

Estimating of Crop Coefficient and Actual Evapotranspiration of Corn Using LANDSAT8 Images (Case Study: Sarab Nilufar Plain in Kermanshah)

H. Ghamarnia^{1*}, S.M. Gholamian² and N. Kamali³

Abstract

SEBAL model is nowadays among the algorithms used by researchers to estimate evapo-transpiration and crop coefficients by satellite images. In this study, the ability of the SEBAL model to determine the corn actual evapotranspiration and crop coefficient was evaluated for Sarab Nilufar Plain located in Kermanshah Province. For this purpose, satellite images from Landsat 8 were processed in three days of 07.22.2014, 08.07.2014 and 08.23.2014 were used. Actual-evapotranspiration was calculated using satellite images based on the surface energy balance equation (SEBAL model) and required meteorological data. Moreover, the potential evapotranspiration was computed for corn using Penman-Montieth method and then using the calculated data from SEBAL method, the crop coefficient values were determined for the above mentioned days. Finally, the evapotranspiration values by the SEBAL model (predicted values) were computed for corn as 7.11, 6.9 and 5.16 mm/day and crop coefficients values were obtained as 1.09, 1.33 and 0.87, respectively.

Keywords: Crop coefficient, Water requirement, Landsat 8, SEBAL model, Corn, Sarab Nilufar.

Received: October 4, 2016

Accepted: January 8, 2017

برآورد تبخیر- تعرق و ضرایب گیاهی در گیاه ذرت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مطالعه موردی (دشت سراب نیلوفر کرمانشاه)

هوشنگ قمرنیا^{۱*}، سیدمحسن غلامیان^۲ و نسیم کامالی^۳

چکیده

امروزه یکی از الگوریتم‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای جهت برآورد تبخیر- تعرق و ضرایب گیاهی محصولات مختلف، مدل سبال می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی کارایی استفاده از مدل سبال در تعیین تبخیر- تعرق واقعی و ضرایب گیاهی ذرت، از گیاهان اصلی اراضی کشاورزی استان کرمانشاه در دشت منتهی به سراب نیلوفر صورت گرفته است. برای این منظور در تحقیق حاضر از پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در سه گذر ماهواره‌ای شامل ۲۰۱۴/۷/۲۲، ۲۰۱۴/۸/۷ و ۲۰۱۴/۸/۲۳ استفاده شده است. تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی مورد نیاز و بر اساس معادله بیلان انرژی سطح (مدل سبال) محاسبه شده، سپس بر اساس معادله پنمن - مانتیث اصلاح شده میزان تبخیر- تعرق گیاه مرجع در محل بدست آمد، که از طریق آن ضرایب گیاهی ذرت محاسبه گردید. مقادیر محاسبه شده تبخیر- تعرق از مدل سبال (مقادیر پیش بینی شده) برای گیاه ذرت در تاریخ‌های گفته شده بترتیب برابر با ۷/۱۱، ۶/۹ و ۵/۱۶ میلی‌متر در روز و همچنین مقادیر محاسبه شده ضرایب گیاهی برای این محصول بترتیب ۱/۰۹، ۱/۳۳ و ۰/۸۷ بدست آمدند.

کلمات کلیدی: ضرایب گیاهی، نیاز آبی، لندست ۸، مدل سبال، ذرت، سراب نیلوفر.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۷/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۰/۱۹

1- Professor, Department of Water Resources Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: hghamarnia@razi.ac.ir

2- Ph.D Student, Department of Water Resources Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

3- Former MSc. Student in Dept of Water Resources Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

*- Corresponding Author

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۳- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

فرآیندی که به نام تبخیر- تعرق^۱ شناخته می‌شود، در مدیریت منابع آب و کشاورزی از اهمیت بسزایی برخوردار است. محاسبه تبخیر- تعرق، بطریق عملی و آزمایشگاهی با دقت بسیار بالا و با استفاده از روش‌های توزین، همبستگی ادی^۲ و یا تکنیک نسبت باون^۳ امکان پذیر است. اما این روش‌ها تنها می‌توانند میزان تبخیر- تعرق را در یک نقطه و یا یک منطقه کوچک و برای زمان‌های مشخص تعیین کنند و برای نواحی وسیعتر عملاً قابل استفاده نبوده و باید از سایر روش‌ها از جمله مدل‌های برآورد تبخیر- تعرق استفاده شود. این محدودیت‌ها باعث ایجاد انگیزه در استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در تعیین تبخیر- تعرق در سطوح وسیع شده است. به بیانی جامع‌تر، سنجش از دور با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و حداقل استفاده از داده‌های زمینی و الگوریتم‌های متعدد، تخمین نسبتاً دقیقی از میزان تبخیر- تعرق در مناطق بسیار وسیع ارائه می‌دهد (Bastiaanssen and Chandrapala, 2003). یکی از الگوریتم‌هایی که جهت برآورد تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد توجه بسیار قرار گرفته الگوریتم سبال^۴ می‌باشد. به منظور صحت‌یابی الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین، بستیانسن و همکاران از اطلاعات موجود تبخیر- تعرق مزارع در مقیاس بزرگ در کشورهای چین، هند، اسپانیا و پاکستان استفاده نمودند و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای تبخیر- تعرق را با نتایج حاصل از الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین (با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای) مقایسه کردند.

نتایج نشان داد که در ۸۵ درصد از موارد داده‌های حاصل از الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین با داده‌های مزرعه‌ای بدون هیچگونه واسنجی مطابقت داشته است (Bastiaanssen et al., 1998b). تکنیک سنجش از دور در مطالعات منابع آب، بارها توسط محققان مورد استفاده قرار گرفته است. تعیین تبخیر- تعرق به عنوان پارامتر مؤثر در برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان با بهره‌گیری تکنیک‌های مذکور نیز در سال‌های اخیر مورد توجه محققان واقع شده و استفاده از آن رو به گسترش است. ضریب گیاهی K_c و شاخص گیاهی NDVI^۵ هر دو تابعی از شاخص سطح برگ LAI^۶ هستند. شاخص NDVI از راه اندازه‌گیری‌های طیفی و با کمک تصاویر ماهواره‌ای قابل محاسبه است. با توجه به ارتباط نزدیک و تبعیت شاخص NDVI و ضریب گیاهی از شاخص سطح برگ، می‌توان اقدام به برآورد K_c بر اساس تصاویر ماهواره‌ای نمود (Bausch, 1995). یکی از مزیت‌های استفاده از سنجش از دور در مدیریت شبکه‌های آبیاری، امکان

تخمین ضریب گیاهی طی دوره رشد تحت شرایط واقعی است (Wardlow and Egbert, 2008). در دهه‌های اخیر گام‌های مؤثری برای محاسبه سطح تحت پوشش گیاهان با استفاده از تصاویر سنجش ماهواره Landsat از قبیل ETM+^۷ برداشته شده است (Hansen et al., 2009).

در مطالعه‌ای (Trezza (2003) نیاز آبی گیاهان را در منطقه‌ای از آیداهو از داده‌های ماهواره لندست با استفاده از الگوریتم سبال برآورد کرد و دقت این مدل را با داده‌های لایسیمترهای وزنی واقع در موسسه تحقیقات کشاورزی کیمبرلی آیداهو، مقایسه نمود. نتایج حاکی از همبستگی بین مقادیر بدست آمده از روش سبال با نتایج حاصل از داده‌های لایسیمترهای وزنی با اختلافی کمتر از ۵ درصد بود. همچنین تحقیقاتی در زمینه ارزیابی و برآورد نیاز آبی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، با استفاده از توسعه الگوریتم سبال در منطقه پینتینا - پلین ایتالیا صورت گرفته است. در این تحقیق با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر لندست و مودیس، نقشه‌های توزیع مکانی تبخیر- تعرق واقعی گیاه (ET_c) و تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0) به صورت سالانه در نرم افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی^۸ بدست آمده و در نهایت نیاز آبی برای کل سطح منطقه محاسبه شد (Casa et al., 2009).

در تحقیقی (Enko (2009) با استفاده از تصاویر MODIS و اطلاعات ایستگاه هواشناسی و مدل بالانس انرژی سطحی SEBS، ET سالانه حوضه سیلابی Forega واقع در شرق دریاچه Tana در شمال غربی اتیوپی را تخمین زده و نتایج بدست آمده را با روش‌های مرسوم زمینی مقایسه نمود.

