



Gonbad Kavous University  
Journal of New Approaches in  
Water Engineering and Environment  
Volume 1, Issue 1

## Comparison of spatial and temporal variation of maize evapotranspiration in Mahidasht using Landsat 8 satellite images and available resources

Nasim Kamali<sup>1</sup>, Bahman Farhadi Bansouleh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

<sup>2</sup> Assistant professor, Water Engineering Department, Faculty of agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 21.03.2022; Accepted: 22.06.2022

### Abstract

The crop evapotranspiration (ET) has spatial and temporal variations within the region due to changes in meteorological parameters, phenological stage, and farm management conditions. The main objective of the present study was to compare the trend of temporal and spatial variations of grain maize evapotranspiration in Mahidasht using satellite images with available resources (due to lack of Lysimeteric data). In this study, the daily evapotranspiration for the four maize farms in the different parts of the plain was calculated using Landsat 8 satellite images and the SEBAL algorithm on six dates during the growing period of maize in the year 2014. Since there was no field measurement of ET to verify the results of estimated ET based on the SEBAL algorithm, the final results (evapotranspiration) and intermediate results (Land surface temperature, Albedo, and NDVI) calculated by the SEBAL algorithm were compared with acceptable values in the literature. Results showed a similar trend of estimated evapotranspiration by the SEBAL algorithm and AGWAT software. The trend of increasing and decreasing land surface temperature was rational. The average of NDVI during the growth period in the studied farms was between 0.47 and 0.53 which was acceptable. Albedo with an average of 0.17-0.18 had slight variations between the selected farms. Results showed rising in land surface temperature, evapotranspiration, and NDVI to the middle of the growth period and then reducing of these parameters. The average estimated maize evapotranspiration based on the SEBAL algorithm was between 3.35 to 8.53 mm per day for the six imagery dates.

**Keywords:** Albedo, SEBAL, Surface temperature, Vegetation index

---

\* Corresponding author, Email: bfarhadi@razi.ac.ir



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست"

دوره اول، شماره اول

<http://Nawee.gonbad.ac.ir>

## مقایسه‌ی تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق ذرت در منطقه‌ی ماهیدشت حاصل از تصویر ماهواره‌ی لندست ۸ و منابع موجود

نسیم کمالی<sup>۱</sup>، بهمن فرهادی بانسوله<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

### چکیده

میزان تبخیر و تعرق گیاهان درون یک منطقه با توجه به پارامترهای هواشناسی، مرحله رشد گیاه و شرایط مدیریتی مزارع دارای تغییرات زمانی و مکانی می‌باشد. هدف از مطالعه کنونی مقایسه روند تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق ذرت در منطقه ماهیدشت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با منابع علمی موجود (به علت نبودن داده‌های لایسیمیتری) بوده است. در این مطالعه تبخیر و تعرق روزانه برای چهار مزرعه ذرت واقع در مناطق مختلف دشت با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در ۶ تاریخ در طول دوره رشد گیاه ذرت در سال ۱۳۹۳ تخمین زده شد. از آنجایی که اندازه‌گیری مزرعه‌ای تبخیر و تعرق واقعی جهت اعتبارسنجی نتایج حاصل از برآورد تبخیر و تعرق براساس الگوریتم سبال وجود نداشت، نتایج نهایی (تبخیر و تعرق) و همچنین نتایج میانی الگوریتم سبال (شاخص دمای سطحی، NDVI و آلبدو) با نتایج قابل قبول در دسترس مقایسه شد. نتایج نشان داد تبخیر و تعرق به دست آمده با الگوریتم سبال و نرم افزار AGWAT روند مشابهی داشتند. روند افزایشی و کاهش دمای سطحی در گذر زمان منطقی بود. متوسط شاخص NDVI در طول دوره رشد در مزارع مورد مطالعه بین ۰/۴۷ تا ۰/۵۳ بوده که با توجه به منابع در محدوده قابل قبولی قرار دارد. ضریب بازتاب نور (آلبیدو) با متوسط ۰/۱۷-۰/۱۸ تغییرات اندکی در بین مزارع منتخب داشت. تغییرات زمانی نتایج نشان دهنده روند افزایشی دمای سطحی، تبخیر و تعرق و شاخص گیاهی NDVI تا اواسط دوره رشد و سپس کاهش این پارامترها می‌باشد.

کلمات کلیدی: آلبدو، سبال، دمای سطحی، شاخص گیاهی.

## مقدمه

14/AVHRR کردند و با پیش‌پردازش داده‌های مذکور در طول دوره‌ی رشد، ضریب بازتاب پوشش سطح زمین، ضریب تابش پوشش سطح زمین و شاخص‌های گیاهی NDVI (شاخص تعیین شدت و ضعف پوشش گیاهی) و LAI (شاخص سطح برگ) را تعیین و سطح زیر کشت و تراکم کشت شبکه‌های مختلف را محاسبه کردند. سپس با بهره‌گیری از الگوریتم سبال، اجزاء بیلان انرژی را تعیین کردند و تبخیر-تعرق واقعی را در این منطقه به‌دست آوردند. (Karatas et al (2009) در تحقیقی به منظور ارزیابی کارایی مصرف آب در ترکیه از پنج شاخص استفاده نمودند. مؤلفه‌های تبخیر-تعرق بالقوه و واقعی مورد استفاده در این مطالعه که برای تعیین این شاخص‌ها استفاده شد، براساس الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره‌ای NOAA به‌دست آمد. (Rozenstein et al (2014) دمای سطح زمین (LST) را با استفاده از روش پنجره تقسیم (SW) برای تصاویر لندست ۸ محاسبه کردند و با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کردند. نتایج نشان داد ریشه‌ی میانگین مربعات خطا بین مقدار اندازه‌گیری شده‌ی دمای سطحی و مقدار به‌دست آمده از روش پنجره تقسیم در این پژوهش ۰/۹۳ درجه‌ی سانتی‌گراد است. (Rajeshwari and Mani (2014) دمای سطحی زمین را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ در منطقه‌ای از هند با استفاده از الگوریتم پنجره تقسیم تخمین زدند. نتایج این مطالعه نشان داد که دمای سطحی برای مناطق خشک و بایر زیاد بود در حالی که دمای سطحی در مناطق با پوشش گیاهی و تپه‌ماهور کم بود. همچنین نتایج نشان داد دمای سطحی به‌دست آمده از این روش که در آن از باندهای TIR<sup>۴</sup> و OLI<sup>۵</sup> استفاده شده است، قابل اطمینان‌تر و دقیق‌تر است. (Song et al (2015) با استفاده از تصاویر ASTER، آلبیدو و دمای سطحی را برای جداسازی خاک و پوشش گیاهی محاسبه و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه کردند. نتایج نشان داد ریشه‌ی میانگین مربعات خطا برای دمای خاک بین مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده ۰/۸۳ درجه‌ی کلونین و برای

