

مقایسه برآورد ضریب گیاهی فضای سبز به کمک روش سبال و روش لیمپ (مطالعه موردی مشهد)

وحید یزدانی^{۱*}، حسین ابراهیمی^۲

* نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت جام v.yazdany@yahoo.com

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۹

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۲۱

چکیده

در خصوص برآورد تبخیر و تعرق فضای سبز علاوه بر ضریب گیاهی می‌بایست ضرایب مربوط به سایه اندازی، تعدیل تراکم بوته و تنظیم گونه گیاهی خاص نیز برآورد شوند. 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 دوچندان شده، و دقت زیاد و استفاده از روش‌های مناسب را طلب می‌کند. یکی از روش‌های جدید برآورد تبخیر و تعرق در مقیاس وسیع، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. در این پژوهش سعی ما بر این است که با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای توسط مدل سبال و اطلاعات ایستگاه سینوپتیک مشهد، میزان تبخیر و تعرق فضای سبز (پارک ملت مشهد) توسط روش‌های کیمبرلی پنمن، فائو پنمن مونتیث ۵۶، تشعشعی (فائو ۲۴)، بلانی کریدل، هارگریوز سامانی، پریستلی تیلور، مکینگ (۱۹۵۷)، تورک، پنمن فائو ۲۴ و پنمن ۱۹۴۸ را محاسبه نموده و با روش سبال مقایسه گردد. مقادیر ضریب فضای سبز به دست آمده در این تحقیق رابطه مستقیم و تنگاتنگی با شاخص پوشش گیاهی داشته و با افزایش آن افزایش می‌یابد. مقدار تبخیر و تعرق روش سبال در ماه‌های گرم بیشتر از مقدار محاسبه شده توسط سایر روابط بوده است. بررسی‌ها نشان داد که استفاده از ضریب به دست آمده از مدل سبال نتایج بهتری از ضریب محاسبه شده توسط مدل لیمپ را ارائه می‌دهد. نتایج نشان داد که روش‌های هارگریوز سامانی، بلانی کریدل و تورک از دقت کمتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار هستند در مقابل دقت روش‌های پریستلی تیلور، تشعشعی و پنمن مونتیث فائو ۵۶ نسبت به سایر روش‌ها بهتر بوده و به داده‌های مدل سبال نزدیک تر هستند. لذا برای محاسبه تبخیر و تعرق فضای سبز مشهد و یا مناطق با آب و هوای مشابه می‌توان از سه روش پریستلی تیلور، تشعشعی و پنمن مونتیث فائو ۵۶ به همراه ضرایب فضای سبز ارائه شده در این تحقیق استفاده نمود.

کلید واژه‌ها: ضریب فضای سبز، سبال، تبخیر و تعرق، پارک ملت مشهد،

Comparison of Estimation of Landscape Plant Coefficient Using SEBAL and LIMP Methods (Case Study: Mashhad city)

V. Yazdani¹, H. Ebrahimi²

1- Assistant Professor Department of Water Science and Engineering, Higher Education Complex of Torbat Jam

2- Assistant Professor Department of Islamic Azad University of Mashhad

Received: 11 Nov. 2012

Accepted: 30 Nov. 2013

Abstract

The estimated evapotranspiration of landscape with crop coefficient values should be set up relating with shadow, density modification and regulation of certain plant species which are estimated. Nowadays, according to three coefficients surplus are compared by evapotranspiration landscape plants, it is the problem to accurate calculation crop evapotranspiration of these parameters which are so high, and need high accuracy and will be demanded the using of proper methods. However one of the newest methods of estimating evapotranspiration is using large-scale satellite images which is in this research we would tried to use the satellite images by Sebal models and synoptic stations Mashhad in evapotranspiration rate of landscape (Mashhad Mellat Park). This parameter is with Kimberly Penman (1972), FAO Penman Mantis 56, radiation (FAO 24), Blani Criddle modified, Hargrive Samani, Prystly Taylor, Makking (1957), Turc, and the 24th FAO Penman 1948 Penman method compared with Sebal methods. The values of landscape

coefficient obtained in this research have a close relationship with vegetation index and increased together the value of evapotranspiration calculated by Sebal method in warm months is more than calculated in the other methods. This research is showed that by using coefficient obtained in Sebal model have showed the better results than Limp model. The Results show that differences between the values of reference evapotranspiration calculated by above methods with Lysimeter data of Ferdowsi University in May. Therefore the results given by the linear regression equation of Laysimetr were closed. Landscape coefficient obtained in this study, is closed relationship with vegetation index and increasing together. Sebal evapotranspiration values method is gram per month type and more than the values calculated by other relationships. This study showed that the using of this model coefficient obtained is better results in Sebal coefficient and better than limp model. These results show that Hargrive, Samani, Blani Criddle and Tork models are less accuracy and against them Prystly and Taylor, radiation and FAO 56 Penman Mantis and FAO are better than other methods and are close to Sebal model data. Therefore, to calculate the evapotranspiration Mashhad landscape or regions with similar climates could be used three methods to set Prystly Taylor, radiation and FAO 56, Penman Mantis models accompany with landscape coefficients which presented in this study.

Key words: Landscape Coefficient, Sebal, Evapotranspiration, Mashhad Mellat Park

مقدمه

را طلب می‌کند (۲). در محاسبه تبخیر و تعرق باید در نظر داشت که استراتژی آبیاری، منطقه مورد نظر، نوع گیاه و ... بسیار مهم می‌باشد. لذا با این شرایط انتخاب روش مناسب برای محاسبه تبخیر و تعرق در هر منطقه کاری است مشکل و نیاز به مطالعه دقیق دارد. در ۵۰ سال اخیر، دانشمندان و متخصصان جهان روش‌های تجربی بسیاری برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از متغیرهای اقلیمی مختلف معرفی کرده‌اند. این روش‌ها، اغلب، به واسطی‌های محلی بسیار دقیق نیازمند هستند و در شرایط مختلف اعتبار محدودی دارند. ارزیابی دقت روش‌ها تحت شرایط جدید، مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار است. در حالی که، داده‌های تبخیر و تعرق، به طور دائم، برای برنامه‌ریزی یا طراحی آبیاری مورد نیاز است و باید در مدت کوتاه قابل جمع‌آوری و در دسترس باشد.

مقدار تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ET_{Ca}) یا به عبارتی نیاز آبی یک محصول در طول دوره رشد، از جمله موضوعاتی است که همواره مورد توجه محققین، کارشناسان، طراحان و نیز کشاورزان بوده است. در این بین مقدار تبخیر و تعرق فضای سبز به دلیل تنوع در گونه‌های گیاهی کشت شده بسیار حائز اهمیت است. آنچه که اکنون در کشور ما به عنوان نیاز آبی گیاه توصیه می‌شود حاصل محاسبه غیر مستقیم تبخیر و تعرق توسط فرمول‌هایی است که عموماً اساس فیزیکی و یا تجربی دارند. مقادیر به دست آمده از این روش‌ها همواره دارای خطا بوده و شرایط مدیریتی مزرعه، محدودیت‌ها و تنش‌های محیطی، آفات، بیماری‌ها و تغذیه کودی گیاه را در نظر نمی‌گیرند. حال آنکه تمامی این عوامل منجر به برآورد غیر واقعی از نیاز آبی گیاه شده و در صورت اعمال غیر واقعی مقدار آبیاری، مقدار بسیار زیادی از آب هدر خواهد رفت (۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مصرف و هدر رفت آب در بخش کشاورزی و فضای سبز است. شایان ذکر است که در اکثر طرح‌های آبیاری راندمان استفاده از آب کم بوده و تقریباً کمتر از

در ایران منبع اصلی آب بارش است و از ۴۱۳ متر مکعب بارش، سالانه ۲۶۹ مترمکعب به شکل‌های مختلف از دست می‌رود. ۹۲/۳ درصد از آب باقی‌مانده صرف مصارف کشاورزی البته به شکلی غیر اصولی می‌شود. ۱/۷ درصد به صنعت و معدن اختصاص می‌یابد و بقیه به مصارف دیگر می‌رسد. اشاره به این درصدها برای این اهمیت دارد که بروز بحران آب، آنها را دستخوش تغییر می‌کند و سازمان‌های بین‌المللی هشدار می‌دهند که با افزایش جمعیت در ایران، این کشور در سال ۲۰۲۵ درگیر بحران جدی آب خواهد شد. عمده اسراف منابع آب را در دو بخش سرانه خانگی و مصارف کشاورزی می‌باشد. در همین راستا مصرف ایرانیان در بخش شرب خانگی، دو برابر متوسط جهانی است و در بخش کشاورزی نیز بازدهی آب مصرف شده، خیلی پایین است. نتیجه اینکه ما در یک کشور خشک و نیمه‌خشک زندگی می‌کنیم و همواره با مشکل کم آبی روبرو هستیم.

در همین راستا بالا بردن بهره‌وری آب و استفاده بهینه آب در بخش کشاورزی بسیار حائز اهمیت است. در این خصوص یکی از راهکارهای اصلی بالا بردن راندمان‌های انتقال ذخیره، آبیاری و ... می‌باشد. راهکار دیگر بالا بردن بهره‌وری آب بوده که این امر با محاسبه دقیق نیاز آبی گیاهان میسر خواهد بود (۲ و ۱۲). با توجه به توسعه مناطق شهری و از جمله شهرهای بزرگ و به تناسب آن افزایش آلودگی هوا، توسعه فضای سبز به یکی از نیازهای مهم این مناطق تبدیل شده است. نیاز آبی گیاهان به پارامترهای بسیاری مثل ظرفیت نگهداری خاک، دمای هوا، شیب، خشکی هوا، میزان وزش بادهای دایمی، سایه و غیره بستگی دارد و نه فقط از جایی به جای دیگر فرق می‌کند بلکه حتی در یک شهر از محلی به محل دیگر و حتی در یک محل از نقطه ای 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 دوچندان شده، و دقت زیاد و استفاده از روش‌های مناسب

در تحقیقی دیگر از الگوریتم سبال برای تعیین منحنی‌های ضریب گیاهی (K_c) چغندر قند و سیب‌زمینی استفاده شد و هر یک به ترتیب با نتایج حاصله از روش‌های آن و بروکوی^۲ (۱۰) و داده‌های اقلیمی ۲۰۰۲ در منطقه آیداهوی آمریکا مقایسه گردیده است (۲۶). باستیانسن^۳ و همکاران از روش سبال برای بهبود مدیریت منابع آب تحت شرایط واقعی استفاده نمودند. نتایج آنها حاکی از توانایی بالا این روش در مدیریت بهینه منابع آب بود (۱۴).

کلوسکو^۴ و همکاران از پارامتری به عنوان طول مومین ابخوف^۵ که از داده‌های ماهواره‌ای محاسبه می‌گردد، برای محاسبه تبخیر و تعرق روزانه استفاده نمودند. نتایج آنها حاکی از 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 اعتبار سنجی مدل فوق را برای مزرعه پنبه انجام دادند و تبخیر و تعرق روزانه برای پنبه توسط روش سبال برابر $5/94$ میلی‌متر در روز گزارش کردند (۲۱). سالی حمد^۶ و همکاران در بررسی طرح بزرگ آبیاری راهاد در سودان بیان داشتند که روش سبال روشی مناسب و ارزان برای ارزیابی عملکرد سیستم آبیاری فوق است، و محاسبه شاخص‌های تکافو، عدالت، کفایت و اعتماد پذیری را با دقت خوبی محاسبه می‌کند (۲۵).

