

مقاله پژوهشی

کاربرد سنجش از دور در برآورد تبخیر و تعرق برای ارزیابی نیاز آبی انگور در دشت مروست با

استفاده از تصاویر سنجنده MODIS ماهواره Terra

فاطمه فیروزی^۱، حسین ملکی نژاد^{۲*}، کامران رحیمی^۳

۱- دانشجوی پسا دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

۳- کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۷)

چکیده

امروزه به دلیل مصرف آب و مواجه شدن دنیا با مشکلاتی نظیر کم آبی و خشک سالی، مدیریت و برنامه ریزی کوتاه مدت و بلندمدت مصرف جهت نیل به اهداف تعیین شده در خصوص منابع آب ضروری می باشد. فقدان داده های لایسیمیتری اندازه گیری شده برای تخمین نیاز آبی واقعی گیاه از مهم ترین چالش هایی است که در بخش کشاورزی وجود دارد. از طرف دیگر استفاده از روش های نوین به منظور تخمین دقیق تر از تبخیر و تعرق واقعی و در نتیجه ضریب گیاهی برای گیاهان مختلف به ویژه کشت غالب در دشت های کشور می تواند به برنامه ریزی و مدیریت بهتر منابع آب کمک نماید. در این تحقیق با استفاده از تصاویر MODIS و الگوریتم سبال، مقدار تبخیر و تعرق برای مروست استان یزد در چهار ماه (فوریه، می، آگوست، نوامبر) سال ۲۰۱۷ برآورد گردید. حداکثر میزان تبخیر و تعرق هم زمان با فصل گرم یعنی ماه آگوست و رسیدن گیاه به بیشینه سبزینگی رخ داده است که میزان آن ۵۸۲ میلی متر می باشد. سپس با کاهش تراکم گیاهی، روند تبخیر و تعرق کاهش یافته است که حداقل میزان تبخیر و تعرق در ماه فوریه (بهمن) بوده است. استخراج ضریب گیاهی انگور با روش فائو نشان داد، مقدار آن در ماه می (۱/۲۳) و آگوست (۱/۱۴) برآورده شده است. با توجه به بالا بودن میزان تبخیر و تعرق و گرما در این دو ماه نیاز گیاه به آب بیشتر بوده است. میزان ضریب گیاهی در فصل پاییز (ماه نوامبر ۰/۲۵) و زمستان (فوریه ۰/۲۹) به دلیل کاهش پوشش سطح برگ و کاهش تبخیر و تعرق مقادیر کمتری از دوره های رشد داشته است. سپس مقادیر تبخیر و تعرق و نیاز آبی انگور با ۵ روش دیگر محاسبه شد و با استفاده از شاخص های آماری میانگین خطای مطلق (MAE) با روش فائو مقایسه شدند. نتایج نشان داد مدل تجربی هارگریوز-سامانی و بلانی-کریدل عملکرد مطلوب تری در برآورد تبخیر و تعرق مرجع و نیاز آبی دارند، اما در این تحقیق روش هارگریوز-سامانی به عنوان روش برتر و سایر روش ها در رتبه های بعدی قرار گرفتند. روش تراجکویک و برتی نتایج مناسبی به خصوص در ماه گرم از خود نشان ندادند.

کلیدواژه ها: دشت مروست، روش سبال، فائو پنمن مانیتث، نیاز آبی انگور

تبخیر و تعرق یکی از عوامل مهم در چرخه هیدرولوژی (باقری هارونی و همکاران، ۱۳۹۱) و از عوامل تعیین کننده معادلات انرژی در سطح زمین و توازن آب است و برآورد آن در زمینه‌های مختلف علوم مانند هیدرولوژی، کشاورزی، مدیریت جنگل و مرتع و مدیریت منابع آب مورد نیاز است (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲). روش‌های اقلیمی یا هواشناسی مبتنی بر داده‌های نقطه‌ای، نمی‌توانند تخمین خوبی از تبخیر و تعرق در سطح بزرگ داشته باشند (سون^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). اما فنون سنجش از دور این امکان را می‌دهند تا سطح وسیعی از منطقه مورد مطالعه را هم‌زمان مورد پوشش قرار داده، اقدام به رصد و مطالعه تبخیر و تعرق نمود. به کمک این فن، توزیع مکانی عامل‌های مورد نیاز مدل‌های تبخیر و تعرق و تغییرات زمانی آن‌ها بین دو تصویربرداری متوالی فراهم می‌شود. در بین روش‌هایی که برای برآورد تبخیر و تعرق از طریق سنجش از دور وجود دارد، روش‌های بیان انرژی بیشتر مورد توجه می‌باشند. از جمله الگوریتم‌های موجود می‌توان به الگوریتم‌های تک منبعی **SEBAL**، **SSEB** و الگوریتم دو منبعی **TSEB** اشاره کرد (باستیانس^۲، ۲۰۰۰؛ ثنایی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). یکی از الگوریتم‌هایی که جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد توجه بسیار قرار گرفته الگوریتم سبال می‌باشد (بهمن آبادی و همکاران، ۱۳۹۷). الگوریتم سبال روشی است که بر پایه روابط تجربی و فیزیکی، میزان تبخیر و تعرق واقعی را با حداقل داده‌های زمینی برآورد می‌کند و الگوریتم آن اولین بار توسط باستیانس و همکاران در سال ۱۹۹۸ ارائه شد. این الگوریتم در سال (۲۰۰۲) توسط آلن^۳ و همکاران اصلاح شد به طوری که الگوریتم اصلاح شده جدید با الگوریتم توازن انرژی متریک که توسط آلن و همکاران ارائه شده، شباهت بسیاری دارد (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲). روش سبال تحت شرایط مختلف در برخی مناطق در سراسر جهان از جمله اسپانیا، ایتالیا، ترکیه، پاکستان، هند، سریلانکا، مصر، نیجر، چین و ایالات متحده (سو^۴، ۲۰۰۲) برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده شده است و بسیاری از این کشورها مناسب بودن روش سبال را تأیید کرده‌اند (سون^۵ و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعات موردی متعددی با استفاده از این مدل‌ها صورت گرفته است که به چند نمونه اشاره می‌شود: زد وایل و همکاران (۱۹۸۱) تحقیقی را در مورد نیاز آبی انگور انجام دادند. آن‌ها گزارش کردند که در این بررسی حداکثر نیاز آبی در مرحله گل‌دهی و رشد حبه‌ها می‌باشد. همچنین ویلیامز^۶ و همکاران (۲۰۰۳) میزان نیاز آبی درختان انگور بالغ را در کالیفرنیا، حداکثر حدود ۷ میلی‌متر در روز گزارش نمودند. میزان حداکثر ضریب گیاهی در سال اول آزمایش ۰/۸۷ و در سال‌های بعد به ترتیب ۱/۰۸، ۰/۹۸ و ۱/۰۸ بوده است. ضریب

¹ sun

² Bastiaanssen

³ Allen

⁴ Su

⁵ Sun

⁶ Williams

گیاهی رابطه‌ای خطی با میزان سطح برگ گیاه داشته و نتایج نشان داد که استفاده از درجه روز به جای تعداد روزهای سال در تخمین ضریب گیاهی ارجحیت دارد. آلن و ترزا^۱ (۲۰۰۳) نیاز آبی گیاهان را در منطقه‌ای از آیداهو از داده‌های لندست ۶ با استفاده از الگوریتم سبال برآورد کرد و دقت این مدل را با داده‌های لایسیمترهای وزنی واقع در موسسه تحقیقات کشاورزی کیمبرلی آیداهو، مقایسه کرد. نتایج نشان داد که همبستگی بین مقادیر به‌دست‌آمده از روش سبال با نتایج حاصل از داده‌های لایسیمترهای وزنی اختلافی کمتر از پنج درصد را نشان می‌دهد. در پژوهشی که در منطقه‌ای به نام دره ابرو در اسپانیا صورت گرفت، تبخیر و تعرق واقعی محاسبه‌شده از مدل سبال در طی چهار ماه سال برای گیاه ذرت و چمن با تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده توسط معادله پنمن مانیتث مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که خطای مربوط به مدل سبال در مورد ذرت یک میلی‌متر در روز و برای گیاه چمن ۰/۳ میلی‌متر در روز می‌باشد (کولسکو^۲ و همکاران، ۲۰۰۶). در زمینه ارزیابی و برآورد نیاز آبی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از الگوریتم سبال در منطقه پیتینا-پلین ایتالیا صورت گرفته است. در این تحقیق با استفاده از تصاویر لندست و مودیس، تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شد و در نهایت نیاز آبی مورد نیاز منطقه برآورد شد (کاسا^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). طی تحقیقی امکان‌سنجی کارایی دو مدل سبال و متریک با استفاده از تصویر مودیس در سطح شهرستان ملایر توسط (قربانی و همکاران، ۱۳۹۴) انجام شده است. نتایج نشان داد الگوریتم سبال با میانگین تبخیر و تعرق ۶/۸۳ میلی‌متر در روز، در مقایسه با الگوریتم متریک با مقدار ۷/۲۱ میلی‌متر در روز، حدود ۵/۲۶ درصد تبخیر و تعرق واقعی روزانه در محدوده شهرستان ملایر را کمتر برآورد کرده است. علت اصلی این اختلاف استفاده از معادلات متفاوت در محاسبه ضریب شفافیت اتمسفری و شار گرمای خاک است. همچنین هر دو مدل می‌توانند مقدار تبخیر و تعرق واقعی را متناسب با توزیع مکانی منطبق با شرایط پستی و بلندی و پوشش گیاهی برآورد کنند. نوری و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از ضرایب گیاهی پسته و مقدار متوسط ETo (تبخیر و تعرق مرجع) لایسیمتر در طی چهار سال، تبخیر و تعرق پسته رفسنجان را تعیین کردند. براساس نتایج به دست آمده متوسط ETC (تبخیر و تعرق پتانسیل) درختان بارور پسته در طول سال از فرودین تا آذر ۹۶۰۰ مترمکعب در هکتار است و حداکثر تبخیر و تعرق مرجع و پتانسیل در تیرماه رخ داده است. بیش از ۵۰ درصد ETC مربوط به ماه‌های خرداد، تیر و مرداد است که اهمیت آبیاری درختان پسته در این ماه‌ها را نشان می‌دهد. عباس نژاد الچین (۱۳۹۷) با استفاده از تصاویر لندست ۸ و روش سبال برای جنگل‌های خزری به این نتیجه رسیدند که با کمک تصاویر لندست ۸ و مدل سبال می‌توان نقشه تبخیر و تعرق در جنگل‌های شمال ایران در فصل‌های بهار و تابستان را تهیه کرد. (زمانی و رمضان زادگان، ۲۰۱۸) به مقایسه سه روش متریک، سبال و سبس برای تخمین تبخیر و تعرق سد امیرکبیر پرداختند نتایج نشان داد روش