انتقال آب از سطح خاک مرطوب به هوا را تبخیر و خارج شدن آن از گیاه را تعرق گویند. این دو پدیده هر دو ماهیت تبخیری دارند و چون تفکیک آنها از یکدیگر امکان‌پذیر نیست مجموعاً به نام تبخیر-تعرق در نظر گرفته می‌شوند (Alizadeh, 2006). در فرآیند تبخیر-تعرق مؤلفه‌های متعددی از قبیل دما، بارندگی، سرعت باد، تابش خورشیدی، رطوبت هوا، ساعات آفتابی، ابرناکی، همرفت (انتقال افقی گرمای محسوس و رطوبت)، پوشش زمین، خصوصیات خاک و گیاه و مقدار آب اثرگذار هستند (Seifi et al., 2011). روش‌های مختلفی برای برآورد میزان تبخیر و تعرق ارائه شده‌اند که (Bastiaanssen et al (2000) این روش‌ها را به روش‌های مبتنی بر بیلان آب، روش‌های میکروموسشناسی و روش‌های سنجش از دور طبقه‌بندی کرده‌اند. پیشرفت-های صورت گرفته در علم سنجش از دور این امکان را می‌دهد تا بتوان هم‌زمان تبخیر و تعرق سطح وسیعی از منطقه مورد مطالعه را بررسی کرد و تغییرات مکانی این مؤلفه را در سطح منطقه تعیین نمود. الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین (سبال) یکی از الگوریتم‌های بیلان انرژی است که با استفاده از آن می‌توان میزان تبخیر و تعرق واقعی را براساس تصاویر ماهواره‌ای محاسبه نمود (Bastiaanssen, 2005). با توجه به اینکه الگوریتم سبال از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است، نتایج بخش‌های میانی حساس این الگوریتم از جمله دمای سطحی، شاخص NDVI<sup>۶</sup> و شاخص آلبیدو نیز مورد توجه محققان است.

(Bastiaanssen et al (1996) از الگوریتم سبال برای تشخیص یکنواختی محصول، تنش آبی و مدیریت شبکه‌های آبیاری در مصر، هند، پاکستان، سری‌لانکا و آرژانتین استفاده کردند و نتایج رضایت‌بخشی به‌دست آوردند. (Akbari et al (2007) با بررسی شبکه‌های آبیاری در حوضه‌ی زاینده‌رود واقع در استان اصفهان با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ی Landsat7 ETM+ اقدام به افزایش دقت مکانی مجموعه‌ای زمانی از اطلاعات ماهواره NOAA-

<sup>4</sup> - Split Window (SW)

<sup>5</sup> - Band 10 & 11. (TIR)

<sup>6</sup> - Band 2, 3, 4 & 5. (OLI)

<sup>1</sup> - Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)

<sup>2</sup> - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

<sup>3</sup> - Land Surface Temperature (LST)

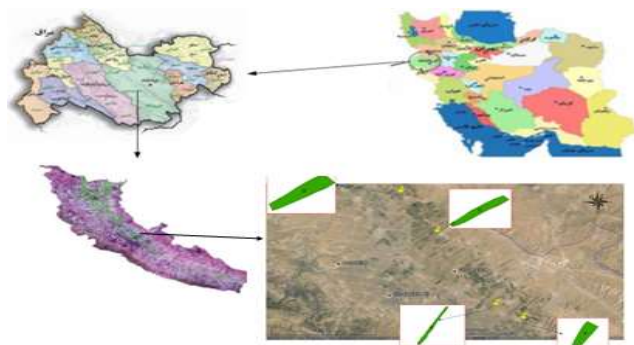
منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از تصاویر لندست ۵ برآورد و با نتایج لایسیمتری مقایسه کردند که از دقت قابل قبولی برخوردار بود (حداکثر درصد خطا بین تبخیر و تعرق به‌دست آمده از تصاویر لندست ۵ و لایسیمتر زهکش‌دار ۱۰ درصد بود). با توجه به اینکه از سال ۲۰۱۳ فعالیت ماهواره لندست ۵ خاتمه یافته و در عوض ماهواره لندست ۸ فعالیت خود را آغاز نموده است، نیاز به بررسی امکان‌پذیری استفاده از تصاویر لندست ۸ در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود دارد. با توجه به اینکه در زمان مطالعه‌ی کنونی استفاده از لایسیمتر امکان‌پذیر نبود، تصمیم بر این گرفته شد که علاوه بر نتایج تبخیر و تعرق، نتایج میانی الگوریتم سبال (دمای سطحی، آلبیدو<sup>۱</sup> و شاخص گیاهی NDVI) نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. گفتنی است که تصاویر لندست ۸ که نسل جدید تصاویر لندست هستند تا زمان انجام این مطالعه در این منطقه ارزیابی نشده‌اند.