در مطالعه‌ای در دشت Palo Verde در کاستاریکا، Alvarez (2007) با استفاده از الگوریتم SEBS به آنالیز تغییرات در پوشش زمین و تخمین تبخیر- تعرق با کمک تصاویر ماهواره‌های ASTER و MODIS در ماه‌های خشک سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ پرداخت. همچنین از تصاویر ماهواره مودیس در یک دوره زمانی بین ۳۱ ژانویه سال ۲۰۰۴ تا ۲۲ فوریه ۲۰۰۴ برای محاسبه تبخیر- تعرق حقیقی استفاده شد. از آنجایی که زبری آیرودینامیک یک پارامتر مهم در تخمین تبخیر- تعرق حقیقی با استفاده از الگوریتم بالانس انرژی سطح است، لذا در این مطالعه، داده‌های بدست آمده در تخمین ارتفاع گیاه با استفاده از روش (LVIS^{۱۰}) و LIDAR^۹ و رابطه تجربی (بر اساس استفاده از شاخص گیاهی NDVI) مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت نتایج نشان داد که

تصاویر ASTER به خوبی بیانگر تبخیر- تعرق حقیقی بر اساس پوشش‌های مختلف گیاهی می‌باشد. تصاویر MODIS برای تخمین سری‌های زمانی تبخیر- تعرق مفید بود. ضمناً تبخیر- تعرق حقیقی محاسبه شده با تصاویر MODIS دارای اختلافی در حدود ۵ درصد با مقادیر تبخیر- تعرق حاصل از تصاویر ASTER بود.

در تحقیقی (Ghamarnia et al. 2010) با استفاده از الگوریتم SEBAL و تصاویر سنجنده مودیس مقادیر متوسط تبخیر- تعرق واقعی و کل تبخیر- تعرق روزانه از سطح، در دشت میان دربند را در ۱۵ روز مختلف محاسبه نمودند. پس از برآورد پارامترهای دمای سطح زمین، آلبیدو و شاخص‌های پوشش گیاهی، مقادیر شاخص سطح برگ، گسیلندگی سطح و تابش خالص محاسبه شدند و نقشه توزیع مکانی تبخیر- تعرق واقعی روزانه در سطح منطقه به دست آمد. نتایج نشان داد که استفاده از الگوریتم SEBAL و تصاویر سنجنده مودیس، جهت برآورد تبخیر- تعرق واقعی در سطح منطقه مناسب می‌باشند.

در تحقیقی (Noori et al. 2010) با استفاده از الگوریتم SEBAL و تصاویر سنجنده مودیس مقادیر تبخیر- تعرق واقعی در سطح زیر حوضه مشهد را محاسبه نمودند. پس از برآورد پارامترهای دمای سطح زمین، آلبیدو و شاخص‌های پوشش گیاهی، مقادیر شاخص سطح برگ، گسیلندگی سطح و تابش خالص محاسبه شدند و نقشه توزیع مکانی تبخیر- تعرق واقعی روزانه در سطح منطقه به دست آمد. نتایج مقایسه شده با مقادیر زمینی نشان داد که استفاده از الگوریتم SEBAL و تصاویر سنجنده مودیس، جهت برآورد تبخیر- تعرق واقعی در سطح منطقه مناسب می‌باشند.

در مطالعه‌ای (Akbari et al. 2011) امکان استفاده از دو مدل مبتنی بر سنجنش از دور سبال و متریک و نیز تفاوت‌های آن‌ها با یکدیگر در منطقه مشهد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که الگوریتم سبال نسبت به الگوریتم متریک دارای ۸/۹۳ درصد برآورد کمتر از محاسبه تبخیر- تعرق روزانه در اراضی کشت شده می‌باشند. آنها با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست ۵، (Karimi et al. 2012) تبخیر- تعرق در سطح دشت ماهیدشت را به دست آورده و با مقادیر تبخیر- تعرق روزانه به دست آمده از لایسمتر در مزرعه ذرت موجود در منطقه مورد مطالعه را به منظور ارزیابی الگوریتم سبال مقایسه کردند. نتایج نشان داد که حداکثر درصد خطا بین تبخیر- تعرق محاسبه شده با الگوریتم سبال و مقادیر به دست آمده در مزرعه ذرت کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد.

در ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی تبخیر- تعرق واقعی توسط Safy et al. (2015) در محدوده کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر واقع در جنوب استان خوزستان با استفاده از تصاویر ارسالی ماهواره‌ی لندست ۸، تبخیر- تعرق واقعی برآورد شده از طریق مدل سبال با تبخیر- تعرق گیاه محاسبه شده به روش فائو پنمن - مانیتیت در روزهای گذر ماهواره (۱۶ روزه) مقایسه شدند و شاخص‌های آماری مقایسه مذکور معادل، $RMSE = 1$ ، $MAE = 0/95$ و $ME = 0/95$ میلیمتر بر روز برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی و $R^2 = 0/98$ بدست آمدند. نتایج نشان داد که تبخیر- تعرق برآورد شده از مدل سبال و ماهواره‌ی لندست ۸ در فصل زراعی از دقت بالایی برخوردار بوده و همچنین همبستگی خوبی بین داده‌ها برقرار می‌باشد. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، حداکثر تبخیر- تعرق واقعی فصلی گیاه نیشکر در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر در سال ۹۱-۹۲ برابر ۱۸۶۷ میلیمتر و حجم کل تبخیر- تعرق واقعی نیشکر ۱۶۰ میلیون مترمکعب در سطح ۹۳۲۸/۵ هکتار از اراضی تحت کشت برآورد شد. بر اساس معادله پنمن مانیتیت، تبخیر- تعرق واقعی فصل نیشکر در دوره مورد اشاره ۱۹۱۰ میلی متر بدست آمد.

با استفاده از تصاویر سنجنده NOAA-AVHRR و به کارگیری الگوریتم SEBS، (Baba-jafari et al. 2015) داده‌های مربوط به ایستگاه سینوپتیک تبریز، ارومیه و سقز در طی فصل رشد برای ماه‌های مه تا اگوست سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹، تبخیر- تعرق واقعی به صورت ماهانه برای کاربری‌های کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را برآورد و نتایج حاصل از الگوریتم، با نیاز خالص آب آبیاری مقایسه شد تا صحت مدل در حوضه دریاچه ارومیه برآورد گردد. نتایج پژوهش با ضریب تبیین $R^2 = 0/85$ دقت مناسب مدل برای کاربری‌های کشاورزی آبی در حوضه دریاچه ارومیه را نشان داد.

در این تحقیق با استفاده از روش سنجنش از دور که نتایج قابل قبولی در تفکیک اراضی برای جداسازی سطح زیرکشت و تفکیک محصولات مختلف کشاورزی دارد برای تفکیک محصول ذرت در دشت سراب نیلوفر کرمانشاه استفاده شده است. در ضمن با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای و اطلاعات ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه میزان تبخیر- تعرق دشت سراب نیلوفر و مزارع ذرت را محاسبه نموده و با محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع توسط روش پنمن مانیتیت- فائو ۵۶ مقادیر ضریب گیاهی محصول ذرت بر اساس مقادیر شاخص پوشش گیاهی محاسبه گردید.

۲- مواد و روشها

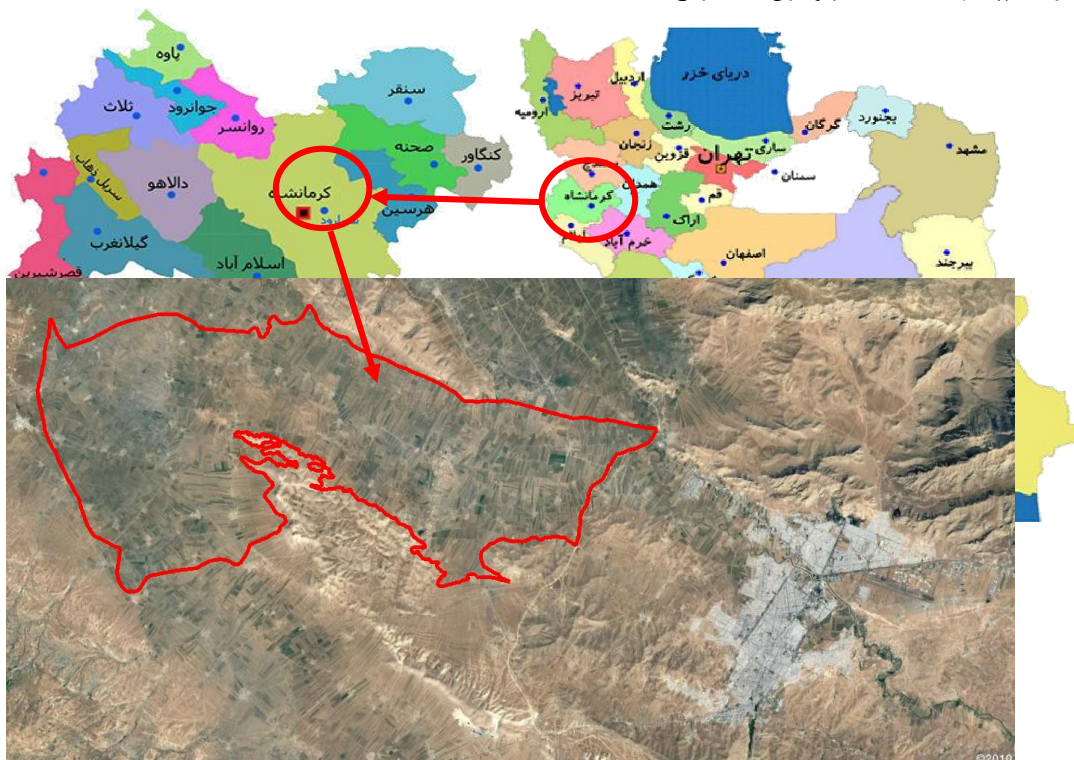
بر اساس داده‌های هواشناسی و با کمک فرمول پنمن مانیت و در نهایت محاسبه ضریب گیاهی ذرت با استفاده از این الگوریتم در منطقه می‌باشد. شرایط منطقه از جمله ارتفاع از سطح دریا و طول جغرافیایی به منظور تعیین فشار متوسط محلی، تشعشعات ماوراء زمینی، ساعات آفتابی در این مطالعه مورد استفاده واقع شد. محدوده مورد مطالعه در استان کرمانشاه و دشت سراب نیلوفر، در بین طول‌های جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱ دقیقه شمالی واقع شده است. وضعیت جغرافیایی منطقه در شکل ۱ نمایش داده شده است.

