



دانشگاه گواران و مهندسی آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیستم، شماره سوم، ۱۳۹۲  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## محاسبه تبخیر و تعرق فضای سبز به روش سبال (مطالعه موردی: پارک ملت مشهد)

حسین ابراهیمی<sup>۱</sup> و \* وحید یزدانی<sup>۲</sup>

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد  
تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۲۰

### چکیده

با توجه به این‌که طراحی سامانه‌های آبی در بسیاری از کشورها از جمله ایران، هنوز بر پایه معیارها و سامانه‌های ۵۰ سال گذشته صورت می‌گیرد، این امر مهم در سازگاری با تغییرات جوی، باید مورد توجه ویژه و بازخوانی قرار گیرد. در این پژوهش از الگوریتم توازن انرژی برای زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس با فاصله زمانی ۱۰ روز و قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰×۲۵۰ متر، مقدار تبخیر و تعرق فضای سبز پارک ملت مشهد برآورد گردید. تبخیر و تعرق برآوردی پارک ملت مشهد (به‌ازای هر مترمربع) در پایان فصل رشد به‌میزان ۱۲۱۰/۶ میلی‌متر می‌رسد. در مقابل مقادیر تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن‌مانتیت- فائو ۵۶ در انتهای فصل رشد به ۱۵۶۳/۳ میلی‌متر رسیده است، که دارای ۲۲/۵ درصد افزایش نسبت به مقدار برآوردی آن می‌باشد. ارتباط بین تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن‌مانتیت- فائو ۵۶ با روش سبال معنی‌دار بوده و دارای ضریب همبستگی ۰/۷۶۳۷ می‌باشد. استفاده از رابطه‌ای براساس شاخص پوشش گیاهی کمک شایانی در ایجاد ارتباط بین تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن‌مانتیت- فائو ۵۶ با تبخیر و تعرق برآوردی داشت. به‌طوری‌که مقدار پارامترهای RMSE و MAE به‌ترتیب از ۲/۶۲ به ۱/۲۷ و از ۱/۸۳ به ۰/۹۱ کاهش یافتند. در همین راستا مقدار پارامترهای آماری RMSE و MAE برای تبخیر و تعرق برآوردی محاسبه شده توسط حاصل‌ضرب ضرایب گیاهی مربوط به فضای سبز که توسط شاخص پوشش گیاهی به‌دست آمده بود، برای کل فصل رشد به‌ترتیب برابر با ۱/۲ و ۰/۹۳ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، فضای سبز، سبال، مشهد، تصاویر ماهواره‌ای مودیس

\* مسئول مکاتبه: [v.yazdany@yahoo.com](mailto:v.yazdany@yahoo.com)

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۰)، شماره (۳) ۱۳۹۲

#### مقدمه

کمبود آب یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های این قرن است که می‌تواند سرمنشاء بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان قرار گیرد. ۹۷/۵ درصد آب کره زمین در دریاها و دریاچه‌ها است که آب شور را تشکیل می‌دهد. ۲/۵ درصد باقی‌مانده آب شیرینی است که در زمین وجود دارد که از آن ۰/۳ درصد آب رودخانه‌ها ۳۰/۸ درصد آب‌های زیرزمینی و ۶۸/۹ درصد یخچال‌ها و پوشش دائمی برف کوه‌ها است. بنابراین بین توان تأمین آب و شدت تقاضا در جهان خلأی وجود دارد که بحران‌آفرین است. در ایران منبع اصلی آب بارش است که به‌طور طبیعی سالانه ۲۵۲ میلی‌متر یا ۴۱۳ میلیارد مترمکعب بارش سالانه است. این میزان کم‌تر از یک سوم متوسط بارش جهان ۸۳۱ میلی‌متر و یک‌سوم متوسط بارش آسیا ۷۲۲ میلی‌متر است (زارع‌ابیان و همکاران، ۲۰۰۹). حدود ۳۰ درصد بارش به‌شکل برف و بقیه به‌شکل باران است. به این ترتیب در حالی که ۱ درصد جمعیت جهان در ایران زندگی می‌کنند، سهم ایران از منابع آب تجدیدپذیر فقط ۰/۳۶ درصد است. از ۴۱۳ مترمکعب بارش، سالانه ۲۶۹ مترمکعب به شکل‌های مختلف از دست می‌رود. ۹۳/۲ درصد از آب باقی‌مانده صرف مصارف کشاورزی البته به شکلی غیراصولی می‌شود. ۷/۱ درصد به صنعت و معدن اختصاص می‌یابد و بقیه به مصارف دیگر می‌رسد. دشت مشهد نیز از دیرباز با بحران کمبود آب مواجه بوده است، به‌طوری‌که استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در این دشت سبب نشست زمین و شور شدن آب در بخش‌های از این دشت شده است. با توجه به جمعیت شهر مشهد و جمعیت زائرین وجود فضاهای سبز در این کلان‌شهر امری ضروری است. در این راستا آبیاری فضاهای سبز در مشهد مصرف آب زیادی را در پی خواهد داشت.

برای به‌دست آوردن تبخیر و تعرق گیاه، به‌صورت معمول از ضرب ضریب گیاهی در تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده می‌شود. در خصوص برآورد تبخیر و تعرق فضای سبز علاوه بر ضریب گیاهی باید ضرایب مربوط به سایه‌اندازی، تعدیل تراکم بوته و تنظیم گونه گیاهی خاص نیز برآورد گردند. بنابراین یکی از روش‌های جدید برآورد تبخیر و تعرق در مقیاس وسیع استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. برای برآورد تبخیر و تعرق در زمین‌های بزرگ باید از داده‌های غیرنقطه‌ای<sup>۱</sup> استفاده کرد، حال آن‌که تنها داده‌های منطقه‌ای و نقطه‌ای در دسترس است. ضمن این‌که طرح‌های بزرگ فضای

1- Non-Point Source Data

### حسین ابراهیمی و وحید یزدانی

سبز در کلان‌شهرها، به مراتب بیش‌تر باعث تقلیل منابع آب می‌شوند. شایان گفتن است که این مسأله در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار حادتر است، ایران نیز در این منطقه واقع است، که کمبود آب در کشور خودنمایی می‌کند. حال با توجه به آنچه گفته شد، اولین قدم برای محاسبه دقیق نیاز آبی گیاهان و مدیریت بهینه آب، باید مقدار تبخیر و تعرق را به‌طور دقیق محاسبه نمود. در این راستا روش سبال توانایی لازم برای محاسبه تبخیر و تعرق را در سطح وسیع دارد. روش‌هایی که برای محاسبه تبخیر و تعرق به‌کار برده می‌شوند در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند که عبارتند از روش‌های مستقیم و محاسبه‌ای. در روش‌های محاسبه‌ای که می‌توان آن‌ها را روش‌های غیرمستقیم نیز دانست از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از روی ارتباط آن‌ها با تبخیر و تعرق و معادله‌هایی که قبلاً با روش‌های مستقیم واسنجی شده‌اند، تبخیر و تعرق پوشش گیاهی موردنظر تخمین زده می‌شود (علیزاده، ۲۰۰۸).

