

بر آورد نیاز آبی و تبخیر تعرق واقعی با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای به منظور بهبود تحویل حجمی آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد، استان آذربایجان غربی)

امیر نورجو^{۱*}، فرید فیض اله پور^۲

*^۱ استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.

^۲ گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰

چکیده

با توجه به محدودیت کمی و کیفی آب، مدیریت و تحویل حجمی آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی امری مهم محسوب می‌شود. برای دستیابی به این هدف، الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای سنیتل ۲ و روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان برای سال زراعی ۹۸-۹۷ استخراج شد. با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه مهاباد و معادله پنمن مانیتث، حجم خالص آب مورد نیاز گیاهان غالب در محل نقاط تحویل حجمی محاسبه گردید. برای تعیین میزان تبخیر-تعرق واقعی، از تصویرهای ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم سبال استفاده شد و در نهایت نقشه‌های مکانی تبخیر-تعرق واقعی و نیاز خالص آبیاری برای شبکه استخراج گردید. بر اساس نتایج حاصل، ۶۴ درصد از زمین‌های کشت شده (۶۷۸۶ هکتار) شبکه مهاباد به صورت باغی و ۳۶ درصد از آن‌ها (۳۸۰۸ هکتار) به صورت زراعی به دست آمد. بدین ترتیب، نیاز خالص آبیاری (تبخیر و تعرق محاسباتی با کسر بارش موثر) برابر با ۷۱ میلیون مترمکعب و نیاز ناخالص آبیاری با لحاظ راندمان آبیاری ۴۴ درصد، برابر با ۱۶۱/۳۶ میلیون مترمکعب محاسبه شد. کل میزان تبخیر-تعرق حاصل از الگوریتم سبال برابر با ۷۹/۷۸ میلیون متر محاسبه گردید. بر اساس نقشه‌های کاربری اراضی، نیاز خالص آبیاری و تبخیر-تعرق واقعی، نحوه برداشت آب در شبکه بررسی و مشاهده شد که در زمین‌های بالادست شبکه و مجاور رودخانه مهاباد، نیاز آبی گیاهان برطرف شده است ولی مناطق پایین دست شبکه، به علت دسترسی نداشتن به آب کافی، دچار تنش آبیاری شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، چرخه فنولوژی گیاهی، سبال، تنش آبیاری، ماشین بردار پشتیبان

مقدمه

شدید با بخش‌های دیگر همچون صنعت بیابند. شناسایی و برآورد دقیق سطح زیرکشت محصولات مختلف، تعیین نیاز آبی و مصرف آب از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مدیریت صحیح شبکه‌های آبیاری و زهکشی است (Khodakarami & Soffianian, 2012). فناوری سنجنش از دور امکاناتی فراهم

کاهش منابع آبی و افزایش تقاضای آب در صنایع مختلف باعث شده است تا مصرف آب در بخش کشاورزی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد و کشاورزان، با توجه به نیاز عرضه و تقاضای محصولات کشاورزی، خود را در رقابتی

تهرانی و همکاران (Abbaszadeh Tehrani *et al.*, 2011) سطح زیرکشت گندم را با استفاده از تصاویرهای چند زمانه IRS-LISS III در استان قزوین تهیه و برای تفکیک محصول از تلفیق طبقه بندی نظارت شده و تصحیح بصری استفاده کردند. ریاحی و همکاران (Riahi *et al.*, 2019) سطح زیرکشت محصولات زراعی در ناحیه لنجان را با استفاده از تصاویرهای چند زمانه سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ و به کمک روش طبقه بندی حداکثر احتمال و شاخص NDVI محصولات زراعی در دوران متفاوت رشد و با توجه به تقویم زراعی نقشه الگوی کشت موجود در منطقه را تعیین کردند. تحقیقات عاشورلو و همکاران (Ashourloo *et al.*, 2012) با هدف برآورد سطح زیرکشت گندم در دو شهرستان همدان و بهار با استفاده از تصاویرهای ماهواره ای SPOT در دو دوره زمانی رشد گیاه شامل اوج سبزیگی و رسیدن، نشان داد که با استخراج تقویم زراعی محصولات مختلف کشاورزی، نمونه برداری، انتخاب ماهواره و برنامه ریزی منظم برای تصویربرداری، امکان تعیین سطح زیر کشت گندم با دقت مناسب فراهم می شود. میرزایی موسیوند و همکاران (Mirzaei Mossivand *et al.*, 2018) برای بررسی تغییرات تبدیل کاربری زمین ها در فاصله های زمانی ۱۵ و ۶ ساله در سطح شهرستان خلخال از تصاویرهای ماهواره لندست و IRS استفاده کردند.

در کنار روش های تعیین سطح زیرکشت محصولات، برآورد تبخیر- تعرق در مواردی از قبیل برنامه ریزی آبیاری، توازن هیدرولوژیکی، محاسبات بیلان آب، طراحی و مدیریت سامانه های آبیاری و پیش بینی میزان عملکرد محصول ضروری است. سهیلی فر و همکاران (Soheylifar *et al.*, 2012) در تحقیقاتی در کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان در استان خوزستان مشاهده کردند که تبخیر- تعرق واقعی روزانه برآورد شده با روش سبال و تصاویرهای سنجنده مادیس، در روزهای گذر ماهواره همبستگی بسیار

می آورد که می توان از آن ها برای به دست آوردن لایه های اطلاعاتی مختلف با صرف کم ترین هزینه در سریع ترین زمان ممکن استفاده کرد. فراهم ساختن دید وسیع و یکپارچه از هر منطقه، تکرارپذیری، در دسترس بودن و دقت بالای اطلاعات حاصل و صرفه جویی در زمان از جمله ویژگی هایی است که سنجش از دور را نسبت به دیگر روش ها برتری می بخشد (Schultz & Engman, 2012). بر همین اساس، محققان زیادی برای بررسی ویژگی های پوشش گیاهی از داده های سنجش از دور استفاده و این فناوری را مناسب این گونه مطالعات ارزیابی می کنند (Carneiro *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2017).

برآورد سطح زیر کشت محصولات کشاورزی معمولاً از سه طریق است: تخمین کارشناسی، برآورد با فهرست برداری زمین های نمونه و تعمیم به منطقه وسیع تر، و استفاده از فناوری های جدید مانند سنجش از دور. بررسی های مختلف نشان داده است که استفاده از روش های تخمین کارشناسی و فهرست برداری به دلیل مشکلاتی مانند زمان بر بودن، هزینه بالا و دقت پایین به تنهایی نمی تواند کارآیی لازم را در تصمیم گیری های مهم کشور داشته باشد (Riahi *et al.*, 2019). از این رو استفاده از روش های سنجش از دور در ترکیب با روش های سنتی به میزان قابل توجهی دقت نقشه های کاربری اراضی را افزایش خواهد داد.

اکبری (Akbari, 2013) سطح و تراکم کشت را در شبکه های آبیاری حوضه زاینده رود با استفاده از یک سری زمانی از اطلاعات ماهواره NOAA/AVHRR تعیین کرد. با توجه به دقت مکانی پایین این سری زمانی، از تصاویرهای ماهواره لندست ۷ واقع در سری زمانی مذکور، دقت داده های موجود افزایش داده شد و با پیش پردازش داده های سری زمانی در دوره رشد، ضریب بازتاب پوشش سطح زمین در باندهای مختلف، شاخص های گیاهی NDVI و SAVI تعیین و سطح زیرکشت واقعی محاسبه شد. عباسزاده

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲، تعیین نیاز آبیاری در نقاط تحویل حجمی شبکه، تعیین تبخیر-تعرق واقعی الگوی کشت موجود با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، و بررسی وضعیت شبکه از لحاظ توزیع و مدیریت آب.

