

## توازن تابش در سطح شهر یزد در ماه ژانویه ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۹۴/۰۷/۱۳

مصطفی کریمپور\* (هیأت علمی دانشگاه لرستان)

حسین محمدی (استاد دانشگاه تهران)

فرامرز خوش اخلاق (استاد یار دانشگاه تهران)

هوشنگ قائمی (استاد پژوهشگاه هوشناسی)

### چکیده

داده های CFSR با تفکیک مکانی یک دهم درجه و تفکیک زمانی ساعات (۰۷ و ۰۱ گریجویچ) از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ برای ماه ژانویه استخراج گردید و میانگین ماهانه ساعتی سپیدایی، شار تابش خالص در شرایط هوای صاف و ابری و اکاوی شد و این نتایج بدست آمد: میزان سپیدایی غرب شهر به دلیل ساخت شهری بیش تر از شرق شهر است. مقدار آن در روزهای که سطح شهر مرطوب بوده تا ۲ درصد کاهش پیدا میکند. میانگین شار خروجی موج بلند زمینی در شب در شمال شهر به دلیل گرمای تولید شده انسانی بیش تر از ناحیه جنوبی است که اختلاف آن ۴ وات بر متر مربع می باشد. اختلاف شار ورودی موج کوتاه انرژی خورشیدی در شرایط هوای صاف با ابری در ساعت هفت در این زمان بسیار زیاد بوده که در شرایط ابرناکی فقط ۱۵ درصد از مقدار انرژی ورودی در سطح شهر دریافت شده است. شار گرمای زمینی مانند دیگر مولفه های بودجه تابش توزیع یکنواختی ندارد و مقدار آن در جنوب بیش تر از شمال است، که در شمال و جنوب ۲۱ وات بر متر مربع اختلاف دارد. انتقال انرژی به صورت گرمای نهان در سطح شهر گاهی اوقات جهت شار آن در شمال و جنوب شهر بر خلاف هم دیده میشود. در ساعات اولیه شب بدلیل گرمای انسانی تولید شده بیش تر در شمال شهر جهت آن از زمین به درون جو و منفی است ولی در جنوب شهر از جو به سطح زمین دیده است.

**واژه های کلیدی:** شار تابش خالص، بودجه تابش خالص، سپیدایی، یزد

\* نویسنده رابط: mostafa\_karampoor@yahoo.com

## مقدمه

منبع اصلی تمام تابش رسیده به سطح زمین خورشید است، قسمت خیلی زیادی از آن مستقیم از خورشید و بخش دیگری به شکل بازتابش از سطح زمین، ابرها و تابش پراکنده از ذرات جو یا هواویزها وارد میشود. بهترین برآورد از ثابت خورشیدی که بوسیله سنجنده ماهواره در قله جو به دست آمده ۱۳۶۸ وات بر متر مربع است (آریا<sup>۱</sup>). که این مقدار با تغییر در فعالیت های لکه های خورشیدی تغییر میکند. به دلیل تیرگی، ابرناکی و دیگر گازهای موجود در جو مقدار انرژی خورشیدی کمتری نسبت به قله جو به سطح زمین می رسد. کسر مهمی از انرژی طول موج کوتاه ورودی توسط سطح زمین بازتابیده میشود. دانستن سپیدایی سطح زمین و تغییرات زمانی و مکانی ممکن آن به سبب فعالیت های انسانی مانند جنگل زدایی، کشاورزی و شهرسازی مورد توجه اقلیم شناسان است. بازتابایی ابرها نیز در روزهای ابری بسیار بالا است و قسمت مهمی از تابش توسط ابرها بازتاب میشود. قسمتی از انرژی ورودی و خروجی به یک سطح از طریق تابش طول موج بلند است، که مقدار آن با توجه به دمای سطح و مقدار ابرناکی تفاوت میکند. شهر یزد در منطقه ی بیابانی در حاشیه کویردربین طول ۵۴،۲۶-۵۴،۴ و عرض جغرافیایی ۳۱،۷۸-۳۱،۹۶ قرار دارد. گسترش آن جنوب شرقی- شمالغربی است و در منطقه ی جنوب شهر فضای باز شهری و بدون کاربری بیشتر از مناطق شمالی است. این پژوهش با توجه به گسترش شهری و ساخت و ساز، فعالیت انسانی و تاثیر آن بر مقدار سپیدایی، شار خالص در هوای صاف و در شرایط ابرناکی و هم چنین شار تابش خالص زمینی را محاسبه و به تحلیل آن پرداخته است. در ارتباط با موضوع در سطح دنیا کارهای ارزشمندی صورت گرفته است، میتوان به این نمونه ها اشاره کرد: در مطالعه چگالی شار گرمای سطحی خاک لخت توسط ام.دی.نواک و تی.ای.بلاک<sup>۲</sup> (۱۹۸۳) آنها نتیجه گرفتند که میانگین روزانه و بردش سالانه چگالی شار گرمای سطحی در هر کدام از جایگاههای مطالعاتی هنگامی که سطح خشک بوده متاثر نشده است ولی میزان کاهش رطوبت بیشتر از ۵۰ درصد بوده است. بای سرج بوریز و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۹۲) در تحقیق شبیه سازی انتقال جرم و گرما بین خاک لخت و جو در شمال افریقا و خاورمیانه به این نتیجه رسیدند که شبیه سازی عددی شرایط محیط طبیعی نتیجه بهتری از محاسبه شار گرما بدست میدهد. زهانکینگ لی و همکاران<sup>۴</sup> (۱۹۹۵) در وردایی