نیاز آبی گیاهان به پارامترهای بسیاری مثل ظرفیت نگهداری آب در خاک، دمای هوا، شیب، خشکی هوا، میزان وزش بادهای دائمی، سایه و... بستگی دارد و نه تنها از منطقه‌ای به منطقه دیگر فرق می‌کند بلکه حتی در یک شهر از محلی به محل دیگر و حتی در یک محل از نقطه‌ای به نقطه دیگر با توجه به پارامترهای بالا فرق می‌کند. حال با توجه به محاسبه سه ضریب اضافی برای تبخیر و تعرق فضای سبز نسبت به تبخیر و تعرق گیاهان زراعی مشکل محاسبه دقیق این پارامترها دو چندان شده، و دقت زیاد و استفاده از روش‌های مناسب را طلب می‌کند (گروه کار کمیته ملی، ۲۰۰۸). در محاسبه تبخیر و تعرق باید در نظر داشت که استراتژی آبیاری، منطقه مورد نظر، نوع گیاه و... بسیار مهم می‌باشند. بنابراین با این شرایط انتخاب روش مناسب برای محاسبه تبخیر و تعرق در هر منطقه کاری است مشکل و نیاز به مطالعه دقیق دارد.

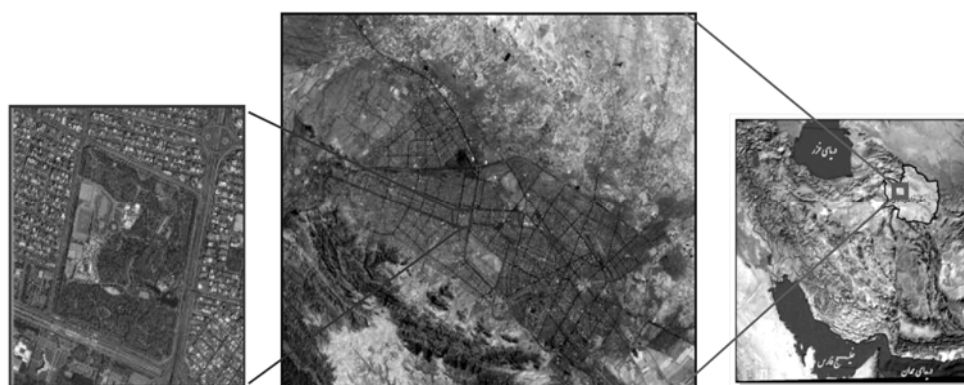
روش سبال (آلگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین) مدلی مبتنی بر پردازش تصویر بوده که مشتمل بر ۲۵ زیرمدل برای محاسبه تبخیر و تعرق به‌عنوان باقی‌مانده بیلان انرژی سطحی زمین است (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸). این مدل توسط باستیانسن در کشور هلند معرفی و همچنین برای حوضه آبریز رودخانه سنک در آیداهو نیز با تکیه بر مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده در سطح زمین مورد بسط و توسعه واقع شده است (آلن و همکاران، ۲۰۰۳). در زمینه برآورد تبخیر و تعرق برآوردی با استفاده از الگوریتم سبال در سطح دنیا پژوهش‌هایی انجام شده که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. در پژوهشی که توسط مختاری انجام گرفت میانگین تبخیر و تعرق

برآوردی و بایومس گیاه ذرت و چغندر قند در منطقه برخوار اصفهان به وسیله الگوریتم سبال و استفاده هم‌زمان از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و آستر محاسبه شد. مباحثی و همکاران (۲۰۰۶) خطای ایجاد شده در برآورد تبخیر و تعرق را در روش سبال مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان داشتند که استاندارد بودن ایستگاه هواشناسی، خطاهای ناشی از آتمسفر، گسیلندگی سطح، قدرت تفکیک مکانی سنجنده مورد استفاده نیز باید در نظر گرفته شود. در پژوهشی دیگر از الگوریتم سبال برای تعیین منحنی‌های ضریب گیاهی ( $K_c$ ) چغندر قند و سیب‌زمینی استفاده شد و هر یک به ترتیب با نتایج به دست آمده از روش‌های آلن و بروکوی (۱۹۸۳) و آلن و همکاران (۲۰۰۲) در منطقه آیداهوی آمریکا مقایسه گردیده است (آلن و همکاران، ۲۰۰۳). باستیانسن و همکاران (۲۰۰۵) از روش سبال برای بهبود مدیریت منابع آب تحت شرایط برآوردی استفاده نمودند. نتایج آن‌ها بیانگر توانایی بالا این روش در مدیریت بهینه منابع آب بود. کلوکو و همکاران (۲۰۰۷) از پارامتری به عنوان طول مومین ابخوف که از داده‌های ماهواره‌ای محاسبه می‌گردد، برای محاسبه تبخیر و تعرق روزانه استفاده نمودند. نتایج آن‌ها بیانگر این است که روش سبال مقدار تبخیر و تعرق را بیش‌تر از روش پنمن برآورد می‌کند. همچنین آن‌ها بیان داشتند که ضریب گیاهی به دست آمده از روش سبال کم‌تر از مقادیر پیشنهادی قبلی است. آن‌ها اعتبارسنجی مدل بالا را برای مزرعه پنبه انجام دادند. تبخیر و تعرق روزانه برای پنبه توسط روش سبال برابر  $5/94$  میلی‌متر در روز محاسبه گردید. صالح‌حمد و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی طرح بزرگ آبیاری راهاد در سودان بیان داشتند که روش سبال روشی مناسب و ارزان برای ارزیابی عملکرد سیستم آبیاری بالا است و محاسبه شاخص‌های تکافو، عدالت، کفایت و اعتمادپذیری را با دقت خوبی محاسبه می‌کند.

اما همان‌طور که در بالا نیز به آن اشاره شد تا به حال مطالعه در مورد محاسبه مقدار تبخیر و تعرق فضای سبز توسط روش سبال انجام نشده است و با توجه به آنچه قبلاً گفته شد محاسبه دقیق تبخیر و تعرق فضای سبز گامی در جهت کاهش مصرف آب خواهد بود. در این پژوهش سعی بر این است که با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای و اطلاعات ایستگاه سینوپتیک مشهد میزان تبخیر و تعرق فضای سبز را محاسبه نموده و با تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن‌مانتیت- فائو ۵۶ مقایسه گردد. در انتها نیز اقدام به واسنجی روش پنمن‌مانتیت- فائو ۵۶ خواهد شد، و سپس رابطه‌ای بهینه ارایه می‌گردد. در ادامه نیز مقدار ضریب گیاهی فضای سبز براساس مقادیر شاخص پوشش گیاهی محاسبه خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