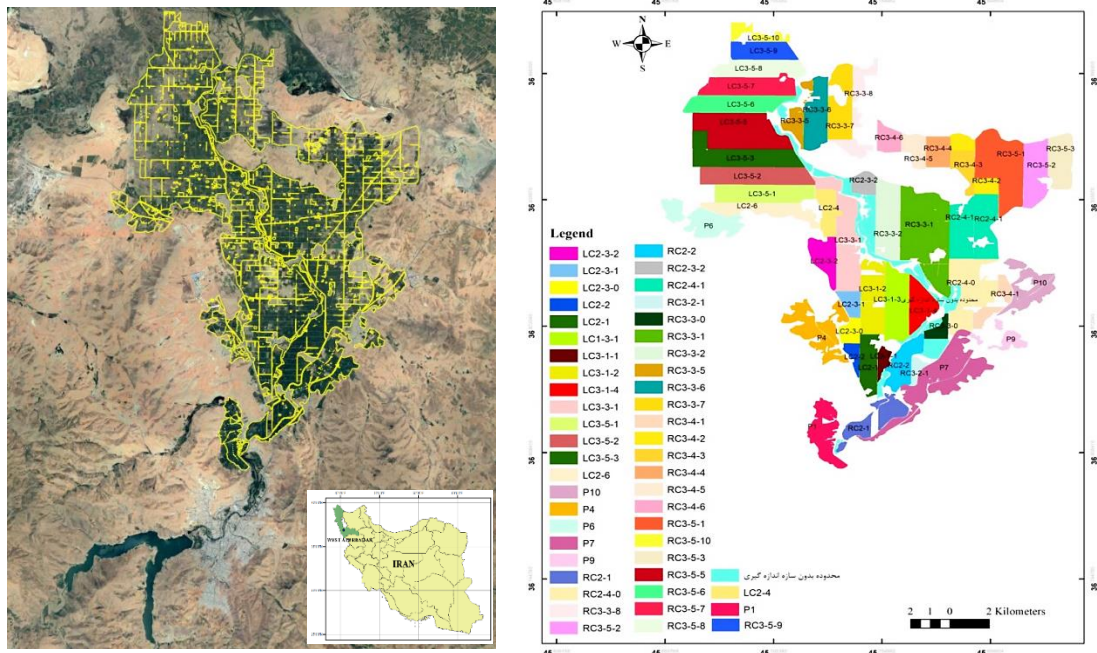
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد در استان آذربایجان غربی و در شمال شهرستان مهاباد واقع شده است (شکل ۱). دشت مهاباد به دلیل دارا بودن شبکه آبیاری و زهکشی مدرن، سد مهاباد و زمین‌های مستعد، از کشاورزی نسبتاً پررونقی دارد. منبع اصلی تأمین آب در شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد، سد مخزنی مهاباد با حجم مفید ۱۹۰ میلیون مترمکعب و حجم مرده ۴۰ میلیون مترمکعب است که روی رودخانه مهاباد بسته شده است. شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد شامل دو رشته کانال اصلی، ۱۱ رشته کانال درجه ۲ و ۶۹ رشته زهکش اصلی و درجه ۲ است. مساحت اراضی ناخالص و خالص تحت پوشش شبکه به ترتیب برابر با ۱۳۵۷۱ و ۱۲۲۶۸ هکتار است. علاوه بر این، حجم آب تحویلی در سال آبی ۹۷-۹۸ برای زمین‌های تحت پوشش کانال ساحل چپ و راست به ترتیب برابر با ۳۹/۸۰ و ۴۴ میلیون مترمکعب و در مجموع ۸۳/۸۰ میلیون متر مکعب برای کل شبکه بوده است. موقعیت شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد و اراضی تحت پوشش نقاط تحویل حجمی بصورت رنگی در شکل (۱) مشخص شده است.

بالایی با تبخیر-تعرق محاسبه شده از طریق معادله پنمن مانیتث در همان روز دارد. تاسومی و همکاران (Tasumi *et al.*, 2003) نتایج تبخیر-تعرق حاصل از الگوریتم سبال را با نتایج لایسیمتری در دو منطقه در آیداهو مقایسه کردند و نشان دادند که برآوردهای تبخیر-تعرق حاصل از روش سبال با نتایج اندازه‌گیری شده با لایسیمتر برای محصولات کشاورزی در اقلیم‌های نیمه خشک به خوبی منطبق است. آلن و همکاران (Allen *et al.*, 2003) در تحقیقی در ایالات متحده در دره رودخانه بیر با استفاده از الگوریتم سبال، به مقایسه نتایج با داده‌های لایسیمتری پرداختند و نشان دادند که مقادیر تبخیر و تعرق ماهانه ۱۶ درصد و مقادیر فصلی ۴/۳ درصد با داده‌های لایسیمتر تفاوت دارد. این محققان با استفاده از مقادیر تبخیر و تعرق واقعی ماهانه و مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) محاسبه شده توسط داده‌های زمینی، ضریب گیاهی (K_c) را در سراسر فصل رشد محاسبه کردند.

مطالعات در منطقه مطالعاتی، نشان می‌دهد تاکنون تحقیقی جامع برای بررسی هم‌زمان تبخیر-تعرق با در نظر گرفتن سطح زیرکشت محصولات مختلف و نیاز آبیاری آن صورت نگرفته است. علاوه بر این، با توجه به بحران دریاچه ارومیه و افزایش نیاز آبی ناشی از توسعه و تغییر الگوی کشت، بازنگری در تحویل حجمی آب بر اساس شرایط موجود الگوی کشت و نیاز واقعی محصولات در شبکه‌های آبیاری و زهکشی استان آذربایجان غربی بیش از پیش احساس می‌شود. از این رو مهم‌ترین هدف‌های این پژوهش عبارت‌اند از: تعیین نقشه الگوی کشت موجود در منطقه با



شکل ۱- نقاط تحویل حجمی آب شبکه مهاباد و زمین های زیرمجموعه آن ها

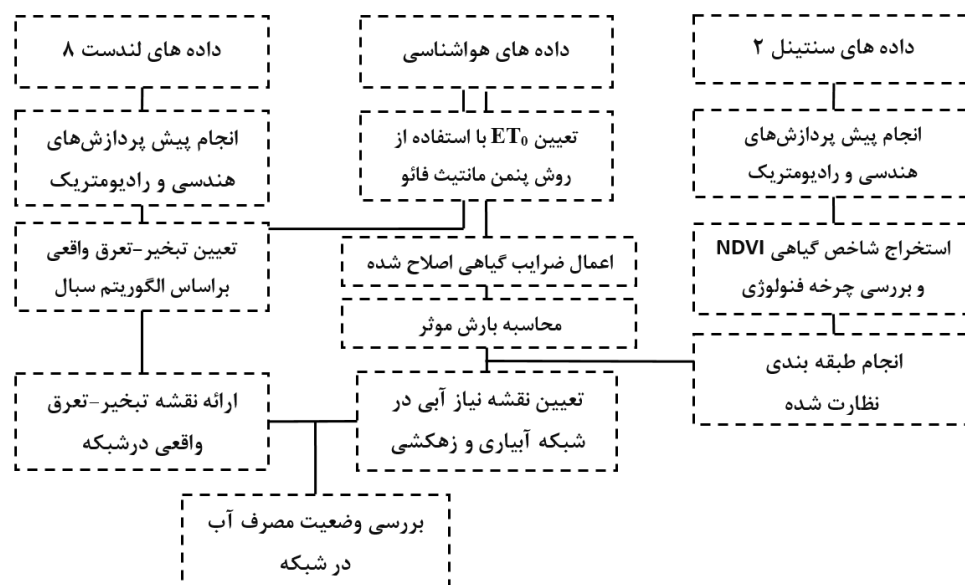
Fig. 1- Volumetric water delivery points of the Mahabad network and the lands under their collection

ارث، ایجاد تصویرها با ترکیب های رنگی کاذب و بررسی الگوی رشد انتخاب شدند. پنجاه درصد از نمونه ها به عنوان نمونه های آموزشی برای طبقه بندی نظارت شده و ۵۰ درصد از نمونه ها نیز برای عملیات صحت سنجی در نظر گرفته شد. با استفاده از الگوریتم طبقه بندی SVM نقشه الگوی کشت موجود در شبکه آبیاری و زهکشی به دست آمد. پس از تولید نقشه الگوی کشت موجود، نیاز خالص آبیاری کلاس های طبقه بندی شده بر اساس میزان تبخیر- تعرق محاسبه شده با روش پنمن مانیت، اعمال ضرایب گیاهی و اعمال میزان بارش مؤثر به روش ASCE (Patwardhan *et al.*, 1990) تعیین گردید. سرانجام با استفاده از الگوریتم بیلان انرژی سبال، میزان تبخیر-تعرق واقعی محدوده مطالعاتی تعیین و با نقشه نیاز آبیاری مقایسه شد. لازم است یادآوری شود در عملیات پیش پردازش و پردازش تصاویر ماهواره ای از نرم افزار ENVI 5.3 استفاده شد.

روش تحقیق

روند کلی تحقیق در شکل (۲) ارائه شده است. برای تعیین الگوی کشت موجود در شبکه آبیاری و زهکشی دشت مهاباد، از تصویرهای ماهواره ای سنتینل ۲ مربوط به سال زراعی ۹۷-۹۸ استفاده شد. تصویرها از لحاظ پوشش منطقه مورد مطالعه و میزان ابرناکی مورد بررسی قرار گرفت و پس از انتخاب تصویرهای مناسب (۲۸ تصویر)، عملیات پیش پردازش اعم از تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک روی آن ها اعمال گردید. شاخص NDVI مربوط به تصویرها که بیانگر تراکم پوشش گیاهی است محاسبه شد. بعد از تصمیم گیری در خصوص تعداد و نوع کلاس های طبقه بندی، چرخه فنولوژی و فعالیت گیاهان برای هر یک از کلاس ها بررسی و الگوی رشد آن ها طی فصل زراعی تعیین گردید. نمونه های آموزشی و صحت سنجی با استفاده از برداشت های زمینی، نقشه های موجود، تصویرهای گوگل

برآورد نیاز آبی و تبخیر تعرق واقعی با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای به منظور ...



