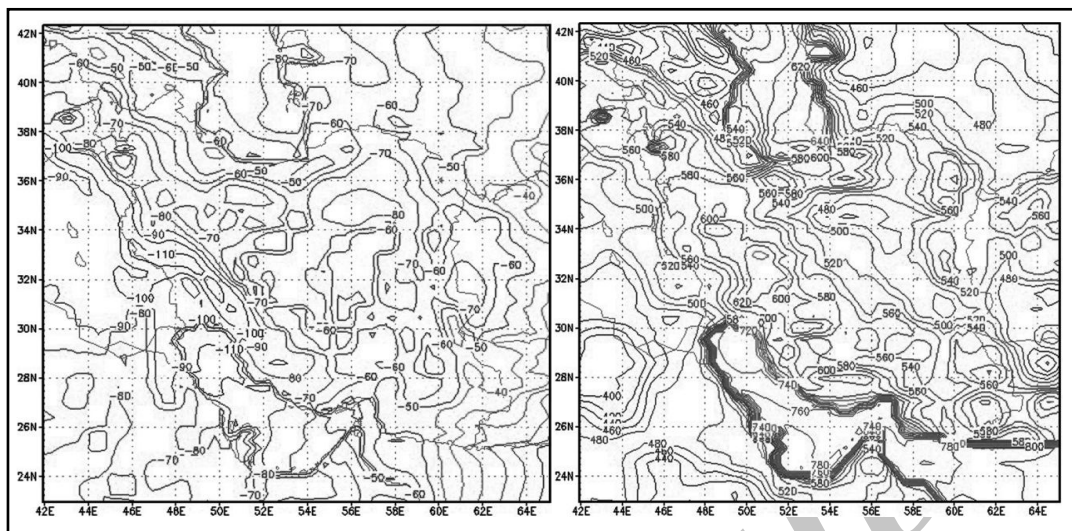
شکل ۹ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه ژوئن در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست)



شکل ۱۰ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه ژوئای در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست)



شکل ۱۱ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه آگوست در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست)



شکل ۱۲ میانگین درازمدت شار تابش خالص در ماه سپتامبر در ساعت ۶ (سمت چپ) و ساعت ۱۲ (سمت راست) در ساعت ۸ UTC (۱۲ محلی) با اینکه بیشینه شار طول موج کوتاه در نواحی اطراف دریاچه بختگان و شرق ایرانشهر دیده می‌شود اما بیشینه شار تابش خالص در زاگرس، اطراف لار و تا حدودی شرق ایرانشهر بیش از ۶۰۰ وات است. مقدار کمینه شار تابش خالص در نواحی مرکزی دشت کویر به سوی دریاچه هامون کمتر از ۵۰۰ وات است که بر بیشینه سپیدایی سیاره‌ای منطبق است. در سواحل دریای کاسپین به سبب کاهش شار طول موج کوتاه در سواحل غربی، مقدار شار تابش خالص نیز در این ناحیه کاهش یافته است و به کمتر از ۴۸۰ وات رسیده است.

۵. نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که میانگین درازمدت شار انرژی تابش خالص دارای رفتار سینوسی است و در زمان انقلاب تابستانی به بیشینه خود و در انقلاب زمستانی به مقدار کمینه خود رسیده است. شار تابش خالص در ساعت ۶ محلی در کل کشور در همه ماه‌های سال منفی است و نشان دهنده کمبود شار در این ساعت است. از سوی دیگر مقادیر منفی نشان می‌دهد که مقادیر برون‌داد انرژی بیش از مقادیر دریافت آن است. بیشینه کمبود شار در ماه‌های آگوست و سپتامبر در حدود ۱۱۰- وات در هسته بارش زاگرس دیده می‌شود. در این ساعت تنها در ماه ژوئن در ناحیه شمال شرق خراسان مقدار شار منفی نیست و در حدود صفر وات است. از سوی دیگر مقدار این شار در ساعت ۱۲ محلی مثبت است و نشان می‌دهد که مقدار شارهای ورودی بیش از مقدار برون‌داد است و انرژی در سطح زمین در حال ذخیره شدن و سپس گرم کردن آن است. در این ساعت بیشینه شار در ماه ژوئن در حدود ۷۲۰ وات در نواحی زاگرس مرکزی و دماوند دیده می‌شود. در حالی که کمینه شار در ماه دسامبر در حدود ۲۰۰ وات در نواحی شمال اردبیل و

ناهمواری‌های کپه داغ دیده می‌شود. تغییرات ماهانه شار انرژی نشان دهنده پیروی رفتار آن از تغییرات زاویه تابش خورشید، گردش عمومی جو و پدیده‌های محلی است. در فصول بهار و تابستان به سبب افزایش ارتفاع خورشید مقادیر بیشینه شار به سوی عرض‌های بالاتر جابه‌جا شده و نواحی زاگرس و آذربایجان از مقدار شار بیشتری برخوردار هستند. در فصل بهار مقدار بیشتر شار در نواحی آذربایجان سبب گرم شدن بیشتر سطح زمین و تقویت شار گرمای محسوس و افزایش بارش‌های همرفتی شده است. در ماه‌های می تا آگوست نیز انتظار می‌رود که بیشینه مقدار شار در نواحی جنوب شرق دیده شود اما به دلیل ورود سامانه‌های موسمی و افزایش ابرناکی، شارهای ورودی کاهش یافته و بنابراین بیشینه شار در عرض‌های بالاتر و به‌ویژه در زاگرس مرکزی دیده می‌شود. در فصول دوره بارش، یعنی از اکتبر تا می نیز به سبب کاهش ارتفاع خورشید و انتقال بیشینه شارهای ورودی به عرض‌های پایین‌تر مقادیر بیشینه شار در نواحی جنوب شرق و به‌ویژه شرق ایران‌شهر دیده می‌شود. به‌طور کلی در بررسی بیشینه شار لازم است تا به نواحی شرق ایران‌شهر، اطراف لار و قلل پراارتفاع زاگرس توجه کرد. به نظر می‌رسد در بررسی کمبود شار نیز باید نواحی هسته بارشی زاگرس، حوضه‌های آبخیز شمال خوزستان و رشته‌کوه‌های هزار و لاله زار تا باتلاق گاوخونی را در نظر گرفت.