1 - Arya s.pal

2 - M.D.Novak &amp; T.A.Black

3 By Serge Bories &amp; et al

4 -Zhanqing Li &amp; et al

اثر ابرها بر روی جذب جوی تابش خورشیدی نشان دادند که اثر ابرها وردایی بالایی دارد و مدل‌های چرخش عمومی حال حاضر می‌توانند سهم جذب ابر با شبیه‌سازی آب و هوا را نشان دهند. پی سیلیر و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۵) در جداسازی شار گرمای محسوس به خاک لخت و جو خاطر نشان کردند، شار گرمای شبانه روزی خاک با رسانایی خاک و شار گرمای جو با سپیدایی وردش میکند. کل بی. ویلسون<sup>۲</sup> (۱۹۹۹) در مطالعه تغییرپذیری سالانه و فصلی شار انرژی بر بالای جنگلهای خزان برگ معتدله در شمال امریکا، نتیجه گرفت که هنگامی که برگها در فصل بهار رشد می‌کنند کاهش قابل توجهی در شار گرمای محسوس برخلاف افزایش تابش مشاهده می‌شود. سیمون رویز و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) در بررسی ویژگیهای شار گرمای سطحی در دریای مدیترانه از ۴۴ سال پیش با داده‌های جوی با دقت بالا، آنها مقدار شار گرمایی برای تابش خورشیدی ۱۶۸ وات در متر مربع را برآورد کردند که ۷۳ وات برای تابش خالص امواج بلند، ۷ وات در متر مربع برای گرمای محسوس و ۸۸ وات در متر مربع برای شار گرمای نهان تبخیر بدست آوردند. توازن گرما و آب سطح خاک لخت و توزیع پتانسیل گیاهی در دشت لوسی چین توسط آر. کیمورا و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۵) نشان داد که میانگین سالانه شار گرمای محسوس محدوده‌ای بین ۱۳ تا ۳۶ و شار گرمای نهان از ۱۴ تا ۴۰ وات بر متر مربع است. تاکاشی آسادا<sup>۵</sup> و همکاران با مطالعه‌ی ذخیره گرمایی پیاده‌رو و تاثیر آن بر جو پایینی نتیجه گرفتند که سطح پیاده‌رو آسفالت ۲۰۰ وات بر متر مربع بیشتر از خاک لخت انرژی به صورت انتقال گرمای محسوس دارد. نادپوآ<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی بعنوان برآورد شار گرمایی محسوس شهری با استفاده از شبکه تراکم بی سیم مشاهداتی هواشناسی دریافتند که با جایگزینی مناسب یک ایستگاه می‌توان برآورد خوبی از شار گرمای محسوس در شرایط همرفتی بدست آورد. در مقاله‌ی آب و هوا و جزیره شهری: سپیدایی، تبخیر و تعرق و گرمای انسانی که توسط حیدر تها<sup>۷</sup> (۱۹۹۷) صورت گرفت با شبیه‌سازی عددی نشان داد افزایش سپیدایی و پوشش گیاهی سطح با کاهش دمای سطح و هوای نزدیک سطح زمین همراه است. گریموند و اوکی<sup>۸</sup> (۲۰۰۲) در مقاله شار گرمای تلاطمی در ناحیه شهری: مشاهدات و طرح‌واره پراسنج‌سازی هواشناختی شهری در مقیاس محلی دو مدل را با هم

1 -P.Cellier &amp; et al

2 - Kell B .Willson

3 - simon Ruiz &amp; et al

4 - R.kimura &amp; et al

5 -Takashi Aseda &amp; et al

6 -Nadeua.F Daniel &amp; et al

7 -Hidar Taha

8 Grimmond &amp; oke

مقیاس کردند و مزایای هر کدام را در برآورد شار گرمای تلاطمی بحث کردند. اس.جی. ناگار و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۲) در پژوهش تخمین شار سطحی روزانه تابش و گرما در آناد هندوستان در طی روزهای ۱۳-۱۷ می ۱۹۹۷ آنها شار تابشی برآورد شده از راه های متفاوت با داده های مشاهداتی مقایسه کردند و نشان دادند که خطای مجذور میانگین داده های تابش خورشید ورودی ۳ درصد و تابش خالص ۸ درصد بوده و هم چنین نشان دادن مدل ها شار گرمای محسوس در کل کمتر از واقعیت برآورد شده است. پژوهش های در ایران صورت گرفته و می توان به کارهای زیر اشاره کرد. مروتی و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهش، مطالعه و فرمولاسیون میزان بودجه گرمایی تحت وزش بادهای شدید در خلیج گرگان، مقدار متوسط سالانه بودجه گرمایی تحت وزش باد شدید در خلیج گرگان ۱۱۸ وات در متر مربع بدست آوردند. ثنایی نژاد و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره ای در منطقه مشهد نشان دادند نواحی که پوشش گیاهی متراکم و دمای پایینی دارند دارای مقادیر بالای تبخیر و تعرق و مناطقی که دمای بالا و پوشش گیاهی پراکنده و کم دارند مقدار تبخیر و تعرق کمی دارند. مبارک حسن (۱۳۸۰) با عنوان مدل سازی عددی دمای سطح خاک، وی با استفاده از مدل عددی و با توجه به عوامل موثر بر دمای ارتفاع جعبه اسکرین، دمای ایستگاه های موسسه ژئوفیزیک و شمیران را برآورد نمود و سپس آنها را با داده های مشاهداتی تطبیق داد. زارعی (۱۳۸۷) در پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان محاسبه شار تابشی سطحی با استفاده از یک مدل بعدی تابشی در منطقه کویر مرکز ایران اشاره کرد که در موسسه ژئوفیزیک انجام شده است، او داده های مدل را با داده های مشاهداتی مدل SBDART مقایسه کرد و نشان داد که مدل در برآورد تابش کارایی خوبی دارد. و هم چنین برای اصلاح برآورد خروجی های مدل، چرخه شبانه روزی دما، دمای سطح را وارد مدل کرد و نتیجه بهتری گرفت. ثقفی و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی شارش و تلاطم در لایه مرزی جو یک منطقه با توپوگرافی پیچیده تهران نشان دادند که انرژی تلاطمی جنبشی در هنگام روز این کمیت بیشینه و در شب کمینه مقدار را دارد که بیانگر افزایش انرژی جنبشی تلاطمی هنگام روز و کاهش آن طی دوره پایدار شبانه است.

## روش شناسی و مدل پژوهش

داده‌های شار انرژی گرمایی NCEP/NCAR به روش انتقال تجمعی محاسبه شده است. روش نمونه گیری با بکارگیری میانگین ساعتی نتایج بررسی همزمان  $(W \Delta q, W \Delta t)$  برای محاسبه شارها بکار میرود. در این روش با استفاده از رابطه ۱ و ۲ بترتیب شار گرمای محسوس و نهان را برآورد می کنند.

$$H_S = \rho C_P C_H \{W \Delta t\} \quad (1)$$

$$H_L = \rho L C_E \{W \Delta t\} \quad (2)$$

$\rho$ ، چگالی هوا در سطح مورد بررسی است که از میانگین دمای سطح و فشار سطح دریا با استفاده از رابطه گاز آرمانی با تناسب دمای مجازی برای جبران هوای مرطوب بدست می آید.