شکل ۲- روند تحقیق

Fig. 2- Research process

تصویرها با ترکیب‌های رنگی کاذب و بررسی الگوی رشد گیاهان به منظور طبقه‌بندی نظارت شده انتخاب و بخشی از آن‌ها نیز برای صحت‌سنجی طبقه‌بندی در نظر گرفته شد. ماشین‌بردار پشتیبان روش کلاسه‌بندی الگو است که اولین بار در سال ۱۹۶۵ معرفی شد. این روش در واقع طبقه‌بندی کننده‌ای باینری است که در مورد دو کلاس مشخص و با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی در مرحله یادگیری، سعی در ایجاد فراصفحه‌ای دارد که از هر دو کلاس بیشترین فاصله را داشته باشد. از مهم‌ترین جنبه‌های خلاصه‌سازی این الگوریتم این است که برای تعیین مرز تصمیم‌گیری، از همه نقاط آموزشی استفاده نمی‌شود و فقط تعدادی از نمونه‌های آموزشی برای تعریف این مرز به کار می‌روند که کمترین فاصله را از فراصفحه دارند و بردارهای پشتیبان نامیده می‌شوند (Mountrakis & Ogole, 2011). این الگوریتم بر مبنای تکنیک SRM مسائل را حل می‌کند. در این تکنیک، هدف این است که با ثابت نگاه داشتن میزان ریسک خطا و بدون هیچ فرضی در زمینه توزیع احتمال داده‌ها، فاصله بین کلاس‌ها در فضای ویژگی بیشینه شود. این در حالی است که الگوریتم‌های طبقه‌بندی پارامتریک،

- تعیین شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI)

NDVI شاخصی است که به میزان وضعیت پوشش گیاهی حساسیت دارد و در واقع نمادی از شدت و ضعف پوشش گیاهی است. مقادیر عددی شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی در تصویرها بین -۱ و +۱ هستند، به‌طوریکه -۱ متعلق به آب‌های خیلی عمیق و +۱ متعلق به پوشش گیاهی کاملاً متراکم است (رابطه ۱).

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

NIR و R به ترتیب بازتابندگی در باندهای فرورسرخ نزدیک و فرورسرخ است. در این تحقیق از شاخص NDVI برای تعیین چرخه فنولوژی گیاهی در فصل رشد استفاده شد.

- الگوریتم طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان (SVM)

طبقه‌بندی طیفی تصویرها شامل مراحل انتخاب نمونه‌های تعلیمی، انتخاب بهترین مجموعه باندی و اجرای طبقه‌بندی است که در این پژوهش از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان استفاده شد. نمونه‌های آموزشی با استفاده از نقشه‌های موجود، تصویرهای گوگل ارث، ایجاد

مهم ترین توابع هسته ای (کرنل) که در این الگوریتم صدق می کنند، عبارت اند از:

$$K(X_i, X_j) = X_i \cdot X_j$$

$$k(X, y) = (X \cdot y + 1)^p$$

$$k(X, y) = e^{-\frac{\|x-y\|^2}{2\sigma^2}}$$

$$k(X, y) = \tan h(kX \cdot y - \delta)$$

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii}$$

$$Kappa = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \times 100$$

همچون حداکثر احتمال، معمولاً توزیع احتمال خاصی را برای داده فرض می کنند (Torahi et al., 2017). برخی از

(۲) کرنل خطی

(۳) کرنل جمله ای

(۴) کرنل پایه شعاعی

(۵) کرنل حلقوی

(۶)

(۷)

در این رابطه ها: OA دقت کلی، N تعداد پیکسل های آزمایشی، $\sum P_{ii}$ = جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا، P_o درستی مشاهده شده، و P_c توافق مورد انتظار است.

- تبخیر و تعرق گیاه مرجع

بیش از یک دهه است که روش پنمن مانیتیت فائو ارائه شده در نشریه ۵۶ به عنوان روش استاندارد برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع پیشنهاد شده است. رابطه (۸) نحوه محاسبه تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش پنمن - مانیتیت فائو را نشان می دهد.

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{890}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (8)$$

Δ , KPa، شیب منحنی فشار بخار بر حسب $^{\circ}C^{-1}$ KPa، و e_s و e_a کمبود فشار بخار اشباع بر حسب KPa است. در این مطالعه، از داده های هواشناسی و اقلیمی ایستگاه سینوپتیک مهاباد برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در سال تحقیق استفاده شد. برخی از داده های هواشناسی از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۸ در شکل (۳) ارائه شده است.

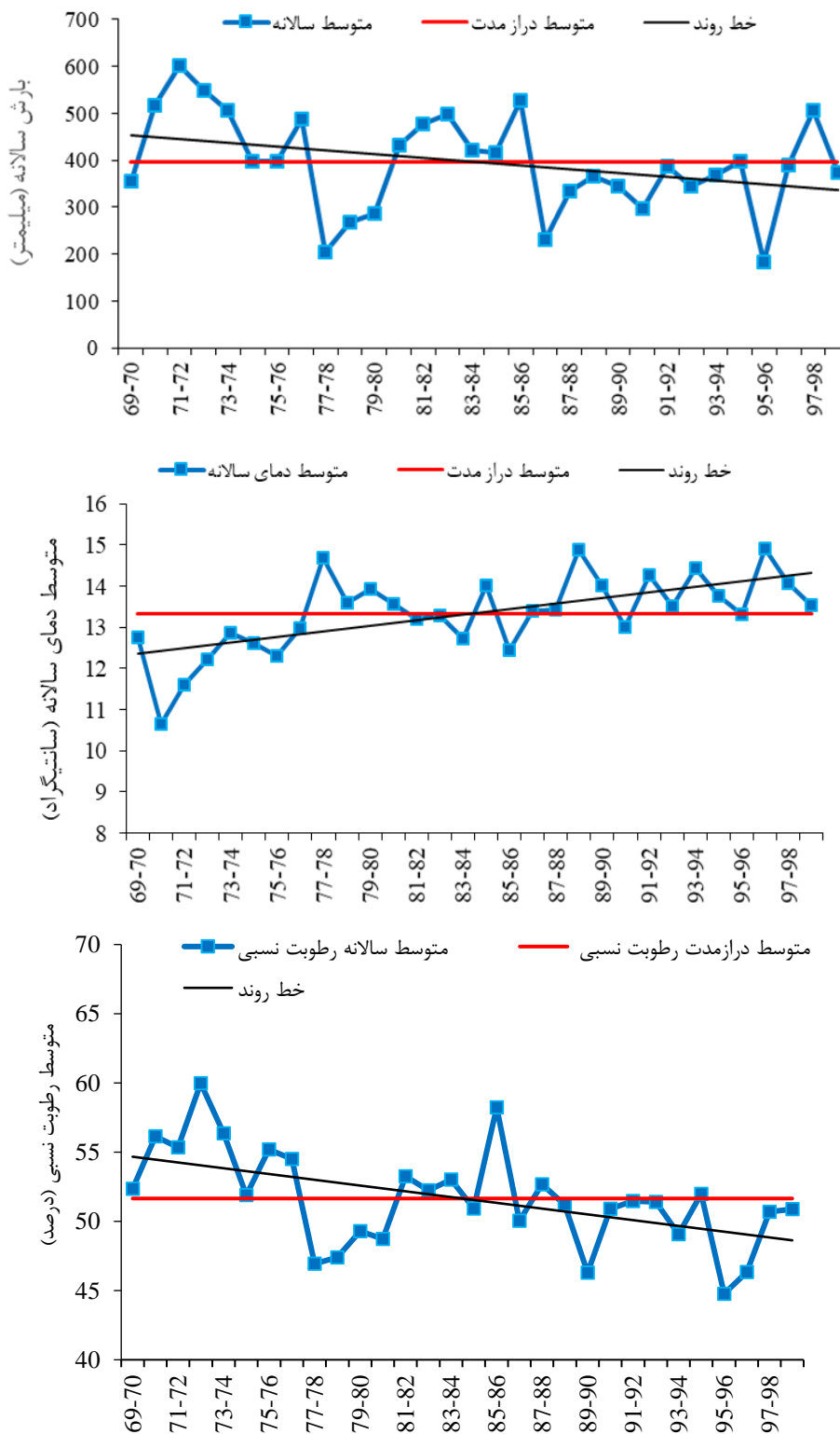
میزان دقت الگوریتم ماشین بردار پشتیبان تحت تأثیر نوع کرنل به کار رفته قرار دارد؛ این نکته که برای طبقه بندی مجموعه داده خاص کدام کرنل بهترین نتیجه را می دهد به وضوح مشخص نیست (Hsu et al., 2003). در این تحقیق پس از بررسی ها و مقایسه نتایج صحت سنجی، از کرنل جمله ای استفاده شده است.

- ارزیابی دقت طبقه بندی

برآورد دقت برای درک نتایج به دست آمده و به کارگیری نتایج برای تصمیم گیری با اهمیت است. معمول ترین عامل های برآورد دقت شامل دقت کل (OA) و ضریب کاپا (Kappa) هستند (Hsu et al., 2003).

که در آن، ET_0 تبخیر-تعرق مرجع بر حسب mm day^{-1} ، G شار گرمای خاک بر حسب $MJ m^{-2} day^{-1}$ ، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری بر حسب $m s^{-1}$ ، e_s فشار بخار اشباع بر حسب KPa، γ ضریب رطوبتی بر حسب $^{\circ}C^{-1}$ KPa، R_n تابش خالص بر حسب $MJ m^{-2} day^{-1}$ ، T میانگین دمای هوا بر حسب K، e_a فشار بخار واقعی بر حسب

برآورد نیاز آبی و تبخیر تعرق واقعی با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای به منظور ...