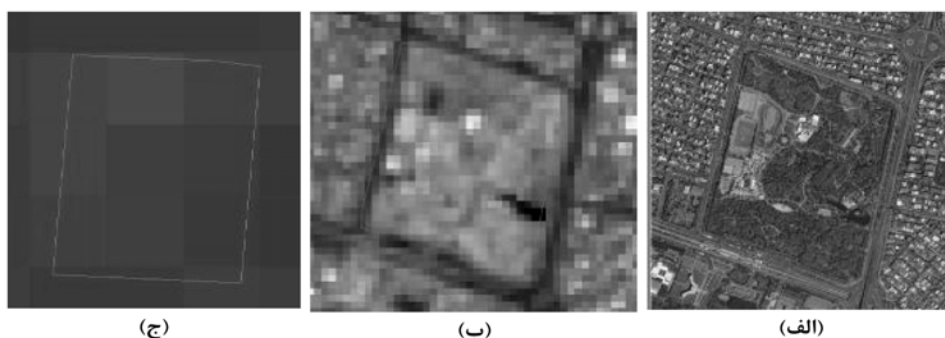
**منطقه مورد مطالعه:** شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی با ۲۰۴ کیلومتر مربع مساحت، در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه و در حوضه آبریز کشف رود، بین رشته کوه‌های بینالود و هزارمسجد واقع است. میزان نزولات جوی در ارتفاع و سطح دشت تفاوت زیادی دارد، به طوری که در ارتفاع‌های هزارمسجد ۸۰۰ میلی‌متر و در سطح دشت مشهد متوسط ۲۵۰ میلی‌متر گزارش شده است. براساس طبقه‌بندی جدید یونسکو مشهد دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. حداکثر درجه حرارت در تابستان‌ها ۳۵ درجه بالای صفر و کم‌ترین آن در زمستان‌ها ۱۵ درجه زیر صفر می‌باشد. شهر مشهد به دلیل ورود سالانه میلیون‌ها نفر مسافر دارای پارک‌ها و فضاهای سبز بسیاری می‌باشد. که از بین این مکان‌ها پارک ملت مشهد بزرگ‌ترین و قدیمی‌ترین بوده که در این پژوهش نیز این پارک انتخاب گردیده است. پارک ملت مشهد، قدیمی‌ترین پارک شهر مشهد در سال ۱۳۴۳ در مکانی که آن زمان خارج شهر بود احداث گردید ولی با توجه به توسعه شهری این پارک اکنون در داخل شهر قرار گرفته است. بوستان ملت، در غرب شهر مشهد و در حاشیه بلوار وکیل‌آباد و در ضلع شمال‌غربی تقاطع آزادی قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی آن در ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت پارک ملت در شهر مشهد (تصویر گوگل ارث).

مساحت این پارک ۶۳۶۵۹۸ مترمربع بوده که در ارتفاع ۱۰۲۹ متری از سطح دریا قرار گرفته است. این پارک شامل بیش از ۳۵ هزار اصله درخت بوده که سن کم‌ترین درخت ۲ سال و بیش‌ترین ۴۰ سال می‌باشد. از مساحت کل پارک ۳۱۹۶۹۹ مترمربع آن چمن، ۷۳۸۰۷ مترمربع درخت و درختچه، ۱۳۹۱۸ مترمربع پرچین، ۳۲۴۷ مترمربع گل فصلی و ۹۵۹۴ مترمربع گل دائمی می‌باشد (شهرداری مشهد، ۲۰۱۰).

**داده‌های مورد استفاده:** برای محاسبه تبخیر و تعرق روزانه فضای سبز از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مشهد در سال ۱۳۸۹ استفاده گردید. داده‌های مورد استفاده شامل دمای هوا (تر، خشک، نقطه شبنم و متوسط)، سرعت باد، رطوبت، فشار بخار اشباع، ساعات آفتابی و باران بود که از سازمان هواشناسی دریافت شد. لازم به ذکر است که همه پارامترهای بالا در ارتفاع ۲ متری اندازه‌گیری شده‌اند. داده‌های بالا به‌صورت روزانه و طی ۸ نوبت در روز در ساعت‌های ۰، ۳، ۶ و ۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۱۵، ۱۸ و ۲۱ عصر در ایستگاه سینوپتیک مشهد برداشت و اندازه‌گیری شده است. جدول ۱ میانگین روزانه داده‌های مورد استفاده را در طی سال ۱۳۸۹ را نشان می‌دهد. همان‌طورکه در جدول ۱ نیز مشخص است، بیش‌ترین مقدار تغییرات مربوط به رطوبت نسبی و در مقابل کم‌ترین تغییرات مربوط به باران می‌باشد. همچنین برای محاسبه تبخیر و تعرق برآوردی توسط روش سبال از عکس‌های ماهواره مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰×۲۵۰ متر (شکل ۲) و با فاصله زمانی ۱۰ روزه براساس دور آبیاری عرف محل استفاده گردید. بر این اساس تعداد ۲۳ عکس از نیمه فروردین ۱۳۸۹ تا پایان آبان‌ماه ۱۳۸۹ مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲). لازم به ذکر است که به‌دلیل در دسترس بودن عکس‌ها در دوره‌های زمانی موردنظر و همچنین قدرت تفکیک مکانی مناسب (شکل ۲) از عکس‌های ماهواره مودیس استفاده شده است.



شکل ۲- تصاویری از نمایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر مختلف مربوط به پارک ملت مشهد (الف) گوگل ارث، (ب) لندست و (ج) مودیس.

حسین ابراهیمی و وحید یزدانی

جدول ۱- میانگین روزانه پارامترهای هواشناسی در طی سال مورد مطالعه ایستگاه مشهد.

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
۶۲/۴	میانگین	۱۱/۵	میانگین
۱۲	حداقل	-۱۶/۲	حداقل
۱۰۰	حداکثر	۲۹/۸	حداکثر
۲۴/۸	انحراف معیار	۸/۸	انحراف معیار
۲/۴	میانگین	۳/۳	میانگین
۰	حداقل	-۱۷/۲	حداقل
۹/۲۵	حداکثر	۱۹/۴	حداکثر
۱/۲	انحراف معیار	۵/۸	انحراف معیار
۰/۶۴	میانگین	۸/۲	میانگین
۰	حداقل	۰	حداقل
۵۲	حداکثر	۱۴	حداکثر
۲/۷	انحراف معیار	۴	انحراف معیار
۱۵/۵	میانگین	۹/۴	میانگین
-۱۴/۶	حداقل	-۱۴/۸	حداقل
۳۴/۱	حداکثر	۲۳/۲	حداکثر
۹/۷	انحراف معیار	۶/۴	انحراف معیار

جدول ۲- تصاویر مودیس مورد استفاده در پژوهش.

تاریخ میلادی	تاریخ میلادی	تاریخ میلادی
۲۰۱۰/۹/۱۲	۲۰۱۰/۷/۴	۲۰۱۰/۴/۱۲
۲۰۱۰/۹/۲۲	۲۰۱۰/۷/۱۵	۲۰۱۰/۴/۲۴
۲۰۱۰/۱۰/۲	۲۰۱۰/۷/۲۶	۲۰۱۰/۵/۳
۲۰۱۰/۱۰/۱۲	۲۰۱۰/۷/۲۹	۲۰۱۰/۵/۱۱
۲۰۱۰/۱۰/۲۳	۲۰۱۰/۸/۴	۲۰۱۰/۵/۲۳
۲۰۱۰/۱۱/۶	۲۰۱۰/۸/۱۵	۲۰۱۰/۶/۲
۲۰۱۰/۱۱/۱۷	۲۰۱۰/۸/۲۷	۲۰۱۰/۶/۱۱
	۲۰۱۰/۹/۱	۲۰۱۰/۶/۲۲

**تجزیه و تحلیل داده:** در تحلیل داده‌های فضایی مانند داده‌های هواشناسی مورد استفاده در محاسبه تبخیر و تعرق، باید مفروضات بنیادی مانند نرمال بودن، وجود داده‌های پرت یا ناهم‌خوان و مانایی در میانگین (ثابت بودن میانگین) مورد بررسی قرار گیرد. آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> انجام شد. مانایی داده‌ها نیز از طریق آزمون ناپارامتری ران‌تست<sup>۲</sup> در محیط نرم‌افزاری SPSS انجام شد.