اما همان طور 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. ضمن اینکه طرح‌های بزرگ فضای سبز در کلان شهرها، به مراتب بیشتر باعث تحلیل منابع آب می‌شوند. باید متذکر شد که این مسئله در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار حادثر 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. لذا در این تحقیق با محاسبه تبخیر و تعرق فضای سبز توسط مدل سبال و مقایسه آن نسبت به تبخیر و تعرق مرجع روش‌های کیمبرلی پنمن (۱۹۷۲)، فائو پنمن مونتیث ۵۶، تشعشی (فائو ۲۴)، بلانی کریدل، هارگریوز سامانی، پرستلی تیلور، مکینگ (۱۹۵۷)، تورک، پنمن فائو ۲۴ و پنمن ۱۹۴۸ اقدام به محاسبه ضریب فضای سبز خواهد شد. ضمن اینکه مقادیر ضریب فضای سبز به دست آمده نیز با مدل لیمپ مقایسه می‌شود.

۴۰ درصد است (۲۳ و ۱۹). از این رو نیاز به راه‌کارهایی برای افزایش راندمان مبرم به نظر می‌رسد.

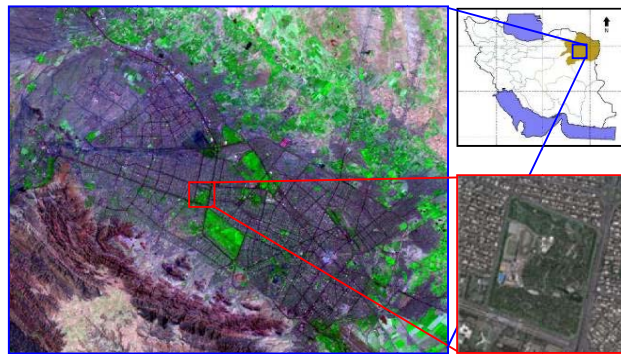
کنترل کننده‌های آبیاری اکنون به طور گسترده‌ای برای مدیریت آبیاری فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، بر اساس اطلاعات علمی محدود به زمان درخواست آب و میزان آن می‌باشد (۱۶). آب مورد نیاز گیاهان در مناطق شهری به دلیل وجود فضاهای متفاوت که هر یک دارای شرایط متفاوتی از میزان اشعه دریافتی است، بسیار متفاوت می‌باشد. که این شرایط بستگی به جهت، محل کاشت و درجه انسداد توسط ساختارها و درختان بلندتر و باز بودن محل کشت و قرار گرفتن در معرض نور، ابعاد و ماهیت پوشش سطح، سرعت باد، درجه‌ای از بسته شدن پوشش تاج و نفوذ تقاضای آب توسط گیاهان در یک محل کشت دارد (۱). برای آبیاری یک سیستم فضای سبز باید بهره‌وری استفاده از آب بالا باشد، در غیر این صورت اگر یکنواختی و بهره‌وری سیستم حداکثر نباشد، باید آب بیشتری برای آبیاری فضای سبز به کار برد، که این امر باعث محاسبه بیش از حد آب مورد نیاز برای آبیاری می‌گردد (۱۷).

تبخیر و تعرق پوشش گیاهی فضای سبز با استفاده از اندازه گیری‌های منطقه‌ای از تقاضای تبخیر (به عنوان مثال، تبخیر و تعرق مرجع) برآورد می‌گردد. و سپس در ضرایب مربوط به ضریب ریز اقلیم (K_{mc}) برای تنظیم ET_0 برای ریز اقلیم محلی، ضریب پوشش گیاهی ضریب (K_v) که تفاوت بین تبخیر و تعرق پوشش گیاهی به خوبی سیراب شده و ET_0 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 به خاطر تنش کمبود آب و ضریب تبخیر (K_c) که مقادیر ضریب پایه را تعریف می‌کند، به دست می‌آید (۱۵).

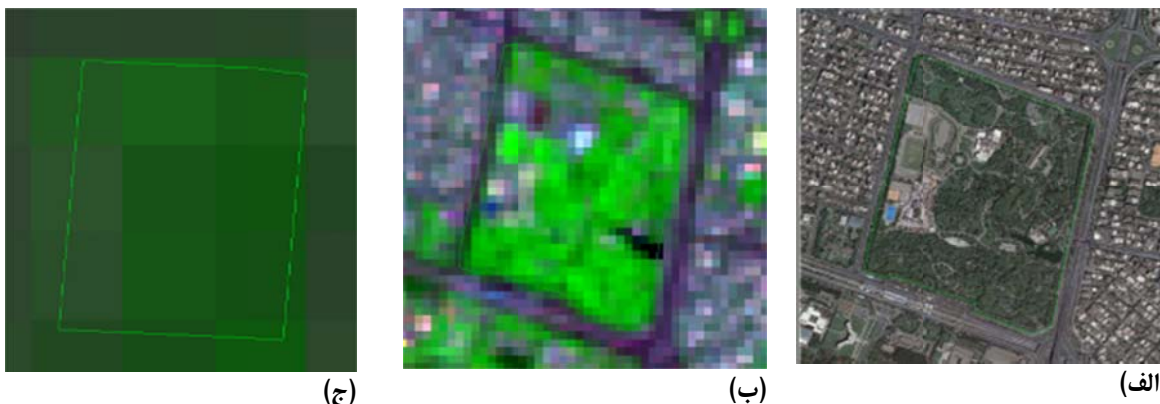
روش‌های اندازه‌گیری تبخیر و تعرق شامل روش‌های آبرودینامیک، روش توازن انرژی، روش ترکیبی و روش‌های تجربی می‌باشند. از این میان روش توازن انرژی در سطح روش مناسب برای کارهای وسیع بوده، که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تبخیر و تعرق روزانه و حتی ساعتی را محاسبه می‌کند. در بین روش‌های متعدد توازن انرژی دقت روش سبال خودنمایی می‌کند. این روش نسبت به سایر روش‌های توازن انرژی کاربرد بیشتری پیدا نموده است. در تحقیقی که توسط مختاری انجام گرفت میانگین تبخیر و تعرق واقعی و پوشش هوایی گیاه ذرت و چغندر قند در منطقه برخوردار اصفهان توسط الگوریتم سبال و استفاده همزمان از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و آستر محاسبه شده است (۲۲). مباشری و همکاران 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، گسیلمندی سطح، قدرت تفکیک مکانی سنجنده مورد استفاده را نیز بایستی در نظر گرفت (۷).

2- Brockway
3- Bastiaansen
4- Koloskov
5- Monin-Obukhov
6- Salih Hama

1- microclimate



شکل ۱- موقعیت پارک ملت در شهر مشهد



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

در ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ۵۹ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی می‌باشد (شکل ۱).

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 متر مربع آن چمن، ۷۶۸۰۷ متر مربع درخت و درختچه، ۱۳۹۱۸ متر مربع پرچین، ۳۲۴۷ متر مربع گل فصلی و ۹۵۹۴ متر مربع گل دائمی می‌باشد.

داده‌های مورد استفاده

برای محاسبه تبخیر و تعرق روزانه فضای سبز از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مشهد درسال ۱۳۸۹ استفاده گردید. داده‌های مورد استفاده شامل دمای هوا (تر، خشک، نقطه شبنم و متوسط)، سرعت باد، رطوبت، فشار بخار اشباع، ساعات آفتابی و بارش بود که از سازمان هواشناسی دریافت شد. لازم به ذکر است که کلیه پارامترهای هواشناسی در ارتفاع ۲ متری اندازه‌گیری شده‌اند. داده‌های فوق به‌صورت روزانه و طی هشت نوبت در روز در ساعات ۰، ۳، ۶ و ۹ صبح، ۱۲ ظهر و ۱۵، ۱۸ و ۲۱ عصر در

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی با ۲۰۴ کیلومتر مربع مساحت، در شمال شرق ایران و در حوضه آبریز کشف رود، بین رشته کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع است. ارتفاع شهر از سطح دریا ۹۸۵ متر و میزان نزولات جوی در ارتفاع و سطح دشت تفاوت زیادی دارد به طوری که در ارتفاعات هزارمسجد ۸۰۰ میلی-متر و در سطح دشت مشهد متوسط ۲۵۰ میلی‌متر گزارش شده است. بر اساس طبقه‌بندی جدید یونسکو مشهد دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (۵). 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 در سال ۱۳۴۳ در خارج شهر احداث گردید، لیکن با توجه به توسعه شهری این پارک اکنون در داخل شهر قرار گرفته است. پارک ملت، در غرب شهر مشهد و در حاشیه بلوار وکیل آباد و در ضلع شمال غربی تقاطع آزادی قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی آن

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

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

محاسبه تبخیر و تعرق فضای سبز به روش سبال

محاسبه تبخیر و تعرق توسط روش سبال نیز بر اساس ۲۳ عکس ماهواره مودیس با فاصله ۱۰ روز (دور آبیاری معمول منطقه) صورت پذیرفت. همچنین برای انجام تصحیحات اتمسفری نیز از اطلاعات رادیو سوند مشهد استفاده گردید. توسعه بیوسفر و شرایط زندگی روی زمین بر روی تبادلات تابشی، شارهای رطوبتی و حرارتی تاثیر دارد. فرآیندهای انتقال آشفته در اتمسفر و فرآیندهای انتقال خطی در سطح زمین توسط توازن انرژی در سطح زمین قابل بیان هستند. آنچه در معادله توازن انرژی در سطح زمین خود نمایی 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. همان طور که در قبل نیز اشاره شد الگوریتم توازن انرژی برای سطح زمین توسط باستانسن در سال ۱۹۹۵ معرفی گردید (۱۳). روش سبال از دمای سطح زمین، بازتاب سطحی و شاخص نرمال شده گیاهی برای ایجاد ارتباط دو طرفه بین شار سطحی و پهنای طیف استفاده می‌کند. باستانسن برای فرموله کردن روش سبال گرمای نهان تبخیر برای آب را به صورت تابعی از عوامل مختلف فرض کرد (رابطه ۱).

(۱)

$$\left[\begin{aligned} \lambda E(x, y) = F_1 \{ r_0(x, y), k^{\downarrow}(x, y), \varepsilon'_2, \varepsilon_0(x, y) \\ \times T_0(x, y), G_0(x, y), Z_{0m}(x, y), KB^{-1}, u_*^*(x, y), \\ L(x, y), \delta T_a(x, y) \} \end{aligned} \right]$$

ایستگاه سینوپتیک مشهد برداشت و اندازه‌گیری شده است. جدول (۱) میانگین روزانه داده‌های مورد استفاده را در طی سال ۱۳۸۹ نشان می‌دهد. همان طور که در جدول (۱) نیز مشخص است، بیشترین مقدار تغییرات مربوط به رطوبت نسبی و در مقابل کمترین تغییرات مربوط به بارش می‌باشد.