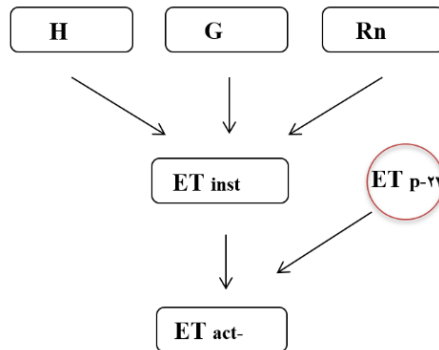
شکل ۳- روند تغییرات برخی از داده‌های هواشناسی در ایستگاه سینوپتیک مهاباد

Fig. 3- The trend of changes in some meteorological data at Mahabad synoptic station

روزانه و نسبت تبخیر- تعرق واقعی لحظه ای به مقدار پتانسیل آن برآورد می شود. الگوریتم نمایش داده شده در شکل (۴) داده های مورد نیاز و روش محاسبه تبخیر- تعرق واقعی روزانه را نشان می دهد (Allen et al., 2002).

- الگوریتم سبال

تبخیر- تعرق واقعی با به کارگیری الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین و استفاده از تبخیر-تعرق پتانسیل



شکل ۴- الگوریتم محاسبه تبخیر- تعرق با روش بیلان انرژی سبال

Fig. 4- Algorithm for calculation of evaporation-transpiration with Sabal's energy balance method

زمین، G جریان گرمایی زمین، و H جریان گرمایی محسوس است.

تشنش خالص در سطح زمین (R_n): اصلی ترین منبع انرژی برای تبخیر از سطح آب، انرژی تابشی خورشید است. این مقدار، نتیجه بیلان تشنشات ورودی و خروجی در سطح زمین است که بر اساس رابطه (۱۱) محاسبه گردید. (Allen et al., 2002).

نسبت تبخیر-تعرق واقعی لحظه ای (Et_{inst}) با استفاده از میزان تبخیر-تعرق واقعی و مقدار پتانسیل آن در زمان تصویربرداری از رابطه زیر محاسبه گردید (Allen et al., 2002):

$$Et_{inst} = \frac{\lambda E}{Rn - G} \quad (9)$$

$$\lambda ET = Rn - G - H \quad (10)$$

که در آن λET گرمای نهان تبخیر-تعرق (انرژی مورد استفاده برای تبخیر و تعرق)، Rn تشنش خالص در سطح (۱۱)

$$Rn = (1 - \alpha) RS \downarrow - RL \uparrow + RL \downarrow - (1 - \epsilon) RL \downarrow$$

حرارتی در خاک، بر اثر گرادیان حرارتی باعث گرم شدن لایه پایینی خاک می شود (رابطه ۱۲). این مقدار با توجه به میزان پوشش گیاهی تفاوت می کند زیرا وجود پوشش گیاهی مانع رسیدن نور به سطح زمین می شود (Bastiaanssen et al., 1998).

که در آن: α آلبیدوی سطحی، ϵ گسیلمندی سطحی، $RS \downarrow$ تابش ورودی طول موج کوتاه، $RL \uparrow$ تابش خروجی طول موج بلند، و $RL \downarrow$ تابش ورودی طول موج بلند است. **شار گرمایی خاک (G):** در طول روز، بخشی از انرژی رسیده به سطح زمین باعث گرم شدن خاک و جریان

$$G = R_n \cdot \left\{ \frac{(T_s - 273)}{\alpha_s} \cdot [0.0032 \cdot (c_1 \cdot \alpha_s) + 0.0062 \cdot (c_1 \cdot \alpha_s)^2] \cdot (1 - 0.978 \cdot NDVI^4) \right\} \quad (12)$$

برآورد نیاز آبی و تبخیر تعرق واقعی با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای به منظور ...

در رابطه بالا : Et_{act-24} تبخیر- تعرق واقعی روزانه
(mm/day)، Et_{inst} نسبت تبخیر- تعرق واقعی لحظه‌ای، و
 Et_{p-24} تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه (mm/day) است.

نتایج و بحث

- تعیین الگو و مساحت زیر کشت

باتوجه به هدف این مطالعه درخصوص تهیه نقشه الگوی کشت موجود، تصویرهای ماهواره سنتینل در بازه زمانی مهر ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۸ تهیه شد و مجموعه شاخص‌های NDVI برای منطقه موردنظر به دست آمد. پس از آن، تجزیه و تحلیل‌های لازم برای تعیین الگوی تغییرات شاخص NDVI محصولات عمده (باغی-گندم-یونجه-چغندرقد-ذرت) بر اساس مراحل فنولوژی رشد و مشخص شدن زمان کاشت، اوج سبزی‌نگی و برداشت انجام پذیرفت. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، باغ‌ها در بهار و تابستان در اوج سبزی‌نگی هستند و مقدار NDVI آن‌ها در فصل پاییز و زمستان به دلیل ریزش برگ‌ها کاهش پیدا کرده است (شکل ۵-ا). باید توجه داشت که یونجه نیز طی فصول بهار و تابستان در اوج سبزی‌نگی است و هر ۳۰ تا ۴۰ روز یک بار برداشت می‌شود و پس از رشد مجدد به اوج سبزی‌نگی خود می‌رسد (شکل ۵-د). در این منطقه، گندم از آبان ماه کشت و در اوایل تیر ماه برداشت می‌شود و در اردیبهشت ماه در اوج سبزی‌نگی و بازتاب است. چغندرقد و ذرت در این زمان در حال گذراندن مراحل اولیه رشد هستند و از نظر بازتاب تصویربرداری، بازتاب خاک غلبه دارد و مانند گندم و جو به صورت سبز یکنواخت دیده نمی‌شوند. چغندرقد و ذرت، که زمان کاشت آن‌ها در اوایل بهار است، طی ماه‌های تیر تا شهریور به حداکثر رشد و مقدار NDVI می‌رسند ولی ذرت زودتر از چغندرقد برداشت می‌شود و بدین ترتیب از هم قابل تفکیک‌اند. لازم

که در آن Rn تابش خالص خورشیدی ($Mj m^{-2} day^{-1}$)، Ts دمای سطح زمین (کلوین)، α ضریب آلبیدو در سطح زمین (بدون بعد)، NDVI شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (بدون بعد)، و $C1$ فاکتور تبدیل مقادیر لحظه‌ای آلبیدو به میانگین روزانه است.

شار حرارتی محسوس (H): شار گرمای محسوس

بخشی از تابش خالص خورشیدی است که صرف گرم کردن هوا می‌شود. انتقال حرارت از سطح به اتمسفر، روندی آئروپدینامیک است. روش سیال برای برآورد شار گرمای محسوس از دو پیکسل شاخص برای مشخص کردن شرایط مرزی در معادله بیلان انرژی استفاده می‌کند. این دو پیکسل شاخص پیکسل‌های سرد و گرم نامیده می‌شوند و در منطقه مورد مطالعه باید انتخاب گردند. بدین ترتیب، پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی کامل و کاملاً آبیاری شده انتخاب شد که در آن دمای سطحی و دمای هوای نزدیک به سطح برابر فرض می‌شوند و پیکسل گرم از زمین‌های بدون پوشش و خشک انتخاب گردید. رابطه کلی برای محاسبه شار گرمای محسوس به صورت زیر است.

$$H = \frac{\rho_{air} \cdot C_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (13)$$