#### مواد و روش‌ها

محدوده‌ی مورد مطالعه دشت ماهیدشت واقع در استان کرمانشاه است که بین طول‌های جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی واقع شده است. منطقه‌ی مورد مطالعه نیمه کوهستانی با آب و هوای معتدل کوهستانی، دارای وسعت ۱۷۷۰ کیلومتر مربع و ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح دریا است. برای بررسی تغییرات مکانی مؤلفه‌های مورد نظر، چهار مزرعه‌ی نسبتاً بزرگ (مساحت بین ۶ تا ۲۳ هکتار) در نقاط مختلف دشت انتخاب گردید که موقعیت این مزارع در شکل (۱) مشخص شده است. برای شناسایی مزارع ذرت در منطقه‌ی مورد مطالعه یک بازدید میدانی در تاریخ ۲ مرداد ۱۳۹۳ انجام و موقعیت مزارع منتخب کنترل شد.

پوشش گیاهی ۱/۶۴ درجه‌ی کلون بود. همچنین مشخص شد که دمای سطحی هنگامی که پوشش گیاهی کاملاً سیراب باشد، نزدیک به دمای هوای سطحی مشاهداتی است. در ایران نیز در زمینه‌ی سنجش از دور تحقیقاتی انجام شده است. (Ahmadi et al (2015) دمای سطحی محدوده‌ی شهری اردبیل و حاشیه‌ی آن را در رابطه با کاربری اراضی و پوشش اراضی با استفاده از تصاویر لندست TM بررسی کردند و ارزیابی صحت نتایج به‌دست آمده را با داده‌های چهار ایستگاه هواشناسی ساعتی با استفاده از یک رابطه‌ی رگرسیونی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی دمای سطح زمین (استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای) با دمای ایستگاه هواشناسی ۰/۷۹ و همبستگی دمای هوای ایستگاه‌ها با دمای هوای استخراج‌شده از تصویر ۰/۹۹ است. (Kheyrikhah Zarkesh et al (2012) مقایسه‌ی آلبیدوی سطحی به‌دست آمده از تصاویر لندست و مودیس پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد میزان آلبیدو در کاربری مسیل (با مقدار ۰/۲۴۲) بیشتر از زراعت فعال (۰/۱۸۶) است و کمترین مقدار آلبیدو مربوط به اراضی زراعی آیش (۰/۰۸۸) بوده است. (Yaqubzadeh et al (2015) روند تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق واقعی را در دشت نیشابور به وسیله تصاویر مودیس و سنجش از دور بررسی کردند. نتایج نشان داد که پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق با داشتن ضریب تبیین ۰/۹۰۸ همبستگی خوبی با هم دارند. همچنین فرایند تغییرات NDVI، دمای سطحی زمین و تبخیر و تعرق در مزارع مورد تحقیق نشان داد که تبخیر و تعرق با پایین رفتن دمای سطحی زمین و افزایش تراکم پوشش گیاهی، زیاد می‌شود. ذرت یکی از محصولات با نیاز آبی فراوان در منطقه‌ی مورد مطالعه (دشت ماهیدشت واقع در استان کرمانشاه) است که کشاورزان به‌دلیل سوددهی مناسب در پی کشت آن هستند. (Karimi et al (2012) تبخیر تعرق محصول ذرت را در

<sup>1</sup> -Surface Albedo



شکل ۱- موقعیت دشت ماهیدشت در سطح استان و کشور و مزارع ذرت انتخابی در دشت ماهیدشت

است. همه‌ی مؤلفه‌های این معادله برحسب  $W.m^{-2}$  هستند. با توجه به اینکه نحوه‌ی محاسبه‌ی اجزای این معادله در منابع متعددی از جمله Karimi et al (2012) ارائه شده است، در این مقاله از بیان جزئیات این روش خودداری گردیده است و فقط روابط مربوط به مؤلفه‌های میانی این الگوریتم (آلبیدو، دمای سطحی و شاخص‌های گیاهی NDVI و SAVI) که در این مطالعه بررسی شده‌اند ارائه شده است.

آلبیدو ( $\alpha$ ) که طبق تعریف عبارت است از نسبت تابش الکترومغناطیسی خورشیدی انعکاس یافته از سطح خاک و گیاه بر تابش فرودی (Tasumi et al., 2008) یکی از مؤلفه‌های میانی الگوریتم سبال است که در محاسبه‌ی میزان تابش خالص به کار می‌رود. محدوده‌ی مقادیر آلبیدوی سطحی برای سطوح مختلف در جدول (۱) آورده شده است (Kheyrkhan Zarkesh et Al., 2012).

در این مطالعه تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ در ۶ تاریخ (۱۳ اردیبهشت، ۳۰ خرداد، ۳۱ تیر، ۱۶ مرداد، ۱۷ شهریور و ۲ مهر ۱۳۹۳) در مراحل مختلف دوره‌ی رشد ذرت که وضعیت هواشناسی مناسبی (روزهای بدون گرد و غبار و ابر) داشتند، مورد استفاده قرار گرفت. این تصاویر به صورت رایگان از سایت glovis به آدرس <http://glovis.usgs.gov> بارگیری شده‌اند. علت انتخاب تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ وضوح مکانی مناسب و در دسترس بودن این تصاویر به صورت رایگان بوده است. اساس الگوریتم سبال استفاده از معادله‌ی توازن انرژی (رابطه ۱) و محاسبه‌ی مقدار شار لحظه‌ای گرمای نهان تبخیر به عنوان باقیمانده‌ی این معادله برای هر پیکسل است.