$L$  گرمای نهان تبخیر است که با ثابت  $2.5 * 10^6 \text{ Jkg}^{-1}$  تقریب زده میشود.  $C_p$  گرمای ویژه هوا در فشار ثابت و مقدار ثابت آ  $1000 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  است.  $C_H$  و  $C_E$  به ترتیب ضریب انتقال گرمای نهان و محسوس میباشد. ضریب انتقال با سرعت باد افزایش و در هوای پایدار با ارتفاع کاهش می یابد. بر اساس نیاز میانگین ضریب تبادل  $W$  و  $\Delta T$  بین  $0.0012$  و  $0.0016$  وقتی سرعت باد و  $\Delta T$  بیشترین باشند در عرض پایین، پایین ترین و در عرض بالا هنگام زمستان بالاترین مقدار را دارا است. شار گرمای محسوس و نهان وقتی که از سطح زمین و دریا وارد جو میشوند مثبت در نظر گرفته شده اند. ولی ما در این مطالعه برای محاسبه توازن شارها آن را منفی به حساب آورده ایم. برای محاسبه تابش موج کوتاه در روش انتقال تجمعی از رابطه زیر استفاده میشود.

$$R_S = 0.94 I_o (1 - 0.62C + 0.0019\theta) \quad (3)$$

$I_o$  ورودی تابش موج کوتاه دریافتی در سطح زمین در شرایط آفتابی و  $C$  پوشش ابری

کل در تقسیم بندی

دهم است.  $R_S$  با کاهش  $C$  افزایش می یابد. فرمول تجمعی برای برآورد شار تابش موج

بلند زمینی از فرمول

زیر استفاده میکند.

$$R_L = 0.022 \varepsilon_S \delta T^4 (11.7 - 0.33e)(1 - CC) + 4\varepsilon \delta T^4 (sst - T) \quad (۴)$$

$R_L$  تابش موج بلند خروجی از سطح دریا یا زمین  $\varepsilon_S$  گسیلایی سطح،  $\delta$  ثابت اسفان بولتزمن،  $e$  فشار بخار آب سطح،  $C$  ثابت وابسته به عرض جغرافیایی هستند. انتقال آن از سطح زمین به جو مثبت در نظر گرفته میشود. تابش موج بلند  $R_L$  رسیده یا مجاور سطح زمین دارای دو مولفه است. الف- تابش خروجی  $\uparrow R_L$  از سطح زمین ب- تابش ورودی  $\downarrow R_L$  از جو از جمله ابرها به سطح. تمام سطح های طبیعی بسته به ضریب گسیلایی و دمای سطح آنها انرژی تابش می کنند. گسیلایی برای کلیه سطوح طبیعی در دامنه ای بین ۰٫۹ تا ۱ قرار دارد. در گذر از جو بخش مهمی از تابش زمینی توسط گازهای جو مانند بخار آب، دی اکسید کربن، اکسید ازن، متان و ازن جذب می شود. تمام لایه های جو در با تغییرات متفاوت در جذب و گسیل تابش شرکت می کنند ولی لایه مرزی جو مهمترین بخش این فرایند است، زیرا بیشترین غلظت بخار آب، دی اکسید کربن و سایر گازهای جذب کننده در این لایه قرار دارند. ابرها بیشترین سهم در تابش موج بلند ورودی به سطح زمین دارند زیرا آنها مانند جسم سیاه با توجه به دمایشان تابش می کنند. به هرحال قسمتی از تابش توسط بخار آب، دی اکسید کربن و سایر گازهای جذب کننده قبل از رسیدن به سطح زمین جذب می شود. توازن تابش از رابطه زیر می توان محاسبه کرد:

$$R_N = R_S + R_L \quad (۵)$$

بعلاوه توضیح عبارت های توازن تابش موج کوتاه و بلند را می توان به صورت زیر نوشت:

$$R_S = R_{S \downarrow} + R_{S \uparrow} \quad (۶)$$

$$R_L = R_{L \downarrow} + R_{L \uparrow} \quad (۷)$$

تابش موج کوتاه ورودی شامل بخش پرتو مستقیم تابش خورشیدی و تابش پخش است که آن را خورتاب می گویند. خورتاب در نبود مه و ابر دارای وردش شدیدی است. تابش زمینی موج بلند از سطح زمین وردش شبانه روزی شدیدی را با بیشینه ای در اوایل بعدازظهر و کمینه ای در قبل از طلوع آفتاب نشان می دهد. شار بودجه گرمایی زمین با توجه به پوشش سطح زمین و جنس آن متفاوت است در مناطقی که پهنه های آبی گسترش زیادی دارند شار گرمای نهان مؤلفه اصلی و در مناطقی که پوشش گیاهی ضعیف است شار گرمای محسوس

مؤلفه اصلی سار تابشی بودجه زمینی می باشد. بوجه تابشی گرمایی هر نقطه از منطقه مورد مطالعه از رابطه (۹) محاسبه می شود.

$$R_N = H + H_L + H_G \quad (9)$$

$H$  گرمای محسوس،  $H_L$  گرمای نهان و  $H_G$  گرمای زمینی است. علامت این مؤلفه های قراردادی می باشد. در این پژوهش آنچه به سطح زمین می رسد منفی و آنچه از سطح زمین به جو وارد می شود مثبت در نظر گرفته ایم.

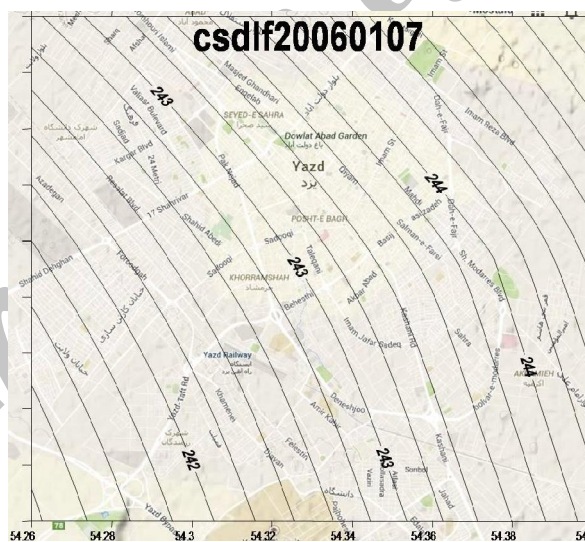
## یافته های پژوهش

### بررسی شارهای انرژی در شرایط هوای صاف شهر یزد در ماه ژانویه

میزان شار انرژی ورودی موج بلند در ساعت یک گرینویچ تقریباً هم جهت با گسترش افقی شهر و جهتی جنوبشرقی - شمالغربی دارند. مقدار آن از جنوبغرب به شمالشرق افزایش دارد. در جنوب شهر مقدار شار ورودی ۲۴۳، مرکز ۲۴۶ و در شمالغرب ۲۴۸ وات بر متر مربع به سطح زمین می رسد (شکل ۱). در ساعت هفت گرینویچ در شرق ۲۴۴،۶ و در غرب ۲۴۱،۶، مقدار از غرب به شرق بیشتر است ولی اختلاف نسبت به ساعت یک کمتر و به ۳ وات بر متر مربع در سطح شهر رسیده است (شکل ۲). در ساعت هفت میزان انرژی ورودی موج کوتاه در جنوبغرب ۵۵۹، مرکز ۵۵۳ و در شمال شرق ۵۴۷ وات بر متر مربع است. پایین شهر به دلیل آلودگی شهری کمتر و عرض جغرافیایی پایین تر انرژی بیشتری نسبت به شمال دریافت می کند (شکل ۳). شار برگشتی موج بلند در ساعت یک از جنوب به شمال بیشتر است در جنوب ۳۳۰، مرکز ۳۳۳ و در شمال ۳۳۴ وات بر متر مربع است (شکل ۴). اختلاف شار برگشتی در سطح شهر در ساعت هفت کمتر از ۲ وات می باشد. مقدار خروجی آن در شرق ۳۳۹،۵، مرکز ۳۴۰،۶ و در غرب ۳۴۱ وات بر متر مربع است (شکل ۵). میزان سپیدایی در ساعت هفت از شرق به غرب بیشتر است. در شرق سپیدایی ۲۵، مرکز ۲۷ و در غرب شهر ۲۸،۵ درصد است (شکل ۶). با توجه به محاسبه و تشریح مؤلفه های شار تابش خالص و ترسیم نقشه ساعتی (شکل ۷) نشان می دهد مقدار شار تابش خالص منفی است و از شرق به غرب بیشتر می شود که در شرق ۸۵- و در غرب و شمالغرب ۸۷- وات بر متر مربع می باشد. بنابراین تغییرات شار تابش خالص در روی شهر در این ساعت ۲- وات است و این تغییرات در ساعت هفت ۱۵ وات بر متر مربع بوده است. و مقدار آن در جنوب شرق ۳۱۵ و در غرب ۳۰۰ وات بر متر مربع است (شکل ۸).