¹ Allen & Trezza

² Koloskov

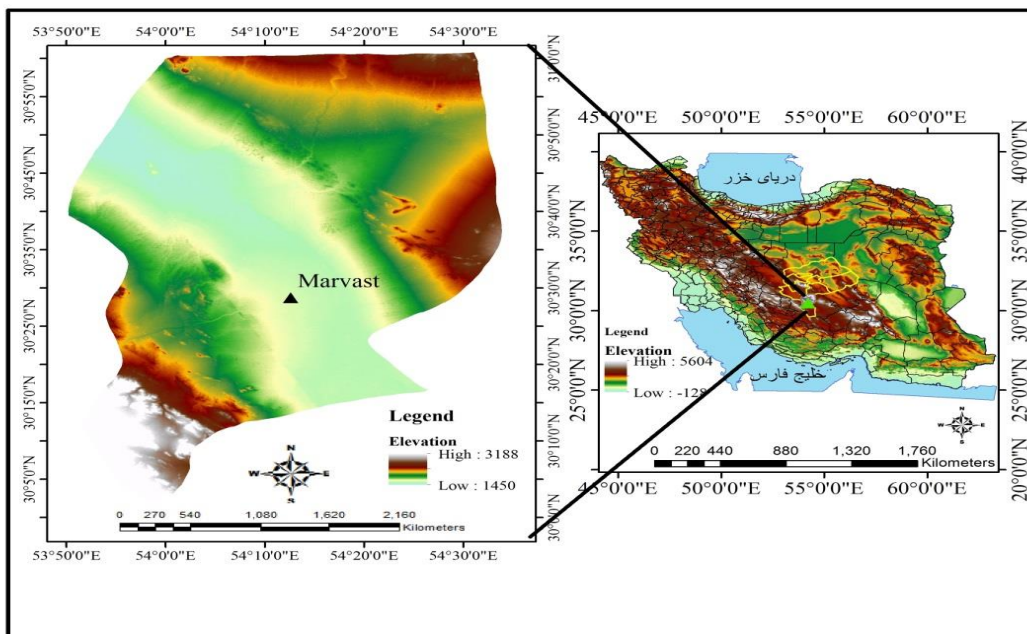
³ Casa

متریك و سبس دارای خطای کمتری نسبت به روش سبال بوده است. گو و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل SEBAL در فلات لس، تبخیر و تعرق واقعی را بررسی کردند. نتایج این مطالعه رابطه مستقیمی را بین دو پارامتر پوشش گیاهی و میزان تبخیر و تعرق نشان داد. یعنی با افزایش پوشش گیاهی، میزان تبخیر و تعرق منطقه افزایش یافته است (رمضان زادگان و عدالت سادات، ۲۰۱۹) به پیاده‌سازی مدل سبال با استفاده از ۲۹ تصویر Landsat 8 در طول دوره ۲۰۱۷-۲۰۱۳ بر روی درختان پسته سمنان پرداختند. نتایج حاکی از تنوع مکانی بالا ET در دوره رشد پسته بوده است و به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد مدل SEBAL برای برآورد ET واقعی محصول پسته بهره‌وری بالایی دارد. از این رو می‌توان با روش سبال اطلاعات تبخیر و تعرق واقعی را به صورت دوره‌ای و منظم در پهنه‌های وسیع و با ضریب اطمینان بالا محاسبه نمود.

اما با توجه به سابقه بیش از چند سال تحقیق در این زمینه، هنوز ضرورت دارد تحقیقات بیشتری با توجه به تنوع اقلیمی و آب و هوایی انجام شود تا امکان ارزیابی تبخیر و تعرق به نحوی مطلوب‌تر و دقیق‌تر بر پایه این مدل‌ها و تصاویر ماهواره‌ای انجام گیرد. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی دقت الگوریتم سبال در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در منطقه گرم و خشک مروست و به دست آوردن ضریب گیاهی درخت انگور با استفاده از تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی می‌باشد که در ایران کمتر به این محصول و نیاز آبی آن توجه شده است.

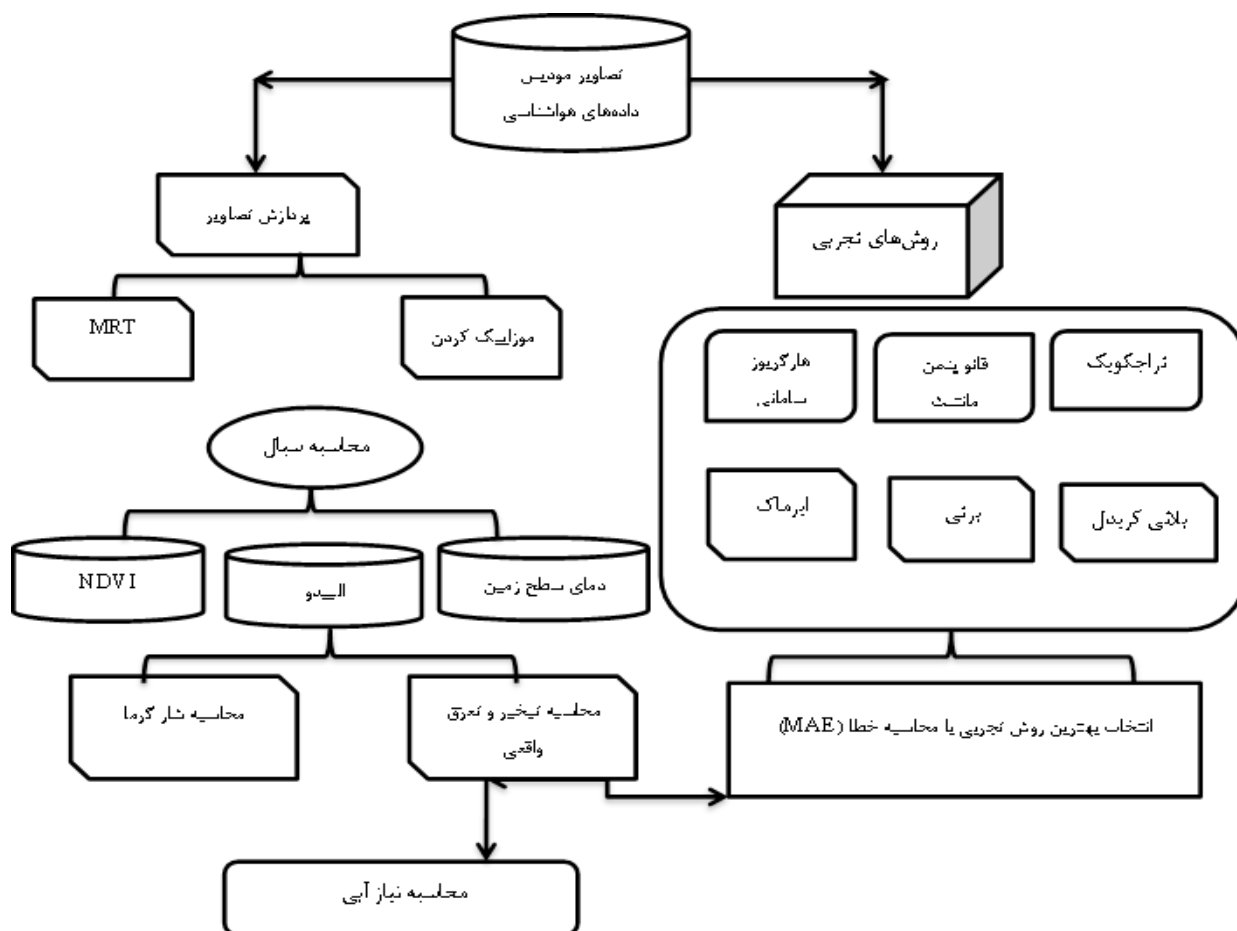
داده‌ها و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: با توجه به موقعیت جغرافیایی مروست شرایط آب و هوایی تابع آب و هوای فلات مرکزی ایران است. آب و هوای آن از نوع گرم و خشک است. از ویژگی‌های آب و هوای می‌توان بارندگی نامنظم و تبخیر زیاد (حداکثر ۴۲۰۰ میلی‌متر) در سال نام برد. میانگین بارندگی ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی مروست ۷۷ میلی‌متر می‌باشد (حبیبی پور، ۱۳۹۶). بیشتر ساعات آفتابی مربوط به ماه‌های گرم سال یعنی تیر و مرداد و کمترین آن مربوط به ماه‌های آذر و دی می‌باشد. مروست دشت کم ارتفاعی است که به دلیل کمبود آب با حفر قنات و چاه‌های عمیق و نیمه عمیق امکان فعالیت کشاورزی محدودی فراهم شده است. کشاورزی مروست تحت تأثیر عناصر اقلیمی است. از این رو کاشت گندم و غلات و باغات انگور رواج دارد. شوره‌زارها و ماسه‌زارها قسمت‌های وسیعی از دشت را می‌پوشاند. تنها رودخانه آب سطحی بوانات در مروست و اعظم آن در هرات است که آب این رودخانه در دشت مروست به مصرف کشاورزی می‌رسد و بقیه آن به سفره آب زیرزمینی نفوذ می‌کند که با رشد جمعیت و گسترش فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی به تدریج آب‌های زیرزمینی با روند نزولی مواجه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