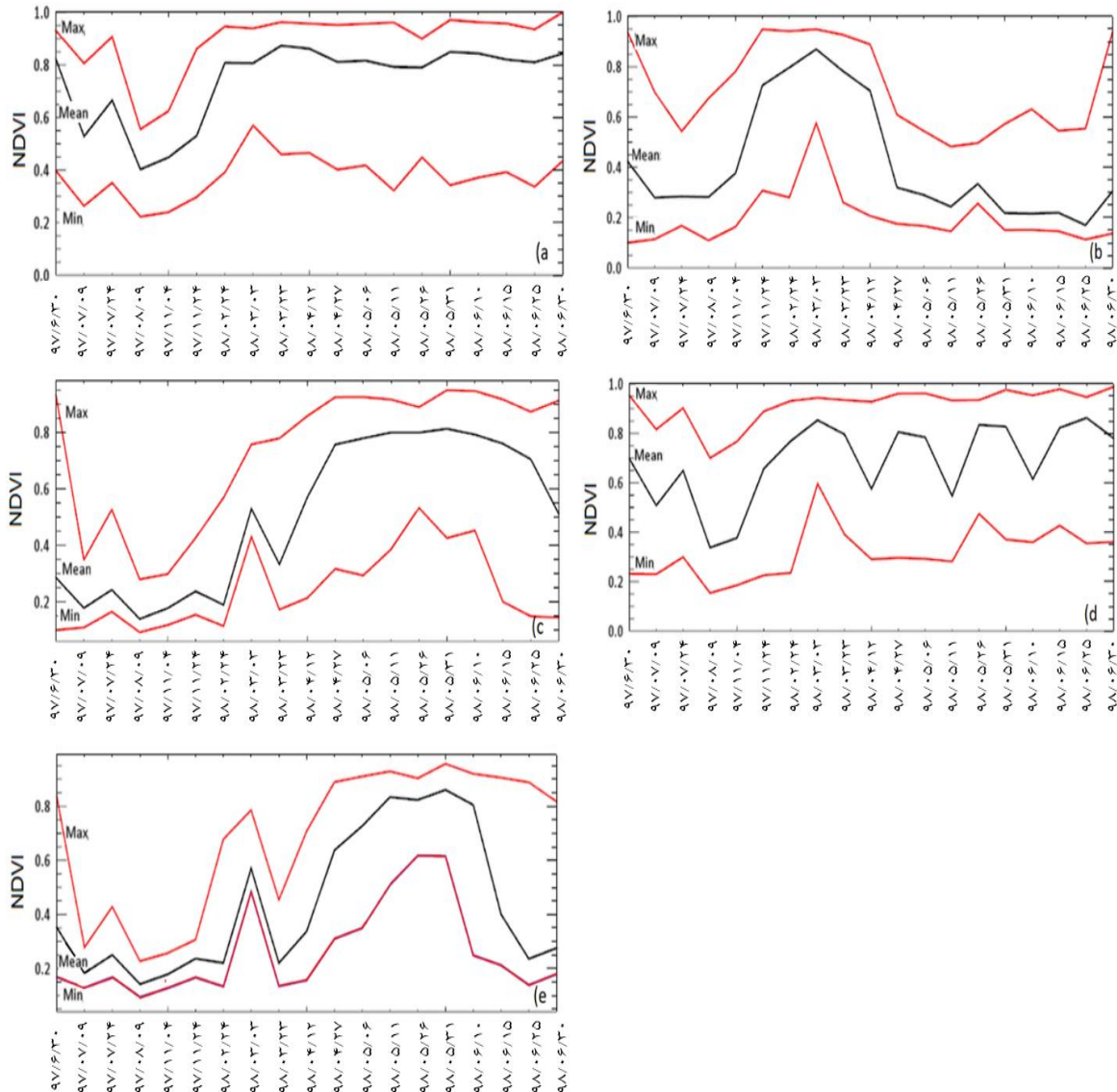
مقادیر ρ_{air} و C_p مقادیری ثابت هستند. اما dT اختلاف بین دمای هوا و دمای آئروپدینامیک (بر حسب کلوین) و r_{ah} مقاومت آئروپدینامیکی برای انتقال گرما (s/m) به محاسبات پیچیده‌ای نیاز دارند (Bastiaanssen *et al.*, 1998).

پس از محاسبه تمام بیلان‌های انرژی، در نهایت تبخیر- تعرق واقعی روزانه برحسب میلی‌متر بر روز با استفاده از الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین از تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه و نسبت تبخیر- تعرق لحظه‌ای به شرح زیر محاسبه شد (Allen *et al.*, 2002):

$$ET_{act-24} = ET_{inst} \times ET_{p-24} \quad (14)$$

تراکم کاشت، تنش های محیطی، مدیریت زراعی و شادابی گیاه است.

است گفته شود تغییرات زیاد NDVI در یک تاریخ ثابت (شکل ۵) به دلیل شرایط متفاوت پوشش های گیاهی از نظر



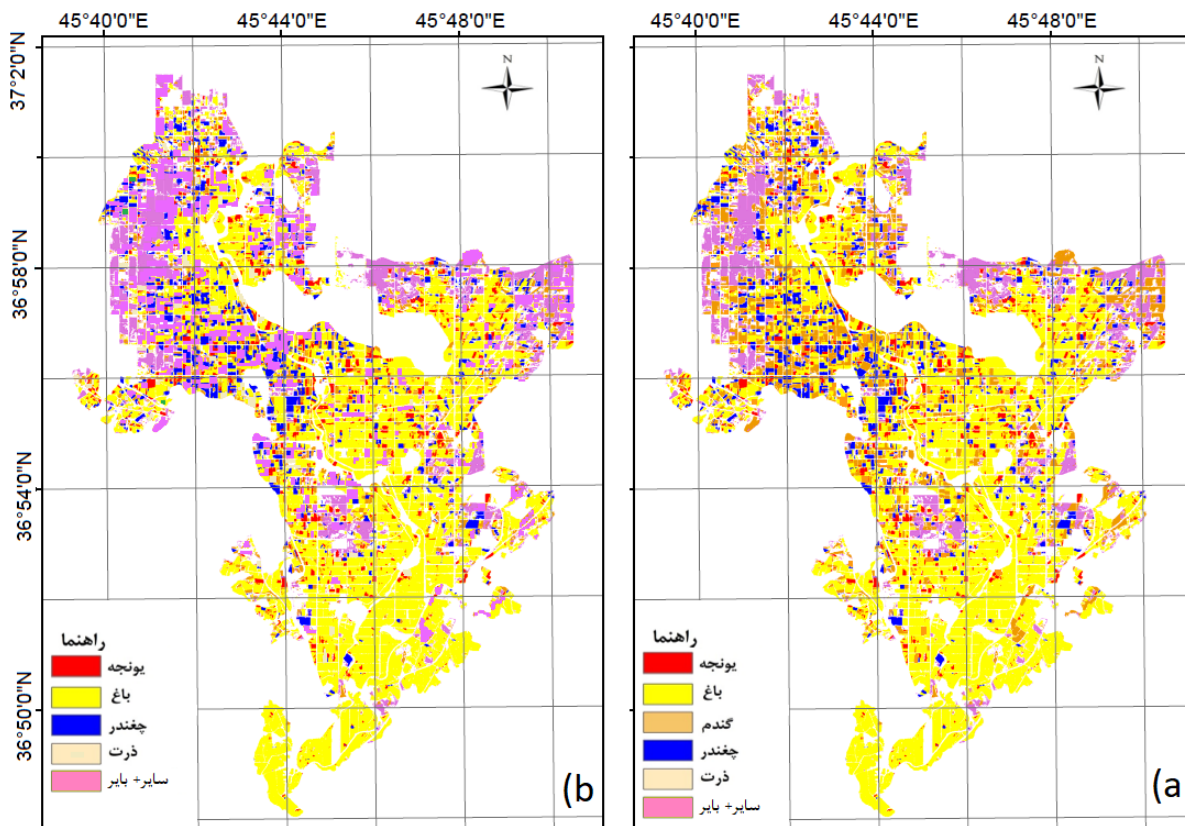
شکل ۵- روند تغییرات شاخص NDVI برای کلاس های طبقه بندی طی فصل رشد - (a باغی، (b زراعی-گندم، (c زراعی- چغندر قند، (d زراعی- یونجه و (e زراعی- ذرت

Fig. 5- Changes trend of NDVI index for classification classes during the growing season - a) garden, b) arable-wheat, c) arable-sugar beet, d) arable-alfalfa and e) arable-corn

صحت سنجی، دقت کلی طبقه بندی و ضریب کاپا برای نقشه طبقه بندی مورخ ۹۸/۳/۳ به ترتیب برابر با ۹۱ درصد و ۰/۹۵۳ و برای نقشه طبقه بندی مورخ ۹۸/۶/۲۵ به ترتیب برابر با ۹۳ درصد و ۰/۹۷۲ به دست آمد.

بر اساس الگوهای حاصل از شکل (۵)، انتخاب نمونه های آموزشی و با اجرای روش طبقه بندی SVM، نقشه الگوی کشت زمین های کشاورزی شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد طی دو تاریخ ۹۸/۳/۳ و ۹۸/۶/۲۵ در سال زراعی ۹۷-۹۸ استخراج گردید (شکل ۶). بر اساس داده های

برآورد نیاز آبی و تبخیر تعرق واقعی با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای به منظور ...



شکل ۶- نقشه الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی پایاب سد مهاباد،
(a) نقشه مربوط به تاریخ ۹۸/۳/۳ و (b) نقشه مربوط به تاریخ ۹۸/۶/۲۵

Fig. 6- The Map of the pattern of cultivation of the irrigation and drainage network of Mahabad Dam
a) 2019/05/24, b) 2019/09/16

این نتایج بیانگر این است که در بالادست شبکه به دلیل وجود آب کافی و مطمئن کشاورزان باغ‌ها را توسعه داده‌اند و در پایین دست شبکه که آب کافی وجود ندارد، کشت محصولات با نیاز آبی کم از جمله گندم رواج یافته است.

- تعیین نیاز خالص و ناخالص آبیاری شبکه

در جدول (۱)، محاسبات تبخیر و تعرق گیاهی و نیاز خالص آبیاری کلاس‌های طبقه‌بندی برای یک هکتار ارائه شده است که بر این اساس کلاس‌های باغی و زراعی چغندر قند و یونجه دارای بیشترین نیاز آبیاری است. لازم است یادآوری شود محاسبات برای الگوی باغی بر اساس ۵۰ درصد درختان سیب و ۵۰ درصد درختان هلو، شلیل و انگور برآورد شده است.