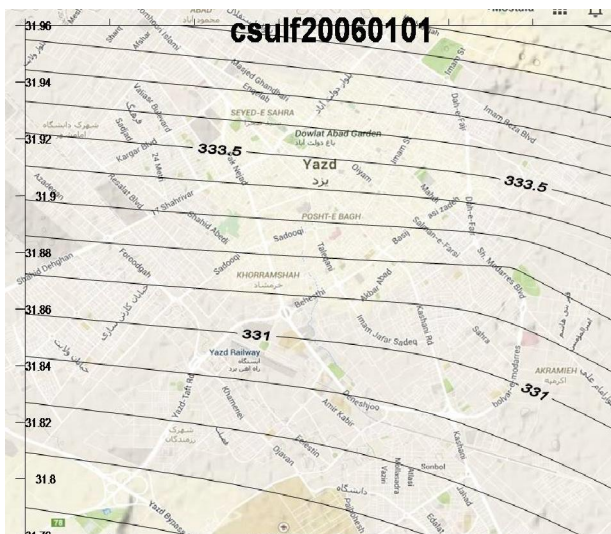


شکل (۱) شار ورودی موج بلند در هوای صاف  
ساعت ۱ (منبع CFSR)

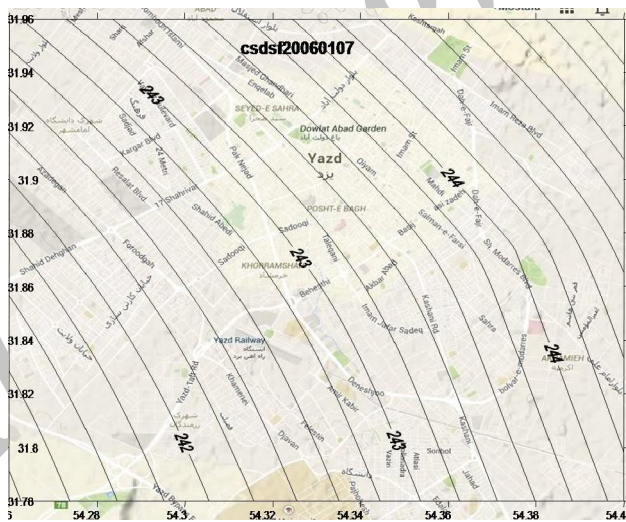


شکل (۲) شار ورودی موج بلند در هوای صاف  
ساعت ۷ (منبع CFSR)





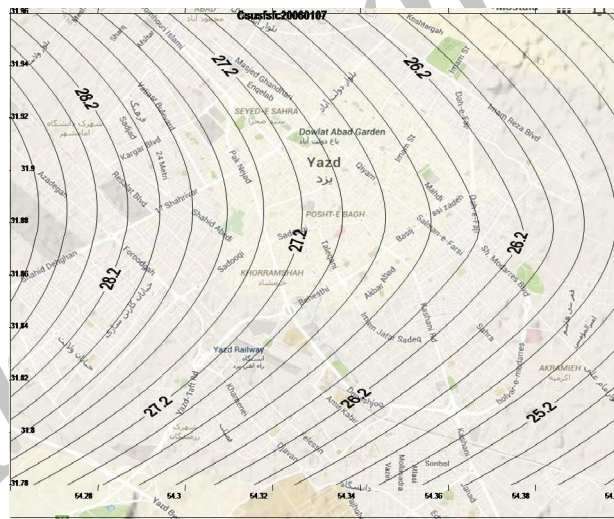
شکل (۳) شار برگشتی موج بلند زمینی  
ساعت ۱ (منبع CFSR)



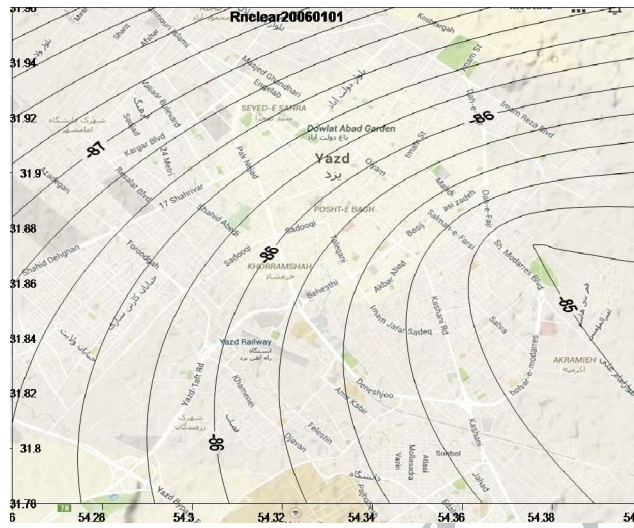
شکل (۴) تابش ورودی موج کوتاه خورشیدی  
ساعت ۷ (منبع CFSR)



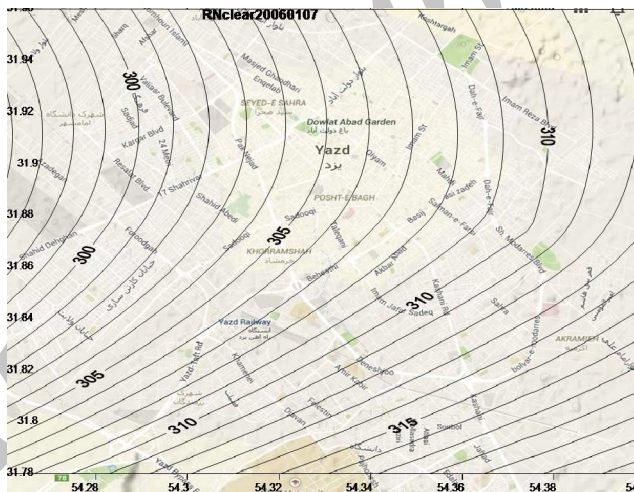
شکل (۵) شار برگشتی موج بلند زمینی  
ساعت ۷ (منبع CFSR)