همچنین برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی توسط روش سبال از عکس‌های ماهواره مودیس با دقت مکانی ۲۵۰*۲۵۰ متر (شکل ۲) و با فاصله زمانی ۱۰ روزه بر اساس دور آبیاری عرف محل استفاده گردید. بر این اساس تعداد ۲۳ عکس از نیمه فروردین ۱۳۸۹ تا پایان آبان ماه ۱۳۸۹ مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که به دلیل در دسترس بودن عکس‌ها در دوره‌های زمانی مورد نظر و همچنین دقت مکانی مناسب (شکل ۲) از عکس‌های ماهواره مودیس استفاده شده است.

محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع

در حدود ۵۰ روش برآورد تبخیر و تعرق مرجع وجود دارد که با توجه به فرضیات و داده‌های هواشناسی مختلف استفاده شده در این روش‌ها، اغلب نتایج متفاوتی به دست می‌آید (۲۰). بر این اساس در این تحقیق از ۱۰ روش برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع توسط نرم افزار REF-ET استفاده شد. روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از نرم افزار REF-ET شامل روش‌های کیمبرلی پنمن (۱۹۷۲)، فائو پنمن مونیتث ۵۶، تشعشعی (فائو ۲۴)، بلانی کریدل، هارگریوز سامانی، پریستلی تیلور، مکینگ (۱۹۵۷)، تورک، پنمن فائو ۲۴ و پنمن ۱۹۴۸ می‌باشند.

مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق مرجع توسط لایسمتر زهکش دار می‌باشد (۲).

$$RMSE = \sqrt{\left(\sum (E_{si} - E_{oi})^2\right) / n - 1} \quad (۲)$$

$$MBE = \left(\sum_{i=1}^n (E_{oi} - E_{si})\right) / n \quad (۳)$$

$$MAE = \left(\sum_{i=1}^n ABS(E_{oi} - E_{si})\right) / n \quad (۴)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2\right)\left(\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2\right)} \quad (۵)$$

پارامتر ارزیابی انحراف نتایج نشان می‌دهد که اولاً آیا مدل مقدار متغیر مورد نظر را کم یا زیاد برآورد می‌کند و ثانیاً مقدار کمی آن چقدر است. زمانی که انحراف نتایج برابر صفر است، مشخص می‌شود که مدل فضای مطالعه شده را خوب برآورد کرده و هیچ‌گونه انحرافی وجود ندارد. ضریب همبستگی هم نشان دهنده میزان ارتباط مقادیر برآورد شده با مقادیر محاسبه شده است که هر چه مقدار آن بالاتر باشد، این ارتباط نزدیک تر است و اختلاف مقدار برآورد شده با مقدار محاسبه شده کمتر خواهد بود.

نتایج و بحث

تبخیر و تعرق گیاه مرجع

تبخیر و تعرق گیاه مرجع همان طور که در بخش مواد و روش‌ها ذکر شد توسط روش‌های کیمبرلی پنمن (۱۹۷۲)، فائو پنمن مونتیث ۵۶، تشعشی (فائو ۲۴)، بلانی کریدل، هارگریوز سامانی، پریستلی تیلور، مکنینگ (۱۹۵۷)، تورک، پنمن فائو ۲۴ و پنمن ۱۹۴۸ محاسبه گردید. نتایج حاصله برای هر کدام از این روش‌ها با داده‌های لایسمتری مورد مقایسه قرار گرفت. شایان ذکر است که داده‌های لایسمتری متعلق به بازه زمانی ۴/۲۱ تا ۲۰۰۵/۳۰/۹/۳۰ بوده است. داده‌های لایسمتری به صورت روزانه توسط لایسمتر زهکش دار دانشگاه فردوسی مشهد جمع‌آوری گردیده است. لذا برای امر مقایسه عملکرد روش‌های فوق‌الذکر ابتدا در بازه زمانی داده‌های لایسمتری تبخیر و تعرق مرجع توسط تمام روش‌های فوق محاسبه شد. نتایج بیانگر این است که مقدار تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط تمام روش‌ها با مقادیر تبخیر و تعرق مرجع به دست آمده توسط لایسمتر وزنی زهکش‌دار متفاوت می‌باشد. ضمن اینکه روش‌های تورک، پریستلی تیلور، هارگریوز سامانی، بلانی کریدل و کیمبرلی پنمن

در معادله فوق I_0 انعکاس سطحی، ε_2 قابلیت نشر مادون قرمز در اتمسفر، ε_0 قابلیت نشر مادون قرمز از سطح زمین، T_0 دمای سطح زمین، G_0 شار گرمای خاک، Z_{0m} 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 مومین- ابوخوف و ΔT اختلاف دما در نزدیک سطح زمین در راستای عمودی است (۱۳). برای تصحیح پارامترهای جوی نیاز به اطلاعات رطوبت، دما، سرعت باد و .. در ارتفاع‌های مختلف می‌باشد 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 (۱۱). باید اشاره نمود که برخی از مزایای روش سبال عبارتند از: اطلاعات موازی کمی می‌خواهد، مفهوم فیزیکی دارد، و بنابراین برای آب و هوای متفاوت قابل اجرا است، به طبقه‌بندی استفاده از زمین نیاز ندارد، اطلاعات سخت هیدرولوژیکی و مدل‌های PBL را درگیر نمی‌کند، تغییرپذیری فضایی و توابع چگالی احتمال را برای پارامترهای اساسی هیدرومتئولوژیکی محاسبه می‌کند، این روش برای تمام طول موج‌های مرئی، نزدیک مادون قرمز و مادون قرمز مناسب است. که این بر دقت خوب این روش در دقت متفاوت مکانی و زمانی دلالت دارد، برای تصاویر با دقت بالا نتایج حاصله را می‌توان با اندازه‌گیری شار و رطوبت خاک در محل ارزیابی کرد. در مقابل معایب آن عبارتند از: به شرایط بدون ابر نیاز دارد، حضور زمین‌های خشک و مرطوب لازم است و زبری سطح به طور نامفهوم تشریح شده و تنها برای زمین‌های صاف مناسب است (۱۴).

در ابتدا برای انجام تحقیق داده‌های بلند مدت ایستگاه سینوپتیک مشهد برای تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل فضای سبز (با استفاده از روش‌های موجود) و نرم افزار REF ET منطقه مطالعاتی جمع‌آوری گردید. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس، تبخیر و تعرق واقعی فضای سبز واقع در پارک ملت مشهد از الگوریتم سبال در روزهای عکس برداری محاسبه شد. و با مقایسه نتایج سبال با ۱۰ روش فوق‌الذکر مقدار ضریب فضای سبز برای هر ماه ارائه گردید.

ارزیابی مدل

ارزیابی و بررسی بهتر روش‌های مختلف محاسبه تبخیر و تعرق با محاسبه ضریب همبستگی بین داده‌ها، جذر میانگین مربع خطا^۱ (جذر میانگین مربع خطا)، میانگین مطلق خطا^۲ (میانگین مطلق خطا) و انحراف نتایج^۳ (انحراف نتایج) بر اساس روابط ذیل انجام شد (روابط ۲، ۳، ۴ و ۵). در فرآیندهای آماری زیر (E_s) مقادیر به دست آمده تبخیر و تعرق مرجع از هر روش و (E_o)

1- Root mean square error

2- Mean absolute error

3- Mean Bias Error

بلانی کریدل به ترتیب بالاترین پارامترهای جذر میانگین مربع خطا و میانگین مطلق خطا را دارا می‌باشند و در مقابل روش‌های پنمن موتیث فائو ۵۶، پنمن ۱۹۴۸ و پنمن فائو ۲۴ از کمترین مقادیر جذر میانگین مربع خطا و میانگین مطلق خطا برخوردار هستند. نتایج فوق مشابه با نتایج علیزاده و همکاران و دهقانی سانچ و همکاران، نادری و علیزاده و قمرنیا و مهری می‌باشد (۴، ۱۸، ۹ و ۶).

تصحیح روابط محاسبه تبخیر و تعرق

همان طور که در جدول (۲) نیز می‌توان مشاهده نمود تمام روابط موجود برای محاسبه تبخیر و تعرق نمی‌توانند مقدار دقیق تبخیر و تعرق را محاسبه کنند. این کاهش دقت را می‌توان در خطاهای ایجاد شده در برداشت داده‌ها، برداشت نکردن تمام موارد مورد نیاز برای مدل‌ها در ایستگاه هواشناسی و یا غیر مرجع بودن ایستگاه‌های هواشناسی و یا حتی فاصله زیاد بین ایستگاه سینوپتیک مشهد از محل لایسیمتری جستجو کرد. لذا برای استفاده از این روابط باید مقدار تبخیر و تعرق محاسبه شده واسنجی گردد و برای هر منطقه با توجه به شرایط آب و هوایی آن و داده‌های برداشت شده در ایستگاه مورد نظر و با در نظر گرفتن شرایط ایستگاه مرجع مقدار تبخیر و تعرق تصحیح گردد. روابط فوق بر اساس رابطه ۶ تصحیح شدند، مقدار پارامترهای مربوط به هر روش در جدول (۳) ذکر شده است. در رابطه ۶ پارامتر ET_L : بیانگر تبخیر و تعرق اندازه گیری شده توسط لایسیمتر، ET_0 : تبخیر و تعرق بدست آمده توسط هر یک از روش‌های فوق و a و b : ضرایب ثابت برازش می‌باشد.

$$ET_L = a + bET_0 \quad (۶)$$

در اکثر موارد مقدار تبخیر و تعرق را کمتر از داده‌های لایسیمتری برآورد می‌کنند.

روش تورک در برخی از روزها مقدار تبخیر و تعرق را منفی به دست می‌آورد، این روش نمی‌تواند روش خوبی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک همانند مشهد باشد. روش‌های پنمن ۱۹۴۸ و پنمن موتیث فائو ۵۶ تقریباً از دقت بهتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار هستند. علیزاده و همکاران نیز به دقت بهتر روش پنمن ۱۹۴۸ در مناطق خشک اشاره داشتند (۴). در همین راستا دهقانی سانچ و همکاران برآورد روش‌های پنمن-مانتیث فائو را از بین روش‌های پنمن، پنمن-رایت، بلانی کریدل، تراز انرژی و هارگریوز در مقایسه با نتایج لایسیمتری برای منطقه کرج مناسب دانستند (۱۸). نادری و علیزاده نیز در برآورد نیاز آبی در مشهد به این نتیجه رسیدند که روش پنمن-مانتیث فائو روش مناسبی برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد (۹). قمرنیا و مهری تبخیر تعرق گیاه مرجع را در ایستگاه‌های سینوپتیک استان لرستان با استفاده از روش‌های پنمن-مانتیث فائو، بلانی-کریدل (فائو)، هارگریوز، مکینگ (فائو)، پنمن اصلاح شده (فائو) و تورنت وایت محاسبه نمودند. نتایج آنها نشانگر این است که در ایستگاه خرم آباد روش مکینگ (فائو) و در ایستگاه‌های بروجرد و الیگودرز روش پنمن-مانتیث فائو به عنوان مناسب ترین روش‌ها شناخته شدند. دقت کم در برآوردها را می‌توان به مرجع نبودن ایستگاه هواشناسی و برداشت نکردن تمام پارامترهای مورد نیاز در محاسبه تبخیر و تعرق توسط روش‌های فوق، مرتبط کرد (۶). محمدیان و همکاران (۸) نیز به تاثیر غیر مرجع بودن ایستگاه هواشناسی بر برآوردهای تبخیر و تعرق اشاره داشتند.