در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸ در زمان‌های زیر استفاده شده است:

تاریخ ۲۰۱۴/۰۷/۲۲، ساعت شروع تصویربرداری ۰۷:۴۵:۴۷، ساعت پایان برداشت تصویر ۰۷:۴۶:۴۰ به وقت گرینویچ
تاریخ ۲۰۱۴/۰۸/۰۷، ساعت شروع تصویربرداری ۰۷:۴۵:۵۶، ساعت پایان برداشت تصویر ۰۷:۴۶:۴۹ به وقت گرینویچ
تاریخ ۲۰۱۴/۰۸/۲۳، ساعت شروع تصویربرداری ۰۷:۴۵:۵۹، ساعت پایان برداشت تصویر ۰۷:۴۶:۵۲ به وقت گرینویچ

روش کلی تحقیق شامل چهار مرحله می‌باشد. در مرحله اول داده‌های هواشناسی جمع‌آوری گردید، سپس در مرحله دوم تصاویر ماهواره‌ای دانلود شده و بازبینی‌های صحرائی به منظور برداشت موقعیت مزارع با پوشش گیاهی مختلف برای محاسبه زبری سطح و تعیین مزارع ذرت نمونه با استفاده از GPS انجام شد. مرحله سوم نیز شامل آنالیز و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، اجرای الگوریتم SEBAL، محاسبه تبخیر-تعرق در سطح دشت و تعیین موقعیت‌های مزارع ذرت در دشت بود. برای شناسایی مزارع ذرت در منطقه از روش طبقه‌بندی نظارت شده^{۱۱} استفاده گردید. برای نیل به این هدف در منطقه حدود ۳۰ مزرعه ذرت شناسایی و توسط GPS مختصات مربوط به هر مزرعه برداشت گردید.

سپس مختصات مزرعه‌های برداشت شده در داخل نرم‌افزار Google Earth فراخوانی شده و محدوده هر مزرعه تعیین گردید، محدوده این مزارع در داخل نرم‌افزار Gis بازخوانی شد، در این نرم‌افزار برای ۱۵ مزرعه با کمک شاخص Savi (تصویر سوم) طبقه بندی انجام گرفت و سایر مزارع ذرت شناسایی گردیدند که از میان ۱۵ مزرعه باقیمانده مانده ۱۴ مزرعه به طور کامل داخل دسته بندی قرار گرفتند. مرحله چهارم محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در منطقه



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

این تصاویر به صورت رایگان از سایت <http://glovis.usgs.gov> دانلود شدند. علت انتخاب تصاویر ماهواره لندست ۸ در مقابل ماهواره‌هایی همچون مودیس، قدرت مکانی بالا و در دسترس بودن این تصاویر بود.

در این معادله، R_n تابش خالص، H شار گرمای محسوس، λ_{ET} شار گرمای نهفته و G شار گرمای خاک است. همه پارامترها برحسب (W/m^2) می‌باشند. میزان تابش خالص از توازن ۴ شار تابشی در سطح زمین به دست می‌آید که عبارتند از $R_{s\downarrow}$ تشعشعات موج کوتاه ورودی (W/m^2) ، $R_{l\downarrow}$ تشعشعات موج بلند ورودی (W/m^2) ، $R_{l\uparrow}$ تشعشعات موج بلند خروجی (W/m^2) ، تابش خالص لحظه‌ای در واحد سطح نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (Bastiaanssen et al., 1998a).

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{l\downarrow} - R_{l\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{l\downarrow} \quad (2)$$

در این معادله α آلبدو سطح (بدون بعد) و ϵ_0 انتشار حرارتی سطح به دست آمده از طریق شاخص سطح برگ می‌باشد. شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید.

$$LAI = -\frac{\ln\left(\frac{C_1 - SAVI}{C_2}\right)}{C_3} \quad (3)$$

در این رابطه ضرایب C_1, C_2, C_3 به ترتیب $0.69, 0.59$ و 0.91 می‌باشند.

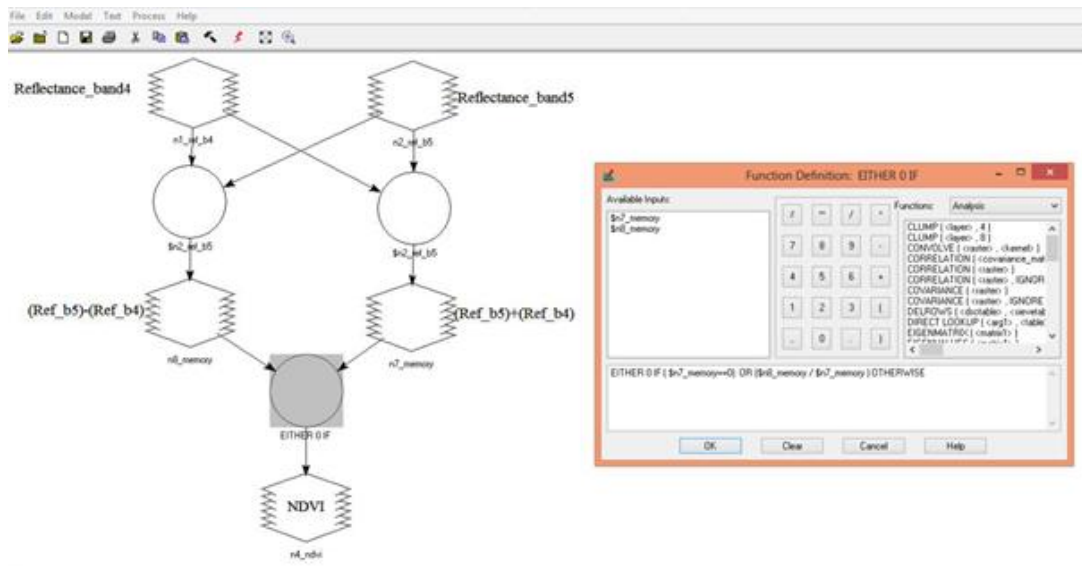
شاخص گیاهی NDVI مقدار پوشش گیاهی را مشخص می‌کند. این شاخص با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (4)$$

تصاویر مورد استفاده دارای شرایط هواشناسی مناسب و در شرایط بدون ابر انتخاب شدند. در این مطالعه از نرم افزار ERDAS 2010 imagine به منظور پردازش تصاویر و اجرای الگوریتم سبال استفاده شد (مراحل مختلف الگوریتم سبال در قسمت Model Maker برای تصاویر لندست ۸ نوشته و اجرا گردید). جهت ترسیم نقشه‌های تبخیر- تعرق از نرم افزار Arc GIS 10.1 استفاده به عمل آمد. در شکل شماره ۲، نمونه ای از نحوه فرمول نویسی بر روی تصاویر ماهواره‌ای در محیط کاری Model Maker نرم افزار ERDAS به صورت شماتیک قابل ملاحظه می‌باشد.