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

در این معادله،  $R_n$  تابش خالص،  $H$  شار گرمای محسوس،  $\lambda_{ET}$  شار گرمای نهفته و  $G$  شار گرمای خاک

جدول ۱- محدوده‌ی آلبیدو برای سطوح مختلف (Kheyrkhan Zarkesh et Al., 2012)

آب	چراگاه و چمن زار	شن خاکستری و سفید	شن زرد و سفید	رس	خاک سیاه	برف تازه
۰/۲۵-۰/۳۵	۰/۱۵-۰/۲۵	۰/۱۸-۰/۲۳	۰/۴-۰/۳۴	۰/۱۶-۰/۲۳	۰/۰۸-۰/۱۴	۰/۸۵-۰/۸

(University, 2013) از روش Liang (2001) که برای تصاویر لندست ۷ ارائه شده بود استفاده شد (رابطه ۲). البته در این

با توجه به اینکه تا زمان انجام این مطالعه، ضرایب مورد نیاز برای محاسبه‌ی آلبیدو برای تصویر لندست ۸ ارائه نشده بود، برطبق توصیه‌ی محققان دانشگاه یال (Yale)

$$\rho_{s,b} = \frac{\rho_{t,b} - \rho_{a,b}}{\tau_{in,b} \times \tau_{out,b}} \quad (3)$$

در این رابطه،  $\rho_{t,b}$  میزان انعکاس در هر باند از سنجنده در بالای اتمسفر و مقدار آن بین صفر تا یک است (بدون بعد)،  $\rho_{a,b}$  مقادیر ثابت انعکاس کاذب برای هر باند (بدون بعد)،  $\tau_{in,b}$  قابلیت انتقال اتمسفری برای تابش‌های ورودی خورشید در هر باند (بدون بعد)،  $\tau_{out,b}$  قابلیت انتقال اتمسفری برای تابش‌های خروجی انعکاس یافته از سطح در هر باند (بدون بعد) هستند.

روش از باندهای متناظر تصویر لندست ۷ در تصویر لندست ۸ استفاده شد.

$$\alpha = \sum_{b=2}^7 [\rho_{s,b} \times W_b] \quad (2)$$

در این رابطه  $\alpha$  آلبدو سطح،  $\rho_{s,b}$  میزان انعکاس در هر باند از سنجنده در سطح که مطابق رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود، و  $W_b$  ضرایب وزنی باندهای تصویر هستند که در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- ضرایب وزنی (Wb) باندهای تصویر لندست ۸ برای محاسبه‌ی آلبدو

وزن	باند
۰/۲۵۴	۲
۰/۱۴۹	۳
۰/۱۴۷	۴
۰/۳۱۱	۵
۰/۱۰۲	۶
۰/۰۳۶	۷

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\cos(\theta_{sz})} \quad (5)$$

$$\rho_{\lambda}' = M_p DN + A_p \quad (6)$$

در این روابط  $\rho_{\lambda}$  بازتاب طیفی باند؛  $\rho_{\lambda}'$  بازتاب ماهواره-ای در بالای اتمسفر بدون در نظر گرفتن زاویه‌ی خورشیدی، DN ارزش رقومی هر پیکسل در باند مورد نظر،  $\theta_{sz}$  زاویه رأس خورشیدی ارائه شده در فایل همراه با تصویر،  $M_p$  و  $A_p$  ضرایبی هستند که در فایل همراه با تصویر ارائه شده‌اند. دمای سطحی (LST) از دیگر مؤلفه‌های میانی الگوریتم سبال است که با استفاده از باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ ماهواره لندست ۸ و گسیلندگی سطحی محاسبه می‌گردد (Weng et al., 2004). دمای سطحی تصاویر لندست ۸ را می‌توان به روش‌های مختلفی به دست آورد (Rajeshwari and Mani, 2014) که در این مطالعه به دلیل سهولت محاسبات از روش Weng و همکاران (2004) استفاده شد (رابطه ۷).

$$LST = BT / [1 + (W \times BT/P) \times \ln(\epsilon)] \quad (7)$$

شاخص گیاهی NDVI مقدار پوشش گیاهی را مشخص می‌کند. این شاخص از معروف ترین، ساده ترین و کاربردی ترین شاخص‌هایی است که در زمینه‌ی مطالعات پوشش گیاهی شناخته شده است. میزان شاخص گیاهی نرمال شده NDVI در مراحل مختلف رشد گیاه تغییر می‌کند. با استفاده از این شاخص می‌توان زمین‌های کشت شده و بایر و همچنین مناطق کوهستانی و کشت آبی و دیم را از هم تشخیص داد. این شاخص در تصویر لندست ۸ با استفاده از رابطه‌ی (۴) محاسبه می‌شود.

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

در این رابطه  $\rho_5$  و  $\rho_4$  به ترتیب بازتاب طیفی باند ۴ و ۵ است. مقدار شاخص NDVI بین -۱ تا +۱ متغیر است. زمین‌های شامل پوشش گیاهی متراکم دارای مقادیر مثبت ۰/۳ تا ۰/۸ هستند، در حالی که مناطق برفی و ابری دارای مقدار منفی‌اند (Karimi et al., 2012). مقادیر بازتاب طیفی باندهای ۴ و ۵ با استفاده از روابط ۵ و ۶ محاسبه می‌گردد.

<sup>2</sup>- Solar zenith angle ( $\theta_{sz}$ )

<sup>1</sup>- False Reflectivity ( $\rho_{a,b}$ )

پوشیده از گیاه و خوب آبیاری شده است. دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هوا است و تبخیر و تعرقی معادل تبخیر و تعرق مرجع دارد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نام دارد، زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک است (Omidvar et al., 2013). پس از تعیین پیکسل سرد و گرم و به دست آوردن اختلاف دمای سطحی (dT) در هر پیکسل، ابتدا باید این مؤلفه را برای این دو پیکسل به دست آورد، سپس می‌توان این مقدار را برای سایر پیکسل‌ها محاسبه کرد. پس از آن مقدار شار گرمای محسوس براساس وضعیت جوی و فرایند تکرار تصحیح می‌گردد (Bastiaanssen et al., 1998).