در ادامه برای درک بهتر از نتایج حاصله از هر یک از نه روش بالا نسبت به داده‌های لایسیمتری، نتایج مربوط به پارامترهای آماری جذر میانگین مربع خطا، میانگین مطلق خطا و انحراف نتایج در جدول (۲) نشان داده شده است. بر اساس جدول (۲) روش تورک،

جدول ۲- پارامترهای آماری مربوط به مقایسه روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق مرجع با تبخیر و تعرق به

دست آمده توسط لایسیمتر

روش	جذر میانگین مربع خطا	میانگین مطلق خطا	انحراف نتایج	روش	جذر میانگین مربع خطا	میانگین مطلق خطا	انحراف نتایج
تورک	۲/۶	۱/۷	۰/۶	هارگریوز سامانی	۱/۹۸	۱/۲۶	۱/۲۴
پنمن ۱۹۴۸	۱/۷	۱/۱۴	۰/۷	پرستلی تیلور	۱/۷۹۵	۱/۱۸۳	۰/۸
فائو پنمن موتیث ۵۶	۱/۵	۰/۹۷	۰/۸۹	مکینگ (۱۹۵۷)	۱/۹۰۶	۱/۱۴۵	۰/۶
کیمبرلی پنمن (۱۹۷۲)	۱/۵۴	۱/۰۱۳	-۰/۵	بلانی کریدل	۲/۲۶	۱/۵۲	-۰/۴۲
تشمعی (فائو ۲۴)	۱/۷	۱/۱	۰/۷۵	پنمن فائو ۲۴	۱/۶۲	۱	۰/۸۵

جدول ۳ - پارامترهای رابطه ۵، و پارامترهای آماری به تفکیک روش محاسبه تبخیر و تعرق مرجع

روش	a	b	میانگین		روش	a	b	میانگین	
			مطلق	انحراف				مطلق	انحراف
تورک	۱/۵	-۰/۳۵	-۰/۶۹	-۰/۰۹	هارگریوز سامانی	۳/۱۵	۰/۴۸	۰/۶۹	۰/۳
پنمن ۱۹۴۸	۳/۹۱	-۰/۴	-۰/۶۳۸	-۱	پریستلی تیلور	۳/۵	۰/۵	۰/۶۴	-۰/۰۰۶
فانو پنمن مونتیث ۵۶	۱/۳	-۰/۹۱۶	-۰/۶۳	-۰/۳۳	مکینگ (۱۹۵۷)	۳/۲	۰/۵۹	-۰/۷۲۵	-۰/۴۹
کیمبرلی پنمن (۱۹۷۲)	۳/۵	-۰/۴۹	-۰/۶۴۱	-۰/۴۵	بلانی کریدل	۴/۱	۰/۳	۰/۶۵	۰/۰۸
تسشعی (فانو ۲۴)	۳/۱۶	-۰/۴۱	-۰/۷۵	-۰/۱۸	پنمن فانو ۲۴	۴/۲	۰/۲۵	۰/۶۶	-۰/۰۴

همان طور که در جدول (۳) مشخص است با استفاده از رابطه ۶ تمام روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق بهبود نسبی پیدا کرده‌اند و مقادیر جذر میانگین مربع خطا و میانگین مطلق خطا در آنها کمتر از مقادیر مشابه در جدول (۲) قبل از تصحیح می‌باشد. لازم به ذکر است که در روش تورک دیگر مقادیر تبخیر و تعرق منفی به دست نیامده و در این روش بر اساس پارامتر جذر میانگین مربع خطا نتایج بیش از ۵۶ درصد بهبود یافته است.

نتایج حاکی از بهبود نسبی روش‌ها در محاسبه مقدار تبخیر و تعرق بوده و مقادیر محاسبه شده نزدیک به داده‌های لایسیمتری می‌باشند. با این حال هنوز هم خطاهای قابل توجهی در برآوردها وجود دارد. به خصوص در ماه‌های گرم و سرد سال این تفاوت‌ها مشهودتر است، به طوری که در ماه‌های گرم مقدار تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط روش‌های فوق کمتر از داده‌های لایسیمتری بوده و در ماه‌های سرد سال بیشتر از مقادیر لایسیمتری می‌باشد. در همین راستا نادری و علیزاده نیز در برآورد نیاز آبی در مشهد به این نتیجه رسیدند که روش پنمن - مانیتث فانو در اغلب ماه‌ها به خصوص در ماه‌های گرم سال مقدار تبخیر و تعرق مرجع را کمتر از نتایج حاصل از لایسیمتر نشان می‌دهد، اما بعد از واسنجی و اصلاح بهترین نتایج را ارایه می‌کند (۹).

تبخیر و تعرق فضای سبز بر اساس روش سبال

مقادیر پارامترهای ضریب امبسیویته (E_0) ، جزء تبخیری^۱ (E_f) ، شار زمین^۲ (G_{ins}) ، شار گرمای محسوس^۳ (H) ، طول مومین ابوخوف^۴ (L) ، شار گرمای نهان لحظه‌ای^۵ (LE_{ins}) ، شاخص پوشش گیاهی^۶ $(NDVI)$ و مقاومت آئروودینامیکی در برابر انتقال حرارت^۷ (r_{ah}) در جدول (۴) نشان داده شده است. همان طور که در جدول (۴) نیز مشخص است با افزایش مقدار شاخص پوشش گیاهی مقادیر ضریب امبسیویته، شار گرمای نهان لحظه‌ای و طول مومین ابوخوف افزایش می‌یابند، به طوری که این سه پارامتر روند

کاملاً مشابهی با شاخص پوشش گیاهی دارند. در مقابل پارامترهای جزء تبخیری و مقاومت آئروودینامیکی 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 امبسیویته، شار گرمای نهان لحظه‌ای و طول مومین ابوخوف می‌باشد. همان طور که در جدول (۴) نیز کاملاً مشهود است با گرم شدن هوا (فصل تابستان) مقادیر پارامترهای ضریب امبسیویته، شار زمین، شار گرمای محسوس و شاخص پوشش گیاهی زیاد شده و با سرد شدن هوا مقادیر آنها کاهش می‌یابند. چنین روندی در مقادیر شاخص پوشش گیاهی و جزء تبخیری نیز از سوی کلسکو و همکاران (۲۱) ارائه شده است.

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 تیر ماه به بالاترین مقدار خود یعنی ۸ میلی‌متر در روز رسیده و در مقابل در فصل پاییز و در ماه آبان به کمترین مقدار خود یعنی ۲ میلی‌متر 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 درون یابی به دست آمد (شکل ۳-ب). همان طور که در شکل (۳-ب) نیز مشخص است بیشترین مقدار تبخیر و تعرق فضای سبز به ۱۲/۳ میلی‌متر در مرداد ماه و کمترین مقدار خود ۱/۵ میلی‌متر در روز در فروردین ماه رسیده است. همان طور که 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. باستانسن و همکاران دقت مدل سبال را برای مقیاس مزرعه ۸۵ درصد در روز و ۹۵ درصد برای فصل رشد برآورد کردند (۱۴).

در ادامه مقادیر تجمعی تبخیر و تعرق در پارک ملت در شکل (۳-ج) نشان داده شده است. همان طور که در شکل (۳-ج) مشخص است مقدار تبخیر و تعرق واقعی پارک ملت مشهد (به ازای هر متر مربع) در پایان فصل رشد به میزان ۱۲۱۰/۶ میلی‌متر

- 1- Evaporative fraction
- 2- Flux density of soil heat at the surface
- 3- Flux density of sensible heat into the air
- 4- Monin-Obukhov length
- 5- Latent heat flux_Moment
- 6- Normalised difference vegetation index
- 7- Aerodynamic resistance term to heat transport

جدول ۴- مقادیر برخی از پارامترهای محاسبه شده توسط روش سبال

روز میلادی	جزء تبخیری	شار زمین	شار گرمای محسوس	طول مومین ابوخوف	شارگرمای نهان لحظه‌ای	شاخص پوشش گیاهی	مقاومت آتروپنایمیک	ضریب امپسیتی
۱۰۲	-۰/۹۹۶۸	۶۸/۴۰۷۷	۱/۱۲	-۱۰۷۷۸۱	۳۵۱/۶۷۱۴	-۰/۲۲۱۳	۱۰/۰۱۷۳	-۰/۹۳۹
۱۱۴	-۰/۹۹۴۹	۸۴/۴۲۳۵	۲/۹	-۹۲۲۹/۳۲	۵۶۳/۴۷۶۴	-۰/۲۷۵۷	۱۶/۵۴۱۴	-۰/۹۴۹
۱۲۳	-۰/۹۹۹۱	۹۲/۲۸۷۵	-۰/۴۵	-۱۷۴۷۶/۶	۴۹۵/۶۴۹۱	-۰/۴۰۲۳	۲۴/۹۷۹۲	-۰/۹۶۷
۱۳۱	-۰/۹۹۸۹	۹۰/۷۳۵۴	-۰/۴۵	-۱۷۶۸۶/۷	۰۴۱۶/۰۲۲۷	-۰/۴۶۰۶	۲۴/۹۸۴۷	-۰/۹۷۳
۱۴۳	-۰/۹۹۸۹	۸۵/۴۴۷۴	-۰/۴۵	-۱۷۵۳۲	۴۰۶/۶۴۸۵	-۰/۴۶۸۱	۲۴/۹۸۴۷	-۰/۹۷۴
۱۵۳	-۰/۹۹۹۱	۸۲/۱۶۷۵	-۰/۴۵	-۱۷۵۲۷/۲	۵۲۵/۴۱۶۱	-۰/۳۲۹۷	۲۴/۹۸۴۷	-۰/۹۵۷
۱۵۹	-۰/۹۹۹۱	۹۶/۲۹۲۸	-۰/۴۵	-۱۷۶۱۲/۵	۵۱۷/۱۳۱۲	-۰/۴۹۴۳	۲۴/۹۸۴۷	-۰/۹۷۶
۱۷۳	-۰/۹۹۷۹	۱۰۴/۶۶۷۵	۱/۱۲	-۱۱۰۷۲۹	۵۲۵/۰۹۲۵	-۰/۴۰۸	۱۰/۰۱۷۳	-۰/۹۶۷
۱۸۵	-۰/۹۹۷۶	۱۰۸/۱۱	۱/۳۵	-۱۵۹۵۱۲	۵۶۳/۰۸۲	-۰/۴۱۷۵	۸/۳۴۱۲	-۰/۹۶۸
۱۹۸	-۰/۹۹۷	۱۰۸/۱۴۴۴	۱/۵۷	-۲۱۹۰۲۹	۵۱۵/۵۱۰۴	-۰/۴۳۷۲	۷/۱۵۳۲	-۰/۹۷۱
۲۰۷	-۰/۹۹۸۳	۱۰۹/۱۴۴۶	-۰/۶۷	-۴۱۸۳۲/۴	۳۹۸/۷۲۸۲	-۰/۴۲۸۷	۱۶/۷۴۵۲	-۰/۹۷
۲۰۸	-۰/۹۹۶۸	۸۸/۴۲۴۵	۱/۸	-۲۸۱۱۱۷	۵۶۵/۴۸۸۲	-۰/۵۷۷۸	۶/۲۴۹	-۰/۹۸۴
۲۱۶	-۰/۹۹۴۹	۹۶/۵۱۹۷	۲/۲۸	-۳۶۷۴/۲۷	۴۴۷/۴۵۱۷	-۰/۴۲۷۶	۲۴/۵۶۸۸	-۰/۹۶۹
۲۲۳	-۰/۹۳۳۱	۱۰۲/۶۷۴۵	۱۸/۵۳	-۱۹۵۹۷/۹	۲۵۸/۳۸۴۸	-۰/۳۳۲۴	۷/۱۲۵۳	-۰/۹۵۸
۲۲۹	-۰/۹۹۵۸	۸۴/۲۷۲۹	۲/۰۱	-۳۵۳۸۱۹	۴۷۶/۰۲۹۲	-۰/۳۳۲۵	۵/۵۹۱۵	-۰/۹۵۹
۲۴۴	-۰/۹۹۷۴	۸۸/۵۷۲	۱/۳۵	-۱۵۷۹۴۴	۵۱۴/۷۷۲۴	-۰/۳۲۶	۸/۳۴۱۲	-۰/۹۵۷
۲۵۵	-۰/۹۹۸۶	۷۹/۴۳۶	-۰/۶۸	-۳۹۲۷۴/۶	۴۸۹/۱۶۹	-۰/۴۴۵۵	۱۶/۶۵۶۱	-۰/۹۷۱
۲۶۵	-۰/۹۹۹۲	۶۵/۰۳۷۲	-۰/۴۵	-۱۷۱۱۵/۶	۵۵۳/۷۱۶	-۰/۳۱۸۵	۲۴/۹۷۹۲	-۰/۹۵۶
۲۷۵	-۰/۹۹۸۱	۵۲/۴۳۳۶	-۰/۹	-۶۸۱۴۵/۷	۴۷۶/۷۵۰۵	-۰/۳۸۸۵	۱۲/۴۸۶۷	-۰/۹۶۵
۲۸۵	-۰/۹۹۹۱	۴۸/۷۶۴۸	-۰/۴۵	-۱۶۸۸۹/۸	۵۰۶/۹۵۲۸	-۰/۳۸۵۷	۲۴/۹۷۹۲	-۰/۹۶۵
۵۹۶	-۰/۹۹۹	۴۱/۰۵۸۱	-۰/۴۵	-۱۶۷۶۳/۷	۴۶۰/۱۸۴۷	-۰/۳۲۸۳	۲۴/۹۷۸۱	-۰/۹۵۷
۳۱۰	-۰/۹۹۸۹	۳۶/۰۱۱۷	-۰/۴۵	-۱۶۷۱۴/۲	۴۱۴/۲۳۲۴	-۰/۲۹۶۱	۲۴/۹۷۸۱	-۰/۹۵۲
۳۲۱	-۰/۹۹۸۸	۲۴/۸۴۸۳	-۰/۴۵	-۱۶۴۸۵/۶	۳۷۲/۴۷۴۳	-۰/۳۳۴۷	۲۴/۹۷۲۶	-۰/۹۵۸