برای محاسبه تبخیر- تعرق توسط تصاویر ماهواره‌ای در این تحقیق از الگوریتم سبال بهره گرفته شد. اساس الگوریتم سبال استفاده از معادله توازن انرژی و محاسبه مقدار شار لحظه‌ای گرمای نهان تبخیر به عنوان باقیمانده این معادله برای هر پیکسل می‌باشد. معادله توازن انرژی از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$R_n = H + \lambda_{ET} + G \quad (1)$$



شکل ۲- فرمول نویسی تصاویر ماهواره ای در نرم افزار ERDAS

گردد. برای این منظور کسر تبخیری برای هر پیکسل تصویر با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$\Lambda = \frac{\lambda ET}{R_n - G} \Rightarrow \Lambda = \frac{R_n - G - H}{R_n - G} \quad (7)$$

می‌توان تخمین ۲۴ ساعته تبخیر- تعرق برای تصویر را با فرض ثابت بودن جزء تبخیری (Λ) در دوره ۲۴ ساعته به دست آورد (رابطه ۸).

$$ET_{24} = \frac{86400\Lambda(R_{n24} - G_{24})}{\lambda} \quad (8)$$

بر طبق معادله (۸) کسر تبخیر در طول روز ثابت فرض می‌شود، R_{n24} تابش خالص روزانه (W/m^2) و λ گرمای نهان تبخیر (J/kg) می‌باشند. در این مطالعه الگوریتم سبال برای ۳ روز مختلف با استفاده از تصاویر لندست ۸ اجرا گردید و مقدار تبخیر- تعرق برای مزارع ذرت موجود در منطقه به دست آمد.

تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع با استفاده از معادله فائو - پنمن-مانیتیت انجام شد که در این روش گیاه مرجع یک پوشش چمن فرضی است که ارتفاع آن ۱۲ سانتی‌متر و ضریب بازتابش در آن ۲۳ درصد می‌باشد. همچنین مقاومت گیاهی ثابت و برابر ۷۰ ثانیه بر متر است که نحوه محاسبه آن در رابطه (۹) آورده شده است.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left[\frac{890}{T + 273} \right] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (9)$$

که در آن

ET_o : تبخیر- تعرق گیاه مرجع (mm/day)

R_n : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$)

U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})

$e_a - e_d$: کمبود فشار بخار (KPa)

γ : ثابت سایکرومتری ($KPa^{\circ}C^{-1}$)

Δ : شیب منحنی فشار بخار ($KPa^{\circ}C^{-1}$)

G : شار گرما به داخل خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$)

T : متوسط دمای هوا ($^{\circ}C$)

تبخیر- تعرق گیاه تحت تاثیر شرایط آب و هوایی و مراحل رشد گیاه بوده و نشان دهنده میزان آب مورد نیاز یک گیاه سالم در یک مزرعه بدون محدودیت آب است و از رابطه زیر محاسبه شده:

$$ET_{crop} = K_c \times ET_o \quad (10)$$

که در آن K_c ضریب گیاه و ET_o میزان تبخیر- تعرق مرجع در مرحله رشد ۱ می‌باشند.

در این رابطه ρ_5 بازتاب طیفی باند ۵، ρ_4 بازتاب طیفی باند ۴ می‌باشند. مقدار شاخص NDVI بین -۱ تا +۱ متغیر می‌باشد. زمین‌های شامل پوشش گیاهی متراکم دارای مقادیر مثبت ۰/۳ تا ۰/۸ هستند، در حالی که مناطق برفی و ابری دارای مقدار منفی می‌باشند. (Karimi et al., 2012)

SAVI شاخصی است که اثرات خاک را روی NDVI کم می‌کند. این شاخص که اثرات رطوبت خاک را در NDVI تعدیل می‌کند با استفاده از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_5 - \rho_4)}{(\rho_5 + \rho_4 + L)} \quad (5)$$

در این رابطه ρ_5 بازتاب طیفی باند ۵، ρ_4 بازتاب طیفی باند ۴ و L فاکتور تصحیح اثرات خاک است که دامنه آن از صفر برای پوشش گیاهی متراکم تا یک برای پوشش گیاهی با تراکم اندک متغیر می‌باشد.

شار گرمای محسوس (H) از رابطه (۶) به دست آمد:

$$H = \frac{\rho \times C_p \times dT}{r_{ah}} \quad (6)$$

در این معادله، H شار گرمای محسوس (W/m^2)، ρ چگالی هوا که تابعی از فشار اتمسفر می‌باشد (kg/m^3)، C_p ظرفیت گرمایی هوا ($1004 J/kg/K$)، dT اختلاف دما ($T_1 - T_2$) بین دو ارتفاع (Z_1 و Z_2) و r_{ah} مقاومت آئرودینامیک در انتقال گرما (s/m) می‌باشد. برای برآورد شار گرمای محسوس ابتدا دو پیکسل آستانه انتخاب می‌شود. یکی از این پیکسل‌ها که پیکسل سرد نامیده می‌شود مربوط به منطقه‌ای کاملاً پوشیده از گیاه و حالت خوب آبیاری شده است.

دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هواست و تبخیر- تعرقی معادل تبخیر- تعرق مرجع دارد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نام دارد، زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک می‌باشد (Omidvar et al., 2013). پس از تعیین پیکسل سرد و گرم و بدست آوردن اختلاف دمای سطحی (dT) در هر پیکسل، ابتدا باید این پارامتر را برای هر دو پیکسل به دست آورد، سپس می‌توان این مقدار را برای سایر پیکسل‌ها محاسبه کرد. پس از آن مقدار شار گرمای محسوس بر اساس شرایط جوی و فرایند تکرار تصحیح می‌گردد (Bastiaanssen et al., 1998).

تبخیر- تعرق محاسبه شده براساس معادله بیلان انرژی در لحظه گذر ماهواره می‌باشد. این مقدار بایستی به تبخیر- تعرق روزانه تبدیل

۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

کشت پاییزه در منطقه در ماه اکتبر آغاز شده و در ماه‌های آوریل و می به حداکثر تراکم خود می‌رسد و برداشت محصولات آغاز می‌شود. در ادامه کشت محصولات بهاره آغاز شده که زمان برداشت آن‌ها ماه آگوست می‌باشد (Emadzade 2007). این روند تغییر تراکم به وضوح در NDVI قابل مشاهده است. شاخص گیاهی NDVI بین ۱- تا ۱+ متغیر می‌باشد. زمین‌های شامل پوشش گیاهی متراکم دارای مقادیر مثبت ۰/۳ تا ۰/۸ بوده، در حالی که مناطق برفی و ابری دارای مقدار منفی می‌باشند.

سطح آزاد آب که انعکاس نسبتاً کمی در هر دو باند دارد، مقادیر پایین مثبت یا حتی منفی را شامل می‌شوند. خاک‌هایی که عموماً انعکاس طیف زیر قرمز نزدیک آنها بالاتر از طیف قرمز است، مقادیر مثبت پایینی معادل ۰/۱ تا ۰/۲ را می‌گیرند. مقادیر NDVI احتمالاً وابسته به ناهمگنی هدف و زاویه هندسی تشعشع و محل در زمان اندازه‌گیری است (Yaghobi Feshki 2009). با توجه به اینکه تصاویر مورد استفاده در این تحقیق مربوط به اواخر دوره رشد و زمان برداشت محصولات پاییزه و مراحل ابتدایی رشد محصولات بهاره می‌باشند، لذا در تصویر روز ۲۰۱۴/۰۷/۲۲ ملاحظه می‌گردد که تراکم گیاهی مربوط به محصولات پاییزه و بهاره و مراتع طبیعی بوده که با گذشت زمان تراکم گیاهی به محصولات زراعی آبی، مناطق جنگلی و باغات منطقه مربوط می‌شود که در طی این روند به تراکم محصولات زراعی آبی افزوده شده و تراکم گیاهی زمین‌هایی که تحت کشت پاییزه قرار گرفته بودند کمتر شده است. ضمناً لازم به ذکر است که تاریخ ۲۰۱۴/۰۸/۲۲ تقریباً مصادف با حداکثر تراکم

گیاهی محصولات زراعی آبی در منطقه می‌باشد. نقشه‌های NDVI برای منطقه در تاریخ‌های تصویربرداری در شکل ۳ ارائه شده اند.

روند تغییر تراکم گیاهی در منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ که شاخص گیاهی NDVI را در تاریخ‌های تصاویر مورد استفاده نشان می‌دهد، کاملاً مشهود است. با توجه به شکل مذکور روند تغییر پوشش گیاهی در سطح دشت به گونه‌ای است که در تاریخ‌های ۲۰۱۴/۷/۲۲ و ۲۰۱۴/۸/۰۷ پوشش گیاهی مربوط به مناطق جنگلی و محصولات آبی می‌باشد، لذا می‌توان با استفاده از این ویژگی شاخص گیاهی NDVI مناطق دارای پوشش گیاهی دیم و مرتع را از مناطقی که دارای پوشش گیاهی جنگلی و کشت‌های آبی هستند متمایز نمود.