شکل (۶) تابش برگشتی موج کوتاه  
ساعت ۷ (منبع CFSR)



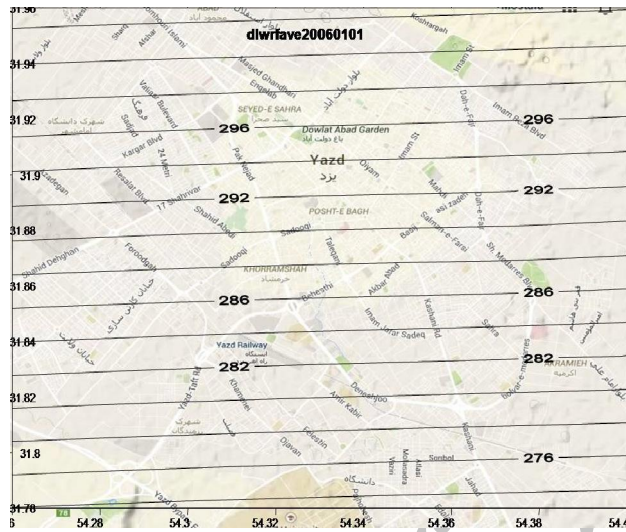
شکل (۷) شار تابش خالص در هوای صاف  
ساعت ۱ (منبع CFSR)



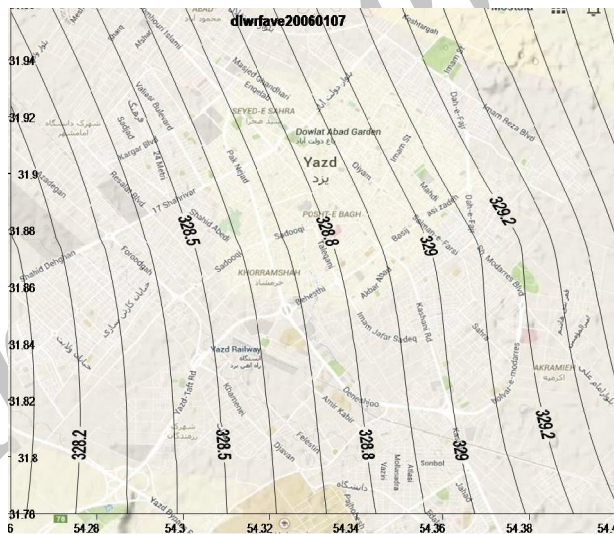
شکل (۸) شار تابش خالص در هوای صاف  
ساعت ۷ (منبع CFSR)

### بررسی شارهای انرژی در شرایط هوای ابری در ماه ژانویه

در ساعت یک شار ورودی موج بلند از جنوب به شمال شهر افزایش میابد. جنوب شهر ۲۷۶ و شمال شهر ۲۹۸ وات بر متر مربع دریافت میکند. بدین ترتیب اختلاف بین شمال و جنوب شهر ۲۲ وات است (شکل ۹). در ساعت هفت مقدار شار ورودی نسبت به ساعت یک افزایش یافته است و در شرق ۳۲۹,۴ و در غرب ۳۳۰,۴ که اختلاف در سطح شهر یک وات بر متر مربع است (شکل ۱۰). میانگین ورودی شار موج کوتاه در ساعت هفت در جنوب شهر بیشتر از شمال شهر است ولی مقدار آن به علت ابرناکی کم است. جنوب شهر ۹۰ و شمال شهر ۶۲ وات بر متر مربع دریافت میکند (شکل ۱۱). میزان سپیدایی در ساعت هفت را نشان میدهد که از شرق به غرب بیشتر میشود در شرق ۲۴ درصد و در غرب ۲۷,۵ درصد است. اختلاف بین شار برگشتی موج بلند بین جنوب و شمال شهر در ساعت یک ۶ وات است که جنوب شهر ۳۲۸ و شمال شهر ۳۳۲ وات بر متر مربع انرژی را از دست میدهد (شکل ۱۲). علت اینکه شار ورودی ساعت هفت در شرق بیشتر از غرب شهر است دمای سطح زمین قسمت شرقی شهر بیشتر شده و در نتیجه شار خروجی موج بلند این قسمت بیشتر است. ناحیه شرقی ۲۴۳ و ناحیه غربی شهر ۳۴۰ وات بر متر مربع از دست میدهد. با توجه به میزان انرژی ورودی و خروجی در هوای ابری که بحث شد شار تابش خالص در ساعت یک گرینویچ در هوای ابری بر روی شهر یزد منفی است (شکل ۱۳). جهت منحنی ها غربی- شرقی است. مقدار آن در شمال ۳۲- و در جنوب ۵۰- وات بر متر مربع است. در ساعت هفت تابش خالص مثبت میشود و مقدار آن در جنوب بیشتر از شمال است و این به دلیل دریافت انرژی موج کوتاه خورشیدی است. جهت منحنی شار خالص این ساعت شرقی- غربی و در شمال ۳۵ وات و در جنوب ۵۵ وات بر متر مربع میباشد (شکل ۱۴). بنابراین در شرایط ابری نزدیک به ۱۵ درصد از مقدار انرژی ورودی در شرایط صاف در سطح شهر دریافت شده است.



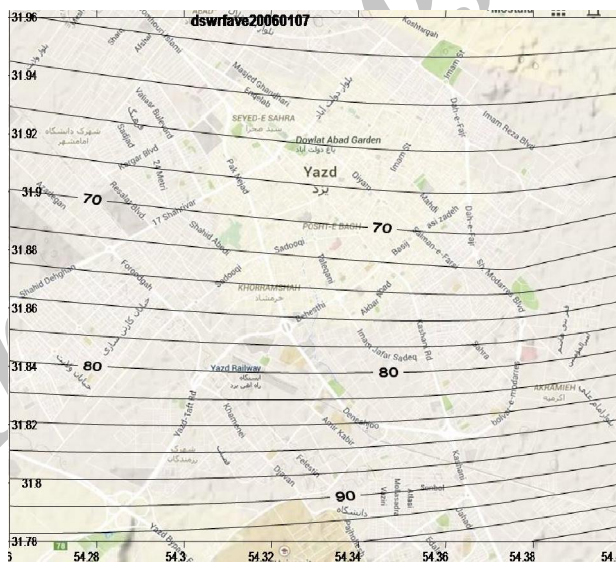
شکل (۹) شار ورودی موج بلند  
ساعت ۷ (منبع CFSR)