روش و داده‌ها:



شکل ۲- نمای روند محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از روش سبال و تجربی

برای بررسی تبخیر و تعرق منطقه مورد مطالعه به دو پایگاه داده نیاز بود. اول پایگاه تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس ماهواره ترا برای چهار ماه (فوریه، می، آگوست، نوامبر) که از وبسایت (<https://earthexplorer.usgs.gov>) درگاه داده‌های EOS دانلود شدند. محصولات مودیس متعدد می‌باشند که در این پژوهش از داده خام (MOD021KM) استفاده شده است. مراحل پیش‌پردازش تصحیحات اتمسفری، هندسی و رادیومتریک با الگوریتم‌های مناسب به منظور ارائه مجموعه داده همگن با کیفیت بالا صورت گرفته است. سپس به محاسبه تبخیر و تعرق واقعی با تصاویر تصحیح شده با الگوریتم سبال پرداخته شد. این نکته حائزه اهمیت است که تصاویر ماه فوریه دارای شرایط ابری بوده است به همین دلیل تصویری انتخاب شد که پوشش ابری در مناطقی قرار داشت که پوشش گیاهی قرار نداشته باشد. پایگاه دوم داده از ایستگاه هواشناسی مروست داده‌های مورد نیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش‌های تجربی فائو پنمن مانیتث، هارگریوز سامانی، تراجکویک، ایرماک، برتی و بلانی کریدل مورد استفاده قرار گرفت. در زیر مراحل محاسبه روش‌های مورد استفاده توضیح داده خواهد شد:

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده سنجنده مودیس ماهواره ترا (صالحی و همکاران، ۱۳۹۷)

روز	ماه	سال	شماره باند	پهنای باند (نانومتر)
۲۹	نوامبر	۲۰۱۷	۳	۴۷۹-۴۵۹
			۴	۵۶۵-۵۴۵
۲۹	فوریه	۲۰۱۷	۱	۶۷۰-۶۲۰
			۲	۸۷۶-۸۴۱
۲۹	می	۲۰۱۷	۶	۱۶۵۲-۱۶۲۸
			۷	۲۱۵۵-۲۱۰۵
۲۹	آگوست	۲۰۱۷	۳۱	۱۱۲۸۰-۱۰۷۸۰
			۳۲	۱۲۲۷۰-۱۱۷۷۰

الگوریتم سبال: مدل سبال، مقدار تبخیر و تعرق را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و حداقل داده‌های زمینی مورد نیاز و بر اساس معادله توازن انرژی محاسبه می‌نماید. از آنجاکه تصاویر ماهواره‌ای تنها می‌توانند اطلاعاتی در زمان گذر ماهواره ارائه دهند لذا سبال می‌تواند مقدار شار تبخیر و تعرق برای هر پیکسل تصویر، به صورت باقیمانده معادله توازن انرژی سطح محاسبه می‌شود (ثنایی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰؛ باستیانس، ۱۹۹۵). معادله کلی الگوریتم توازن انرژی به صورت رابطه ۱ زیر بیان می‌شود:

$$R_n = G + H + \lambda ET \quad (1)$$

که در آن R_n : شار تابشی کل بر حسب (W/m^2) ، λET : مقدار شار گرمایی نهان در لحظه عبور ماهواره بر حسب (W/m^2) ، H : شار گرمایی محسوس هوا بر حسب (W/m^2) ، G : شار گرمایی خاک بر حسب (W/m^2) . شار تابشی کل محاسبه جبری مابین تمامی تابش‌های ورودی و بازتابش خروجی از سطح می‌باشد. شار تابشی کل برابر جمع جبری تابش طول موج کوتاه به عنوان تابعی از آلودگی سطح و تابش طول موج بلند که از تفاضل میان طول موج بلند ورودی و خروجی به دست می‌آید. میزان تابش طول موج کوتاه ورودی به زمین $3-0.3$ میکرومتر می‌باشد. میزان تابش طول موج بلند خروجی از سطح زمین نیز در حدود $100-3$ میکرومتر می‌باشد. شار تابشی کل نیز با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (باستیانس، ۱۹۹۵):

$$R_n = (1 - \alpha) R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (2)$$

که در آن R_n : شار تابشی کل بر حسب (W/m^2) ، $R_{s\downarrow}$: تابش امواج کوتاه، α : آلودگی سطح بدون دیمانسیون، $R_{L\downarrow}$: تابش امواج بلند، $R_{L\uparrow}$: بازتابش امواج بلند، ϵ_o : قابلیت انتشار سطح بدون دیمانسیون.

شار گرمایی خاک: شار گرمایی خاک میزان ذخیره گرمایی خاک در نتیجه گرادیان دمایی مابین سطح خاک و لایه‌های پایین‌تر خاک می‌باشد. گرادیان دمایی تابعی از جز پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ می‌باشد که با ممانعت از ورود نور به سطح خاک و شکل‌گیری سایه در بالای خاک لخت نسبت گرمایی سطح خاک لخت را بیان می‌کند. از آنجایی که اطلاعات میدانی در مورد قابلیت هدایت گرمایی خاک موجود نیست جهت محاسبه شار گرمایی خاک از روابط تجربی که تابعی از شاخص پوشش گیاهی، آلودگی سطح و دمای سطح می‌باشد استفاده می‌شود. شار گرمایی خاک با استفاده از رابطه ۳ که توسط باستیانس (۱۹۹۵) ارائه شده است محاسبه می‌شود.

$$\frac{G}{R_n} = T_s / \alpha (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2) (1 - 0.98NDVI^4) \quad (3)$$

T_s : دمای سطح بر حسب درجه سانتی‌گراد، α : آلودگی سطح، $NDVI$: شاخص پوشش گیاهی نرمال شده دمای سطح زمین (LST) به عنوان (T_s) بیان می‌شود:

$$T_s = T_i + c_1 (T_i - T_j) + c_2 (T_i - T_j)^2 + c_0 + (c_3 c_4 W) (1 - \epsilon) + (c_5 + c_6 W) \Delta \epsilon \quad (4)$$

که T_i و T_j دماهای روشنایی سنجنده در باندهای i و j پنجره مجزا (کلوین)، ϵ میانگین گسیلندگی، $\epsilon = 0.5(\epsilon_i + \epsilon_j)$ ، $\Delta \epsilon$ تفاوت گسیلندگی، $\Delta \epsilon = (\epsilon_i - \epsilon_j)$ ، W مقدار مجموع بخار آب جوی (گرم در هر سانتی‌متر مربع) و $c_0 - c_6$ ضرایب الگوریتم پنجره به دست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده است (یونس‌زاده جلیلی، ۲۰۱۳). شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی ($NDVI$)، طی سال‌ها تحقیق توسط دانشمندان تعیین شده که سبزینگی تراکم گیاهی را به‌طور تقریبی محاسبه می‌کنند. متداول‌ترین، معروف‌ترین و کاربردی‌ترین معادله، شاخص $NDVI$ می‌باشد که به صورت زیر ارائه شده است (کوش و استدینگر، ۲۰۰۷)

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{VIS}}{\rho_{NIR} + \rho_{VIS}} \quad (5)$$

که در آن فرمول مورد نظر ρ_{NIR} بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک (۷۲۵-۱/۱ میکرون) و ρ_{VIS} بازتاب در باند مرئی (۵۸-۶۸ میکرون) می باشد. دامنه مقادیر NDVI از -۱ تا +۱ متغیر می باشد. بازتاب بالا در بخش مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس، سلامت گیاه را با مقادیر زیاد بین ۰/۵ تا ۱ نشان می دهد (لیلسند و کیفر، ۱۹۹۴).