تبخیر و تعرق محاسبه شده براساس معادله بیلان انرژی در لحظه‌ی گذر ماهواره است. این مقدار باید به تبخیر و تعرق روزانه تبدیل گردد. برای این منظور کسر تبخیری برای هر پیکسل تصویر با استفاده از رابطه‌ی (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$\Lambda = \frac{\lambda ET}{R_n - G} \Rightarrow \Lambda = \frac{R_n - G - H}{R_n - G} \quad (12)$$

تبخیر-تعرق ۲۴ ساعته با فرض ثابت بودن جزء تبخیری (A) در دوره‌ی ۲۴ ساعته از رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد.

$$ET_{24} = \frac{86400A(R_{n24} - G_{24})}{\lambda} \quad (13)$$

در این معادله  $R_{n24}$  تابش خالص روزانه ( $W/m^2$ ) و  $\lambda$  گرمای نهان تبخیر ( $J/kg$ ) است.

در این مطالعه از نرم‌افزار ERDAS imagine به منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای و اجرای الگوریتم سبال استفاده شد. مراحل مختلف الگوریتم سبال در قسمت Model Maker این نرم‌افزار برای تصاویر لندست ۸ نوشته و اجرا گردید. برای جدا کردن مزارع مورد مطالعه از منطقه‌ی ماهیدشت و همچنین برای به دست آوردن میانگین این شاخص‌ها در این مزارع از نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد.

## نتایج و بحث

روند تغییرات مؤلفه‌های مورد مطالعه برای چهار مزرعه‌ی منتخب در شکل (۲) و میانگین این مؤلفه‌ها در تاریخ‌های

در این رابطه BT دمای درخشندگی ماهواره بر حسب درجه‌ی کلوین، w طول موج باند حرارتی بر حسب میکرومتر، e قابلیت انتشار و p شاخصی است که مقدار آن برابر با 14380 است. برای محاسبه‌ی دمای سطحی (LST) از باند TIR (طول موج ۱۰/۴۴-۱۲/۴۲ میکرومتر) استفاده می‌شود (Weng et al., 2004). در تصاویر لندست ۸ این طول موج شامل باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ است. دمای درخشندگی برای باندهای ۱۰ و ۱۱ با استفاده از رابطه ۸ به دست می‌آید و قابلیت انتشار و نسبت پوشش سطحی نیز با استفاده از روابط ۹ و ۱۰ محاسبه گردید (Sobrino et al., 2004). از آنجا که دمای درخشندگی به دست آمده براساس باندهای ۱۰ و ۱۱ با هم متفاوت است، میانگین این دماها در رابطه ۷ به کار می‌رود.

$$T_{\lambda} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (8)$$

$$e = 0.004p_v + 0.986 \quad (9)$$

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right)^2 \quad (10)$$

در این روابط  $P_v$  نسبت پوشش گیاهی، T دمای سطحی بر حسب درجه کلوین،  $K_1$  و  $K_2$  ثابت‌های تبدیل باند حرارتی هستند که در فایل اطلاعاتی همراه تصویر ارائه شده‌اند،  $L_{\lambda}$  تابش طیفی هر باند و  $NDVI_{min}$  و  $NDVI_{max}$  به ترتیب میزان حداکثر و حداقل شاخص NDVI در منطقه مورد مطالعه‌اند. شار گرمای محسوس (H) از رابطه (۱۱) به دست می‌آید:

$$H = \frac{\rho \times C_p \times dT}{r_{ah}} \quad (11)$$

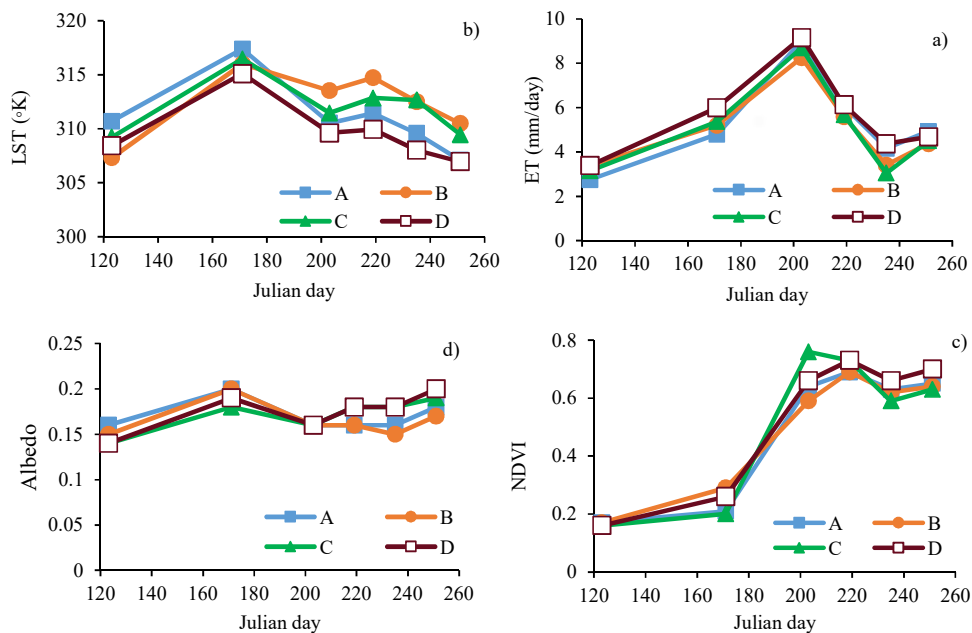
در این معادله، H شار گرمای محسوس ( $W/m^2$ )،  $\rho$  چگالی هوا که تابعی از فشار اتمسفر است ( $kg/m^3$ )،  $C_p$  ظرفیت گرمایی هوا ( $1004 J/kg/K$ )، dT اختلاف دما ( $T_1 - T_2$ ) بین دو ارتفاع ( $Z_1$  و  $Z_2$ ) و  $r_{ah}$  مقاومت آئرودینامیک در انتقال گرما (s/m) است. برای برآورد شار گرمای محسوس،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