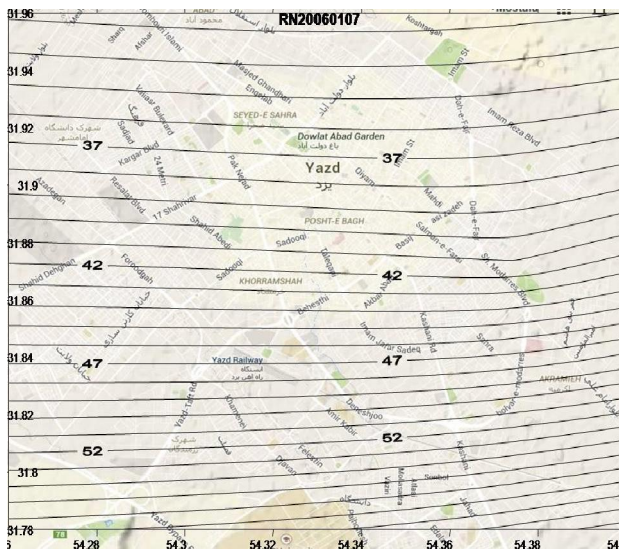
شکل (۱۰) شار ورودی موج بلند  
ساعت ۱۰ (منبع CFSR)



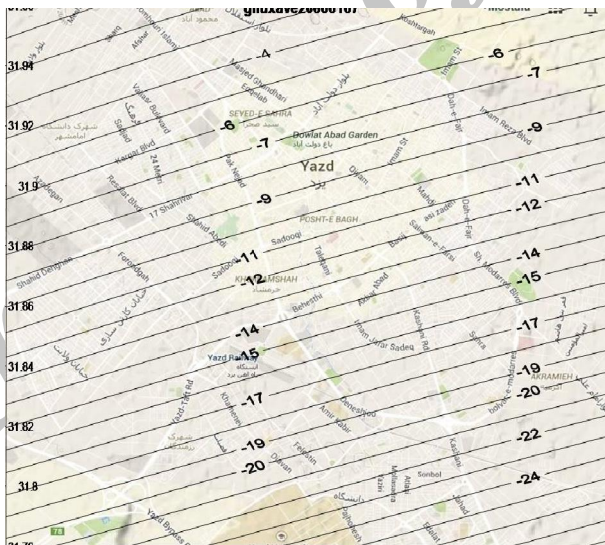
شکل (۱۱) شار برگشتی موج بلند  
ساعت ۱ (منبع CFSR)



شکل (۱۲) شار ورودی موج کوتاه  
ساعت ۷ (منبع CFSR)



شکل (۱۳) شار تابش خالص در هوای ابری  
ساعت ۷ (منبع CFSR)



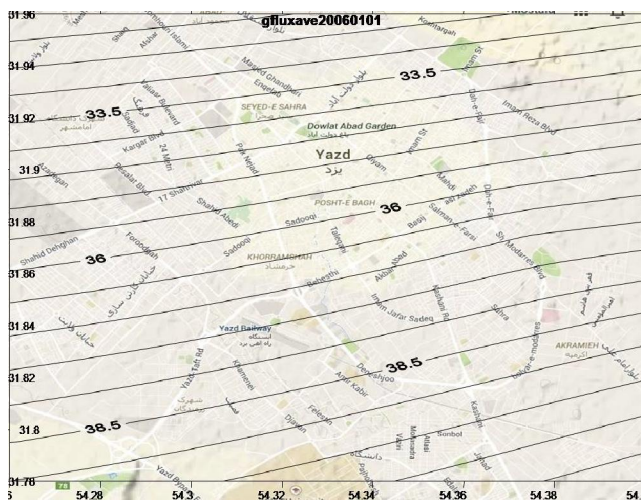
شکل (۱۴) شار تابش خالص در هوای ابری  
ساعت ۱ (منبع CFSR)

## میانگین بودجه انرژی گرمای تابش زمینی خالص شهر یزد در ماه ژانویه

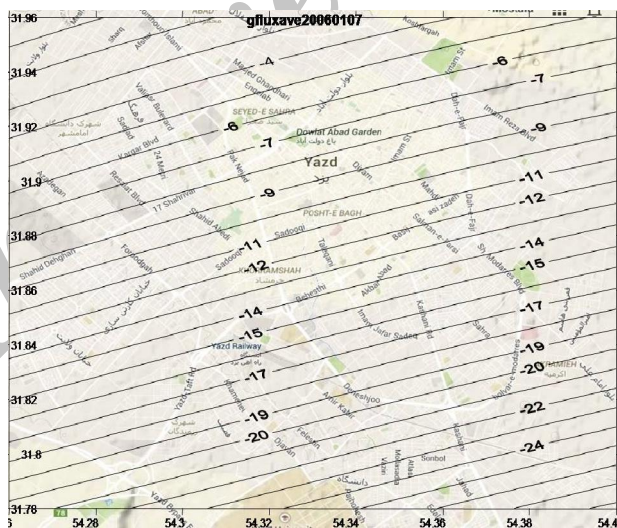
آنچه که در بالا بحث شد مربوط به شار انرژی جو بود. انرژی رسیده به سطح زمین باید از سه طریق سه مولفه گرمای محسوس، نهان و زمینی مصرف و وارد جو شود (انرژی برگشتی با طول موج بلند). آن مقدار انرژی که از طریق سه مولفه یاد شده وارد جو یا زیرزمین می رود بودجه تابشی گرمایی زمین نامیده می شود. در ساعت یک جهت شار گرمای زمینی از زیر سطح به سطح زمین است بنابراین مثبت است و جهت منحنی ها شرقی- غربی که در شمال شهر ۳۲,۵ وات و به سمت جنوب بیشتر و در پایین شهر ۴۰ وات بر متر مربع است (شکل ۱۵). در ساعت هفت با تابش موج کوتاه خورشید و دریافت انرژی در سطح شهر جهت شار از سطح زمین به زیر زمین است و با علامت منفی نشان داده شده است. در شمال شهر ۳- و در جنوب شهر ۲۴- وات بر متر مربع انرژی وارد خاک میشود. فاصله منحنی ها در شمال شهر بیشتر از جنوب شهر است (شکل ۱۶). در ساعت یک مقدار شار گرمای نهان در شمال شهر منفی است که نشان دهنده جهت شار از سطح زمین به درون جو است، به دلیل بالا بودن دمای آب موجود در سطح شهر تبخیر می شود، که در جنوب شهر ۲,۴ وات بر متر مربع که توسط آزاد کردن گرمای نهان بر اثر تغییر فاز آب از بخار به میعان حاصل شده است (شکل ۱۷). در ساعت هفت مقدار شار منفی شده که مقدار آن در شمال شرق ۱۱- و در جنوب غرب ۱۳- وات بر متر مربع است (شکل ۱۸). در شب جهت شار گرمای محسوس از جو به سطح زمین است و مقدار آن در جنوب بیشتر از شمال میباشد که در جنوب ۱۱ وات در شمال شهر ۴ وات بر متر مربع است. دریافت انرژی کمتر در بالا و مرکز شهر بعلاوه اختلاف بسیار کم دمای سطح زمین و دمای دو متری هوا است که در نتیجه گرمای تولید شده انسانی است (شکل ۱۹). در ساعت هفت انرژی ورودی موج کوتاه خورشیدی به سطح شهر زیاد است و در نتیجه شار گرمای محسوس از سطح زمین به جو است که شمال شهر ۱۰,۵-، مرکز ۹- و جنوب شهر ۱۳- وات بر متر مربع از دست میدهد (شکل ۲۰). میزان شار بودجه گرمایی شهر یزد پس از محاسبه سه مؤلفه گرمای محسوس، نهان و زمینی تقریباً برابر همان انرژی برگشتی با موج بلند در هوای ابری است. در ساعت یک شار تابش خالص منفی است که در جنوب شهر مقدار آن بیشتر از شمال است و جهت منحنی ها شرقی- غربی می باشد. اندازه شار تابش خالص در جنوب ۴۸- و در شمال ۳۶- وات بر متر مربع است. شکل (۲۱) نشان میدهد شمال شهر انرژی کمتری را نسبت به جنوب شهر از دست میدهد و در نتیجه ساکنان شمال شهر در ماه ژانویه به وسایل انرژی کمتری نیاز دارند. در ساعت هفت میانگین شار خالص مثبت است و در جنوب مقدار آن