شار گرمای محسوس: شار گرمایی محسوس میزان تلفات انرژی از خاک از طریق همرفت و فرایند انتشار در نتیجه اختلاف دمایی مابین سطح و پایین ترین لایه جو می باشد. شار گرمای محسوس با استفاده از سرعت باد، ضریب زبری و اختلاف دمای سطح و هوا مورد محاسبه قرار می گیرد. شار گرمایی محسوس یک مانع اساسی در برآورد تبخیر و تعرق به شمار می رود چراکه مقدار ترمهای dT و مقاومت آئرو دینامیکی سطح جهت محاسبه شار گرمای محسوس مجهول می باشد. جهت محاسبه این مجهولات الگوریتم ابتدا شار گرمای محسوس را در پیکسل های خشک و تر محاسبه می نماید. پیکسل خشک یا گرم بایستی در ناحیه خشک و بایر انتخاب شود که تبخیر و تعرق در آن اتفاق نمی افتد. پیکسل تر یا سرد نیز بایستی دارای دمای سطح برابر با دمای هوا باشد. واسنجی درونی الگوریتم شار گرمای محسوس توسط الگوریتم سبال نیاز به تصحیح اتمسفری توسط مدل های تابشی جهت محاسبه دمای سطح و آلبیدو را حذف می نماید. این واسنجی درونی علاوه بر این موجب کاهش اثرات خطا در تخمین ضرایب زبری و مقاومت آئرو دینامیک می شود. با توجه به تعیین پیکسل های سرد و گرم رابطه خطی مابین ترم dT و دمای سطح برقرار می گردد. شار گرمای محسوس با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می شود (باستیانس، ۱۹۹۵).

$$H = (P \times C_p \times dT) / r_{ah} \quad (6)$$

P : چگالی هوا بر حسب (Kg/m^3) ، C_p : گرمای ویژه هوا برابر $1004 (J/Kg/K)$ ، dT : اختلاف دما بین دو ارتفاع Z_2 و Z_1 بر حسب (K) ، r_{ah} : مقاومت آئرو دینامیکی در برابر انتقال گرما (s/m) .

شار گرمای نهان: شار گرمای نهان از تفاضل جبری معادله توازن انرژی محاسبه می شود. بعد از محاسبه شار گرمای نهان جز تبخیری تعیین می گردد. با استفاده از جز تبخیری در هر پیکسل میزان تبخیر و تعرق در ۲۴ ساعت مورد محاسبه قرار می گیرد. تبخیر و تعرق لحظه ای با استفاده از معادله ۷ به دست می آید (باستیانس، ۱۹۹۵).

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (7)$$

که در آن: ET مقدار تبخیر و تعرق لحظه ای بر حسب (mm/hr) ، λ : شار گرمای نهان و یا میزان گرمایی که در تبخیر یک کیلو گرم آب جذب می شود بر حسب (J/Kg) (باستیانس، ۱۹۹۵).

روش پنمن مانیتث FAO-56: تبخیر و تعرق از یک سطح مرجع که با کمبود آب مواجه نیست تبخیر و تعرق گیاه مرجع نامیده می شود. سطح مرجع عبارت از یک گیاه مرجع چمن با ارتفاع ۰/۱۲ متر، مقاومت سطح ۷۰ ثانیه بر متر و ضریب بازتاب ۰/۲۳. این سطح مشابه یک سطح وسیع چمن سبز رنگ، خوب آبیاری شده با ارتفاع یکنواخت، با رشد فعال و سایه اندازی کامل می باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). در روش پنمن مانیتث گیاه مرجع

یک گیاه فرضی با ارتفاع ۱۲ سانتی متر که ضریب بازتاب تابش در آن ۲۳ درصد و مقاومت روزنه‌های آن در مقابل تعرق ۷۰ می‌باشد. معادله پنمن-مانتیت به صورت رابطه ۸ خلاصه می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma[890/(T+273)]U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (8)$$

که در آن ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)، R_n : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$)، T : متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})، $e_a - e_d$: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa)، Δ : شیب منحنی فشار بخار ($KPaC^{-1}$)، γ : ضریب سایکرومتری ($KPaC^{-1}$)، G : شار گرما به داخل خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$) می‌باشد (میریعقوب زاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

روش‌های تجربی: معادله هارگریوز-سامانی (۱۹۸۵) و روش‌های تجربی مورد استفاده، برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به صورت رابطه ۹ تا ۱۳ ارائه شده است:

$$ET_0 = 0.0162R_s (T_c + 17.8) \quad (9): \text{هارگریوز سامانی}$$

$$ET_0 = 0.408 \times 0.0023 Ra (T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.424} \quad (10): \text{تراجکویک}$$

$$ET_0 = 0.408 \times 0.00193 Ra (T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5}. \quad (11): \text{ایرماک}$$

$$ET_0 = 0.408 \times 0.00193 Ra (T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad (12): \text{برتی}$$

$$ET_0 = P (0.46 T_{mean} + 8.17) \quad (13): \text{بلانی کریدل}$$

که در آن: ET_0 : تبخیر-تعرق گیاه مرجع برحسب میلی متر بر روز، R_s : تشعشع خورشیدی برحسب میلی متر بر روز، T_c : میانگین درجه حرارت ماهانه برحسب سانتی گراد (نجفی، ۱۳۸۵). Ra : تابش فراجوی، T : متوسط دمای روزانه هوا، T_{max} : دمای بیشینه، T_{min} : دمای کمینه، P : ساعت آفتابی می‌باشد (پیری و پوزن، ۱۳۹۸).
در نهایت با استفاده از داده‌های تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل ضریب گیاهی انگور منطقه مورد مطالعه که بیشترین محصول منطقه می‌باشد مورد محاسبه قرار خواهد گرفت. ضریب گیاهی که از تقسیم تبخیر و تعرق واقعی گیاه بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع به دست می‌آید نیز یک مقدار ثابت نبوده و در طول فصل رشد گیاه تغییر می‌کند (کردوانی، ۱۳۸۱).

$$kc = \frac{ET_c}{ET_p} \quad (14)$$

و سپس میزان خطای آن مورد محاسبه قرار گرفت.

به علت نبودن داده‌های لایسیمتری از روش فائو-پنمن-مانتیت برای ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده شد. بنابراین ابتدا داده‌های روزانه تبخیر و تعرق مرجع به روش فائو محاسبه شد و سپس مقادیر تبخیر و تعرق با

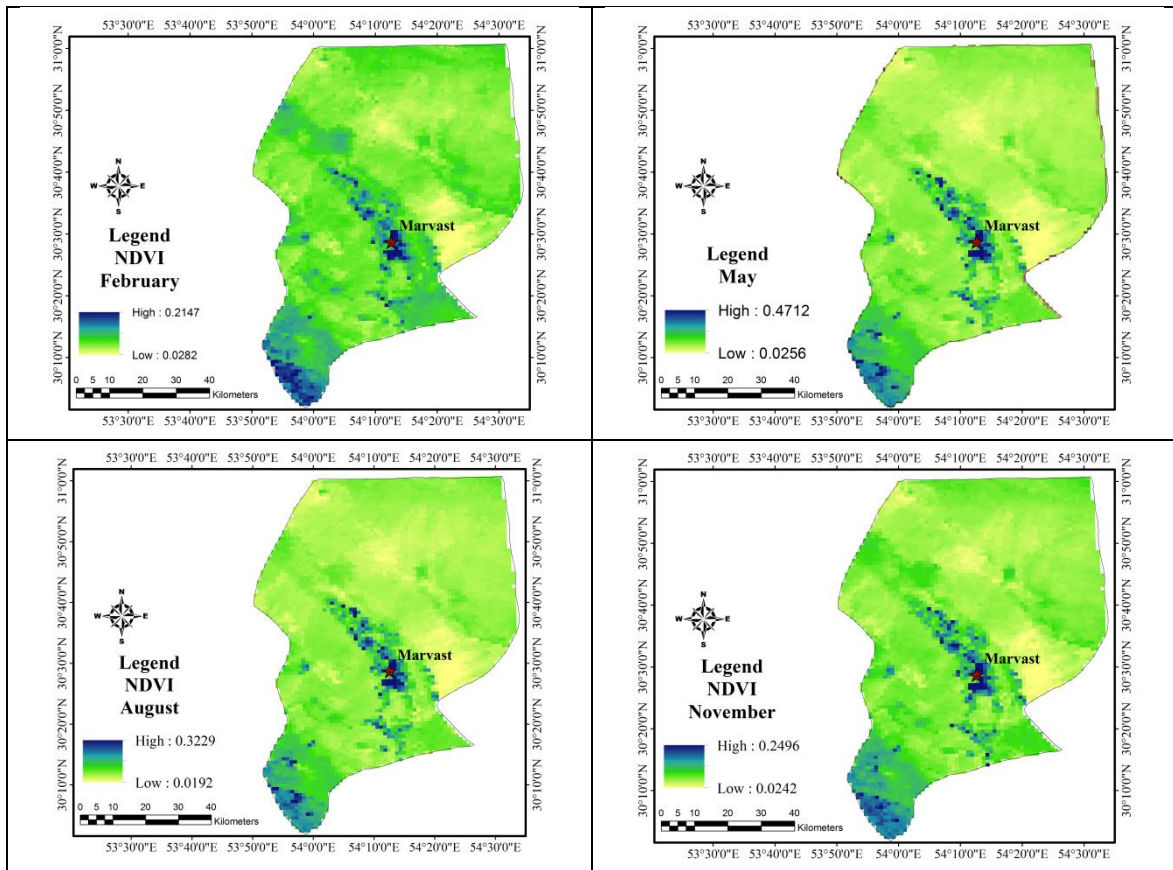
معادلات و مدل‌های ارائه شده در بالا به دست آمد. در نهایت خطای ضریب گیاهی محاسبه شده با روش MAE محاسبه شد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |K_c(\text{FAO pm}) - K_c(i)| \quad (15)$$