کاملاً مشخص می‌باشد، این است که روش‌های هارگریوز سامانی، بلانی کریدل و تورک از دقت کمتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار می‌باشند. لازم به ذکر است که نتایج سایر روش‌ها نزدیک به هم بوده و اختلافات در سطح ۹۵ درصد معنی دار نیستند. این یکسانی در نتایج را می‌توان به یکسان سازی روش‌ها و نزدیک کردن نتایج به داده‌های لایسمتری در دانشگاه فردوسی نسبت داد.

روند تغییرات تبخیر و تعرق فضای سبز مشهود برای دو حالت روش‌های اصلاح شده (جدول ۳ و ۵) و مدل سبال در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۴) نتایج نسبت به قبل بهبود داشته و در بیشتر مواقع تفاوت بین تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط روش سبال با سایر روش‌ها ناچیز می‌باشد. ضمن اینکه باید یادآوری کرد که محاسبه تبخیر و تعرق توسط روش سبال با استفاده از ۲۳ عکس و تعمیم آن برای تمام فصل رشد خود باعث بروز خطا در محاسبه خواهد شد. لذا با توجه به نتایج یکسان روش‌های مورد استفاده در این تحقیق به جز روش بلانی کریدل، هارگریوز سامانی و تورک، می‌توان برای محاسبه تبخیر و تعرق فضای سبز از آنها استفاده کرد. همچنین در تمام روش‌ها تفاوت

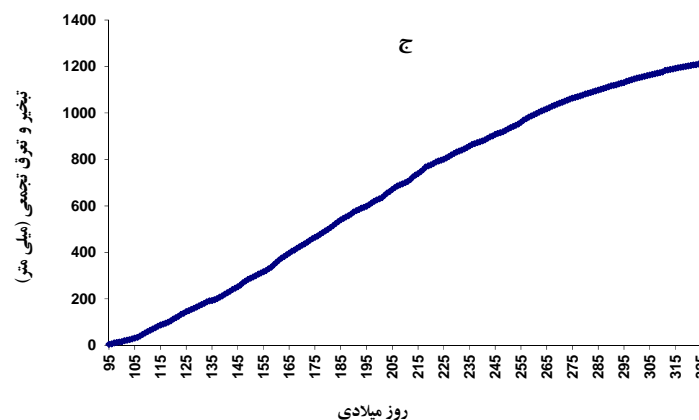
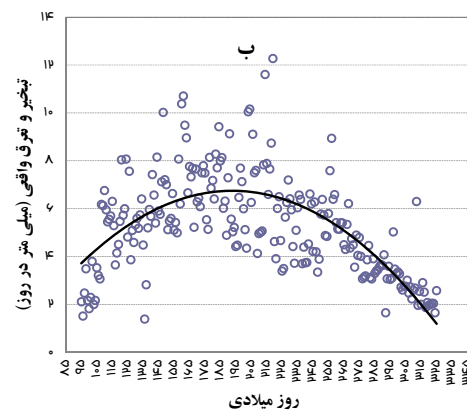
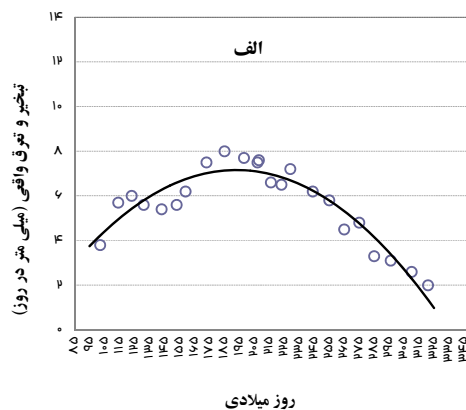
می‌رسد. اگر این مقدار را در مساحت کل پارک (۴۰۹۳۴۷ متر مربع) ضرب کنیم مقدار نهایی آب مورد نیاز این پارک در طول دوره رشد به میزان ۴۹۵۵۵۵/۵ متر مکعب خواهد بود.

محاسبه ضریب فضای سبز بر اساس روش سبال

ضرایب فوق بر اساس رابطه $y=ax$ به دست آمده اند. که y تبخیر و تعرق در روش سبال و x مقدار تبخیر برای هر روش و a مقدار ضریب فضای سبز می‌باشد. همان طور که در جدول (۵) نیز مشخص است با گرم شدن هوا مقدار پارامترهای جذر میانگین مربع خطا و میانگین مطلق خطا افزایش یافته و در ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر به بالاترین مقدار خود می‌رسند. در مقابل در ماه‌های آپریل و نوامبر مقادیر این شاخص‌ها به کمترین مقدار خود می‌رسند. علت این امر را می‌توان در افزایش ضریب فضای سبز با افزایش شاخص پوشش گیاهی در ماه‌های گرم و روند مشابه در ماه‌های سرد با کاهش شاخص پوشش گیاهی جستجو کرد. روند تغییرات ضریب فضای سبز کاملاً مشابه با شاخص پوشش گیاهی بوده، به طوری که در اکثر روش‌ها در ماه آگوست به بالاترین مقدار خود می‌رسد. آنچه از نتایج جدول (۵)

روش‌ها از دقت بیشتری برخوردار هستند. هرچند که تفاوت‌ها در سطح ۹۵ درصد معنی دار نیستند.

مقدار تبخیر و تعرق با روش سبال در زمان پیک تبخیر بیشتر از سایر زمان‌ها بوده و در بیشتر موارد روش سبال تبخیر و تعرق بیشتری را برآورد کرده است. با توجه به نتایج حاصله روش‌های پریستلی تیلور، تشعشی و پنمن مونتیث فائو ۵۶ نسبت به سایر