**محاسبه تبخیر و تعرق فضای سبز به روش سبال:** محاسبه تبخیر و تعرق توسط روش سبال نیز براساس ۲۳ عکس ماهواره مودیس با فاصله ۱۰ روز (دور آبیاری معمول منطقه) صورت پذیرفت. همچنین برای انجام تصحیحات آتمسفری نیز از اطلاعات رادیو سوند مشهد استفاده گردید. توسعه بیوسفر و شرایط زندگی روی زمین بر روی تبادلات تابشی، شارهای رطوبتی و حرارتی تأثیر دارد. پروسه‌های انتقال آشفته در آتمسفر و پروسه‌های انتقال خطی در سطح زمین توسط توازن انرژی در سطح زمین قابل بیان هستند. آنچه در معادله توازن انرژی در سطح زمین خودنمایی می‌کند ناچیز فرض کردن مقادیر انرژی ذخیره شده در گیاه و انرژی مورد نیاز برای فتوسنتز است. لازم به ذکر است که انرژی مربوط به اثر واحه‌ای نیز به دلیل مشکل بودن محاسبه آن در نظر گرفته نشده است. همان‌طور که در قبل نیز اشاره شد الگوریتم توازن انرژی برای سطح زمین توسط باستیانس (۱۹۹۵) معرفی گردید. روش سبال از دمای سطح زمین، بازتاب سطحی و شاخص نرمال شده گیاهی برای ایجاد ارتباط دوطرفه بین شار سطحی و پهنای طیف استفاده می‌کند. باستیانس برای فرموله کردن روش سبال گرمای نهان تبخیر برای آب را به صورت تابعی از عوامل مختلف فرض کرد (رابطه ۱).

$$\lambda E(x, y) = F_1 \{ r_0(x, y), k^{\downarrow}(x, y), \varepsilon'_s, \varepsilon_s(x, y) \times T_s(x, y), G_s(x, y), Z_{.m}(x, y), KB^{-1} \times u_*^*(x, y), L(x, y), \delta T_a(x, y) \} \quad (1)$$

که در آن،  $T_s$ : انعکاس سطحی،  $\varepsilon'_s$ : قابلیت نشر مادون قرمز در آتمسفر،  $\varepsilon_s$ : قابلیت نشر مادون قرمز از سطح زمین،  $T_a$ : دمای سطح زمین،  $G_s$ : شار گرمای خاک،  $Z_{.m}$ : طول زبری برای انتقال مومنتم،  $KB^{-1}$ : از ارتباط بین طول زبری انتقال مومنتم و طول زبری انتقال حرارت به دست می‌آید،  $u_*^*$ : سرعت اصطکاکی،  $L$ : طول مونین-ابوخوف و  $\delta T_a$ : اختلاف دما در نزدیک سطح زمین در راستای عمودی است. برای تصحیح پارازیت‌های جوی ما نیاز به اطلاعات رطوبت، دما، سرعت باد و... در ارتفاع‌های

1- Kolmogorov-Smirnov

2- Run Test



مختلف داریم که این اطلاعات توسط رادیوسوند جمع‌آوری می‌گردند. شایان ذکر است که در صورت نبودن اطلاعات رادیوسوند می‌توان از داده‌های ماهواره با خطای ۰/۰۴ استفاده نمود.

در ابتدا برای انجام پژوهش داده‌های بلندمدت ایستگاه سینوپتیک مشهد برای تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل فضای سبز (با استفاده از روش‌های موجود) و نرم‌افزار Ref-ET منطقه مطالعاتی جمع‌آوری گردید. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس با دقت ۲۵۰×۲۵۰ متر، تبخیر و تعرق برآوردی فضای سبز واقع در پارک ملت مشهد را از الگوریتم سبال در روزهای عکس‌برداری محاسبه شد. در ادامه با رگرسیون‌گیری بین مقادیر تبخیر و تعرق به‌دست آمده از روش‌های موجود و روش سبال میزان تبخیر و تعرق روزانه را برای تمام روزهای سال محاسبه گردید. و در نهایت با جمع تبخیر و تعرق‌های برآوردی در هر روز (ماه‌های رشد) میزان تبخیر و تعرق برآوردی فضای سبز در دوره یک‌ساله در شهر مشهد محاسبه شد.

**محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع:** مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع (رابطه پنمن‌مانتیت - فائو ۵۶)، نیز توسط نرم‌افزار Ref-ET محاسبه گردید. برای این منظور با وارد کردن اطلاعات هواشناسی مانند دمای تر، دمای خشک، ساعات آفتابی، باران، دمای نقطه شبنم، سرعت باد، دما در اسکرین، رطوبت نسبی و تشعشع تبخیر و تعرق گیاه مرجع برآورد شد.

**ارزیابی مدل:** در این پژوهش برای ارزیابی کارایی روش سبال در مقابل روش پنمن‌مانتیت - فائو ۵۶ در برآورد تبخیر و تعرق فضای سبز پارک ملت مشهد از معیارهای ضریب تعیین  $R^2$ ، جذر میانگین مربع خطا<sup>۱</sup> RMSE و میانگین خطای مطلق<sup>۲</sup> MAE استفاده گردید. رابطه‌های مربوط به این آماره‌ها به‌صورت زیر می‌باشد (گراسیو و همکاران، ۲۰۰۸):

$$RMSE = \sqrt{(\sum (E_{si} - E_{oi})^2) / n - 1} \quad (2)$$

$$MAE = (\sum_{i=1}^n ABS(E_{oi} - E_{si})) / n \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n (E_{Si} - \bar{E}) \right) \left( E_{oi} - \bar{E}_{oi} \right)}{\left( \sum_{i=1}^n (E_{Si} - \bar{E})^2 \right) \left( E_{oi} - \bar{E}_{oi} \right)^2} \quad (4)$$

1- Root Mean Square Error

2- Mean Absolute Error

که در آن‌ها، مقادیر  $E_{oi}$ ،  $E_{si}$  و  $\bar{E}$  به ترتیب مربوط به تبخیر و تعرق برآوردی توسط روش پنمن مانیت-فائو ۵۶، روش سبال و میانگین موارد بالا می‌باشد. پارامتر ارزیابی MAE نشان می‌دهد که اولاً آیا مدل مقدار متغیر موردنظر را کم یا زیاد برآورد می‌کند و ثانیاً مقدار کمی آن چقدر است. زمانی که MAE برابر صفر است، مشخص می‌شود که مدل فضای مطالعه شده را خوب برآورد کرده و هیچ‌گونه انحرافی وجود ندارد. ضریب همبستگی هم نشان‌دهنده میزان ارتباط مقادیر برآورد شده با مقادیر محاسبه شده است که هرچه مقدار آن بالاتر باشد، این ارتباط نزدیک‌تر است و اختلاف مقدار برآورد شده با مقدار محاسبه شده کم‌تر خواهد بود. پارامتر RMSE نیز نشان می‌دهد که مدل تا چه حد، مقادیر مد نظر، را بیش‌تر و یا کم‌تر تخمین زده است. هرچه مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر نزدیکی مقادیر برآوردی به مقادیر واقعی می‌باشد و افزایش مقدار آن بیانگر اختلاف زیاد بین داده‌های واقعی و برآوردی است. ضمن این‌که برای ارزیابی بهتر، نتایج مدل‌ها نسبت به خط ۱:۱ نیز مورد سنجش قرار گرفتند.