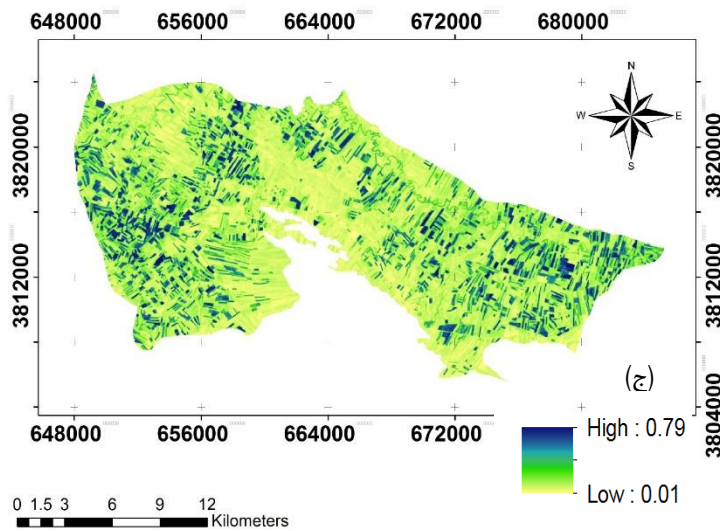
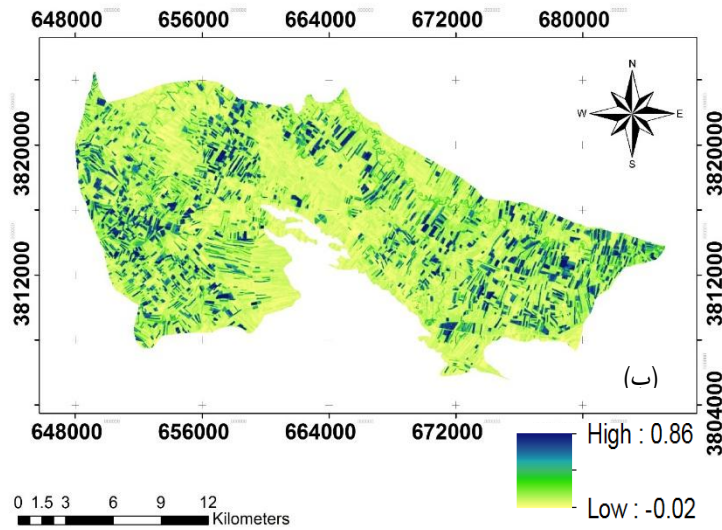
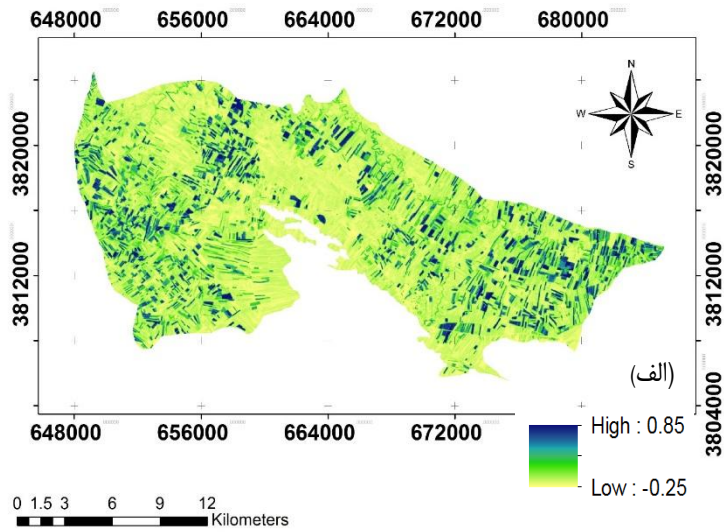
جدول ۱ مقادیر NDVI بدست آمده برای محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در شکل ۴ تبخیر- تعرق واقعی کل منطقه برای تاریخ‌های مورد بررسی نمایش داده شده است. بدلیل پایین بودن سفره آب زیر زمینی در فصل گرما در اراضی که فاقد پوشش گیاهی می‌باشند و یا اینکه در آنها پوشال محصولات برداشت شده بر روی زمین قرار دارد، میزان تبخیر- تعرق واقعی محدوده در حد صفر بوده است. جدول ۲ آمار مربوط به تبخیر- تعرق واقعی روزانه کل محدوده مورد مطالعه در تاریخ‌های مورد نظر را نشان می‌دهد. در شکل ۵، میزان تبخیر- تعرق واقعی محدوده طرح، که در آن گیاه و یا پوشال محصولات برداشت شده موجود می‌باشد نشان داده شده است. جدول ۳ نیز آمار مربوط به تبخیر- تعرق واقعی روزانه منطقه (برای محدوده‌ای که گیاه یا پوشال محصول برداشت شده در آن موجود باشد) را در تاریخ‌های مورد نظر نشان می‌دهد.

جدول ۱- NDVI محدوده مورد مطالعه در تاریخ‌های مورد نظر

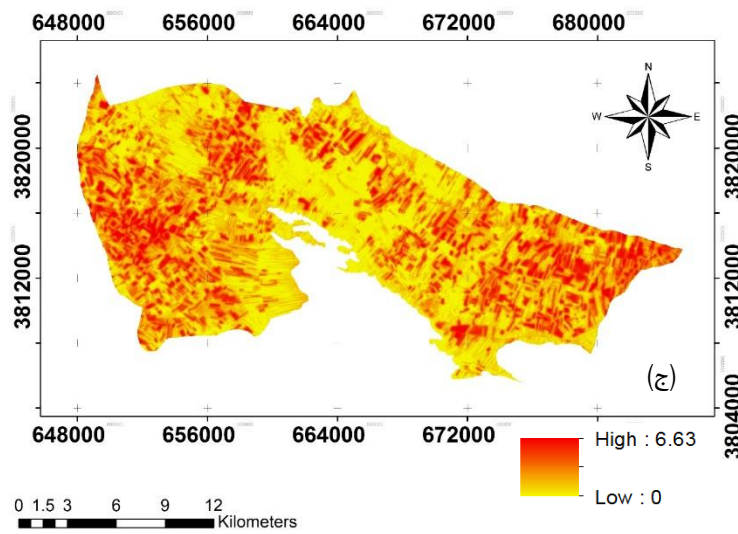
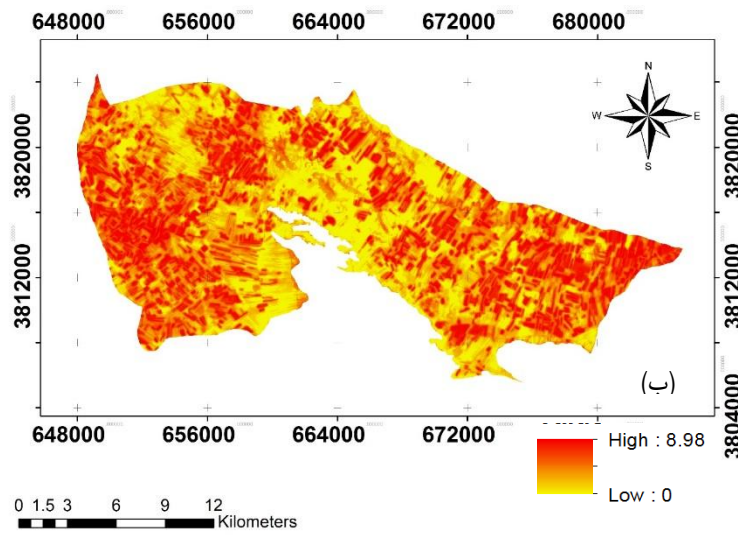
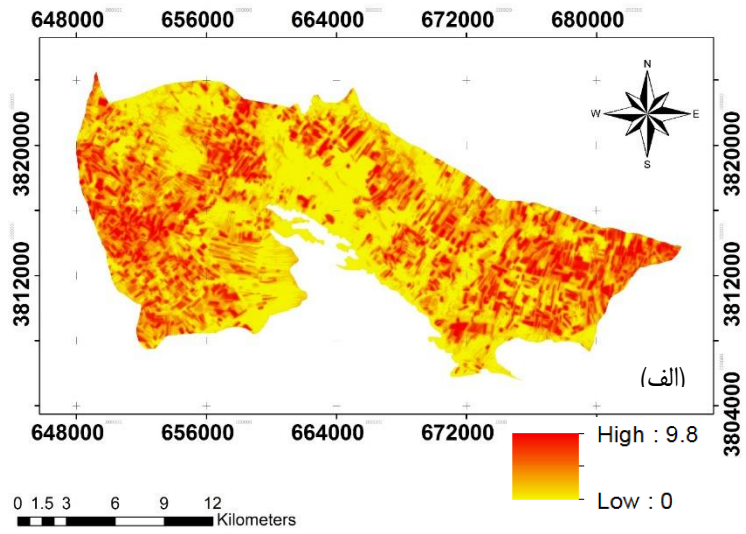
تاریخ	حداقل	حداکثر	میانگین
۲۰۱۴/۰۷/۲۲	-۰/۲۴۵	۰/۸۵۳	۰/۲۵۳
۲۰۱۴/۰۸/۰۷	-۰/۰۲۲	۰/۸۵۷	۰/۲۵۵
۲۰۱۴/۰۸/۲۳	۰/۰۰۵	۰/۷۹۲	۰/۲۵۱