بر اساس نتایج طبقه‌بندی، حدود ۶۴ درصد از زمین‌های محدوده مطالعاتی، به مساحت ۶۷۸۶ هکتار را باغ تشکیل می‌دهد و زمین زراعی-گندم با ۱۷ درصد و مساحت برابر با ۱۸۳۹ هکتار از لحاظ وسعت در جایگاه بعدی قرار دارد. زمین زراعی چغندر قند و یونجه با وسعت به ترتیب برابر با ۹۹۸ و ۶۹۴ هکتار (۹ و ۶/۵ درصد از کل زمین‌ها) در جایگاه‌های سوم و چهارم هستند. ذرت با وسعت ۲۹۳ هکتار، ۲/۷ درصد از کل زمین‌ها را شامل می‌شود. علاوه بر این، همان طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، کشت غالب در بالادست شبکه به صورت باغ است. ولی در نواحی میانی و پایین دست شبکه محصولات زراعی مانند چغندر، یونجه، ذرت و گندم کشت می‌شود. تراکم گندم‌زارها در نواحی پایین دست این واقعیت را به خوبی نشان می‌دهد.

جدول ۱- تبخیر و تعرق محاسباتی و نیاز خالص آبیاری محصولات (متر مکعب در هکتار)

Table 1- Net irrigation needs of crops (cubic meters per hectare)

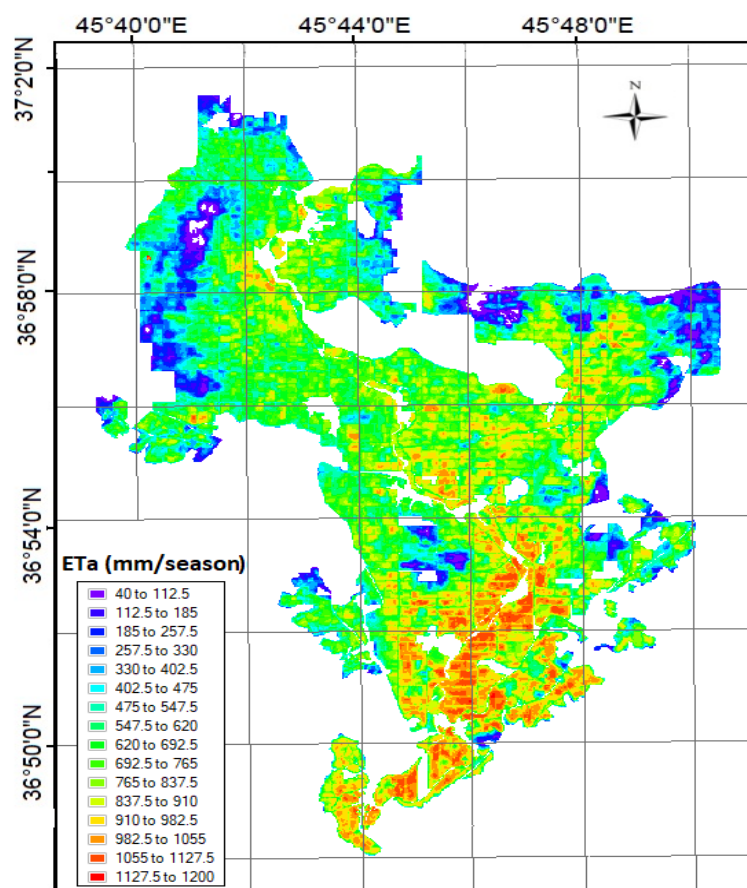
جمع	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	ماه
Total	23 Aug- 22 Sep	23 Jul- 22 Aug	22 Jun- 21 Jul	May- 22 Jun 21	Apr- 21 May 21	Mar- 21 Apr 20	20 Feb- 20 Mar	Jan- 21 Feb 19	Dec- 22 Jan 20	- Nov 22 Dec 21	23 Oct- Nov 21	23 Sep- 22 Oct	
باغ Garden													
۱۰۶۷	۱۶۱	۱۹۱	۱۹۷	۱۷۸	۱۳۷	۹۷	.	.	.	.	.	۱۰۶	تبخیر و تعرق گیاه پایه (mm)
۱۹۶	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۲۱	.	.	.	.	.	۲۰	تعداد روزهای مصرف گیاه
-	-/۸۳	۱/۰۵	۱/۰۵	-/۹۵	-/۷۶	-/۵۳	.	.	.	.	.	۰/۷	ضریب گیاهی
۸۹۹	۱۳۴	۲۰۱	۲۰۷	۱۶۹	۱۰۴	۳۵	.	.	.	.	.	۵۰	نیاز آبی گیاه (mm)
۱۴۱	۲	۱	۳	۱۲	۳۵	۵۱	.	.	.	.	.	۳۷	باران مؤثر- (mm)
۷۷۴	۱۳۲	۲۰۰	۲۰۴	۱۵۷	۶۹	.	.	.	.	.	.	۱۲	نیاز خالص آبیاری (mm)
Wheat گندم													
۵۷۰/۷	.	.	.	۱۷۷/۷	۱۳۷/۰	۹۶/۶	۵۸/۴	.	.	۳۷/۹	۶۳/۱	.	تبخیر و تعرق گیاه پایه (mm)
۱۶۸	.	.	.	۳۱	۳۱	۳۱	۱۵	.	.	۳۰	۳۰	.	تعداد روزهای مصرف گیاه
-	.	.	.	-/۵۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۰۵	.	.	-/۷۶	-/۴۲	.	ضریب گیاهی
۴۵۴	.	.	.	۹۷/۷	۱۵۷/۶	۱۱۱/۱	۳۱/۷	.	.	۲۸/۸	۳۷/۱	.	نیاز آبی گیاه (mm)
۲۱۸/۷	.	.	.	۱۱/۷	۳۵/۱	۵۱/۴	۴۵/۱	.	.	۲۸/۱	۳۷/۴	.	باران مؤثر- (mm)
۵۰	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۵۰	آبیاری اولیه (mm)
۳۱۸	.	.	.	۸۶	۱۲۲	۶۰	.	.	.	.	.	۵۰	نیاز خالص آبیاری (mm)
Alfalfa یونجه													
۱۰۶۷/۳	۱۶۱/۴	۱۹۱/۱	۱۹۷/۱	۱۷۷/۷	۱۳۷/۰	۹۶/۶	.	.	.	.	.	۱۰۶/۴	تبخیر و تعرق گیاه پایه (mm)
۱۷۰	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۱۰	.	.	.	.	.	۵	تعداد روزهای مصرف گیاه
-	-/۹۵	۱/۰۰	۱/۰۰	-/۹۵	-/۹۵	-/۹۵	.	.	.	.	.	۰/۹۵	ضریب گیاهی
۸۸۶/۳	۱۵۲/۳	۱۹۱/۱	۱۹۷/۱	۱۶۸/۸	۱۳۰/۲	۲۹/۶	.	.	.	.	.	۱۶/۳	نیاز آبی گیاه (mm)
۱۱۹	۱/۹	.	.	۱۱/۷	۳۵/۱	۵۱/۴	.	.	.	.	.	۱۸/۹	باران مؤثر- (mm)
۷۹۲	۱۵۱	۱۹۱	۱۹۷	۱۵۷	۹۵	.	.	.	.	.	.	.	نیاز خالص آبیاری (mm)
Sugar beet چغندر قند													
۹۷۰/۷	۱۶۱/۴	۱۹۱/۱	۱۹۷/۱	۱۷۷/۷	۱۳۷/۰	.	.	.	.	.	.	۱۰۶/۴	تبخیر و تعرق گیاه پایه (mm)
۱۶۵	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	.	.	.	.	.	.	۱۰	تعداد روزهای مصرف گیاه
-	-/۹۲	۱/۱۵	۱/۱۵	-/۷۵	-/۳۵	.	.	.	.	.	.	۰/۶۸	ضریب گیاهی
۸۰۰/۲	۱۴۸/۵	۲۱۹/۷	۲۲۶/۷	۱۳۳/۲	۴۸	.	.	.	.	.	.	۲۴/۱	نیاز آبی گیاه (mm)
۶۹/۶	۱/۹	۱	۱	۱۱/۷	۳۵/۱	.	.	.	.	.	.	۱۸/۹	باران مؤثر- (mm)
۳۰	.	.	.	.	۳۰	.	.	.	.	.	.	.	آبیاری اولیه (mm)
۷۶۱	۱۴۷	۲۱۹	۲۲۶	۱۲۲	۴۳	.	.	.	.	.	.	۵	نیاز خالص آبیاری (mm)
Corn ذرت													
۸۳۳/۶	۱۶۱/۴	۱۹۱/۱	۱۹۷/۱	۱۷۷/۷	.	.	.	.	.	.	.	۱۰۶/۴	تبخیر و تعرق گیاه پایه (mm)
۱۲۰	۳۱	۳۱	۳۱	۲۰	.	.	.	.	.	.	.	۷	تعداد روزهای مصرف گیاه
۴/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	-/۵	-/۳۵	.	.	.	.	.	.	.	۱	ضریب گیاهی
۵۶۸/۸	۱۸۵/۶	۲۱۹/۷	۹۸/۶	۴۰/۱	.	.	.	.	.	.	.	۲۴/۸	نیاز آبی گیاه (mm)
۳۶/۲	۱/۹	۱/۲	۲/۶	۱۱/۷	.	.	.	.	.	.	.	۱۸/۹	باران مؤثر- (mm)
۳۰	.	.	.	۳۰۲	.	.	.	.	.	.	.	.	آبیاری اولیه (mm)
۵۶۳	۱۸۴	۲۱۹	۹۶	۵۸	.	.	.	.	.	.	.	۶	نیاز خالص آبیاری (mm)

برآورد نیاز آبی و تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای به منظور ...