## نتایج و بحث

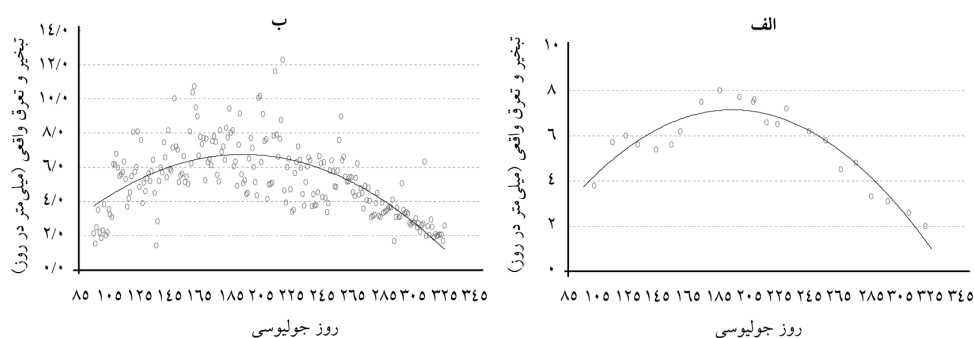
مقادیر پارامترهای ضریب امیسیویته ( $E_o$ )، جزء تبخیری ( $E_f$ )، شار زمین ( $G_{ins}$ )، شار گرمای محسوس ( $H$ )، طول مونین ابوخوف ( $L$ )، شار گرمای نهان لحظه‌ای ( $LE_{ins}$ )، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و مقاومت آئروپنایمیک در برابر انتقال حرارت ( $r_{ah}$ ) در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۳ نیز مشخص است با افزایش مقدار شاخص پوشش گیاهی مقادیر ضریب امیسیویته، شار گرمای نهان لحظه‌ای و طول مونین ابوخوف افزایش می‌یابند، به طوری که این ۳ پارامتر روند کاملاً مشابهی با شاخص پوشش گیاهی دارند. در مقابل پارامترهای جزء تبخیری و مقاومت آئروپنایمیک در برابر انتقال حرارت دارای روند معکوسی با تغییرات شاخص پوشش گیاهی هستند. شار زمین و شار گرمای محسوس دارای همبستگی ضعیف‌تری با شاخص پوشش گیاهی نسبت به پارامترهای ضریب امیسیویته، شار گرمای نهان لحظه‌ای و طول مونین ابوخوف می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۳ نیز کاملاً مشهود است با گرم شدن هوا (فصل تابستان) مقادیر پارامترهای ضریب امیسیویته ( $E_o$ )، شار زمین ( $G_{ins}$ )، شار گرمای محسوس ( $H$ ) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) زیاد شده و با سرد شدن هوا مقادیر آن‌ها کاهش می‌یابند. چنین روندی در مقادیر شاخص پوشش گیاهی و جزء تبخیری نیز از سوی کلوککو و همکاران (۲۰۰۷) ارایه شده است.

جدول ۳- مقادیر برخی از پارامترهای محاسبه شده توسط روش سبال.

E.	$r_{ah}$ (متر بر ثانیه)	NDVI	$LE_{ins}$ ( $W/m^2$ )	L (متر)	H ( $W/m^2$ )	$G_{ins}$ ( $W/m^2$ )	$E_f$ (میلی متر بر ساعت)	julian day
۰/۹۳۹	۱۰/۰۱۷	۰/۲۲۱	۳۵۱/۶۷۱	-۱۰۷۷۸۱	۱/۱۲	۶۸/۴۰۷	۰/۹۹۶	۱۰۲
۰/۹۴۹	۱۶/۵۴۱	۰/۲۷۵	۵۶۳/۴۷۶	-۹۲۲۹	۲/۹	۸۴/۴۲۳	۰/۹۹۴	۱۱۴
۰/۹۶۷	۲۴/۹۷۹	۰/۴۰۲	۴۹۵/۶۴۹	-۱۷۴۷۶	۰/۴۵	۹۲/۲۸۷	۰/۹۹۹	۱۲۳
۰/۹۷۳	۲۴/۹۸۴	۰/۴۶۰	۰۴۱۶/۰۲۲	-۱۷۶۸۶	۰/۴۵	۹۰/۷۳۵	۰/۹۹۸	۱۳۱
۰/۹۷۴	۲۴/۹۸۴	۰/۴۶۸	۴۰۶/۶۴۸	-۱۷۵۳۲	۰/۴۵	۸۵/۴۴۷	۰/۹۹۸	۱۴۳
۰/۹۵۷	۲۴/۹۸۴	۰/۳۲۹	۵۲۵/۴۱۶	-۱۷۵۲۷	۰/۴۵	۸۲/۱۶۷	۰/۹۹۹	۱۵۳
۰/۹۷۶	۲۴/۹۸۴	۰/۴۹۴	۵۱۷/۱۳۱	-۱۷۶۱۲	۰/۴۵	۹۶/۲۹۲	۰/۹۹۹	۱۵۹
۰/۹۶۷	۱۰/۰۱۷	۰/۴۰۸	۵۲۵/۰۹۲	-۱۱۰۷۲۹	۱/۱۲	۱۰۴/۶۶۷	۰/۹۹۷	۱۷۳
۰/۹۶۸	۸/۳۴۱	۰/۴۱۷	۵۶۳/۰۸۲	-۱۵۹۵۱۲	۱/۳۵	۱۰۸/۱۱	۰/۹۹۷	۱۸۵
۰/۹۷۱	۷/۱۵۳	۰/۴۳۷	۵۱۵/۵۱۰	-۲۱۹۰۲۹	۱/۵۷	۱۰۸/۱۴۴	۰/۹۹۷	۱۹۸
۰/۹۷	۱۶/۷۴۵	۰/۴۲۸	۳۹۸/۷۲۸	-۴۱۸۳۲	۰/۶۷	۱۰۹/۱۴۴	۰/۹۹۸	۲۰۷
۰/۹۸۴	۶/۲۴۹	۰/۵۷۷	۵۶۵/۴۸۸	-۲۸۱۱۱۷	۱/۸	۸۸/۴۲۴	۰/۹۹۶	۲۰۸
۰/۹۶۹	۲۴/۵۶۸	۰/۴۲۷	۴۴۷/۴۵۱	-۳۶۷۴	۲/۲۸	۹۶/۵۱۹	۰/۹۹۴	۲۱۶
۰/۹۵۸	۷/۱۲۵	۰/۳۳۲	۲۵۸/۳۸۴	-۱۹۵۹۷	۱/۵۳	۱۰۲/۶۷۴	۰/۹۳۳	۲۲۳
۰/۹۵۹	۵/۵۹۱	۰/۳۴۲	۴۷۶/۰۲۹	-۳۵۳۸۱۹	۲/۰۱	۸۴/۲۷۲	۰/۹۹۵	۲۲۹
۰/۹۵۷	۸/۳۴۱	۰/۳۲۶	۵۱۴/۷۷۲	-۱۵۷۹۴۴	۱/۳۵	۸۸/۵۷۲	۰/۹۹۷	۲۴۴
۰/۹۷۱	۱۶/۶۵۶	۰/۴۴۵	۴۸۹/۱۶۹	-۳۹۲۷۴	۰/۶۸	۷۹/۴۳۶	۰/۹۹۸	۲۵۵
۰/۹۵۶	۲۴/۹۷۹	۰/۳۱۸	۵۵۳/۷۱۶	-۱۷۱۱۵	۰/۴۵	۶۵/۰۳۷	۰/۹۹۹	۲۶۵
۰/۹۶۵	۱۲/۴۸۶	۰/۳۸۸	۴۷۶/۷۵۰	-۶۸۱۴۵	۰/۹	۵۲/۴۳۳	۰/۹۹۸	۲۷۵
۰/۹۶۵	۲۴/۹۷۹	۰/۳۸۵	۵۰۶/۹۵۲	-۱۶۸۸۹	۰/۴۵	۴۸/۷۶۴	۰/۹۹۹	۲۸۵
۰/۹۵۷	۲۴/۹۷۸	۰/۳۲۸	۴۶۰/۱۸۴	-۱۶۷۶۳	۰/۴۵	۴۱/۰۵۸	۰/۹۹۹	۵۹۶
۰/۹۵۲	۲۴/۹۷۸	۰/۲۹۶	۴۱۴/۲۳۲	-۱۶۷۱۴	۰/۴۵	۳۶/۰۱۱	۰/۹۹۸	۳۱۰
۰/۹۵۸	۲۴/۹۷۲	۰/۳۳۴	۳۷۲/۴۷۴	-۱۶۴۸۵	۰/۴۵	۲۴/۸۴۸	۰/۹۹۸	۳۲۱