کتابنامه

- خلیلی، علی؛ ۱۳۷۶. برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی. تحقیقات جغرافیایی. پاییز ۱۳۷۶. شماره ۴۶. ص ۴.
- خلیلی، علی، اسحاق مرادی و غلامعلی کمالی؛ ۱۳۸۱. مقایسه مدل‌های مختلف برآورد تابش مستقیم خورشید بر روی سطوح شیب‌دار. مجموعه مقالات دومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان.
- زارع، عظیمه؛ ۱۳۸۷. محاسبه شار تابشی سطحی با استفاده از یک مدل یک بعدی تابشی در منطقه کویری مرکز ایران. کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. دانشکده کشاورزی.
- صمیمی، جلال؛ ۱۳۶۴. انرژی خورشیدی برای ایران. مجله فیزیک. جلد سوم شماره ۲: صص ۱۸-۳۰.
- علیجانی، بهلول و کاویانی، محمدرضا؛ ۱۳۸۸. مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت.
- کمالی، غلامعلی و اسحاق مرادی؛ ۱۳۸۴. کنترل کیفیت و بازسازی داده‌های تابش کل خورشید. چهارمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان.
- مرادی، اسحاق؛ ۱۳۸۱. برآورد شدت تابش خورشیدی در سطوح شیب‌دار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی. دانشگاه تهران.

Alijani, A., Kaviani, M. R., 2009. Fundamental of Climatology. SAMT Press.

Diak, G. R., Gautier, C., 1983. Improvements to a simple physical model for estimating insolation from GOES data. Journal of Climate and Applied Meteorology 22, 505-508.

- Farhadi, Leila., 2012. Estimation of land Surface Water and Energy Balance Flux Componenets and Closure Relation Using Conditional Sampling, PhD Thesis in Civil and Environmental Engineering Massachusetts Institute of Technology.
- Gautier, C., Diak, G., Masse, S., 1980. A Simple Physical Model to Estimate Incident Solar Radiation at the Surface from GOES Satellite Data. *Journal of Applied Meteorology* 19, 1005-1012.
- IPCC., 2007. Assessment Report 4, Climate Change 2007: Synthesis Re port. IPCC.
- Jacobs, J. M., Myers, D. A., Anderson, M. C., Diak, G. R., 2000. GOES surface insolation to estimate wetlands evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 266, 53-65.
- Kamali, Gh. A., Moradi, E., 2005. Quality control and data reconstruction of solar radiation. Fourth International Conference on Energy Conservation in Buildings.
- Khalili, A., 1997. Estimation of solar radiation based on climate data in Iran. *Journal of Geographical research* 46, 4.
- Khalili, A., Moradi, E., Kamali, GH. A., 2002. Comparison of different estimates of direct sunlight on inclined surfaces. *Proceedings of the Second Symposium on Energy Conservation in Buildings*.
- Ma, Y., Su, Z., Li, Z., Koike, T., Menenti, M., 2002. Determination of regional net radiation and soil heat flux over a heterogeneous landscape of the Tibetan Plateau. *Hydrological Processes*, 16, 2963 - 2971.
- Moradi, E., 2002. Estimation of solar radiation on inclined surfaces. MSc thesis, agricultural meteorology, Tehran University.
- Perez, R., Seals, R., Zelenka, A., 1997. Comparing satellite remote sensing and ground network measurements for the production of site/time specific irradiance data. *Sol. Energy* 60, 89-96.
- Raghuvanshi, S. P., Raghav, A. K., Chandra, A., 2008. Renewable energy resources for climate change mitigation, *applied ecology and environmental research* 6(4), 15-27.
- Samimi, J., 1985. Solar Energy over Iran. *Journal of Physics* 2, 18-30.
- Sabziparvar, A. A., Shetaee, H., 2007. Estimation of global solar radiation in arid and semi-arid climates of East and West Iran, *Journal of Energy*, Volume 32, Issue 5, 649-655.
- Sabziparvar A. A., 2007. General formula for estimation of monthly mean global solar radiation in different climates on the south and north coasts of Iran, *International Journal of Photoenergy* 2007, Volume 2007, Issue 7.
- Zare, A., 2008. Calculation of Surface radiative flux using one-dimensional radiation model in the central desert area of Iran. Master of Science, Tehran University. Faculty of Agriculture.
- Zelenka, A., 1994. Combining Meteosat and surface network data: a data fusion approach for mapping solar irradiation. In: *Proceedings of the 10th Meteosat Scientific Users Conference*, Locarno Switzerland, 1994, published by Eumetsat, Darmstadt. Germany, pp 515