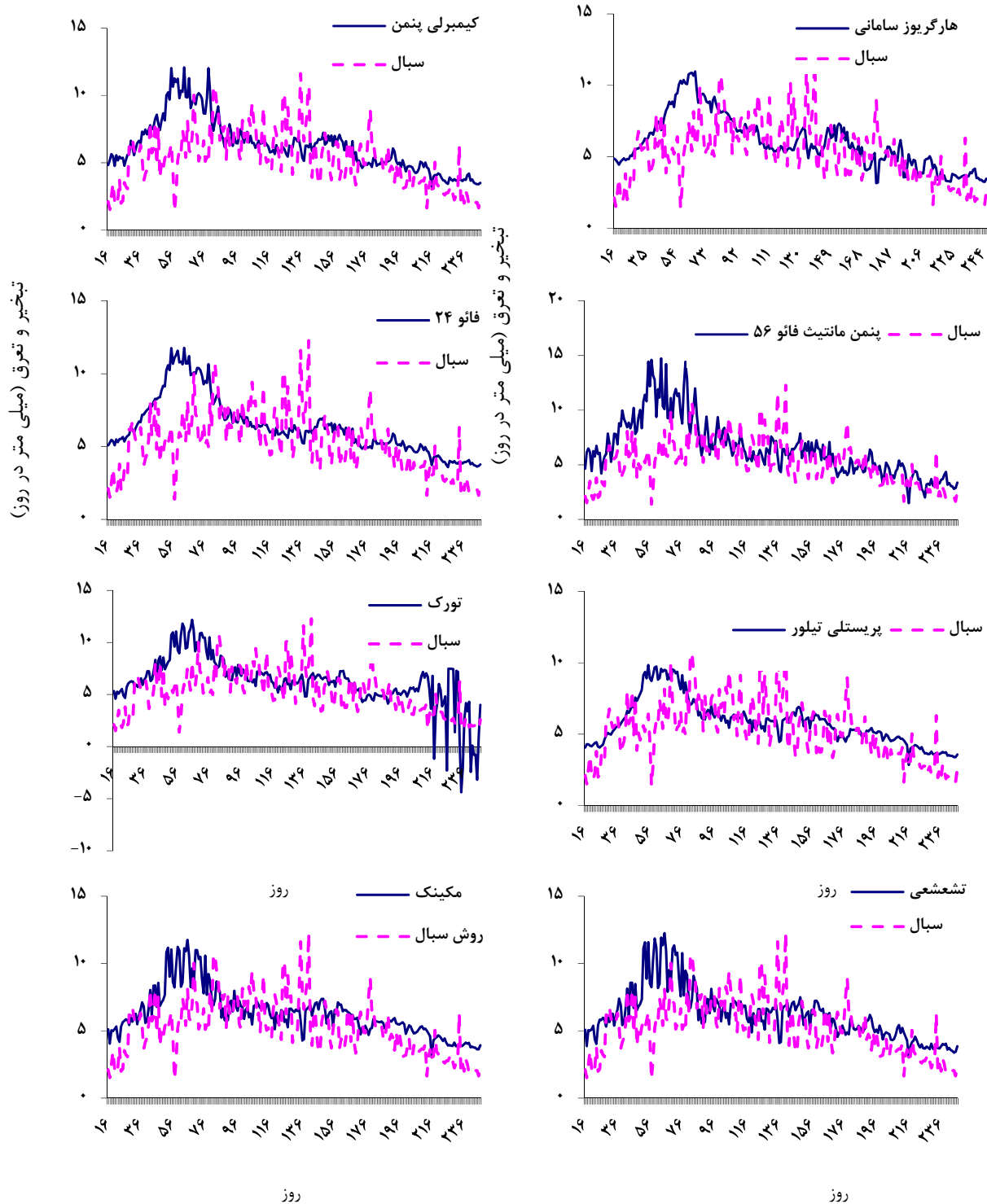


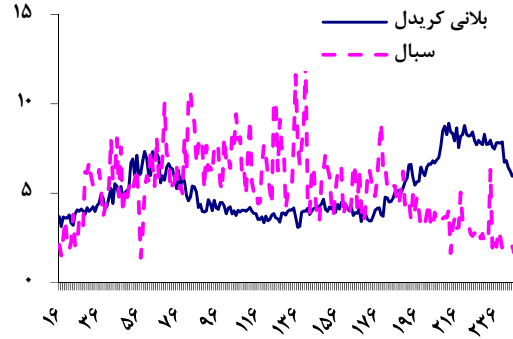
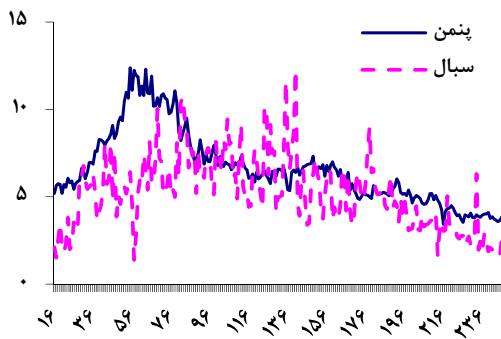
شکل ۳- تغییرات تبخیر تعرق واقعی روزانه الف) محاسبه شده توسط الگوریتم سبال در روزهای دارای تصویر (ب) پس از درون یابی برای روزهای فاقد تصویر در طول دوره رشد ج) تبخیر و تعرق تجمعی واقعی (ET_a) در طول دوره رشد (نیمه فروردین تا آخر آبانماه ۱۳۸۹)

جدول ۵- مقادیر ضریب فضای سبز برای هر روش به تفکیک ماه به همراه پارامترهای آماری مربوط به آن

روش	ماه	آوریل	می	جون	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر
تورک	ضریب فضای سبز	۰/۶۲	۰/۹۱۳	۱/۲۱۸	۲/۰۶	-۰/۴۸	۰/۲۹	۰/۸۳	-۰/۷۷
	ضریب تبیین	۰/۲	۰/۲۶	۰/۷	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۳۸	۰/۶	-۰/۴۲
	جذر میانگین مربع خطا	۱/۵۴	۱/۵۸	۱/۹۴	۳/۷۲	۴/۸۳	۵/۴۱	۰/۹	-۰/۸۳
	میانگین مطلق خطا	۱/۳۹	۱/۲۶	۱/۵۲	۲/۶۸	۴/۱۳	۵/۲۳	۰/۶۷	-۰/۴۷
	انحراف نتایج	-۰/۰۶	-۰/۴۴	-۰/۹	-۱/۶۵	-۲/۹۳	-۵/۰۷	-۰/۱۴	-۰/۰۱
مکینگ	ضریب فضای سبز	۰/۹۶	۱/۲۸	۱/۵۳۴	۱/۶۶	۲/۰۵	۱/۸۸	۱/۱۴	۱/۰۶
	ضریب تبیین	۰/۴	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۵۶	۰/۳	-۰/۴۴
	جذر میانگین مربع خطا	۱/۳	۱/۴	۱/۳۸	۱/۹۶	۱/۹۷	۱/۴۶	۰/۶۱	-۰/۸۵
	میانگین مطلق خطا	۱/۱۸	۱/۱۲	۱/۱۱	۱/۵۶	۱/۶	۱/۱۴	۰/۴۷	-۰/۴۳
	انحراف نتایج	۰/۲۵	-۰/۴۲	-۰/۸	-۰/۷	-۰/۵	-۰/۸۴	-۰/۳۵	-۰/۳۱

ادامه جدول ۵									
-۰/۶۷	-۰/۶۷	۱/۶۵	۲/۸۳	۱/۸۲۵	۱/۳۳	-۰/۹۸۷	-۰/۵۶۸	ضریب فضای سبز	فائو پنمن مونتیت ۵۶
-۰/۳۷	-۰/۵۱	-۰/۶۸	-۰/۳۲	-۰/۷۸	-۰/۴	-۰/۴۶	-۰/۳۱	ضریب تبیین	
۱/۰۸	۱/۵۹	۲/۲	۲/۳۳	۲/۳۱	۱/۷۶	۱/۵۹	۱/۸۶	جزر میانگین مربع خطا	
-۰/۶۸	۱/۱۷	۱/۷	۱/۸۳	۱/۹۱	۱/۴۳	۱/۲۵	۱/۷۱	میانگین مطلق خطا	
-۰/۱۶	-۰/۰۷	-۰/۱۶	-۰/۳۱	-۰/۳۲	-۰/۱۹	-۰/۰۶	-۰/۱۵	انحراف نتایج	
-۰/۷۷	-۰/۶۶	۱/۵۸	۲/۸۴	۱/۷۶	۱/۱۶۶	-۰/۹۴	-۰/۶۴۸	ضریب فضای سبز	کیمبرلی پنمن (۱۹۷۲)
-۰/۳۴	-۰/۶۵	-۰/۶۴	-۰/۳	-۰/۶۷	-۰/۴	-۰/۴۱	-۰/۳۱	ضریب تبیین	
-۰/۹۹	۱/۷۴	۲/۵۲	۲/۴۳	۲/۶	۱/۷۵	۱/۵۹	۱/۶۶	جزر میانگین مربع خطا	
-۰/۵۴	۱/۲۲	۱/۸۳	۱/۹۴	۲/۰۶	۱/۴۴	۱/۲۷	۱/۵۱	میانگین مطلق خطا	
-۰/۱	-۰/۷۱	-۰/۸۳	-۰/۳۵	-۰/۴۹	-۰/۱۸	-۰/۴	-۰/۵	انحراف نتایج	
-۰/۶۶	-۰/۶۹	۱/۲۹	۲/۰۲۱۵	۱/۲۶۷	-۰/۹۵۴۸	-۰/۷۵	-۰/۵۵	ضریب فضای سبز	تشعشی (فائو ۲۴)
-۰/۴۴	-۰/۵	-۰/۵۴	-۰/۳۷	-۰/۸۵	-۰/۵۲	-۰/۴۲	-۰/۳۲	ضریب تبیین	
-۰/۱۸	-۰/۶۱	۱/۷۵	۲/۲۱	۲/۴۲	۱/۴۱	۱/۴۸	۱/۳۵	جزر میانگین مربع خطا	
-۰/۳۹	-۰/۴۸	۱/۳۳	۱/۷۹	۱/۹۱	۱/۱۴	۱/۱۸	۱/۲۳	میانگین مطلق خطا	
-۰/۰۱	-۰/۰۵	-۰/۳	-۰/۱۲	-۰/۳۹	-۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۰۳	انحراف نتایج	
۲/۰۴	۱/۵۵	۱/۹	۲/۱۳۴	۱/۳۹۵	۱/۳۳۵	۱/۱۷	-۰/۹	ضریب فضای سبز	پریستلی تیلور
-۰/۵۴	-۰/۵	-۰/۴۸	-۰/۵۲	-۰/۵۴	-۰/۴۴	-۰/۳۸	-۰/۴	ضریب تبیین	
-۰/۹۸	-۰/۷۲	۱/۲۷	۱/۹۳	۱/۹	۱/۳۸	۱/۲۹	۱/۳۱	جزر میانگین مربع خطا	
-۰/۵۴	-۰/۶۹	-۰/۹۷	۱/۵۷	۱/۵	۱/۰۸	۱/۰۲	۱/۱۹	میانگین مطلق خطا	
-۰/۰۵	-۰/۱۱	-۰/۶	-۰/۳	-۰/۹	-۰/۱۸	-۰/۴	-۰/۰۸	انحراف نتایج	
-۰/۸۲	-۰/۸۹	۱/۷۸	۳/۶۸	۲/۰۵۸	۱/۲۶	۱	-۰/۶۵۱	ضریب فضای سبز	هارگریوز سامانی
-۰/۳۵	-۰/۵۲	-۰/۵۲	-۰/۴۲	-۰/۵	-۰/۳	-۰/۴۸	-۰/۷	ضریب تبیین	
۱/۴	-۰/۱۸	۲/۱۱	۳/۹۴	۴	۳/۱۶	۲	۲/۱۸	جزر میانگین مربع خطا	
-۰/۸۲	-۰/۶۲	۱/۷۶	۳/۰۶	۳/۰۶	۲/۴۵	۱/۷۵	۱/۹۷	میانگین مطلق خطا	
-۰/۳۳	-۰/۰۹	-۰/۶۴	-۱/۷۳	-۱/۸۶	-۱/۰۸	-۰/۲۵	-۰/۳۲	انحراف نتایج	
-۰/۵۵	-۰/۶۷	۱/۶۵	۲/۳۲	۲/۱۷۵	۱/۲۳۵	-۰/۹	-۰/۵۳۳	ضریب فضای سبز	بلانی کریدل
-۰/۵	-۰/۹	-۰/۷	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۷	-۰/۴۴	-۰/۵۱	ضریب تبیین	
-۰/۹۲	-۰/۸۹	۳/۶۵	۷	۳/۸۷	۲/۲۲	۱/۵۲	۱/۷	جزر میانگین مربع خطا	
-۰/۵۲	-۰/۷۱	۳/۱۱	۶/۵۷	۲/۹۱	۱/۷۱	۱/۲۱	۱/۶	میانگین مطلق خطا	
-۰/۰۳	-۰/۱۳	-۲/۱۳	-۶/۵۷	-۱/۷۳	-۰/۵	-۰/۹	-۰/۹	انحراف نتایج	
-۰/۶۳	-۰/۷	۱/۳۷	۲/۲۶۴	۱/۳۵۶	۱/۰۸	-۰/۸۵	-۰/۵۳۱	ضریب فضای سبز	پنمن فائو ۲۴
-۰/۴۸	-۰/۵۸	-۰/۴۵	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۴	-۰/۲۵	-۰/۳۲	ضریب تبیین	
-۰/۹۴	-۰/۹۵	۲/۰۲	۲/۵۶	۲/۵	۱/۷	۱/۴۵	۱/۶۶	جزر میانگین مربع خطا	
-۰/۵۳	-۰/۷۸	۱/۴۹	۲/۰۱	۱/۹۳	۱/۳۸	۱/۱۵	۱/۴۹	میانگین مطلق خطا	
-۰/۰۶	-۰/۱۴	-۰/۴۸	-۰/۵	-۰/۴۲	-۰/۱۷	-۰/۰۳	-۰/۰۳	انحراف نتایج	
-۰/۶۹	-۰/۷۱	۱/۵۵	۲/۴۳	۱/۵۱۶	۱/۱۴۵	-۰/۸۸۵	-۰/۵۴	ضریب فضای سبز	پنمن ۱۹۴۸
-۰/۴۱	-۰/۴۵	-۰/۴۵	-۰/۳۱	-۰/۷۲	-۰/۵۱	-۰/۲۲	-۰/۳۶	ضریب تبیین	
-۰/۸۷	۱/۲	۱/۹	۲/۱۴	۲/۳۲	۱/۵۲	۱/۴۴	۱/۶۹	جزر میانگین مربع خطا	
-۰/۴۹	۱/۸۴	۱/۳۹	۱/۷۱	۱/۸۵	۱/۲۲	۱/۱۵	۱/۵۵	میانگین مطلق خطا	
-۰/۰۳	-۰/۲۷	-۰/۳۸	-۰/۱۸	-۰/۳۱	-۰/۰۹	۰	-۰/۰۵	انحراف نتایج	