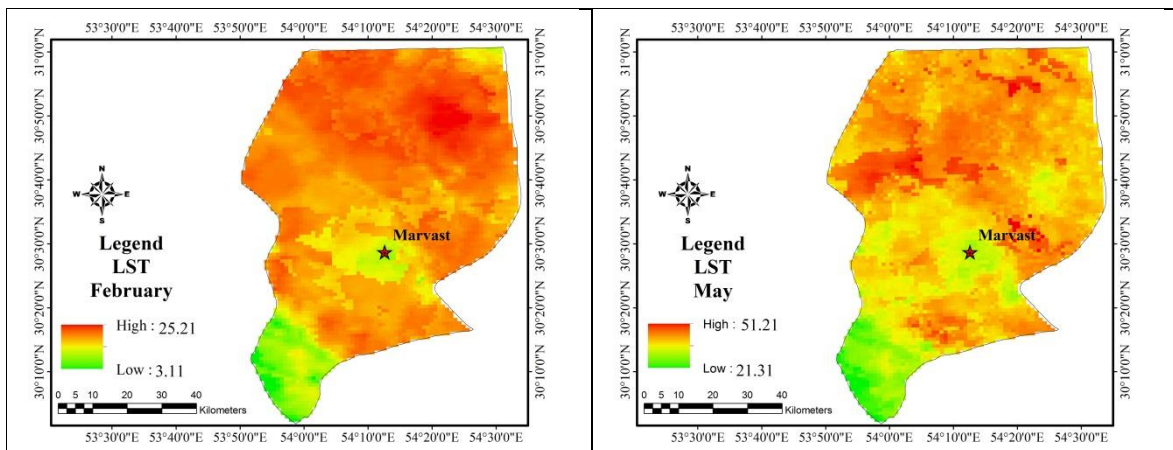
که در این معادله $K_c(\text{FAO pm})$ مقادیر داده‌های اندازه‌گیری شده و $K_c(i)$ مقادیر برآورد شده توسط مدل می‌باشند. هر چه مقدار خطا کمتر باشد، مدل اعمال شده دارای دقت آماری بالاتری خواهد بود (طباطبائی و غزالی، ۱۳۹۰)

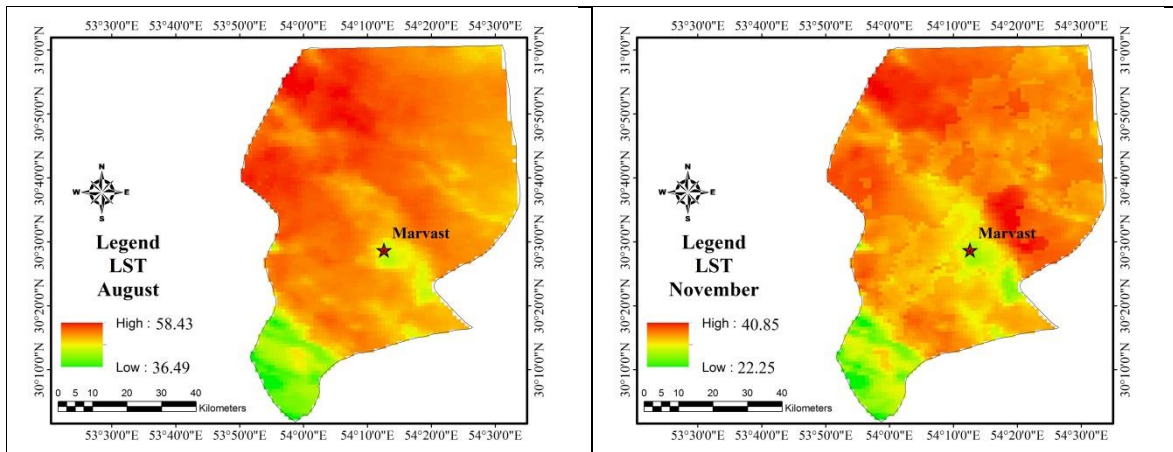
یافته‌ها و بحث

در شکل (۳) و (۴) مقادیر شاخص‌های بیلان انرژی واقع در محدوده مورد مطالعه شامل مقادیر پوشش گیاهی و دمای سطح زمین نشان داده شده است. میزان پوشش گیاهی (NDVI) در چهار ماه متفاوت می‌باشد که بیشترین میزان آن در فصل رشد یعنی ماه می (اردیبهشت) $0/47$ و حداقل میزان آن در ماه فوریه (بهمن) $0/2$ و سپس ماه نوامبر ($0/24$) می‌باشد، که میزان پوشش گیاهی در سطح زمین به کمترین میزان خود در نهایت ماه اگوست میزان $0/32$ را نشان می‌دهد. با توجه به خروجی تصاویر مودیس در شکل (۳) رنگ آبی در تصاویر، بالاترین میزان پوشش گیاهی را نشان می‌دهد که در ماه‌های مختلف بین ($0/2$ تا $0/4$) متغیر بوده است. تمرکز بیشترین پوشش گیاهی در مروست در قسمت جنوب غرب و مرکز واقع شده است. که با توجه به نقشه پوشش اراضی (۵) در این منطقه کشاورزی، باغ و جنگل‌های تنک تمرکز یافته است. با توجه به اینکه درصدی از پوشش گیاهی مربوط به اراضی کشاورزی می‌باشد و برداشت این محصولات در فصل بهار است، میزان پوشش گیاهی در فصل تابستان درصد پایین‌تری نسبت به بهار نشان داده شده است. داده‌های مربوط به دمای سطح زمین (سانتی‌گراد) منطقه مطالعاتی در شکل (۴) قابل مشاهده است. طبق شکل بیشترین دمای سطح زمین به میزان حداکثر $58/43$ و میانگین $45/96$ درجه سانتی‌گراد مربوط به ماه اگوست (مرداد) می‌باشد. در این زمان از سال با توجه به اینکه ارتفاع زاویه خورشید بالا و کاهش زاویه میل خورشید رخ می‌دهد (مجرد و همکاران، ۱۳۹۵)، انرژی دریافتی در واحد سطح نیز افزایش یافته و به بیشترین مقدار خود می‌رسد و به تبع آن دمای سطح نیز افزایش می‌یابد. حداقل دمای سطح زمین در ماه فوریه (بهمن) به میزان $25/21$ و میانگین $14/16$ درجه سانتی‌گراد بوده است. در ماه نوامبر میزان میانگین دمای سطح زمین ($31/55$) و ماه می ($36/26$) بوده است. در واقع با توجه به شکل‌های دمای سطح زمین در محدوده مورد مطالعه مناطقی که زمین بایر و صخره است دارای بیشترین میزان دما می‌باشند و در مناطقی مانند جنوب غرب و مرکز که پوشش گیاهی وجود دارد میزان دمای سطح زمین کمتر نشان داده شده است.