مقادیر تبخیر و تعرق فضای سبز پارک ملت مشهد محاسبه شده توسط روش سبال در روزهای دارای عکس در شکل ۳- الف نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۳- الف نیز مشخص است مقدار تبخیر و تعرق در فصل تابستان و در تیرماه به بالاترین مقدار خود یعنی ۸ میلی متر در روز رسیده و در مقابل در فصل پاییز و در ماه آبان به کمترین مقدار خود یعنی ۲ میلی متر در روز رسیده است. علت کاهش تبخیر و تعرق در فصل پاییز مربوط به ریزش برگها و کاهش شاخص پوشش

گیاهی می‌باشد و عامل گرمی هوا در فصل تابستان باعث افزایش تبخیر و تعرق گردیده است. مقادیر تبخیر و تعرق روزانه در طی روزهای مورد مطالعه پس از درون‌یابی به‌دست آمد (شکل ۳-ب). همان‌طورکه در شکل ۳ نیز مشخص است بیش‌ترین مقدار تبخیر و تعرق فضای سبز به  $12/3$  میلی‌متر در مردادماه و کم‌ترین مقدار خود  $1/5$  در فروردین‌ماه رسیده است. همان‌طورکه مشخص است روش سبال از توانایی بالایی برای محاسبه تبخیر و تعرق فضای سبز هم در مقیاس روزانه و هم در طول فصل رشد برخوردار است. در همین راستا باستیانسن و همکاران (۲۰۰۵) دقت مدل سبال را برای مقیاس مزرعه ۸۵ درصد در روز و ۹۵ درصد برای فصل رشد برآورد کردند.

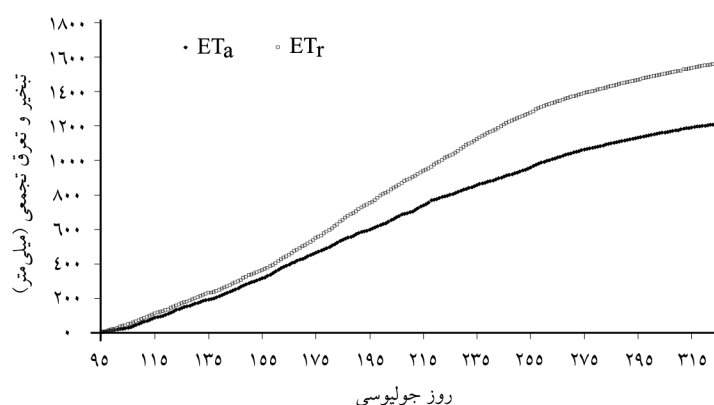


شکل ۳- تغییرات تبخیر تعرق برآوردی روزانه الف) محاسبه شده توسط الگوریتم سبال در روزهای دارای تصویر ب) پس از درون‌یابی برای روزهای بدون تصویر در طول دوره رشد (نیمه فروردین تا آخر آبان‌ماه ۱۳۸۹).

در ادامه مقادیر تجمعی تبخیر و تعرق در پارک ملت در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طورکه در شکل ۴ مشخص است مقدار تبخیر و تعرق برآوردی پارک ملت مشهد (به‌ازای هر مترمربع) در پایان فصل رشد به‌میزان  $1210/6$  میلی‌متر می‌رسد. اگر این مقدار را در مساحت کل پارک ( $409347$  مترمربع) ضرب کنیم مقدار نهایی آب مورد نیاز این پارک در طول دوره رشد به‌میزان  $495555/5$  مترمکعب خواهد بود. در مقابل مقادیر تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن‌مانتیت-فائو ۵۶ در انتهای فصل رشد به  $1563/3$  میلی‌متر رسیده است، که دارای  $22/5$  درصد افزایش نسبت به مقدار برآوردی آن می‌باشد. این مقدار اختلاف مربوط به ضریب خرد اقلیم  $(K_{mc})$  برای تنظیم

#### 1- Microclimate

ET. برای خرد اقلیم محلی، ضریب پوشش گیاهی ضریب ( $K_p$ ) که تفاوت بین تبخیر و تعرق پوشش گیاهی به‌خوبی سیراب شده و ET. محلی است، ضریب تراکم ( $K_d$ ) که باعث تنظیم تبخیر و تعرق برای برآورد تراکم بوته می‌شود، ضریب تنش ( $K_s$ ) که تنظیم برای کاهش تبخیر و تعرق به‌خاطر استرس آب و ضریب تبخیر ( $K_e$ ) که مقادیر ضریب پایه را تعریف می‌کند، می‌باشد (کاستلو و همکاران، ۱۹۹۳). در همین راستا محاسبه ضرایب بالا هم زمان‌بر و هم هزینه‌بردار است، بنابراین سعی شد تا با استفاده از شاخص پوشش گیاهی یک ارتباط خطی مناسب بین تبخیر و تعرق برآوردی و مقدار تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن‌مانتیت- فائو ۵۶ برقرار گردد.



شکل ۴- نمودار تجمعی تبخیر تعرق مرجع ( $ET_r$ ) و برآوردی ( $ET_a$ ) در طول دوره رشد (نیمه فروردین تا آخر آبان‌ماه ۱۳۸۹).

رابطه تصحیح تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن‌مانتیت- فائو ۵۶ براساس شاخص پوشش گیاهی، با استفاده از حداقل‌سازی تابع هدفی (رابطه ۵) به‌دست آمد. ضرایب انتخاب شده در تابع هدف براساس اهمیت پارامترها موردنظر انتخاب گردید. بر این اساس رابطه پیشنهادی برای تصحیح مقدار تبخیر و تعرق مرجع توسط روش پنمن‌مانتیت- فائو ۵۶ به‌صورت رابطه ۶ می‌باشد. در رابطه ۶ پارامتر NDVI شاخص پوشش گیاهی برای هر روز دارای عکس و  $ET_r$  تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد. مقادیر پارامترهای آماری برای مقادیر قبل از تصحیح و بعد از تصحیح در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طورکه در جدول ۴ نیز مشخص است مقادیر پارامترهای آماری بعد از