۱- Vegetation proportion (Pv)

مورد مطالعه نشان داده شده است. حداقل میزان تبخیر و تعرق در روز ۱۲۳ ژولیبوسی<sup>۴</sup> (تاریخ ۱۳/۰۲/۱۳۹۳) با میزان ۳/۰۱ میلی‌متر در روز و مربوط به مزرعه D است. علت این امر قرار داشتن گیاه در اوایل فصل رشد و همچنین خنک بودن دمای هوا در این تاریخ است. بعد از این تاریخ میزان تبخیر و تعرق روند افزایشی در پیش می‌گیرد. در روز ۲۰۳ (تاریخ ۳۱/۰۴/۱۳۹۳) بیشترین میزان تبخیر و تعرق با مقدار ۸/۹۸ میلی‌متر در روز در مزرعه A است. در این تاریخ گیاه در مرحله خمیری شدن دانه قرار دارد و همین‌طور گرم‌ترین فصل سال نیز می‌باشد و این عوامل باعث می‌شود میزان تبخیر و تعرق در این روز نسبت به سایر تاریخ‌ها بیشتر باشد. بعد از آن میزان تبخیر و تعرق در هر چهار مزرعه روند کاهشی دارد.

مورد بررسی در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است. با توجه به الگوریتم سبال و تصاویر لندست ۸ میانگین تغییرات تبخیر و تعرق در تاریخ‌های مختلف بین ۳/۳۵ تا ۸/۵۳ میلی‌متر در روز بوده است. میانگین شاخص NDVI در تاریخ‌های مختلف بین ۰/۱۶ تا ۰/۷ بوده و همچنین میانگین میزان شاخص آلبدو در تاریخ‌های مختلف بین ۰/۱۵ تا ۰/۱۹ متغیر است. از آنجایی که اندازه‌گیری مزرعه‌ای وجود نداشت، نتایج تخمین زده شده از تصاویر ماهواره‌ای با منابع در دسترس مقایسه شد. جدول (۳) تغییرات مکانی شاخص‌های مورد بررسی و جدول (۴) تغییرات زمانی این شاخص‌ها را بیان می‌کند.

در شکل ۲ (الف) مقدار تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم سبال در زمان‌های مختلف برای چهار مزرعه‌ی



شکل ۲- روند تغییرات مکانی-زمانی: (a) تبخیر و تعرق، (b) دمای سطحی، (c) NDVI و (d) آلبدو

برای اطلاع از صحت نتایج، میزان تبخیر و تعرق به‌دست آمده با الگوریتم سبال و تصاویر لندست ۸ به علت در دسترس نبودن داده‌های زمینی (لایسیمتری) با نرم‌افزار بهینه‌سازی الگوی مصرف آب کشاورزی AGWAT مقایسه شدند. نتایج به‌دست آمده از الگوریتم سبال برای تصاویر لندست ۸ و تبخیر و تعرق به‌دست آمده از نرم‌افزار

AGWAT در جدول (۵) با هم مقایسه شده‌اند. نتایج نشان از روند مشابه تبخیر و تعرق به‌دست آمده از الگوریتم سبال و نتایج تبخیر و تعرق به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار AGWAT دارد. متوسط تغییرات مکانی مؤلفه‌های مورد مطالعه در ۶ تصویر بیانگر این است که میانگین تبخیر و تعرق در مزارع A، B، C و D به ترتیب ۵/۶۱، ۵/۳۱، ۴/۷۴

<sup>۴</sup>- شماره روز از اول ژانویه (آغاز سال میلادی)



از میزان تبخیر و تعرق و دمای سطحی کاسته می‌شود. گفتنی است که مزارع A و B به اتوبان راه کربلا، شهر ماهیدشت و کارخانه‌های صنعتی واقع در منطقه، از جمله کارخانه‌ی سیمان و شرکت روغن نباتی نازگل نزدیک است و احتمالاً دمای این مزارع به دلیل مجاورت با این مناطق بیشتر از سایر مناطق دشت است.

و ۴/۶۴ میلی‌متر در روز است (جدول ۳). برای مقایسه بین داده‌های به‌دست آمده از الگوریتم سبال و نرم‌افزار AGWAT از شاخص میانگین مربعات خطا استفاده شد. میزان این شاخص ۱/۲۸ میلی‌متر در روز محاسبه شد که نشان‌دهنده مطابقت خوب داده‌ها با یکدیگر است. با تطابق این نتایج با موقعیت مزارع در شکل (۱) مشاهده می‌گردد که هرچه به سمت شمال منطقه‌ی مورد نظر پیش می‌رویم

جدول ۳- میانگین مؤلفه‌های مورد مطالعه در مزارع مورد بررسی (تغییرات مکانی)

Farm	ET (mm/day)	NDVI	Albedo	LST (°k)	LST (°C)
A	۵/۶۱	۰/۴۷	۰/۱۷	۳۱۲/۸۹	۳۹/۷۴
B	۵/۳۱	۰/۵۰	۰/۱۷	۳۱۱/۲۳	۳۸/۰۸
C	۴/۷۴	۰/۵۲	۰/۱۷	۳۱۰/۹۷	۳۷/۸۲
D	۴/۶۴	۰/۵۳	۰/۱۸	۳۱۰/۱۵	۳۷/۰۰

جدول ۴- میانگین مؤلفه‌های مورد مطالعه در تاریخ‌های مورد بررسی (تغییرات زمانی)، سال ۲۰۱۴ میلادی