جدول ۲- تبخیر- تعرق واقعی روزانه کل محدوده

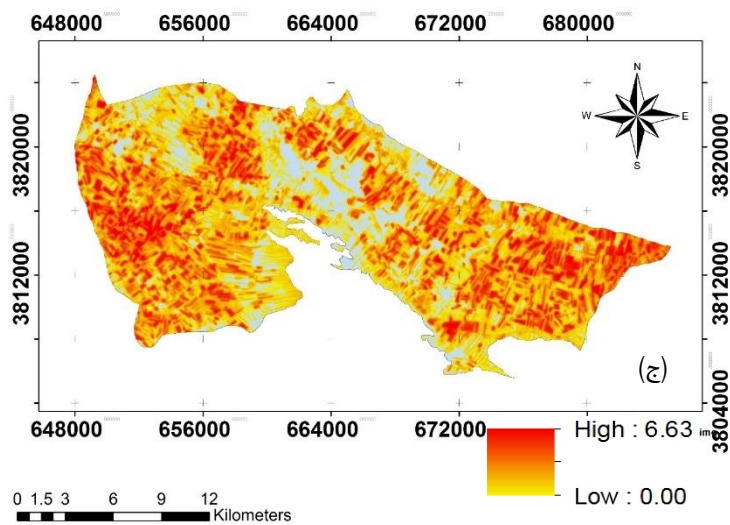
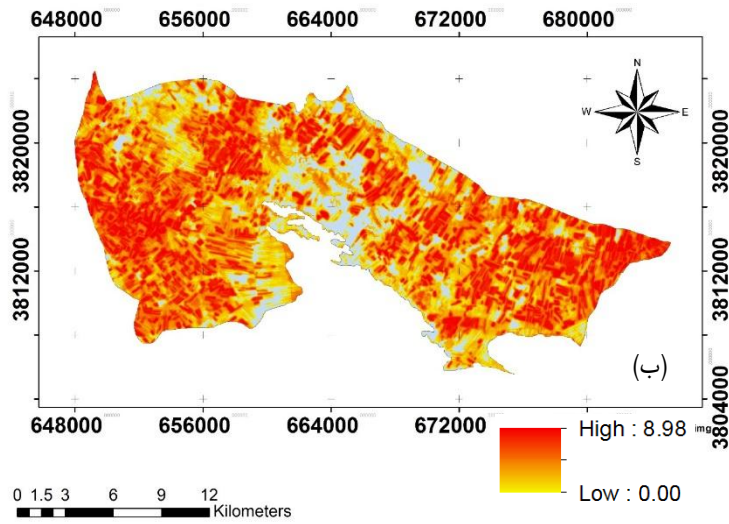
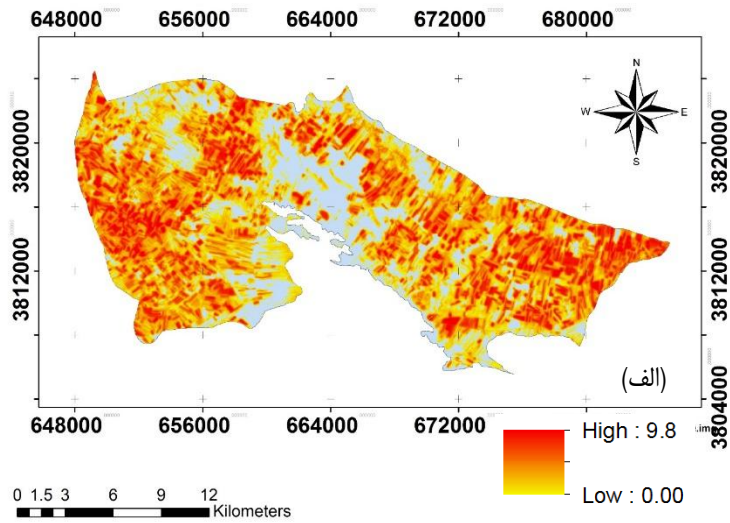
تاریخ	تبخیر- تعرق واقعی		تبخیر- تعرق پتانسیل	
	حداکثر	میانگین	کل محدوده	روش پنمن مانیتیت
۲۰۱۴/۰۷/۲۲	۹/۸۲	۲/۶۶	۴۳۰۷۳۱۴/۹۷۱	۶/۵۴
۲۰۱۴/۰۸/۰۷	۸/۹۸	۳/۳۵	۵۴۴۶۶۷۸/۳۲۵	۵/۱۸
۲۰۱۴/۰۸/۲۳	۶/۶۰	۱/۹۴	۳۱۴۵۹۲۸/۴۶۶	۵/۹۳



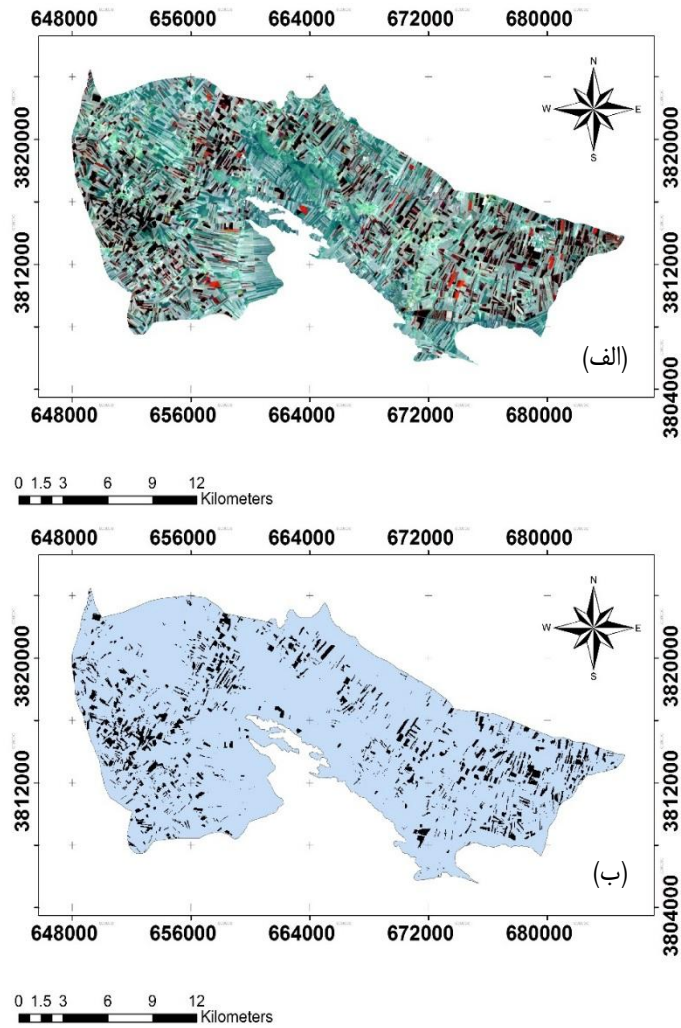
شکل ۳- شاخص گیاهی NDVI، تاریخ الف) ۲۰۱۴/۰۷/۲۲ (ب) ۲۰۱۴/۰۸/۰۷، ج) ۲۰۱۴/۰۸/۲۳



شکل ۴- تبخیر - تعرق واقعی روزانه منطقه الف (الف) ۲۰۱۴/۰۷/۲۲ (ب) ۲۰۱۴/۰۸/۰۷ (ج) ۲۰۱۴/۰۸/۲۳



شکل ۵- تبخیر - تعرق واقعی روزانه منطقه ، تاریخ الف) ۲۰۱۴/۰۷/۲۲ ب) ۲۰۱۴/۰۸/۰۷، ج) ۲۰۱۴/۰۸/۲۳