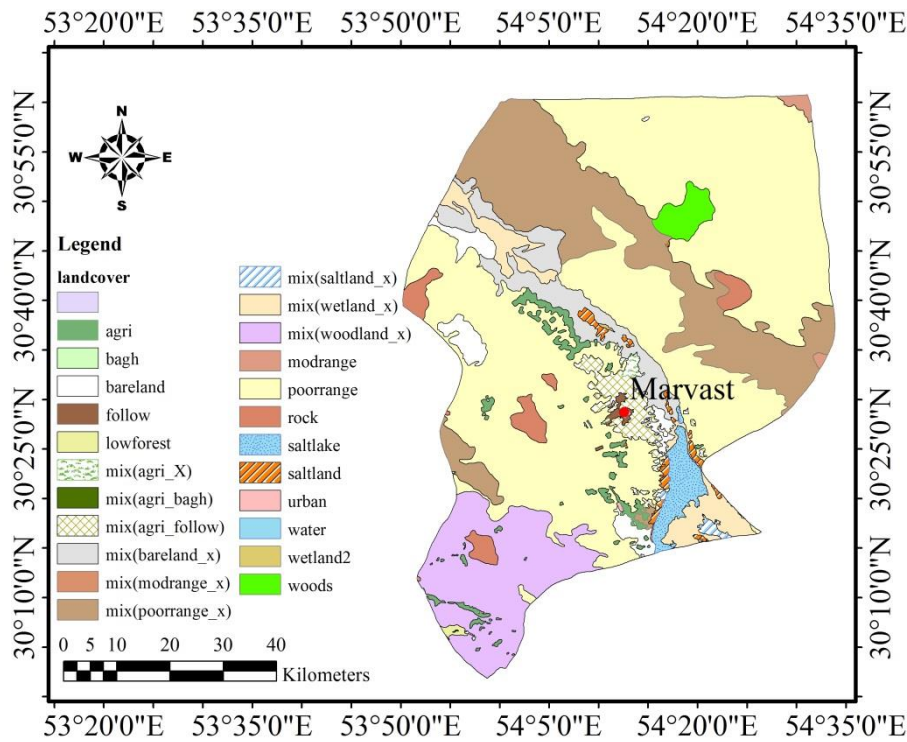


شکل ۳- نقشه پوشش گیاهی (NDVI) منطقه مورد مطالعه





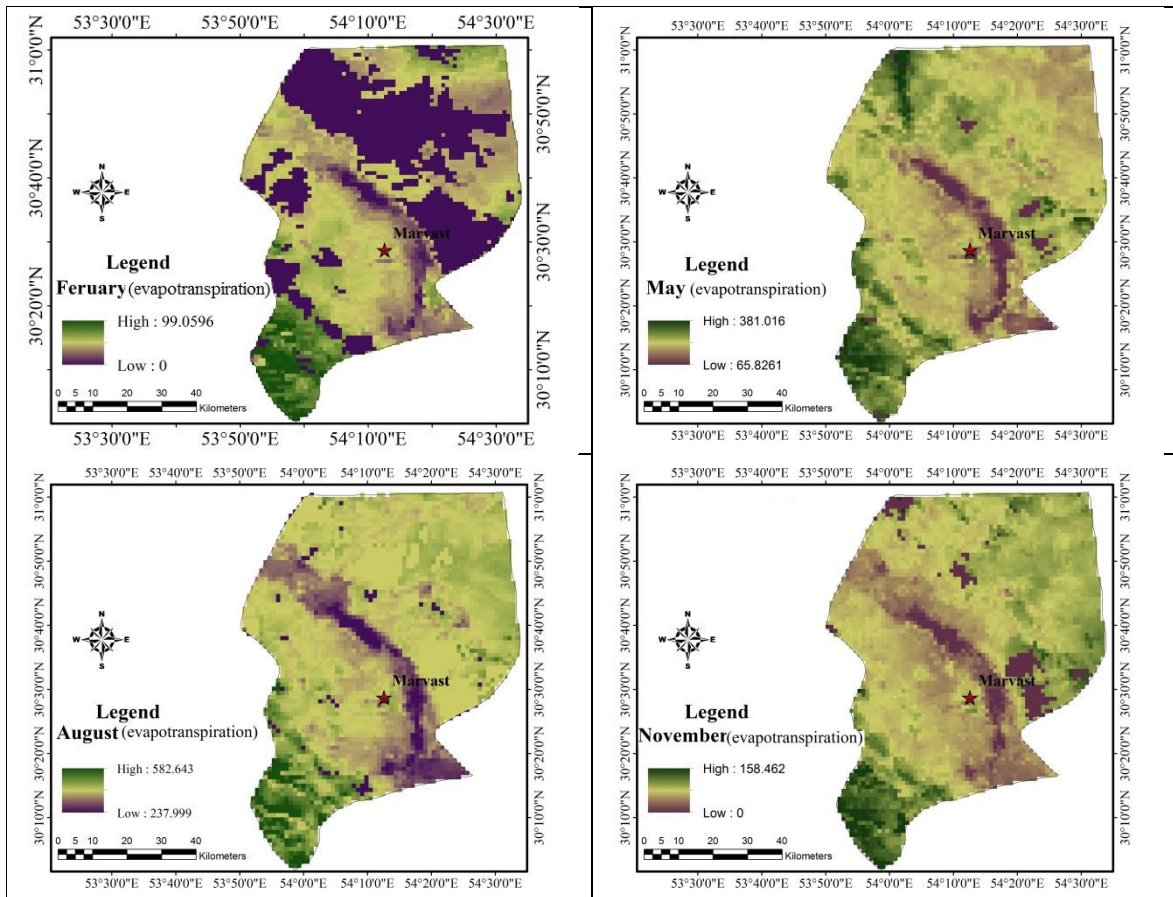
شکل ۴- نقشه دمای سطح زمین (LST) منطقه مورد مطالعه



شکل ۵- نقشه پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه

پس از محاسبه پارامترهای اصلی معادله تراز انرژی شامل شار تابش خالص خورشیدی، شار گرمای انباشت شده در خاک و شار گرمای محسوس، شار گرمای نهان تبخیر و تعرق لحظه‌ای برآورد شد. سپس تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس ماهانه محاسبه گردید. از عوامل مؤثر بر مقدار تبخیر و تعرق می‌توان به زمان و ماه مربوطه، پوشش گیاهی، دما، پوشش اراضی اشاره کرد، به طوری که حداکثر میزان تبخیر و تعرق هم‌زمان با فصل گرم یعنی ماه اگوست (مرداد) و رسیدن گیاه به بیشینه سبزیگی رخ داده است که میزان آن ۵۸۲ میلی‌متر می‌باشد. سپس با کاهش سبزیگی گیاهی، روند تبخیر و تعرق کاهشی می‌شود که حداقل میزان تبخیر و تعرق در ماه فوریه (بهمن) ۹۹

میلی‌متر بوده است. میزان حداکثر تبخیر و تعرق در ماه نوامبر و می به ترتیب ۱۵۸/۴۶ و ۳۸۱ میلی‌متر بوده است. در گام بعدی به محاسبه تبخیر و تعرق مرجع با مدل‌های تجربی فائو پنمن مانیتث، هارگریوز-سامانی تراجکویک، ایرماک، برتی و بلانی کریدل پرداخته شد شکل (۷). همه مدل‌ها بیش‌ترین تبخیر و تعرق را در ماه آگوست (مرداد) (فائو پنمن مانیتث ۳۸۷/۹۲، هارگریوز ۲۴۰، تراجکویک ۷۱/۱۵، ایرماک ۹۷/۵۷، برتی ۷۲ و بلانی کریدل ۱۹۴/۹۵ میلی‌متر) و حداقل آن در ماه فوریه (بهمن) (فائو پنمن مانیتث ۱۲۶/۶، هارگریوز ۸۶/۱۰، تراجکویک ۲۵/۴۰، ایرماک ۳۰، برتی ۲۵/۸۳ و بلانی کریدل ۱۳۶/۹۴ میلی‌متر) نشان دادند که مانند خروجی مدل سبال می‌باشد با این تفاوت که میزان تبخیر و تعرق مدل سبال (میانگین ۴۱۰) و فائو پنمن مانیتث (۳۸۸) به یکدیگر نزدیک می‌باشند شکل (۷). اهمیت این موضوع زمانی روشن می‌شود که قصد بر این باشد نیاز آبی گیاهان در سطح مزرعه و یا بررسی تنش آبی گیاهان در سطح حوزه و حتی کوچک‌تر بررسی شود. آنالیز کاربرد آب، برنامه‌ریزی آبیاری، طرح‌های آبیاری و تخصیص آب تنها زمانی که اطلاعات درست و به‌موقع در مورد نیاز آبی گیاهان موجود باشد امکان‌پذیر می‌باشد. اطلاع از مقدار نیاز آبی تأثیر بسزایی در استفاده از مقدار بهینه آب خواهد داشت. به خصوص در مناطقی مانند مروست که از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌شود. در واقع مقدار نیاز آبی گیاهان برابر با مقدار آب در دسترس گیاه برای تبخیر و تعرق به منظور تنش گیاهی است. برای ضریب گیاهی می‌توان نتیجه گرفت که با روش فائو پنمن مانیتث، در مرحله ابتدایی رشد گیاه که فصل بهار می‌باشد و اوج رشد پوشش گیاهی فصل تابستان، سهم تبخیر و تعرق بالا بوده که به همین دلیل میزان Kc افزایش داشته است که مقدار آن در ماه می (اردیبهشت) با استفاده از روش فائو پنمن مانیتث ۱/۲۳ برآورد شد و در ماه گرم آگوست (مرداد) با استفاده از روش تجربی فائو میزان نیاز آبی درخت انگور ۱/۱۴ نشان داده شد جدول (۲). میزان ضریب گیاهی در فصل پاییز (ماه نوامبر) با استفاده از روش فائو ۰/۲۵ و در زمستان ۰/۲۹ نشان داده شد، علت کمتر شدن میزان نیاز آبی در دو فصل زمستان و پاییز، به دلیل کاهش پوشش سطح برگ و به خواب رفتن درختان می‌باشد. میزان ضریب گیاهی با روش هارگریوز در چهار ماه مورد بررسی (فوریه ۰/۴۳، می ۱/۳۹، آگوست ۱/۸۵، نوامبر ۰/۵۳)، تراجکویک (فوریه ۱/۴۶، می ۴/۹۶، آگوست ۶/۲۴، نوامبر ۱/۸۶)، ایرماک (فوریه ۱/۲۳، می ۳/۶۷، آگوست ۴/۵۵، نوامبر ۱/۲۱)، برتی (فوریه ۱/۴۳، می ۴/۸۰، آگوست ۶/۱۷، نوامبر ۱/۷۷)، بلانی کریدل (فوریه ۰/۲۷، می ۱/۶۸، آگوست ۲/۲۸، نوامبر ۰/۵۲) تخمین زده شد. نتایج این قسمت از تحقیق با نتایج پژوهش (زد وایل و همکاران، ۱۹۸۱) که در این بررسی حداکثر نیاز آبی در مرحله گل‌دهی و رشد حبه‌ها تعیین کرد مطابقت دارد. همچنین ویلیامز و همکاران (۲۰۰۳) میزان حداکثر ضریب گیاهی در سال اول آزمایش ۰/۸۷ و در سال‌های بعد به ترتیب ۱/۰۸، ۰/۹۸ و ۱/۰۸ بیان کرده است که با ضرایب این تحقیق تقریباً نزدیک به هم می‌باشد.