شکل ۴- روند تغییرات تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شده با روش سبال در مقابل مقادیر تبخیر و تعرق فضای سبز محاسبه شده توسط ضرایب و روش‌های موجود در جدول (۵)

دیگر نتایج جدول (۶) می‌توان به روند افزایش پارامترهای خطایی با افزایش دمای هوا و کاهش آن آنها با کاهش دما اشاره داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج بیانگر این است که مقدار تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط تمام روش‌ها با مقادیر تبخیر و تعرق مرجع به دست آمده توسط لایسیمتر وزنی زهکش‌دار متفاوت می‌باشد. ضمن اینکه روش‌های تورک، پریستلی تیلور، هارگریوز سامانی، بلانی کریدل و کیمبرلی پنمن در اکثر موارد مقدار تبخیر و تعرق را کمتر از داده‌های لایسیمتری برآورد می‌کنند. بر اساس نتایج این تحقیق روش سبال مقدار تبخیر و تعرق در فصل تابستان و در مرداد ماه به بالاترین مقدار خود یعنی ۸ میلی‌متر در روز رسیده و در مقابل در فصل پاییز و در ماه آبان به کمترین مقدار خود یعنی ۲ میلی‌متر 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. نتایج نشان داد که مقدار تبخیر و تعرق واقعی پارک ملت مشهد (به ازای هر متر مربع) در پایان فصل رشد به میزان ۱۲۱۰/۶ میلی‌متر می‌رسد. اگر این مقدار در مساحت کل پارک (۴۰۹۳۴۷ متر مربع) ضرب شود مقدار نهایی آب مورد نیاز این پارک در طول دوره رشد به میزان ۴۹۵۵۵۵/۵ متر مکعب خواهد بود.

مقادیر ضریب فضای سبز به دست آمده در این تحقیق رابطه مستقیم و تنگاتنگی با شاخص پوشش گیاهی داشته و با افزایش آن افزایش می‌یابد. مقدار تبخیر و تعرق روش سبال در ماه‌های گرم بیشتر از مقدار محاسبه شده توسط سایر روابط بوده است. بررسی‌ها نشان داد که استفاده از ضریب به دست آمده از مدل سبال نتایج بهتری از ضریب محاسبه شده توسط مدل لیمپ را ارائه می‌دهد. همچنین روش‌های هارگریوز سامانی، بلانی کریدل و تورک از دقت کمتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار هستند در مقابل دقت روش‌های پریستلی تیلور، تشعشی و پنمن موتیث

مقایسه ضریب فضای سبز

برای درک بهتر از نتایج حاصله، مقادیر ضریب فضای سبز محاسبه شده در جدول فوق در مقابل ضرایب به دست آمده توسط مدل لیمپ (LIMP) ^۱ در شکل زیر نشان داده شده است. مدل لیمپ توسط اسنیدر و اچینگ ^۲ (۲۴) ارائه شده است، در این مدل آب مورد نیاز فضای سبز توسط رابطه ۷ محاسبه می‌گردد. در رابطه زیر: A مساحت فضای سبز، ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع و K_L: ضریب فضای سبز می‌باشد.

$$LPD = 1.3 \times ET_o \times K_L \times A \quad (7)$$

$$K_L = K_s \times K_{mc} \times K_d \quad (8)$$

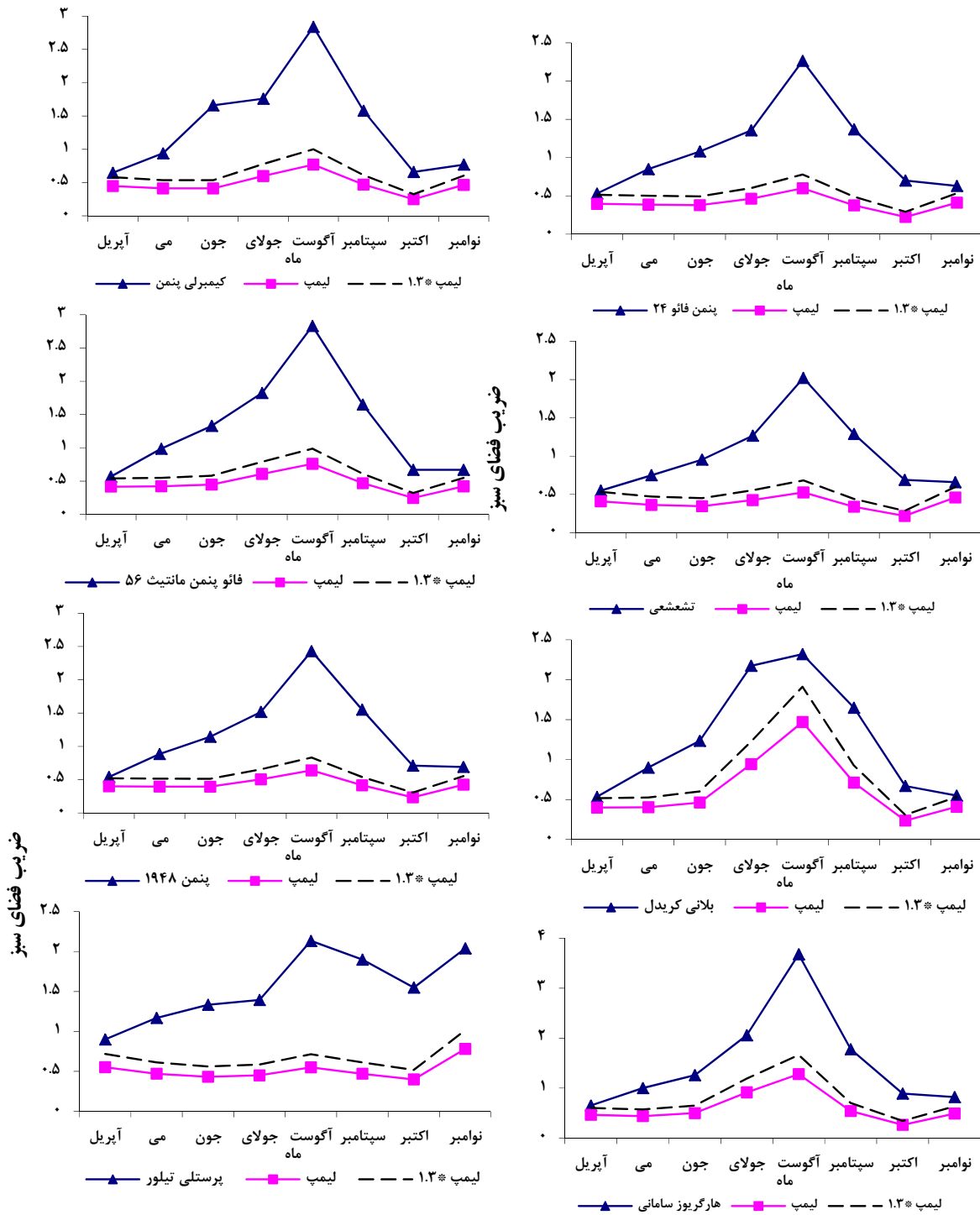
همان طور که در شکل (۵) نیز مشخص است در تمام روش‌ها مقادیر ضریب فضای سبز به دست آمده توسط مدل لیمپ حتی با ضرب عدد ثابت ۱/۳ در آن کمتر از مقادیر ضریب فضای سبز به دست آمده در جدول (۵) می‌باشد. ضمن اینکه روند تغییرات ضریب فضای سبز در ماه‌های مورد مطالعه برای مدل لیمپ و مقادیر به دست آمده در این تحقیق یکسان می‌باشد. همان طور که در شکل (۵) نیز مشخص است در روش بلانی کریدل تفاوت بین مقادیر ضریب فضای سبز به دست آمده در این روش و مدل لیمپ کمتر از سایر روش‌ها می‌باشد.

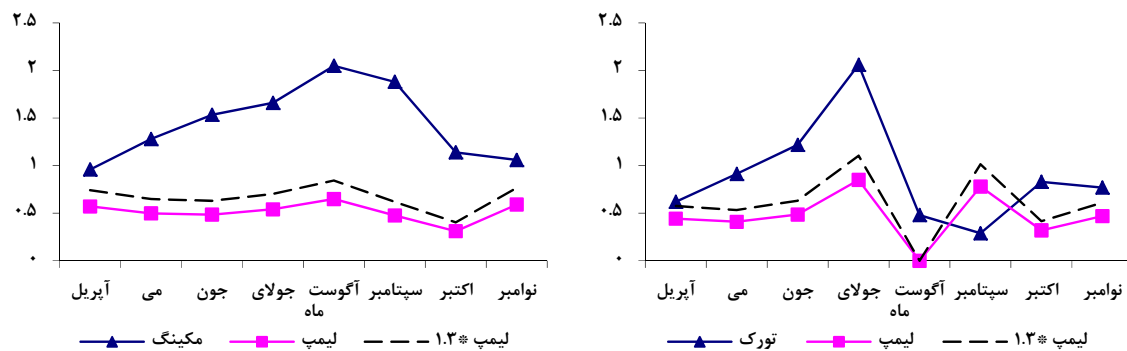
مقادیر پارامترهای جذر میانگین مربع خطا، انحراف نتایج و میانگین مطلق خطا مدل لیمپ برای محاسبه تبخیر و تعرق فضای سبز نسبت به روش سبال در جدول (۶) آورده شده است. همان طور که در جدول (۶) نیز مشاهده می‌گردد مقادیر پارامترهای خطایی بیشتر از مقادیر متناظر در جدول (۵) می‌باشند. روش‌های تورک، بلانی کریدل و هارگریوز سامانی همانند جدول (۵) بیشترین مقادیر خطایی را به خود اختصاص داده‌اند. از

1- Landscape Irrigation Management Program
2- Snyder and Eching

پرستلی تیلور، تشعشی و پنمن موتیث فائو ۵۶ به همراه ضرایب فضای سبز ارائه شده در این تحقیق استفاده نمود.