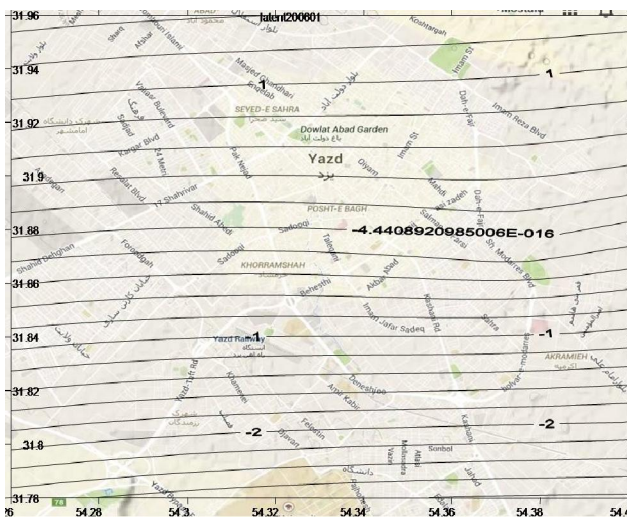
بیشتر از شمال است ولی در شمال شهر منحنی ها از همدیگر فاصله بیشتری دارند که نشان-  
دهنده اختلاف کم شار خالص در این ناحیه است شکل (۲۲).



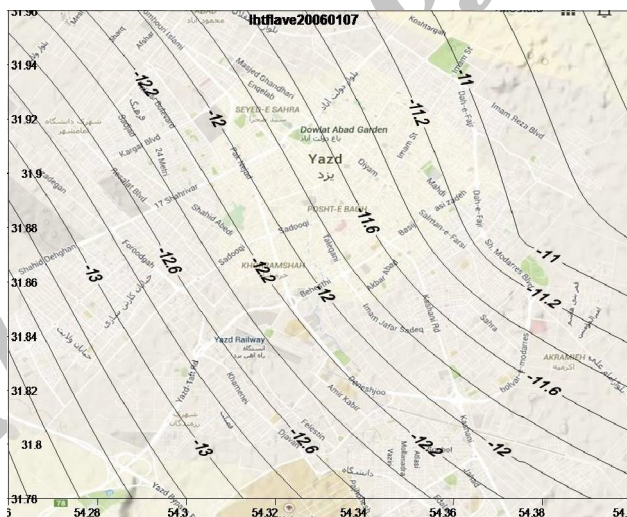
شکل (۱۵) شار گرمای زمینی  
ساعت ۷ (منبع CFSR)



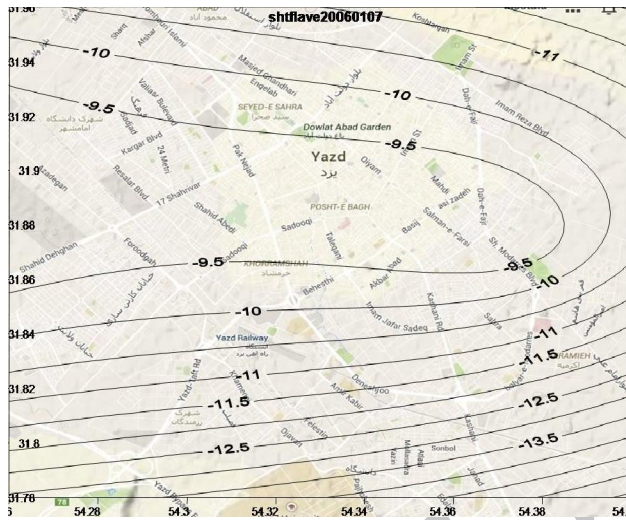
شکل (۱۶) شار گرمای زمینی  
ساعت ۱۳ (منبع CFSR)



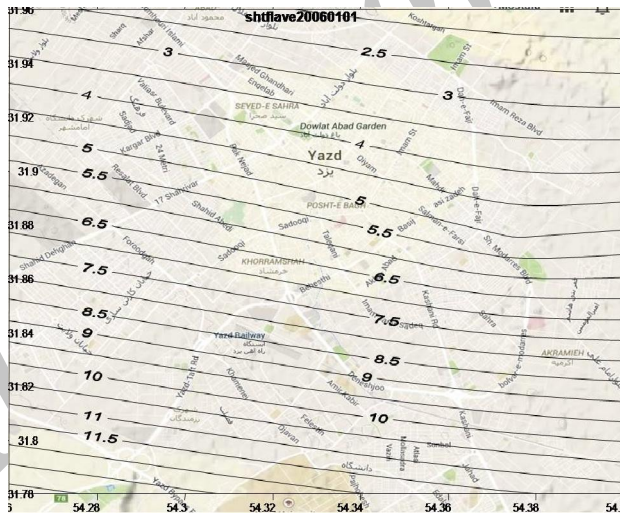
شکل (۱۷) شار گرمای نهان تبخیر  
ساعت (۱) (منبع CFSR)



شکل (۱۸) شار گرمای نهان تبخیر  
ساعت (۷) (منبع CFSR)