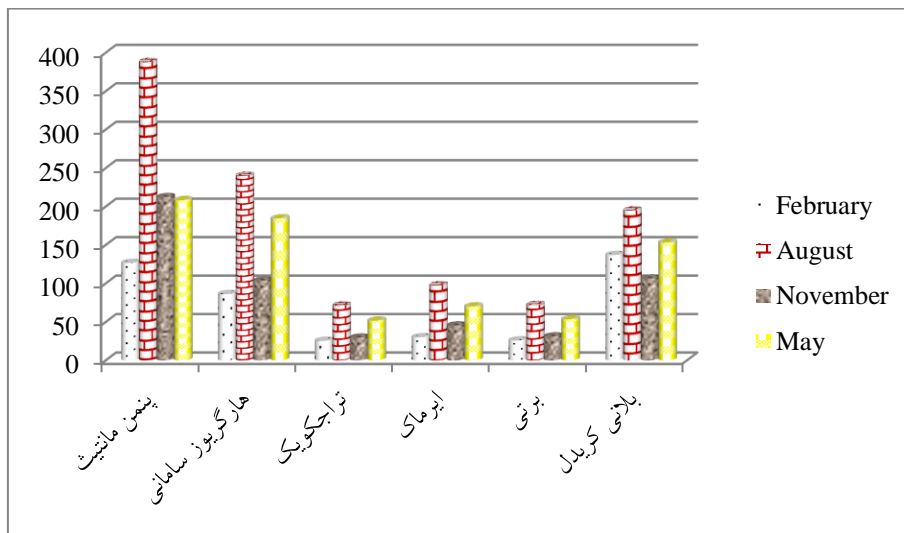


شکل ۶- نقشه تبخیر و تعرق با استفاده از روش سبال
 جدول ۲- محاسبه ضریب گیاهی انگور در منطقه مورد مطالعه

$K_c(\text{Grape})$				روش
می	نوامبر	اگوست	فوریه	ماه
۱/۲۳	۰/۲۶	۱/۱۴	۰/۲۹	فائوپنمن-مانتیت
۱/۳۹	۰/۵۳	۱/۸۵	۰/۴۳	هارگریوزسامانی
۴/۹۶	۱/۸۶	۶/۲۴	۱/۴۶	تراجکویک
۳/۶۷	۱/۲۱	۴/۵۵	۱/۲۳	ایرماک
۴/۸۰	۱/۷۷	۶/۱۷	۱/۴۳	برتی
۱/۶۸	۰/۵۲	۲/۲۸	۰/۳۷	بلاتی-کریدل

به علت نبودن داده‌های لایسیمیتری از روش فائو-پنمن-مانتیت برای ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده شد. از آنجاکه روش فائو مقدار تبخیر و تعرق را در شرایطی که کلیه داده‌های اقلیمی کامل باشند، برآورد می‌نماید. این

روش در مکان‌هایی که داده‌های هواشناسی مفقود باشند، دارای محدودیت می‌باشد. به همین دلیل در این قسمت قصد بر این است که روش‌های با نتایج نزدیک به روش فائو پنمن مانیتز معرفی شوند. در نهایت خطای ضریب گیاهی محاسبه شده با روش‌های مختلف محاسبه شد (جدول ۳).



شکل ۷- هیستوگرام برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش‌های تجربی

نتایج MAE نشان داد که در مدل‌های هارگریوز-سامانی به ترتیب در ماه‌های (فوریه، می، اگوست و نوامبر) میزان خطای (۰/۱۴، ۰/۱۶، ۰/۷۱ و ۰/۲۷) و بلانی-کریدل (۰/۰۲، ۰/۴۴، ۱/۱۳ و ۰/۲۶) عملکرد مطلوب‌تری در برآورد تبخیر تعرق مرجع و نیاز آبی گیاه دارند، سپس روش ایرماک در ماه‌های (فوریه، می، اگوست و نوامبر) خطا (۰/۹۴، ۲/۴۳، ۳/۴۱ و ۰/۹۶) برآورد شده است در نهایت دو روش برتی و تراجکویک بیشترین خطا را در هر چهار ماه نشان دادند که میزان خطا در روش برتی (فوریه ۱/۱۴، می ۳/۵۶، اگوست ۵ و نوامبر ۱/۵۱) و روش تراجکویک (فوریه ۱/۱۶، می ۳/۷۳، اگوست ۵/۱۰ و نوامبر ۱/۶۰) می‌باشد.

جدول ۳- محاسبه خطای ضریب گیاهی انگور در منطقه مورد مطالعه

روش	میزان خطا			
	فوریه	اگوست	نوامبر	می
فائو پنمن مانیتز	-	-	-	-
هارگریوز سامانی	۰/۱۴	۰/۷۱	۰/۲۷	۰/۱۶
تراجکویک	۱/۱۶	۵/۱۰	۱/۶۰	۳/۷۳
ایرماک	۰/۹۴	۳/۴۱	۰/۹۶	۲/۴۳
برتی	۱/۱۴	۵/۰۲	۱/۵۱	۳/۵۶
بلانی-کریدل	۰/۰۲	۱/۱۳	۰/۲۶	۰/۴۴

نتیجه گیری

شرایط خاص اقلیمی ایران که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی واقعیت انکارناپذیر آن است، هرگونه تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود آب کشور کرده است. در همین راستا برآورد دقیق تبخیر و تعرق از ملزومات مدیریت جامع منابع آب محسوب می شود. در این تحقیق به محاسبه تبخیر و تعرق واقعی پرداخته شد که نتایج نشان داد حداکثر میزان تبخیر و تعرق همزمان با فصل گرم یعنی ماه آگوست (مرداد) و رسیدن گیاه به بیشینه سبزینگی رخ داده است و با کاهش تراکم گیاهی، روند تبخیر و تعرق کاهش می شود. درنهایت با توجه به محدودیت منابع آب زیرزمینی در مروست استان یزد و با توجه به اینکه بوته های انگور در تابستان که تبخیر و تعرق زیاد است، اگر تحت تأثیر کمبود آب قرار گیرند باعث بروز مشکلاتی مانند کاهش عملکرد می شود به استخراج ضریب گیاهی انگور که محصول غالب مروست می باشد، پرداخته شد. برای ضریب گیاهی می توان نتیجه گرفت بیشترین نیاز آبی در فصل تابستان و بهار بوده است. درنهایت ارزیابی مدل ها با توجه به روش فائو نشان داد که، مدل های هارگریوز-سامانی و بلانی-کریدل عملکرد مطلوب تری در برآورد تبخیر تعرق مرجع و نیاز آبی دارند، اما در این تحقیق روش هارگریوز-سامانی به عنوان روش برتر و سایر روش ها در رتبه های بعدی قرار گرفتند. روش تراجکویک و برتی نتایج مناسبی به خصوص در ماه گرم در برآورد نیاز آبی از خود نشان ندادند.

References:

- Abbasnezhad Elchin, A., Darvish sefat, A. A. and Bazrafshan, j.(2018). Comparison of landsat 8 satellite data and SEBAL model for estimating evapotranspiration of Caspian forests with combined Penman Monteith. Iranian Forest Journal, 10 (3), 389-402. (In Persian)
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M.(1998). Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56,1-300 (In Persian)
- Allen, R.G., Waters, R., Tasumi, M., Trezza, R., Bastiaanssen, W.(2002). SEBAL, Surface energy balance algorithms for land, Idaho Implementation. Advanced Training and Users Manual, 1, 1-180.
- Bagheri Harouni, M. H., Arshad, S., Majnoon, A., Morid, S.(2012). Comparison of single-source and two-source remote sensing energy measurement models in estimating actual evaporation and transpiration in Tabriz plain. Iranian Journal of Remote Sencing & GIS, 1(4), 81-95. (In Persian)
- Bahman abadi, B., Kaviani, A., daneshkar, p. and Nazari, R. (2018). Estimation of Actual Evapotranspiration Using Satellite Imageries and Single-Source and Two-Source Surface Energy Balance Algorithms in Qazvin Plain. Journal of water Research in Agriculture, 31 (4), 228-246. (In Persian)
- Bastiaanssen, W.(2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin. J Hydrol, 229: 87-100.
- Bastiaanssen, W.G.M.(1995). Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate, PhD. Thesis, Wageningen University, Netherlands, 286p.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M.(1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) Formulation. J Hydrol, 10:198-212.