الگوریتم سبال استفاده شده است. بدین منظور تصویرهای ماهواره‌ای لندست ۸ در دوره رشد استخراج و پس از پیش‌پردازش‌های مورد نیاز به منظور تخمین تبخیر و تعرق واقعی از آن‌ها استفاده شده است. در شکل (۷)، نقشه مکانی تبخیر-تعرق واقعی برای کل دوره رشد شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، مناطق بالادست شبکه و نواحی مجاور رودخانه مهاباد به دلیل دسترسی بیشتر به آب و کشت محصولات پرمصرف، نسبت به دیگر مناطق، دارای تبخیر-تعرق واقعی بیشتری بوده است.

بر اساس نتایج جدول (۱) و شکل (۶)، نیاز آبیاری خالص زمین‌های زیرمجموعه کانال‌های LC, RC و ایستگاه‌های پمپاژ به ترتیب برابر با ۴۰/۰۲، ۱۹/۳۲ و ۱۰/۷۱ میلیون مترمکعب و نیاز آبیاری ناخالص به ترتیب برابر با ۹۰/۹۵، ۴۳/۹۱ و ۲۴/۳۴ میلیون مترمکعب است. بدین ترتیب نیاز خالص آبیاری محدوده مطالعاتی در سال زراعی ۹۷-۹۸ برابر با ۷۱ میلیون مترمکعب و با در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۴۴ درصد، میزان نیاز ناخالص آبیاری برابر با ۱۶۱/۳۶ میلیون مترمکعب بوده است.

- تعیین تبخیر-تعرق واقعی شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد
پیش از این اشاره شد که در این تحقیق برای تعیین تبخیر-تعرق واقعی شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد از



شکل ۷- میزان تبخیر-تعرق واقعی در فصل رشد

Fig. 7- The actual rate of evapotranspiration during the growing season

با ۴۰/۷۶، ۲۲/۱۲، ۱۲/۰۴ و ۴/۸۶ میلیون متر مکعب بوده است. بدین ترتیب میزان کل تبخیر-تعرق واقعی در بازه زمانی مورد نظر برای شبکه آبیاری و زهکشی مهآباد برابر با ۷۹/۷۸ میلیون متر مکعب برآورد گردید.

در جدول (۲) میزان تبخیر-تعرق واقعی فصل رشد به تفکیک محصولات مختلف و به ازای نقاط تحویل حجمی ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، مجموع تبخیر-تعرق واقعی برای زمین های زیر مجموعه کانال های RC، LC، ایستگاه های پمپاژ و مناطق بدون سازه به ترتیب برابر

جدول ۲- میزان تبخیر-تعرق واقعی فصل رشد در نقاط تحویل حجمی (میلیون متر مکعب)

Table 2-The actual evapotranspiration rate of the growing season at the location of volumetric delivery points

محل تحویل حجمی	یونجه	باغی	گندم	چغندر قند	ذرت	مجموع
Delivery location	Alfalfa	Garden	Wheat	Sugar beet	Corn	Total
RC	۲/۵۸	۲۹/۰۸	۵/۰۹	۳/۱۳	۰/۸۷	۴۰/۷۶
LC	۱/۵۳	۱۳/۳۵	۳/۶۵	۲/۸۴	۰/۷۵	۲۲/۱۲
ایستگاه های پمپاژ	۰/۴۱	۱۰/۴۷	۰/۸۳	۰/۲۱	۰/۱۲	۱۲/۰۵
Pumping stations						
بدون سازه اندازه گیری	۰/۵	۳/۸۳	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۰۹	۴/۸۶
No measurement structure						

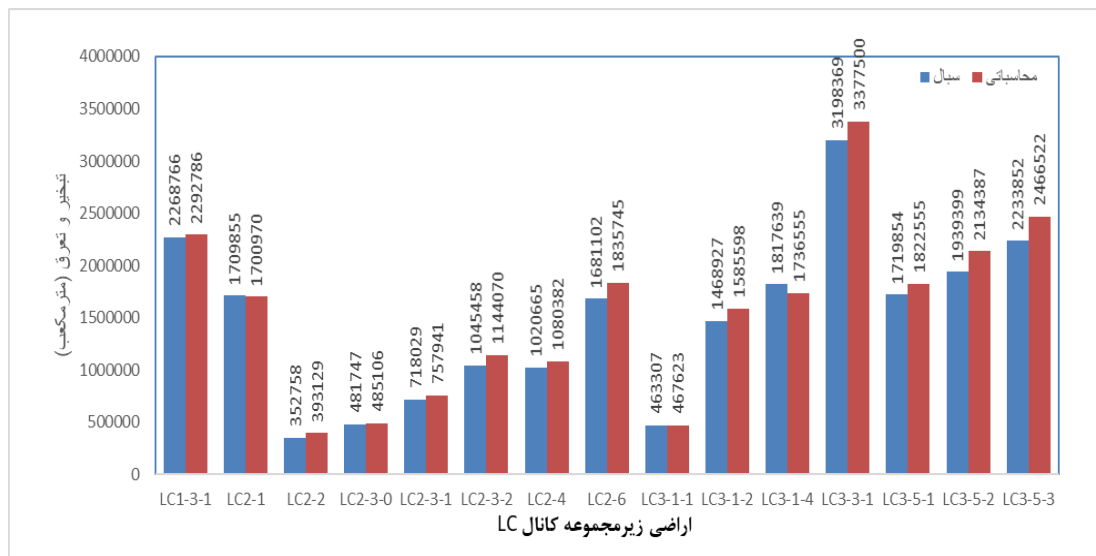
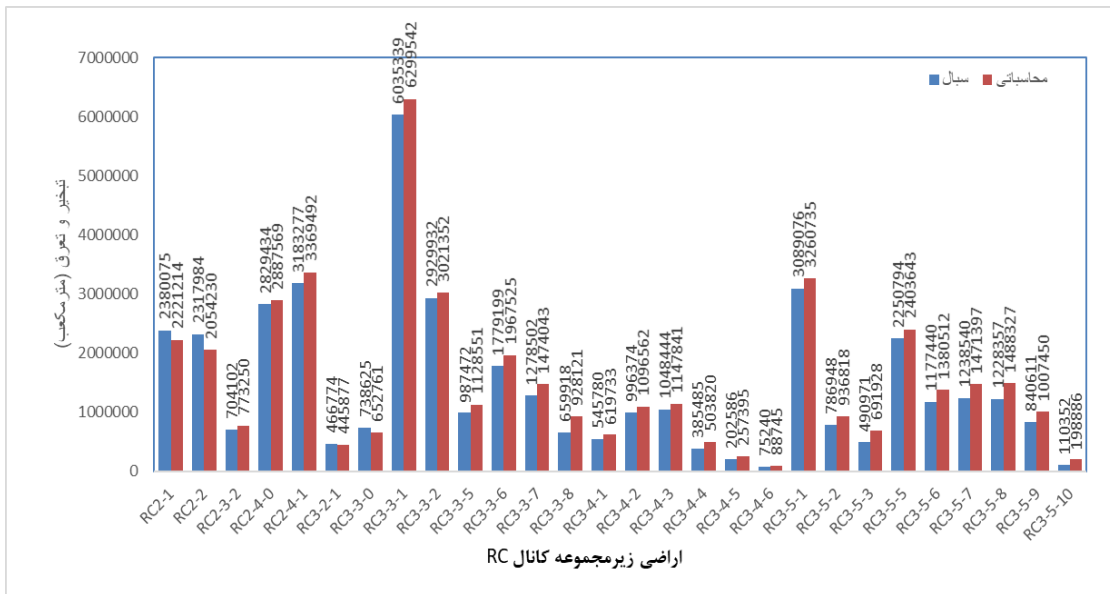
تعرق واقعی بیش از مقادیر تبخیر و تعرق محاسباتی است. وسعت این زمین ها کمتر از ده درصد وسعت زمین های تحت پوشش کانال RC است و بیش از ۹۰ درصد زمین ها شامل معادل تبخیر و تعرق برآوردی و یا کمتر بوده اند. بررسی تغییرات مکانی اختلاف بین مقادیر تبخیر و تعرق واقعی و محاسباتی نشان می دهد نواسان های کاهشی در مناطق پایین دست شبکه بیشتر است تا بالادست آن. دسترسی آسان تر به آب در مناطق بالادست، در مقایسه با مناطق پایین دست، مهم ترین عامل در فرزونی تبخیر و تعرق واقعی از مقادیر محاسباتی است و می توان گفت دیگر عوامل مانند خرابی دریچه های برداشت آب و فرسودگی کانال و احتمال بیشتر نشت و نفوذ آب در مناطق بالادست شبکه، در مقایسه با مناطق پایین دست که در ایام بیشتری خشک هستند، را تشدید کرده است. آبیاری بیش از مقدار مورد نیاز و در دوره های کوتاه تر منجر به افزایش میزان تبخیر و تعرق واقعی می شود. از طرف دیگر، بررسی میزان تبخیر-تعرق واقعی در زمین های زیرکشت گندم در زیرمجموعه