شکل ۶- محدوده اراضی تحت کشت ذرت

جدول ۳- تبخیر و تعرق واقعی روزانه منطقه

تاریخ	تبخیر و تعرق واقعی			تبخیر و تعرق پتانسیل روش پنمن-مانتیث
	حداکثر	میانگین	کل محدوده	
۲۰۱۴/۰۷/۲۲	۹/۸۲	۳/۳۴	۴۳۰۷۳۱۴/۹۷۱	۶/۵۴
۲۰۱۴/۰۸/۰۷	۸/۹۸	۳/۷۶	۵۴۴۶۶۷۸/۳۲۵	۵/۱۸
۲۰۱۴/۰۸/۲۳	۶/۶۰	۲/۲۴	۳۱۴۵۹۲۸/۴۶۶	۵/۹۳

جدول ۴- تبخیر و تعرق واقعی روزانه مزارع ذرت (میلیمتر)

تاریخ	تبخیر و تعرق واقعی			تبخیر و تعرق پتانسیل روش پنمن-مانتیث
	حداکثر	میانگین	کل محدوده	
۲۰۱۴/۰۷/۲۲	۹/۵۰	۷/۱۱	۱۰۵۴۷۵۳/۹۵۹	۶/۵۴
۲۰۱۴/۰۸/۰۷	۸/۴۲	۶/۹۰	۱۰۲۳۱۲۵/۷۹۳	۵/۱۸
۲۰۱۴/۰۸/۲۳	۶/۶۰	۵/۱۶	۷۵۶۸۶۱/۳۷۰	۵/۹۳

بر اساس اطلاعات جمع آوری شده در نرم افزار GIS10.1 نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه شد و کشت ذرت به عنوان یک کاربری تعریف گردید. از میان ۳۶۴۸۳ هکتار اراضی زراعی و غیر زراعی منطقه در حدود ۳۳۳۵ هکتار از آن تحت پوشش کشت محصول ذرت می‌باشد (شکل ۶).

در شکل ۷ نیز میزان تبخیر- تعرق واقعی مزارع ذرت منطقه بطور شماتیک نمایش داده شده است، همچنین در جدول ۴ مقادیر مربوط به تبخیر- تعرق واقعی روزانه و همچنین تبخیر- تعرق پتانسیل محاسبه شده بر اساس فرمول پنمن- مانتیث برای مزارع ذرت منطقه آورده شده است.

در شکل ۸ مقادیر ضریب گیاهی ذرت در محدوده طرح به صورت شماتیک نمایش داده شده و مقادیر آن در جدول ۵ آورده شده اند.

جدول ۵- ضریب گیاهی گیاه ذرت در منطقه

Kc		تاریخ
میانگین	حداکثر	
۱/۰۹	۱/۴۵	۲۰۱۴/۰۷/۲۲
۱/۳۳	۱/۶۳	۲۰۱۴/۰۸/۰۷
۰/۸۷	۱/۱۲	۲۰۱۴/۰۸/۲۳

۴- نتیجه گیری

برآورد دقیق تر تبخیر - تعرق گیاهان در سطح یک دشت یا حوضه همواره به عنوان یکی از مسائل و مشکلات مهم مطرح بوده است. چرا که اکثر اطلاعات ورودی مورد نیاز به صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری شده سپس به کل سطح منطقه بسط داده می‌شوند. به کمک سنجنده‌های ماهواره‌ای می‌توان توزیع مکانی و زمانی این پارامتر را با دقت بهتری برای مکان‌های مختلف برآورد نمود و در نتیجه امکان ارتقا دقت در چنین برآوردی وجود دارد.

مطالعه حاضر نتایج تجزیه و تحلیل تبخیر- تعرق روزانه با روش SEBAL برای دشت سراب نیلوفر را نشان می‌دهد. در این تحقیق از تصاویر رایگان ماهواره لندست ۸ دارای توان تفکیک مکانی و طیفی مناسب برای تشخیص گیاهان است برای محاسبه سطح زیر

کشت، ضریب گیاهی و میزان تبخیر - تعرق سالانه ذرت استفاده گردید. با توجه به حل معادله بیلان انرژی به منظور محاسبه تبخیر- تعرق واقعی گیاه، توسط این الگوریتم و از آنجایی که پارامترهای محاسبه شده در طی روند این الگوریتم مانند دمای سطحی، NDVI و آلبیدو سطحی و غیره با محدوده‌های قابل قبولی که در منابع و آمارهای موجود اعلام شده، مطابقت داشته، لذا این الگوریتم مورد تایید قرار می‌گیرد.

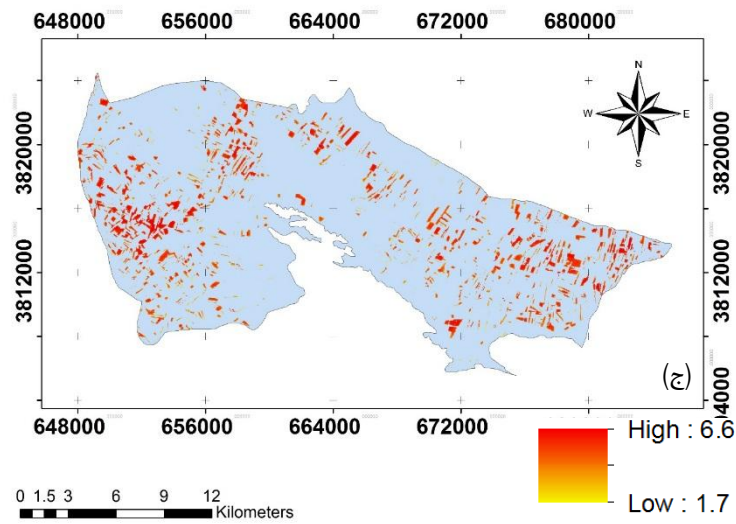
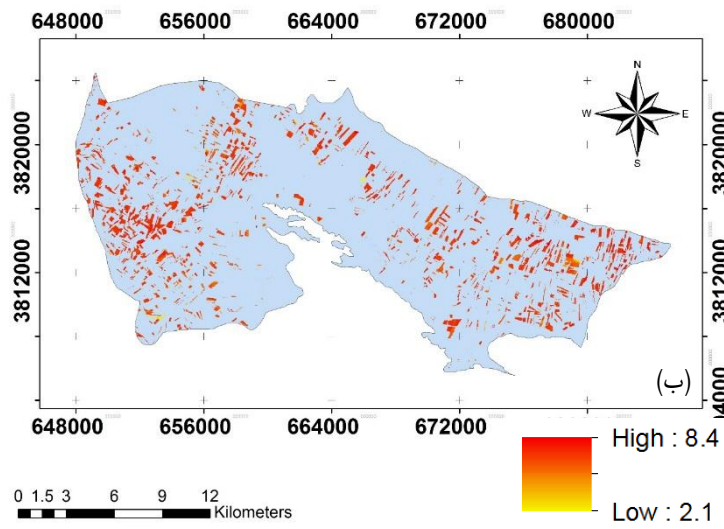
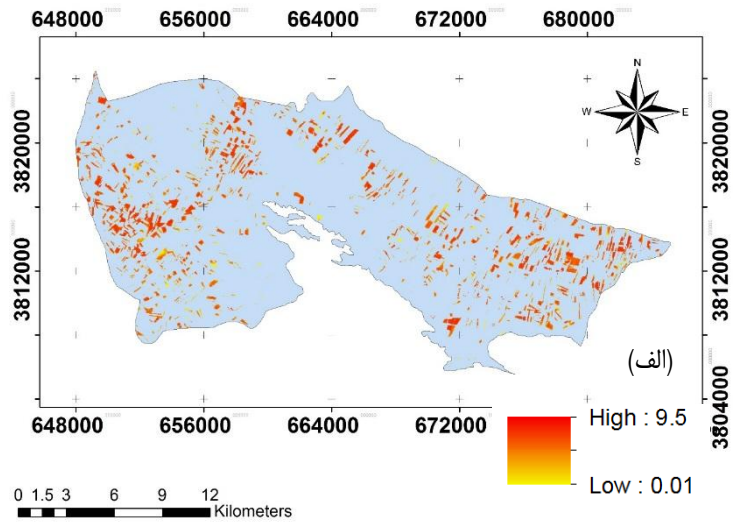
سنجش از دور با بهره‌گیری از الگوریتم‌های متعدد با ارائه تخمینی از میزان ET (با حداقل استفاده از داده‌های زمینی)، دارای پتانسیلی بسیار بالا برای اصلاح مدیریت منابع آبیاری در مناطق بسیار وسیع می‌باشد. واضح است که با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی متناسب با وسعت و همگنی مزارع منطقه و در فواصل زمانی مناسب، می‌توان اقدام به ترسیم نمودار تبخیر- تعرق واقعی گیاه و همچنین کالیبره نمودن ضرایب گیاهی برای هر منطقه، در طول فصل رشد نمود.