Julian day	ET (mm/day)	NDVI	Albedo	LST (°k)	LST (°C)
۱۲۳	۳/۳۵	۰/۱۶	۰/۱۵	۳۰۸/۷۴	۳۵/۵۹
۱۷۱	۸/۵۳	۰/۲۶	۰/۱۹	۳۱۶/۴۲	۴۳/۲۷
۲۰۳	۵/۴۱	۰/۶۵	۰/۱۶	۳۱۱/۷۲	۳۸/۵۷
۲۱۹	۴/۹۰	۰/۷۰	۰/۱۷	۳۱۲/۲۳	۳۹/۰۸
۲۳۵	۴/۶۰	۰/۶۳	۰/۱۷	۳۱۰/۰۸	۳۶/۹۳
۲۵۱	۳/۹۲	۰/۶۴	۰/۱۹	۳۰۸/۶۸	۳۵/۵۳

جدول ۵- مقایسه‌ی تبخیر و تعرق به‌دست آمده براساس الگوریتم سبال و نرم‌افزار AGWAT

Julian day	ET (mm/day)		Difference from AGWAT (mm/day)
	AGWAT	SEBAL	
۱۲۳	۴/۱۰	۳/۳۵	۰/۷۵
۱۷۱	۶/۱۵	۴/۶۴	۱/۵۱
۲۰۳	۸/۱۰	۸/۳۸	۰/۲۸
۲۱۹	۷/۱۰	۵/۴۱	۱/۶۹
۲۳۵	۵/۶۷	۴/۶۰	۱/۰۷
۲۵۱	۵/۰۰	۳/۷۱	۱/۲۹

می‌شود و با گذر از فصل گرم و رفتن به سمت پاییز از میزان دمای سطحی کاسته می‌شود. جدول (۴) میزان دمای حداکثر، حداقل و میانگین دمای سطحی را در این ۴ مزرعه‌ی ذرت در تاریخ‌های مختلف به درجه‌ی کلون نشان

شکل (۲-ب) تغییرات دمای سطحی را نسبت به زمان برای مزارع در منطقه ماهیدشت نشان می‌دهد. روند تغییرات دمای سطحی با دمای هوا منطبق است به‌گونه‌ای که با نزدیک شدن به انقلاب تابستانی به تدریج بر آن افزوده

طول دوره رشد بین ۰/۱۷ تا ۰/۱۸ برآورد گردید که در محدوده ۰/۱۴ تا ۰/۲۲ برای گیاه ذرت است (جدول ۱).

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه به علت وجود نداشتن داده‌های زمینی مقایسه‌ای بین تغییرات زمانی و مکانی مؤلفه‌های میانی و نهایی الگوریتم سبال و منابع در دسترس صورت گرفت. نتایج بیانگر روند افزایشی دمای سطحی، تبخیر و تعرق و شاخص گیاهی NDVI تا اواسط دوره‌ی رشد و سپس کاهش این مؤلفه‌ها است. در هر چهار مزرعه مشاهده گردید که تبخیر و تعرق از لحاظ زمانی در دوره میانی رشد و در فصل گرم سال (اوایل تابستان) بیشترین مقدار را دارد و در دوره ابتدایی رشد (فصل بهار) و در دوره پایانی رشد (اواخر فصل تابستان)، دارای کمترین مقدار است. حداکثر تبخیر و تعرق در مزارع در روز ۱۷۱ به میزان ۸/۵۳ میلی‌متر در روز برآورد گردید که در مقایسه با اعداد تخمینی از نرم‌افزار بهینه‌سازی الگوی مصرف آب کشاورزی AGWAT در یک میزان قرار دارند. تغییرات مکانی مؤلفه‌های مورد مطالعه نیز قابل توجه بود؛ به نحوی که مزارع A و B که نزدیک به مناطق صنعتی و شهری بودند، میزان دمای سطحی و تبخیر و تعرق بیشتر و NDVI کمتری نسبت به مزارع C و D داشتند. تغییرات مکانی آلبیدو نسبت به سایر مؤلفه‌ها اندک برآورد گردید. با مقایسه‌ی نتایج میانی و پایانی این الگوریتم با منابع در دسترس، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که الگوریتم سبال حاصل از تصاویر لندست ۸ را می‌توان در منطقه‌ی مورد مطالعه به کار برد. پیشنهاد می‌شود برای ارزیابی دقیق‌تر نتایج از الگوریتم سبال، این نتایج با داده‌های زمینی حاصل از لایسیمتر مقایسه شوند. علی‌رغم این که در طول دوره‌ی رشد هر ۱۶ روز یک‌بار تصویربرداری می‌شد، برخی از تصاویر به دلیل ابرناکی و یا کیفیت نامطلوب تصویر به سبب وجود ریزگردها قابل استفاده نبودند و فقط ۶ تصویر قابل استفاده بود. به دلیل این محدودیت فاصله بین تصاویر یکسان نبوده است و میانگین‌گیری‌های صورت گرفته نمی‌تواند بیانگر میانگین واقعی این مؤلفه‌ها در دوره‌ی رشد باشد.

می‌دهد. گفتنی است دمای سطحی محاسبه‌شده در این روش در زمان گذر ماهواره است (ساعت ۷:۲۷ به وقت گرینویچ و ۱۰:۴۵ به وقت محلی). بیشینه‌ی دما با مقدار ۳۱۷/۱۶ درجه‌ی کلون در مزرعه A و در تاریخ ۱۷۱ در اوایل تیر ماه اتفاق افتاده و کمترین دما با میزان ۳۰۶/۵۹ درجه کلون در مزرعه D و در تاریخ ۲۵۱ مربوط به اواخر تابستان است. همان‌طور که مشاهده می‌شود دمای سطحی در گذر زمان روند افزایشی و کاهش منطقی در پیش دارد. با توجه به نمودار دمای سطحی (شکل ۲-پ) و جدول (۳) می‌توان نتیجه گرفت که با حرکت به سمت شمال دشت، دمای سطحی کاهش می‌یابد که علت آن قبلاً بیان شده است.