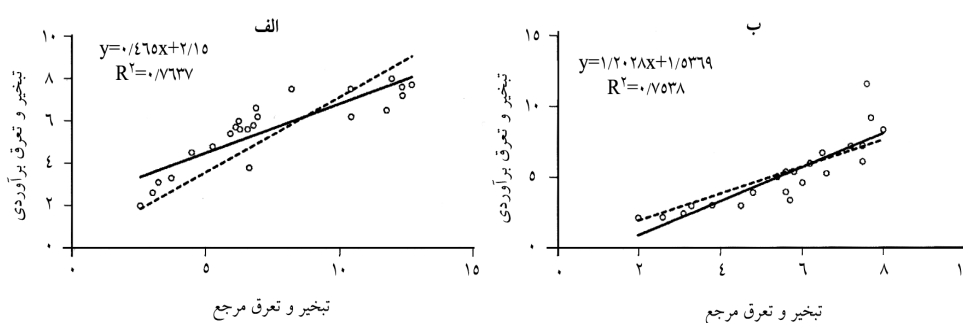
تصحیح نسبت به مقادیر آن‌ها قبل از تصحیح کاهش یافته است. در ادامه برای ارزیابی تصویر روشن‌تری از مقادیر تصحیح شده تبخیر و تعرق، مقادیر آن‌ها را قبل از تصحیح و بعد از تصحیح در مقابل مقادیر تبخیر و تعرق برآوردی در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل ۵ نیز از نظر شهودی بیانگر بهتر شدن نتایج به دست آمده از رابطه ۶ می‌باشد. تاسومی و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه خود در خصوص اعتبارسنجی روش سبال به ضریب همبستگی ۰/۹۹ بین تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط روش سبال برای چغندر و تبخیر و تعرق محاسبه شده آن در طول فصل رشد توسط لایسمتر دست یافتند. این در حالی است که ضریب همبستگی بین تبخیر و تعرق برآوردی و تبخیر و تعرق گیاه مرجع در این پژوهش ۰/۷۶۳۷ می‌باشد.

$$0.3 \times (1 - R^2) + 0.4 \times (MAE) + 0.3 \times (RMSE) = \min \quad (5)$$

$$E_a = ET_r \times (1/5 \times (NDVI)) + 0.8 \quad (6)$$

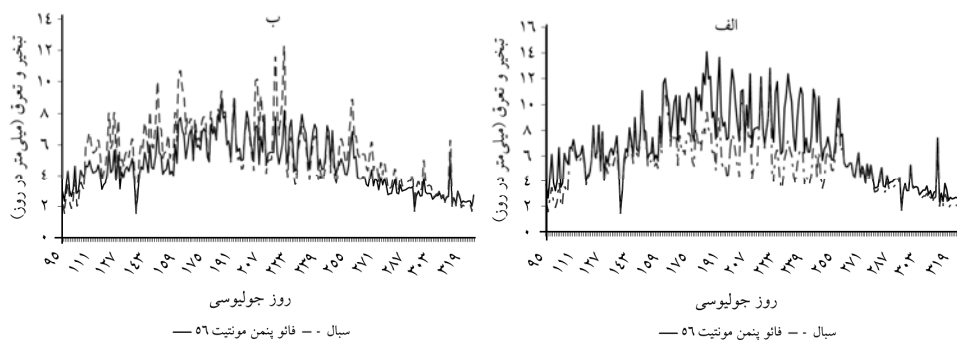
جدول ۴- پارامترهای آماری مربوط به مقایسه مقدار تبخیر و تعرق برآوردی و تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط روش سبال قبل و بعد از انجام تصحیح.

پارامتر	$R^2$	RMSE	MAE
قبل از تصحیح	۰/۷۶۳۷	۲/۶۲	۱/۸۳
بعد از تصحیح	۰/۷۵۳۸	۱/۲۷	۰/۹۱



شکل ۵- بررسی همبستگی بین تبخیر تعرق برآوردی محاسبه شده توسط سبال و تبخیر تعرق مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن مانیت- فائو ۵۶ (الف) قبل از تصحیح و (ب) بعد از تصحیح.

در ادامه با استفاده از رابطه مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع را برای تمام روزهای مورد بررسی تصحیح شد. لازم به ذکر است که برای محاسبه تبخیر و تعرق از مقدار متوسط شاخص پوشش گیاهی در روزهای دارای عکس استفاده شد، بنابراین در رابطه ۶ به جای مقدار NDVI در هر روز از متوسط آن در روزهای دارای عکس یعنی مقدار ۰/۳۸۴۶ استفاده شد. روند تغییرات تبخیر و تعرق برآوردی (محاسبه شده توسط روش سبال) و تبخیر و تعرق گیاه مرجع (محاسبه شده توسط روش پنمن-مانتیت-۵۶) در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۶ نیز مشاهده می‌گردد بعد از انجام تصحیح توسط رابطه ۶ مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع به مقادیر برآوردی آن نزدیک شده، هر چند هنوز دقت خوبی ندارند ولی به دلیل کاهش در زمان و هزینه لازم برای محاسبه ضرایب ریزاقلیم، پوشش گیاهی، ضریب تراکم، ضریب تنش و ضریب تبخیر می‌تواند بسیار مناسب باشد. مقادیر پارامترهای RMSE و MAE قبل از انجام تصحیح و بعد از انجام تصحیح برای کل روزهای رشد به ترتیب برابر ۲/۱، ۱/۵۳، ۱/۱۷ و ۰/۹۳ می‌باشند.



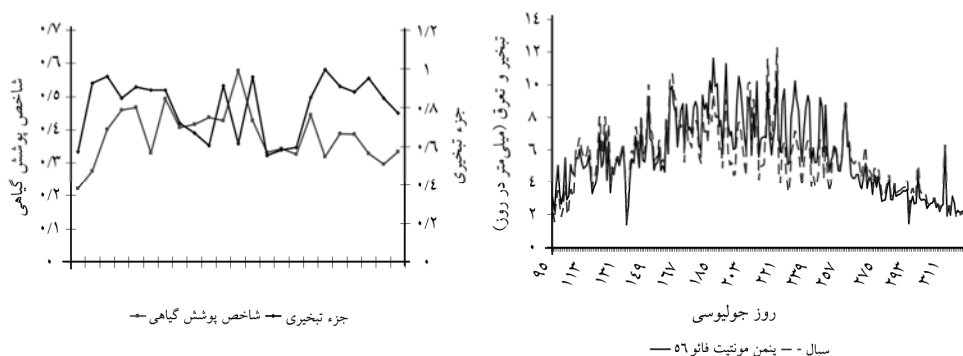
شکل ۶- روند تغییرات تبخیر و تعرق برآوردی با مقادیر تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن-مانتیت-۵۶ فائو ۵۶ برای کل دوره رشد الف) قبل از تصحیح و ب) بعد از تصحیح.

همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد مقدار تبخیر و تعرق برآوردی فضای سبز از حاصل ضرب  $ET_s$  در ضرایب مربوط به ریزاقلیم<sup>۱</sup> ( $K_{mc}$ )، ضریب پوشش گیاهی ( $K_y$ )، ضریب تراکم ( $K_d$ )، ضریب تنش ( $K_s$ ) به دست می‌آید. بنابراین با توجه به زمان‌بر و هزینه داشتن محاسبه ضرایب بالا و با توجه به دقت روش سبال می‌توان حاصل ضرب این ضرایب را به دست آورد. مقدار این ضرایب در روزهای دارای

#### 1- Microclimate

عکس همان ضریب جزء تبخیری می‌باشد. روند تغییرات این ضرایب به همراه تغییرات شاخص پوشش گیاهی در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۷ نیز مشخص است در بیش‌تر موارد این دو پارامتر با هم نسبت عکس داشته و با افزایش شاخص پوشش گیاهی، مقدار جزء تبخیری کاهش می‌یابد. این امری کاملاً بدیهی است زیرا با افزایش شاخص پوشش گیاهی مقدار تبخیر و تعرق برآوردی افزایش یافته و به تبخیر و تعرق مرجع نزدیک‌تر می‌شود. بر این اساس با داشتن شاخص پوشش گیاهی می‌توان ضرایب مدنظر برای فضای سبز را به‌صورت رابطه ۷ به‌دست آورد. در نهایت براساس حاصل ضرب تبخیر و تعرق مرجع در ضریب  $K_L$  مقدار تبخیر و تعرق برآوردی برای کل دوره رشد به‌دست آمد (شکل ۷). مقدار پارامترهای آماری  $RMSE$  و  $MAE$  برای کل فصل رشد به‌ترتیب برابر با  $1/2$  و  $0/93$  می‌باشد. لازم به ذکر است که برای کل دوره رشد از میانگین شاخص پوشش گیاهی برای روزهای دارای عکس (۲۳ روز) استفاده گردید.

$$K_L = (1/5 \times NDTV) + 0/25 \quad (7)$$



شکل ۷- روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی و جزء تبخیری  
(به‌عنوان ضرایب تعدیل تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای فضای سبز).