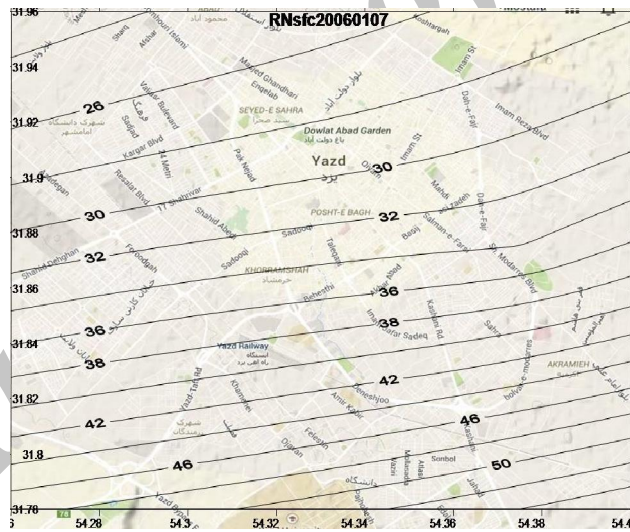
شکل (۱۹) شار گرمای محسوس  
ساعت ۷ (منبع CFSR)



شکل (۲۰) شار گرمای محسوس  
ساعت ۱ (منبع CFSR)



شکل (۲۱) بودجه تابشی سطح زمین ساعت (۱) (منبع CFSR)



شکل (۲۲) بودجه تابشی سطح زمین ساعت ۷ (منبع CFSR)

## نتیجه گیری:

میزان سپیدایی بستگی به زاویه میل خورشید، جنس، بافت، بافت و میزان رطوبت زمین دارد. در ساعاتی که ارتفاع خورشید زیاد است میزان سپیدایی شهر کم است. در کل میزان سپیدایی غرب شهر بیشتر از شرق شهر است و این به دلیل ساخت شهری است. سپیدایی در روزهای که میزان نمناکی سطح شهر بیشتر بوده از سپیدایی شهر کاسته میشود. همچنین شار ورودی موج بلند در شرایط ابری در طی شبانه روز بیشتر از هوای صاف است که این اختلاف در ساعت یک در جنوب شهر ۴۳ وات و در شمال شهر ۵۰ وات بر متر مربع است، در ساعت هفت که مقدار ابرناکی بیشتر بوده این اختلاف در شرق شهر ۸۵ و در غرب ۹۰ وات بر متر مربع است. میانگین شار خروجی موج بلند زمینی در شب در ناحیه شمالی شهر بیشتر از ناحیه جنوبی است که اختلاف آن به ۴ وات بر متر مربع می رسد. این اختلاف به دلیل گرمای تولید شده انسانی بیشتر در ناحیه شمالی نسبت به ناحیه جنوبی است. بعلت تیرگی جو در ناحیه شمالی شهر اختلاف شار خروجی در شرایط ابری و بدون ابر نسبت به ناحیه جنوبی کمتر است. اختلاف شار ورودی موج کوتاه انرژی خورشیدی در شرایط صاف با ابری در ساعت هفت در این ماه بسیار زیاد بوده که در جنوب شهر ۴۶۴ وات و در شمال شهر ۴۸۶ بر متر مربع است. بنابراین در شرایط ابری نزدیک به ۱۵ درصد از مقدار انرژی ورودی در شرایط صاف در سطح شهر دریافت شده است. در طی شب بعلت سرد شدن زمین جهت شار گرمای محسوس از جو به سطح زمین می باشد که در جنوب شهر به دلیل اختلاف دمایی بیشتر بین سطح زمین و جو بالای آن انرژی بیشتری نسبت به شمال شهر دریافت میکنند و در طول روز بعلت دریافت انرژی بیشتر است و بودجه تابشی مثبت میشود و جهت شار گرمای محسوس از سطح زمین به جو است. مقدار این مؤلفه زیاد نیست. در ساعات اولیه شب در شمال شهر بعلت تولید گرمای انسانی هنوز شار گرمای محسوس منفی است و اختلاف بین شمال و جنوب شهر در بعضی اوقات به ۸ وات بر متر مربع میرسد. شار گرمای زمینی مانند دیگر مؤلفه های تابش توزیع یکنواختی ندارد و مقدار آن در جنوب بیشتر از شمال است. در طی شب مقدار آن مثبت بوده و از زیر سطح زمین به سطح زمین است، ولی در طی روز منفی بوده و جهت آن از سطح زمین به زیر سطح می باشد. در طول روز توزیع آن در شمال و جنوب ۲۱ وات بر متر مربع اختلاف دارد. انتقال انرژی به صورت گرمای نهان در سطح شهر گاهی اوقات جهت شار آن بین شمال و جنوب شهر بر خلاف هم دیده می شود. در طی روز بعلت فضای باز و سبز بیشتر در جنوب شهر انرژی بیشتر از طریق انتقال نامحسوس وارد جو می شود.

## منابع و مآخذ:

- ۱- ثنایی نژاد، سید حسین و همکاران، ۱۳۹۰. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره ای در منطقه مشهد. نشریه آب و خاک، جلد ۲۵
- ۲- زارع، ع، محاسبه ۱۳۸۷، شار تابشی سطحی با استفاده از یک مدل یک بعدی تابشی در منطقه کویری مرکز ایران، رساله کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران به راهنمایی پرویز ایران نژاد و عباسعلی علی اکبری بیدختی
- ۳- سازمان هواشناسی کل کشور، آمار اقلیمی ایستگاه های سینوپتیک و کلیماتولوژی، اخذ شده از سایت اینترنتی سازمان با آدرس: [www.sinamet.ir](http://www.sinamet.ir)
- ۴- مبارک، ا، مدل سازی عددی دمای سطح خاک، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی محمد تقی زمانیان فدانگاه آزاد تهران شمال ۱۳۸۰
- ۵- علیزاده، ا، ۱۳۸۸، فیزیک خاک، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا
- 6- Arya, S.P. (2008). *Introduction to micrometeorology*. Academic Press, San Diego, CA.
- 7- Bridget R .Scanlon (1994). *Water and Heat Fluxes in Desert Soils* . Water Research, 30:721-733
- 8- By Serge Bories & et al (1992). *Simulation Of Heat and Mass Transfer Between Bare Soil And Atmosphere* .Academic Press, Saitama
- 9- By Kusuma G. Rao And R. Narasimha(2006). *Heat-flux scaling for weakly forced turbulent convection in the atmosphere*. J. Fluid Mech, 547:115-135
- 10- Chad W. Higgins and et al (2004). *The heat flux and the temperature gradient in the lower atmosphere*. Geophysical Research Letters, 31:L22105, doi:10.1029/2004GL020053
- 11- Cellier.P & et al (1995). *Partition of Sensible Heat Fluxes Into Bare Soil And The Atmosphere*. Agricultural And Forest Meteorology, 82: 245-265
- 12- Cheng-Zhizou and Tzvigal-Chen (1998). *Parameterization of the Meridional Eddy Heat and Momentum Fluxes*. Journal of the atmospheric sciences, 56:1830-1842
- 13- Daniel F. Nadeau. et al. *Estimation of urban sensible heat flux using a dense*

14- *wireless network of observations*. Environ Fluid Mech DOI 10.1007/s10652-009-9150-7.

15- Goody, R.M, Yung, Y.L (1998). *Atmospheric Radiation Theoretical Basis*.

16- Academic Press, Oxford

Archive of SID