شکل (۲-پ) نمودار میزان تغییرات شاخص NDVI را نسبت به زمان در مزارع مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقدار این شاخص در ابتدای رشد اندک و تا روز ۱۷۱ شیب افزایش آن اندک است. این شاخص در مرحله‌ی توسعه با شیب زیادی به‌طور متوسط از ۰/۲۶ در روز ۱۷۱ به ۰/۶۵ در روز ۲۰۳ افزایش یافته است (جدول ۴). این شاخص پس از آن تا روز ۲۱۹ روند افزایشی با شیب کمتر را داشت و در اواخر دوره رشد با زرد شدن برگ‌ها میزان این شاخص روند نزولی نشان داد. تغییرات مکانی این شاخص برعکس تبخیر و تعرق و دمای سطحی بود. کمترین میزان این شاخص در مزارع A و B به ترتیب با میانگین ۰/۴۷ و ۰/۵۰ برآورد گردید در حالی که میانگین این شاخص در مزارع C و D که در مناطق شمالی‌تر واقع شده‌اند به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۵۳ محاسبه گردید. به نظر می‌رسد مزارع A و B به دلیل مجاورت با مناطق صنعتی و شهری از رشد کمتری نسبت به مزارع C و D برخوردار بوده است. شکل (۲-ت) نمودار تغییرات شاخص آلبیدو را نسبت به زمان در مزارع منتخب نشان می‌دهد. تغییرات این شاخص نسبت به سایر مؤلفه‌های مورد بررسی کمتر است. میانگین این شاخص برای تاریخ‌های مختلف بین ۰/۱۵ تا ۰/۱۹ است (جدول ۴). میزان این شاخص در ابتدای فصل رشد کمترین میزان را دارد و در تاریخ ۱۷۱ و ۲۵۱ بیشترین مقدار را دارد. با توجه به جدول (۳) مشاهده می‌شود که تغییرات مکانی شاخص آلبیدو اندک است. میانگین آلبیدو برای مزارع ذرت منتخب در

### منابع

- Ahmadi B., Ghorbani A., Safarrad T., Sobhani B. 2015. Evaluation of surface temperature in relation to land use/cover using remote sensing data. *Journal of Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 6(1), pp.61-77 (In Persian).
- Akbari M., Toomanian N., Droogres P., Bastiaanssen W.G.M., Gieske A. 2007. Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery. *Agricultural Water Management*, 88(1), pp.99-109.
- Alizadeh A. 2006. Design of irrigation systems. Astan Quds Razavi Publications (In Persian).
- Bastiaanssen W.G. 2005. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigation Gediz basin. *Journal of Hydrology*, 229 (1), pp. 87-100.
- Bastiaanssen W.G.M., Menenti M., Feddes R. A., Holtslag A. A. M. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212, pp.198-212.
- Bastiaanssen W.G.M., Molden D.J., Makin I.W. 2000. Remote sensing for irrigated agriculture: examples for research and possible applications. *Agricultural Water Management*, 46 (2), pp. 137-155.
- Bastiaanssen W.G.m., Van der Wal T., Visser T.N.M. 1996. Diagnosis of regional evaporation by remote sensing to support irrigation performance management. *Irrigation and Drainage Systems*, 10 (1), pp.1-23.
- Karatas B.S., Akkuzu E., Unal H.B., Asik S., Avci M. 2009. Using satellite remote sensing to assess irrigation performance in water user association in the lower Gediz basin, Turkey. *Agricultural Water Management*, 96(6), pp.982-990.
- Karimi A., Farhadi Bansouleh B., Hesadi H. 2012. Estimation of actual evapotranspiration on a regional scale using SEBAL algorithm and Landsat images. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(6), pp.353-364 (In Persian).
- Kheyrikhah Zarkesh M., Mahboubian A., Hesadi H. 2012. Comparison of Surface Albedo Estimated from Landsat and MODIS Image. *Journal of RS and GIS for Natural Resources Sciences*, 3(3), pp.49-59 (In Persian).
- Liang S. 2001. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: algorithms. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 76 (2), pp.213-238.
- Omidvar J., Noori S., Davary K., Sanaei Nejad H., 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(12), pp.11-22 (In Persian).
- Rajeshwari A., Mani N.D. 2014. Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(05), pp.122-126.
- Rozenstein O., Qin Z., Derimian Y., Karnieli A. 2014. Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, 14(4), pp.5768-5780.

- Seifi A., Mirlatifi S. M., Riahi H. 2011. Developing A Combined Model of Multiple Linear Regression-Principal Component and Factor Analysis (Mlr-Pca) For Estimation of Reference Evapotranspiration (Case Study: Kerman Station). *Journal of Water and Soil*, 24(6), pp. 1186-1196 (In Persian).
- Sobrino J. A., Jiménez-Muñoz J. C., Paolini L. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), pp.434-440.
- Song L., Liu S., Kustas W. P., Zhou J., Ma Y. 2015. Using the surface temperature-albedo space to separate regional soil and vegetation temperatures from ASTER data. *Remote Sensing*. 7(5), pp.5828-5848.
- Tasumi M., Allen R.G., Trezza R., 2008. At surface reflectance and albedo from satellite for operational Calculation of land surface energy balance . *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(2), pp.51-63.
- Weng Q., Lu D., Schubring J. 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89(4), pp.467-483. Yale University., 2013.
- Yale Guide to Landsat 8 Image Processing. Yaqubzadeh M., Boroumand Nasab S., Izadpanah Z., Seyed Kaboli H. 2015. Investigation of the trend of spatial and temporal changes of evapotranspiration by remote sensing in semi-arid regions. *Journal of Water Research in Agriculture*, 2, pp.221-234 (In Persian).