- Casa, R., Rossi, M., Sappa, G., Trotta, A. (2008). Assessing Crop water Demand by Remote Sensing and GIS for the Pontina Plain. *Water resource management*, 23: 685-1712.
- Cosh, M. H., Stedinger, J. R., Ou, S. C., Liou, K. N., Brutsaert, W. (2007). Evolution of the variability of surface temperature and vegetation density in the Great Plains. *Advances in Water Resources*, 30, 1094-1104.
- Gao, X. Miao, S. Luan, Q. Zhao, X. Wang, J. He, G. and Zhao, Y. (2019). The spatial and temporal evolution of the actual evapotranspiration based on the remote sensing method in the Loess Plateau. *Science Total Environment Journal*, 1(1), 1-38.
- Gorbani, A., Faramarzi, M., Karami, J., Gholami, N. and Sobhani, B. (2015). Comparative Evaluation of Sabal and Metric Algorithms in Estimation of Evapotranspiration: A Case Study of Malayer County. *Space planning and Preparation*, 19 (2), 153-184. (In Persian)
- Habibipour, A., Talebi, A., Karimian, A.A., Dehghani, F., Mokhtari, H. (2017). Investigation of the Optimal Method of Data Processing to Increase Accuracy of Simulation of Surface Soil Salinity (Case study: MARVAST). *Journal of Water and Soil*, 30 (3), 915-928.
- Koloskov, G., Mukhamejanove, Kh., Tanton, T.W. (2006). Monin Obukhov Length as a Cornerstone of the SEBAL Calculations of Evapotranspiration. *Journal of Hydrolology*, 335:170-179.
- Kurdwani, P. (2002). *Water Resources and Issues in Iran*. Tehran University Press. (In Persian)
- Lillesand, T.M., Keifer, W. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley New York, 2, 11-20.
- Miryaghoubzadeh, M.H., Solaimani, K., Habib nejad roshan, M., Shahedi, K. Akhvan, S. (2014). Estimation and assessment of actual evapotranspiration using remote sensing data (Case study: Tamar basin, Golestan province, Iran). *Journal of Irrigation and water Engineering*, 3 (15), 89-102. (In Persian)
- Mojarrad, F., Fathnia, A., Rajae Najafabadi, S. (2017). Evaluation of Spatial-Temporal Variations of Incoming Solar Radiation in Kermanshah Province Using "Liu and Jordan" Model. *researches in Geographical Sciences*, 17 (44), 25-43.
- Najafi, P. (2006). Application of different cases of Hargreaves-Samani and Jensen-Haise methods for estimating Alfalfa Reference crop evapotranspiration in Isfahan. *Agroecology Journal*, 2 (5), 57-68. (In Persian)
- Noory, H., Badiehneshin, A. and sMohammadi Mohammad Abadi A. (2016). Evaluation of reference evapotranspiration calculation methods and determination of Pistachio evapotranspiration in Rafsanjan. *Agricultural Meteorology*, 2 (8), 77-81. (In Persian)
- Omidvar, j., Noori, S., Davari, k. and Farid hosseini, A. (2013). Estimation of actual evapotranspiration based on satellite images using two algorithms Sebal and Metric. *Journal of Irrigation and water Engineering*, 3 (4), 11-22. (In Persian)
- piri, h., poozan, M.T. (2019). Evaluation of 24 models of reference evapotranspiration in different climates of Iran. *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 6(3), 611-622
- Rahimzadegan, M., AdelehalSadat, J. (2019). Estimating evapotranspiration of pistachio crop based on SEBAL algorithm using Landsat 8 satellite imagery. *Agricultural Water Management*, 217, 383-390.
- Salehi, H., Shamsoddini, A., Mirlatifi, SM. (2018). MODIS image downscaling using STARFM and SADFAT algorithms for daily Landsat-like spatial resolution evapotranspiration mapping. *Iranian Journal of Remote Sencing & GIS*, 10(3), 123-140. (In Persian)
- Sanaei Nejad, S.H., Noori, S. and Hasheminia, S.M. (2011). Estimation of Evapotranspiration Using Satellite Image Data in Mashhad area. *Journal of water and soil*, 25 (3), 540-547. (In Persian)
- Su, Z. (2002). The surface energy balance system (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes, *Hydrology and Earth System Sciences*, 6, 85-89.

- Sun, Z., Wei, B., Su, W., Shen, W., Wang, C., You, D., Liu, Z.(2011). Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 1086-1092.
- Tabatabaei, S.H., Ghazali, M.(2011). Accuracy of Interpolation Methods in Estimating the Groundwater Level (Case Study: Farsan- Jooneghan and SefidDasht Aquifers).*JWSS*.15(57),11-22.
- Trezza, R., Allen, R.(2003). Crop Water Requirement from A Remote Sensing Model for the Snak Plain Area in Idaho. *Geoenseñanza*, año, 8, 83-90.
- Williams, L. E., Phene, C. J., Grimes, D. W., Trout, T. J.(2003). Water use of mature Thompson seedless grapevines in California. *Irrigation Science*, 22, 11-18.
- Younezadeh Jalili, S. (2013). The effect of land use on land surface temperature in the Netherlands. Lund University, 180pp.
- Zamani Losgedaragha,S., Rahimzadegan, M.(2018).Evaluation of SEBS, SEBAL, and METRIC models in estimation of the evaporation from the freshwater lakes (Case study: Amirkabir dam, Iran). *Journal of Hydrology*, /doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.025
- Zyl, J.V., Weber, W., and Van, Z. J.(1981). The effect of various supplementary irrigation treatments on plant and soil moisture. *South African Journal for Ecology and Viticulture*, 2, 83- 99.

Original Research Article

Application of Remote Sensing for Estimating the Evapotranspiration to Assess Grape Water Requirement in Marvast Plain using MODIS Terra Satellite Products

Fatemeh Firoozi¹, Hossein Malekinezhad^{2*}, Kamran Rahimi³

1-Post-doctorate Student, Faculty of Natural resources, Yazd University, Iran

2- Associate Prof., Faculty of Natural Resources, Yazd University, Iran

3-Master of Remote Sensing, Kharazmi University, Iran.

Received: 2020 April 27

Accepted: 2021 August 29

Abstract:

Today, due to water use and problems such as water deficiency and drought, short-term and long-term consumption management and planning is essential to achieve the goals set for water resources. The lack of data to estimate water requirements of plants is one of the biggest challenges that exist in the agricultural sector. On the other hand, using new methods to more accurately estimate the actual evapotranspiration and, consequently, vegetation coefficient for different plants, especially the dominant cultivation in the plains of the country, can help to better plan and manage water resources. In this study, using MODIS images and the SEBAL algorithm, evapotranspiration was estimated for Marvast in Yazd Province in four months (February, May, August, and November) of 2017. Maximum evapotranspiration along with the hot season is August occurred in plants with chlorophyll at the maximum amount of 582 mm. Then, with the decrease in the plant density, the evapotranspiration trend was reduced; the minimum evapotranspiration was in February. Extraction of grapevine coefficient by the FAO method showed that its amount was satisfied in May (1.23) and August (1.14).

Due to the high rate of evapotranspiration and heat in these two months, the plant's need for water was greater. The vegetation rates in the fall (November 0.25) and winter (February 29/09) were lower than that during the growth season due to the reduced leaf cover, evaporation and transpiration. Then, the values of evapotranspiration and water requirement of grapes were calculated with five other methods and compared with the values obtained through the FAO method using the statistical indicators of absolute error (MAE). The results showed that the experimental model of Hargreaves-Samani and Blaney-Criddle had a better performance to estimate the evapotranspiration of the reference crop. In addition, Hargreaves-Samani is the superior method, and the other methods are ranked in the next orders. Trajkovic and Bereti's method did not show proper results, especially in the hot months.

Introduction

Evapotranspiration is one of the most important factors in the hydrology cycle and a determinant of energy equations at ground level. Water balance and its estimation is required in various fields of science such as hydrology, agriculture, forest and pasture management and water resources management (Omidvar et al., 2013). Climatic or meteorological methods based

on point data may not have good estimates of large-scale evapotranspiration (Sun et al., 2011). But remote sensing techniques allow covering a large area of the study area simultaneously to monitor and study evapotranspiration. With the help of this technique, the spatial distribution of the factors required for the evapotranspiration models is provided along with their temporal variations between two consecutive imagings. Among the methods available for estimating evapotranspiration through remote sensing, energy balance methods are the most prominent. The existing algorithms include the SEBAL, SSEB, and TSEB dual-source algorithms (Bastiaanssen et al., 2000; Senay, 2007). One of the algorithms highly regarded for estimating real transpiration evaporation using satellite images is the Sabal algorithm (Bahman abadi et al., 2018). It is a method based on empirical and physical relationships to estimate real evapotranspiration with minimum terrestrial data. The algorithm was first proposed by Bastiaanssen et al. (1998).

Methodology

Two databases were needed to investigate evapotranspiration in the Marvast area. First, Terra Modis satellite imagery database for four months (February, May, November, August) was downloaded from the EOS Data Portal website. There are numerous Modis products used as the raw data (MOD021KM) in this study. The preprocessing steps of atmospheric, geometric and radiometric corrections were taken with appropriate algorithms to provide a high-quality homogeneous dataset. Then, the actual evapotranspiration was calculated using images corrected by the Sebal algorithm. The second data base from the Marvast Meteorological Station was used to calculate the potential evapotranspiration with the two experimental methods of FAO Penman Monteith and Hargreaves Samani.

Conclusion

Due to limited groundwater resources in Marvast, Yazd Province, if summer grape bushes that have high evapotranspiration are affected by water scarcity, it can cause problems such as loss of yield in this dominant crop of Marvast. The actual evapotranspiration value is estimated by the Sebal model, and the reference evapotranspiration is estimated by FAO Penman Monteith and Hargreaves-Samani. Calculated every four months, the evapotranspiration was the highest in May (1.23 and 1.39) and August (1.14 and 1.85), Due to the high evapotranspiration and heat in these two months, the plant needs more water. The crop coefficients were lower in the fall (November 0.25 and 0.53) and winter (February 0.29 and 0.43) due to reduced leaf area and evapotranspiration, respectively. Due to the limitation of water resources in arid and semiarid areas such as Marvast and the lack of atmospheric depletion, knowing the water requirement of plants will increase water productivity and improve crop quality.

Keywords: Marvast Plain, SEBAL model, FAO Penman-Monteith, Grape water requirement