۵- تشکر و قدردانی

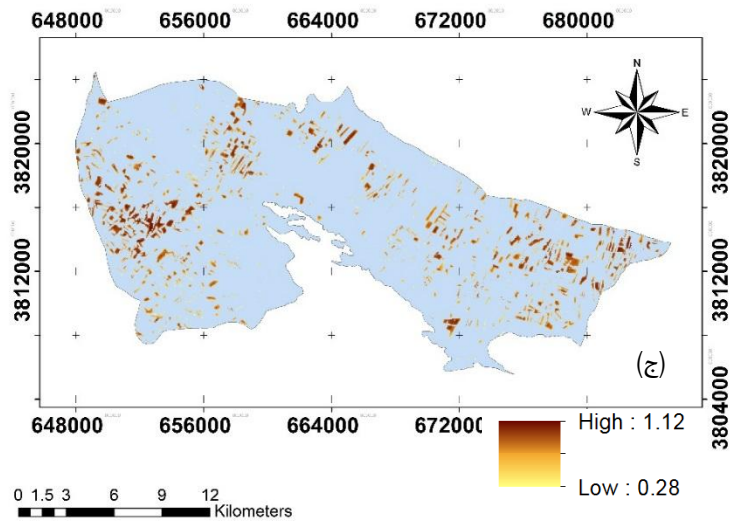
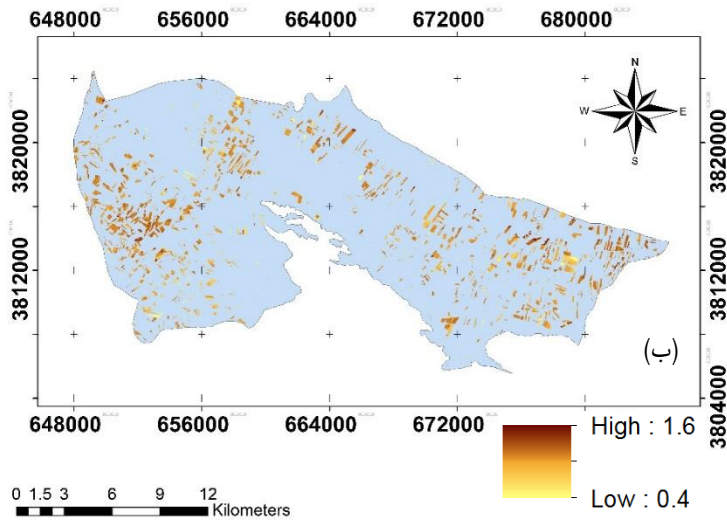
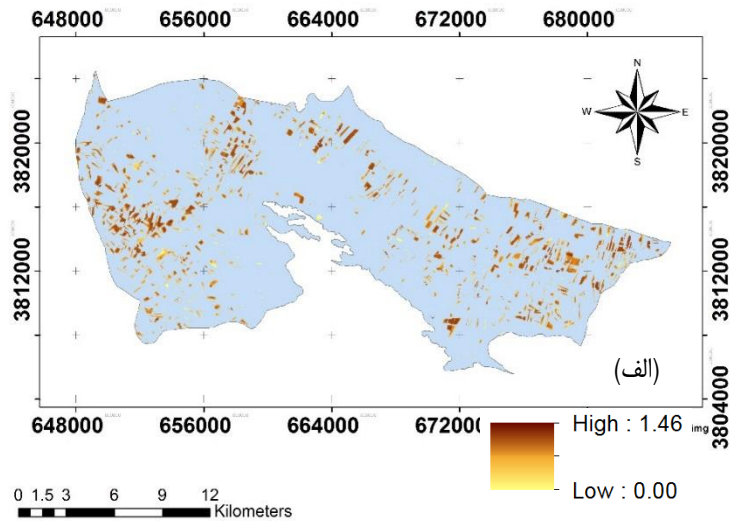
این مقاله نسخه تکمیل و داوری شده مقاله ارائه شده در ششمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران می‌باشد. این کنفرانس در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵ در شهر سمنان برگزار شد.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Evapotranspiration
- 2- Eddy Correlation
- 3- Bowen Ratio Technique
- 4- Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)
- 5- Normalized Difference Vegetation Index
- 6- Leaf Area Index
- 7- Enhanced Thematic Mapper Plus
- 8- Geographic Information System (GIS)
- 9- Light Detection and Ranging
- 10- Laser Imaging Vegetation System
- 11- Supervised Classification



شکل ۷- تبخیر - تعرق واقعی روزانه ذرت (الف) ۲۰۱۴/۰۷/۲۲ (ب) ۲۰۱۴/۰۸/۰۷، (ج) ۲۰۱۴/۰۸/۲۳



شکل ۸- ضریب گیاهی واقعی ذرت (الف) ۲۰۱۴/۰۷/۲۲ (ب) ۲۰۱۴/۰۸/۰۷، (ج) ۲۰۱۴/۰۸/۲۳

- Ghamarnia H, Rezvani SV, Mehdi Abadi G (2010) Estimation of regional evapotranspiration using SEBAL algorithm, Case study: Mian Darband Plain located in Kermanshah Province. In: The first Iranian National Conference on Applied Research in Water Resource, May 11-13, Kermanshah, Iran (in Persian)
- Hansen MC, DeFries RS, Townshend JRG, Sohlberg R, Dimiceli C, Carroll M (2009) Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: Examples using AVHRR and MODIS data. *Journal of Remote Sensing of Environment* 83:303-319
- Karimi A, Farhadi Bansouleh B, Hesadi H (2012) Estimation of regional evapotranspiration using LANDSAT TM images and SEBAL algorithm. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 4(6):353-364 (In Persian)
- Noori S, Sanaei Nejad SH, Hasheminia SM (2010) Estimation of evapotranspiration using satellite image data in Mashhad area. *Journal of Water and soil* 25(3):540-547 (in Persian)
- Omidvar J, Noori S, Davary K, Sanaei-Nejad H, Farid hosseini (2013) A. Estimation of actual evapotranspiration based on satellite images using two algorithms Sebal and Metric. *Journal of Iranian of Irrigation & Water Engineering* 12(3):11-22. (In Persian)
- Safy R, Mir Lotfi SM, Akbari M (2015) Estimating actual evapotranspiration of Sugar cane using Landsat8 TM images in field of Amir Kabir Agro-industry Co. In: The second notional conference of Engineering and Agriculture Management, Environment and stable Natural Resources, March 11, Tehran, Iran (in Persian)
- Trezza R (2003) Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control. PhD Thesis, Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State Univ., Utah
- Wardlow BD, Egbert SL (2008) Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: An Assessment for the U.S. Central Great, Technical Report.
- Yaghoobi Feshki M (1388) Application of SEBAL method to calculate evapotranspiration using remote sensing images. MSc Thesis, Razi University, Kermanshah (In Persian)
- Akbari M, Seif Z, Zare Abyane H (2011) Estimation of evapotranspiration by remote sensing technique under different climate condition. *Journal of Water and Soil* 25(4):835-844 (In Persian)
- Alvarez JAG (2007) Effects of land cover changes on the water balance of the Palo Verde Watland, Costa Rica. M.Sc. Thesis, ITC, Enschede, The Netherlands
- Babajafary H, Moghadasi M, Paymazd Sh, Ziaee R (2015) Estimation of evapotranspiration using NOAA-AVHRR TM Images and SEBS Algorithm, Case Study: the Lake Urmia Basin. In: The First International and the Fourth National Conference on Tourism, Geography and Stable Environment, November 9, Hamedan, Iran (In Persian)
- Bastiaanssen WGM, Chandrapala L (2003) Water balance variability across Sri Lanka for assessing agricultural and environmental water use. *Journal of Agric Water Manag* 58(2):171-192
- Bastiaanssen WGM, Menenti M, Feddes RA, Holtslag AAM (1998a) A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology* 212-213:198-212
- Bastiaanssen WGM, Pelgrum H, Wang J, Ma Y, Moreno J, Roerink GJ, van der Wal T (1998b) The surface energy balance algorithm for land (SEBAL), Part 2: Validation. *Journal of Hydrology* 212-213:213-229
- Bausch W.C (1995) Remote sensing of crop coefficients for improving the irrigation scheduling of corn. *Journal of Agricultural Water Management* 27:55-67
- Casa R, Rossi M, Sappa G, Trotta A (2009) Assessing crop water demand by remote sensing and GIS for the Pontina Plain, Central Italy. *Journal of Water Resour Manage* 23:1685-1712
- Emadzadeh M (1386) Application of remote sensing in estimating water use efficiency in basin-scale: case study in the Gharaso basin. M.Sc. Thesis, Sharif University of Technology, Tehran (In Persian)
- Enko T (2009) Estimation of evapotranspiration from satellite remote sensing and meteorological data over the Fogera flood plain-Ethiopia. M.Sc. Thesis, ITC, Enschede, Netherlands