فائو ۵۶ نسبت به سایر روش‌ها بیشتر بوده و به داده‌های مدل سیال نزدیک تر هستند. لذا برای محاسبه تبخیر و تعرق فضای سبز مشاهد و یا مناطق با آب و هوای مشابه می‌توان از سه روش





شکل ۵: مقادیر ضریب فضای سبز محاسبه شده توسط مدل لیمپ در مقایسه با مقادیر ضریب فضای سبز

موجود در جدول (۵)

جدول ۶- ضرایب آماری روش لیمپ در برآورد تبخیر و تعرق فضای سبز نسبت به مدل سبال

روش	ماه	آوریل	می	جون	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر
تورک	جزر میانگین مربع خطا	۱/۵۷	۲/۹۳	۳/۸۵	۴/۵۹	۶/۳۶	۵/۷۲	۱/۹۲	۰/۹۹
	میانگین مطلق خطا	۱/۴۴	۲/۵۵	۳/۵۸	۳/۹۹	۵/۹۹	۴/۹۹	۱/۷۵	۰/۵۳
	انحراف نتایج	-۰/۳۵	-۲/۵۵	-۳/۵۸	-۳/۹۷	-۵/۹۹	-۴/۹۸	-۱/۷	-۰/۵۲
مکینگ	جزر میانگین مربع خطا	۱/۶۲	۳/۲۸	۴/۳۶	۴/۲۹	۴/۴۷	۳/۸۲	۲/۳	۱/۱
	میانگین مطلق خطا	۱/۳۸	۲/۹۹	۴/۱۶	۳/۸۹	۳/۹۹	۳/۶۳	۲/۱۹	۰/۷
	انحراف نتایج	-۰/۸۹	-۲/۹۹	-۴/۱۶	-۳/۸۹	-۳/۹۹	-۳/۶۳	-۲/۱	-۰/۷
فانو پنمن مونثیت ۵۶	جزر میانگین مربع خطا	۱/۸۷	۳/۰۷	۴/۲۸	۴/۳۵	۴/۵	۳/۸۷	۲/۲۷	۱/۱۷
	میانگین مطلق خطا	۱/۶۹	۲/۷۱	۴/۰۲	۳/۹۲	۴/۰۱	۳/۶۲	۲/۲۱	۰/۷۸
	انحراف نتایج	-۰/۳	-۱/۵	-۱	-۲/۲	-۲/۱	-۱/۶	-۱	-۰/۴
کیمبرلی پنمن (۱۹۷۲)	جزر میانگین مربع خطا	۱/۷	۳	۴/۱۴	۴/۴۱	۴/۵۲	۳/۹	۲/۳	۱/۱۲
	میانگین مطلق خطا	۱/۵۱	۲/۶۴	۳/۸۷	۳/۹۳	۴	۳/۶۹	۲/۱۴	۰/۷۳
	انحراف نتایج	-۰/۴۴	-۲/۵۷	-۳/۸۷	-۳/۹۳	-۴	-۳/۶۱	-۲/۱	-۰/۶۲
تشمشعی (فانو ۲۴)	جزر میانگین مربع خطا	۱/۳۵	۲/۶۸	۳/۹۷	۴/۳۷	۴/۵۱	۳/۸۳	۲/۱۱	۰/۸۴
	میانگین مطلق خطا	۱/۳۴	۲/۲۹	۳/۷۶	۳/۹۲	۴/۰۴	۳/۶۲	۲	۰/۳۷
	انحراف نتایج	-۰/۰۹	-۲/۲۹	-۳/۷۶	-۳/۹۲	-۴/۰۱	-۳/۶۲	-۲	-۰/۲۲
پرستلی تیلور	جزر میانگین مربع خطا	۱/۵۶	۳/۱۵	۴/۲۹	۴/۲۹	۴/۴۶	۳/۸۲	۲/۳۸	۱/۵۹
	میانگین مطلق خطا	۱/۳۲	۲/۸۵	۴/۰۷	۳/۹	۳/۹۹	۳/۶۲	۲/۲۷	۱/۲۹
	انحراف نتایج	-۰/۷۵	-۲/۸۵	-۴/۰۷	-۳/۹	-۳/۹۹	-۳/۶۲	-۲/۲	-۱/۲۹
هارگریوز سامانی	جزر میانگین مربع خطا	۲/۲	۳/۱۹	۴/۴۶	۴/۶۶	۴/۸	۳/۷۱	۲/۲۳	۱/۴۹
	میانگین مطلق خطا	۱/۹۴	۲/۷۵	۳/۹۸	۳/۹۶	۴/۱۳	۳/۵	۲/۱۱	۰/۹۳
	انحراف نتایج	-۰/۵۸	-۲/۶۸	-۳/۹۸	-۳/۹۱	-۴/۰۷	-۳/۵	-۲/۱۶	-۰/۸۲
بلانی کریدل	جزر میانگین مربع خطا	۱/۷۳	۲/۹۱	۴/۱۴	۴/۶	۶/۸۶	۴/۰۶	۲/۰۴	۰/۹۲
	میانگین مطلق خطا	۱/۶۱	۲/۵۳	۳/۸۳	۴/۰۲	۶/۴۷	۳/۷	۱/۸۹	۰/۴۹
	انحراف نتایج	-۰/۲	-۲/۵	-۳/۸	-۳/۸	-۳/۴۷	-۳/۵۸	-۱/۹۳	-۰/۱۴
پنمن فانو ۲۴	جزر میانگین مربع خطا	۱/۶۷	۲/۸۵	۴/۱۶	۴/۳۶	۴/۶	۳/۸۴	۲/۱۹	۱/۰۲
	میانگین مطلق خطا	۱/۴۹	۲/۵	۳/۹	۳/۹	۴/۱	۳/۶۲	۲/۰۷	۰/۵۸
	انحراف نتایج	-۰/۱۶	-۲/۴۵	-۳/۱	-۳/۹	-۴/۱	-۳/۶۱	-۱/۵	-۰/۴۴
پنمن ۱۹۴۸	جزر میانگین مربع خطا	۱/۶۹	۲/۸۸	۴/۱۵	۴/۳۵	۴/۴۸	۳/۸۵	۲/۲۱	۱/۰۱
	میانگین مطلق خطا	۱/۵۵	۲/۵۴	۳/۹۲	۳/۹۱	۴	۳/۶۲	۲/۰۴	۰/۵۹
	انحراف نتایج	-۰/۲	-۲/۴۷	-۳/۹۱	-۳/۹۱	-۴	-۳/۶۲	-۲	-۰/۵۳

منابع

- ۱- ابراهیمی، ح. و. و. یزدانی. ۱۳۹۰. تعیین تبخیر و تعرق واقعی فضای سبز بوسیله آلگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین. گزارش نهایی طرح پژوهشی، دانشگاه آزاد واحد مشهد.
- ۲- بی نام. ۱۳۸۷. تبخیر تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). نشر کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۲۵۱ صفحه.
- ۳- رضائی، ع. ۱۳۷۹. مفاهیم آمار و احتمالات (با تجدید نظر کامل). نشر مشهد، چاپ اول، مشهد.
- ۴- علیزاده، ا.، کمالی، غ.، خانجانی، ج. و م.ر. رهنورد. ۱۳۸۲. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق در مناطق خشک ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۷۳: ۹۷-۱۰۵.
- ۵- غفاری، ع.، قاسمی، و.ر. و ا. دیانو. ۱۳۸۳. پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی ایران با روش یونسکو. مجله خشکی و خشکسالی، ۱۲: ۳۳-۲۳.
- ۶- قمرنیا، ه. و ا. مهری. ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در استان لرستان، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان.
- ۷- مباحثی، م.ر.، خاوریان، ح. و ح. موسوی. ۱۳۸۵. بررسی خطا در برآورد ET ناشی از گرمای محسوس در مدل SEBAL. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.
- ۸- محمدیان، ا.، علیزاده، ا. و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۵. بررسی تاثیر خشکی ایستگاه بر دما، رطوبت و تبخیر و تعرق مرجع (مطالعه موردی: ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد و گل‌مکان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳(۱۲): ۱۰-۱.
- ۹- نادری، ن. و ا. علیزاده. ۱۳۸۶. مقایسه و اصلاح روش‌های نیاز آبی. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.
- 10- Allen, R.G. and C.E. Brockway. 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
- 11- Allen, R.G., Morse, A. and M. Tasumi. 2003. Application of SEBAL for western US rights regulation and planning. ICID Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions.
- 12- Allen, R., Smith, M., Pereira, L. and A. Perrie. 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. ICID Bulletin. 43(2):35-92.
- 13- Bastiaansena, W. G. M., Menentia, M., Feddesb, R. A. and A. A. M. Holtslagc. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). Journal of Hydrology, 212-213: 198-212
- 14- Bastiaanssen, W. G. M., Noordman, E. J., Pelgrum, M. H., Davids, G., Thoreson, B. P. and R. G. Allen. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. J of Irrig and Drain, (ASCE):85(1): 85-93.
- 15- Costello, L. R., Matheny, N. P. and J. R. Clark. 1993. Estimating water requirements of landscape planting – the landscape coefficient method. The University of California Cooperative Extension Leaflet 21493.
- 16- Costello, L. and K. S. Jones. 1999. WUCOLS III. In a guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California. University of California Cooperative Extension and California Department of Water Resources.
- 17- Costello, L. R., Matheny, N. P. and J. R. Clark. 2000. A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California The landscape coefficient method and WUCOLS III. University of California Cooperative Extension and California Department of Water Resources
- 18- Dehghanisani, H., Yamamoto, T. and V. Rasiah. 2004. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. Agricultural Water Management 64: 91-106.
- 19- Grismer, M. A., Orang, M. and S. Matyac. 2002. Pan evaporation to evapotranspiration conversion methods. Journal of Irrigation Drainage Engineering. 128(3): 180-184.
- 20- Heaven, S., Koloskov, G. B., Lock, A. C. and T. W. Tanton. 2002. Water resources management in the Aral basin: A river basin management model for the Syr Darya. Journal of Irrigation Drainage Engineering, 51 (2): 109-118.
- 21- Koloskov, G., Mukhamejanov, K. h. and T. W. Tanton. 2007. Monin-Obukhov length as a cornerstone of the SEBAL calculations of evapotranspiration. Journal of Hydrology, 130(4):150-155.
- 22- Mokhtari, M. H. 2005. Agricultural drought impact assessment using remote sensing: A case study Borkhar district –Iran. M.sc Thesis. ITC, Enschede, the Netherlands.
- 23- Rosegrant, M. W. 1997. Water resources in the 21st century: challenges and implications for action. Food, Agriculture, and the Environment. Discussion Paper 20. Washington. DC: International Food Policy Research Institute.
- 24- Snyder, R. L. and S. Eching. 2004. Landscape irrigation management program IS005 quick answer. Copyright (2003) regents of the University of California created on November 15, 2004.

- 25- Salih Hamid, H., Mohamed, A. A. and M. Yasir Abbas. 2011. Towards a performance-oriented management for large-scale irrigation systems: case study, Rahad scheme, Sudan. *Irrigation and Drainage*, 60(1):20-34.
- 26- Tasumi, M., Trezza, R., Allen, R. G. and J. L. Wright. 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.