### نتیجه‌گیری

نتایج بیانگر روند کاملاً مشابه تغییرات ضریب امپسیویتی، شار گرمای نهان لحظه‌ای و طول مومنین ابوخوف با تغییرات شاخص پوشش گیاهی می‌باشد. در مقابل پارامترهای جزء تبخیری و مقاومت آئرونامیکی در برابر انتقال حرارت دارای روند معکوسی با تغییرات شاخص پوشش گیاهی هستند. با



گرم شدن هوا (فصل تابستان) مقادیر پارامترهای ضریب امیسیویته، شار زمین، شار گرمای محسوس و شاخص پوشش گیاهی زیاد شده و با سرد شدن هوا مقادیر آن‌ها کاهش می‌یابند. بررسی روند تغییرات تبخیر و تعرق نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تبخیر و تعرق در فضای سبز مشهد به ترتیب برابر ۸ (تیرماه) و ۲ (آبان‌ماه) میلی‌متر در روز می‌باشد. علت کاهش تبخیر و تعرق در فصل پاییز مربوط به ریزش برگ‌ها و کاهش شاخص پوشش گیاهی می‌باشد و عامل گرمی هوا در فصل تابستان باعث افزایش تبخیر و تعرق گردیده است. بعد از انجام تصحیح توسط رابطه ارایه شده مقادیر تبخیر و تعرق مرجع به مقادیر برآوردی آن نزدیک شده، هر چند هنوز دقت خوبی ندارند ولی به دلیل کاهش در زمان و هزینه لازم برای محاسبه ضرایب ریزاقلیم، پوشش گیاهی، ضریب تراکم، ضریب تنش و ضریب تبخیر می‌تواند بسیار مناسب باشد. مقادیر پارامترهای RMSE و MAE قبل از انجام تصحیح و بعد از انجام تصحیح برای کل روزهای رشد به ترتیب برابر ۲/۱، ۱/۵۳، ۱/۱۷ و ۰/۹۳ می‌باشند.

#### منابع

1. Alizadeh, A. 2008. Soil and plant water relations. Imam Reza University Press. Eighth Printing, 480p. (In Persian)
2. Allen, R.G., and Brockway, C.E. 1983. Estimating consumptive Irrigation Requirements for Crop in Idaho: Appendix E of the research technical report submitted to Idaho Department of Water Resources. <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/appndxet/index.shtml>, January 2003.
3. Allen, R.G., Morse, A., Tasumi, M., Terezza, R., Bastiaanssen, W.G.M., Wright, J.L., and Kramber, W. 2002. Evapotranspiration from a satellite-based surface energy balance for the Sanke river Plain Aquifer in Idaho. Proc. USCID conference San Luis Obispo, CA, July 2002.
4. Allen, R.G., Morse, A., and Tasumi, M. 2003. Application of SEBAL for western US rights regulation and planning. ICID workshop on remote sensing of ET for large regions.
5. Bastiaanssen, W.G.M., Menentia, M., Feddesb, R.A., and Holtslagc, A.A.M. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL), J. Hydrol. 212: 213. 198-212.
6. Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J., Pelgrum, M.H., Davids, G., Thoreson, B.P., and Allen, R.G. 2005. SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions, J. Irrig. Drain. (ASCE) 0733-9437, 131: 1. 85-93.
7. Costello, L.R., Matheny, N.P., and Clark, J.R. 1993. Estimating Water Requirements of Landscape Planting-The Landscape Coefficient Method. The University of California Cooperative Extension Leaflet 21493.

8. Gervasio Pineiroa, G., Perelman, S., Guerschman, J.P., and Paruelo, J.M. 2008. How to evaluate models: Observed vs. predicted or predicted vs. observed? ecological modeling, 216: 316-322.
9. Koloskov, G., Mukhamejanov, K.H., and Tanton, T.W. 2007. Monin-Obukhov length as a cornerstone of the SEBAL calculations of evapotranspiration, J. Hydrol. 335: 170-179.
10. Mobasheri, M.R., Khavarian, H., and Moussaoui, H. 2006. Error estimates of ET from Sensible Heat in the SEBAL. National Conference on Irrigation and Drainage network management, Shahid Chamran University, Department of Water Engineering. (In Persian)
11. Organization Squares and Parks of Mashhad Municipality. 2010. Download information as a visiting. (In Persian)
12. Salih Hamad, H., Ali Adeeb, M., and Yasir, A.M. 2009. Towards a performance-oriented management for large scale irrigation systems: case study, Rahad scheme, Sudany, J. Irrig. Drain. DOI: 10.1002:546-556.
13. Tasumi, M., Trezza, R., Allen, R.G., and Wright, J.L. 2003. U.S. Validation Tests on the SEBAL Model for Evapotranspiration via Satellite. ICID Workshop on Remote Sensing of ET for Large Region, 17 Sept.
14. Working Group of the National Committee. 2008. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water). Publication of the National Committee on Irrigation and Drainage, 251p. (In Persian)
15. Zare Abiyane, H., Yazdani, V., and Ajdari, Kh. 2009. Comparative study of four meteorological drought index based on relative yield of rain fed wheat in Hamadan Province, J. Univ. Tehran. 41: 69. 35-49. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(3), 2013*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Estimating evapotranspiration in green landscape by using SEBAL Method (Case Study: Mellat Park of Mashhad)**

**H. Ebrahimi<sup>1</sup> and \*V. Yazdani<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Islamic Azad University, Mashhad Branch,

<sup>2</sup>Ph.D. Student, Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 05/08/2011; Accepted: 09/10/2012

### **Abstract**

Since the design of water systems in many countries such as Iran are according to water systems criteria of 50 years ago, this issue should be reconsidered on adaptability with atmospheric changes. Energy balance algorithm for the earth by using MODIS satellite images with interval of 10 days and spatial resolution of 250×250 meter was used, to estimate the amount of evaporation and transpiration of green landscape in Mellat Park of Mashhad. The evapotranspiration in Mellat park of Mashhad (per square meter) in the end of the growing season was about 1210.6 mm. In the other side, the values of reference evapotranspiration are calculated by the FAO 56 Penman-Monteith at the end of the growing season reached to 1563.3 mm, showing an increase of 22.5 percent compared to the estimated one. The relationship between evaporation and transpiration of the estimated plant was significant by FAO 56 Penman-Monteith in SEBAL Method, with the correlation coefficient of 0.7637. Using the relationship based on vegetation index is useful to make a connection between evaporation and transpiration of the estimated source plant (by method of FAO 56 Penman-Monteith) and the real evaporation and transpiration. RMSE and MAE decreased from 2.62 to 1.27 and 1.83 to 0.91 respectively. Therefore RMSE and MAE for the real estimated evaporation and transpiration was estimated by multiplying crop coefficients related to landscape and during entire growing season and was equal to 1.2 and 0.93 respectively.

**Keywords:** Evapotranspiration, Landscape, SEBAL, Mashhad, MODIS satellite images

---

\* Corresponding Author; Email: v.yazdany@yahoo.com