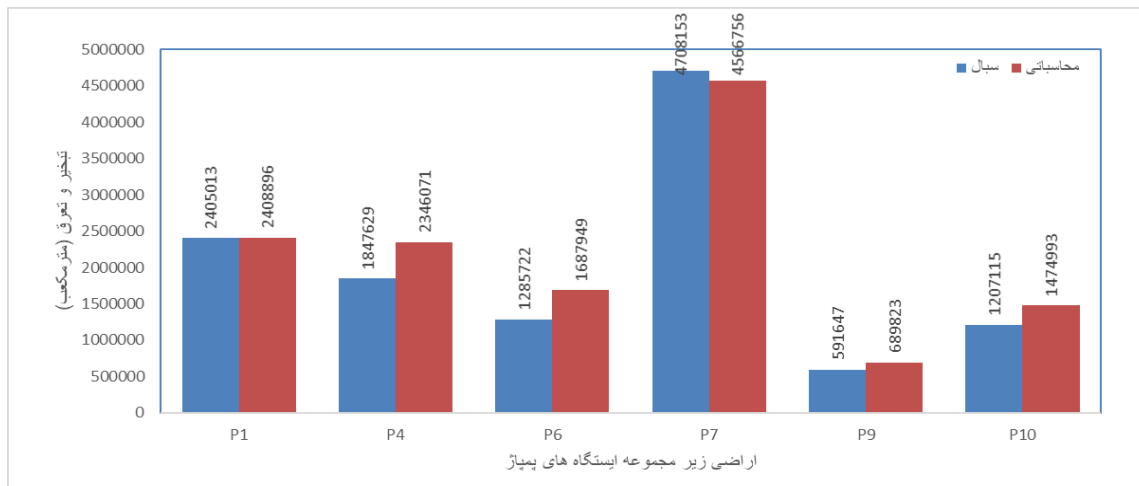
در شکل (۸) اطلاعات مربوط به میزان تبخیر-تعرق واقعی و محاسباتی کشت های مختلف به تفکیک نقاط تحویل حجمی در زمین های تحت پوشش کانال های RC، LC و ایستگاه های پمپاژ ارائه شده است. در نگاه کلی، میزان تبخیر و تعرق واقعی در شبکه آبیاری و زهکشی مهآباد ۴/۵ میلیون متر مکعب در سال کمتر از تبخیر و تعرق برآورد شده است. انحراف مقادیر تبخیر و تعرق واقعی از مقادیر محاسباتی در سطح شبکه متفاوت است. بر اساس شکل (۸)، مجموع تبخیر-تعرق واقعی و محاسباتی برای زمین های زیرمجموعه کانال های RC به ترتیب برابر با ۴۰/۷۶ و ۴۳/۷۷ میلیون متر مکعب است. بدین ترتیب تبخیر-تعرق واقعی در حدود ۷ درصد کمتر از پتانسیل برآوردی روی داده است و این کاهش در کانال های RC3-3-8، RC3-3-4، RC3-4-5، RC3-5-3 به بیش از ۲۰ درصد و در کانال RC3-3-10 با ۴۵ درصد کاهش قابل مشاهده است. این در حالی است که در زمین های تحت پوشش کانال های RC3-3-1، RC2-2، RC2-1، RC3-3 و تبخیر و

برآورد نیاز آبی و تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای به منظور ...

نمی‌کنند. در مقابل، بررسی نتایج بدست آمده در خصوص چغندر قند نشان می‌دهد که در این اراضی نیاز آبیاری گیاه تأمین نمی‌شود و به میزان ۱۸ درصد تنش آبیاری دیده می‌شود. بیشترین میزان تنش آبیاری مربوط به زمین‌های زیرمجموعه کانال‌های RC3-5-1 تا RC3-5-9 بوده است.

کانال‌های RC بیانگر این است که تبخیر و تعرق واقعی (۵/۰۹ میلیون مترمکعب) بیش از تبخیر و تعرق محاسباتی (۴/۰۳ میلیون مترمکعب) گیاه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد کشاورزان نسبت به آبیاری کامل از سهمیه اختصاصی از شبکه به نیاز مزرعه و اینکه بخش قابل توجهی از نیاز آبی گندم از بارندگی موثر قابل تأمین است، توجه





شکل ۸- مقایسه میزان تبخیر-تعرق واقعی و محاسباتی در زمین های زیرمجموعه کانال های RC، LC و ایستگاه های پمپاژ
 Fig. 8- Comparison of actual and calculated evapotranspiration rates in the lands of RC, LC channels and pumping stations

پوشش ایستگاه های پمپاژ، باغ است و اغلب در زمین های شیب دار و غیر دشت واقع شده اند. امکان حفرچاه در این واحدها محدود است و غالب باغ ها به دلیل محدودیت در دسترسی به منابع آب مجهز به سامانه آبیاری قطره ای هستند.

یادآوری می شود تفاوت در میزان تبخیر-تعرق واقعی و محاسباتی می تواند ناشی از عواملی مانند شرایط متفاوت زمین های کشاورزی از لحاظ تراکم کشت، رشد علف های هرز، ارقام گیاهی مورد استفاده، تاریخ کشت و دوره رشد متفاوت، رطوبت مازاد خاک و دقت برآورد تبخیر-تعرق بر اساس تصویرهای ماهواره ای نیز باشد.

نتیجه گیری

شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد به دلیل دارا بودن شبکه آبیاری و زهکشی مدرن، سد مهاباد و همچنین زمین های مستعد، از کشاورزی نسبتاً پر رونقی برخوردار است و مدیریت مصرف آب در آن نقش مهمی در افزایش بهره وری شبکه و احیای دریاچه ارومیه دارد. در تحقیق حاضر، نقشه الگوی کشت موجود شبکه آبیاری و زهکشی

بررسی نتایج تبخیر-تعرق واقعی و محاسباتی زمین های تحت پوشش کانال های LC نیز نشان می دهد که به طور کلی میزان تبخیر-تعرق واقعی در حدود ۱۰ درصد کمتر از میزان تبخیر و تعرق محاسباتی است. حدود ۶۰ درصد از زمین های این بخش از منطقه باغ است و میزان تبخیر و تعرق واقعی سالانه ۱۰/۵ میلیون مترمکعب کمتر از مقدار محاسباتی برآورد می شود. بررسی هدف های شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد نشان می دهد این شبکه برای تامین آب باغ ها در نظر گرفته نشده است و برنامه تامین آب برای محصولات زراعی تنظیم شده است. بازدیدهای محلی نشان می دهد زمین های باغی بخشی از آب مورد نیاز خود را از آب های زیرزمینی تامین می کنند و تقریباً تمامی باغات مورد بازدید چاه غیرمجاز دارند. بر این اساس، محدودیت در تامین آب را می توان دلیل اصلی اختلاف کاهش تبخیر و تعرق واقعی از تبخیر و تعرق محاسباتی دانست.

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل (۸)، میزان تبخیر-تعرق واقعی و محاسباتی در زمین های زیرمجموعه ایستگاه های پمپاژ به ترتیب برابر با ۱۲/۰۴ و ۱۳/۱۷ میلیون مترمکعب است. هشتاد و شش درصد از زمین های تحت

برآورد نیاز آبی و تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای به منظور ...

مترمکعب است که در مقایسه با تبخیر و تعرق محاسباتی ۴/۵ میلیون مترمکعب کمتر خواهد بود که نشان می‌دهد حجم آب تحویلی در شبکه متناسب با نیاز واقعی الگوی کشت موجود نیست و بخشی از زمین‌ها تحت تنش آبی قرار دارد. در مدیریت تخصیص آب معمولا الگوی کشت پیش فرض و اولیة شبکه ملاک عمل است و فرسودگی شبکه، خرابی دریاچه‌های تحویل، تغییر سطح مقطع کانال‌ها به دلیل رسوب و موانع فیزیکی، برداشت‌های غیرمجاز و دیگر عوامل، امکان توزیع ایده‌ال آب را در سطح شبکه تحت تاثیر منفی قرار می‌دهد و بروز تنش آبی و یا بیش‌آبیاری را در سطح شبکه محتمل می‌نماید.

اختلاف در میزان تبخیر-تعرق واقعی و محاسباتی می‌تواند ناشی از عواملی باشد مانند شرایط متفاوت زمین‌های کشاورزی از لحاظ تراکم کشت، کشت یونجه در باغ‌ها، رشد علف‌های هرز، ارقام گیاهی مورد استفاده، تاریخ کشت و دوره رشد متفاوت، رطوبت مازاد خاک، ضریب‌های گیاهی برآوردی و دقت برآورد نیاز آبیاری و تبخیر-تعرق واقعی بر اساس تصاویر ماهواره‌ای.

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق مشاهده شده است که با استفاده از قابلیت‌های تصویرهای ماهواره‌ای و سنجش از دور، پایش و بررسی وضعیت زمین‌های کشاورزی در سطح وسیع با دقت قابل قبولی امکان‌پذیر است و می‌توان با ایجاد نقشه‌های کاربری اراضی به‌روز، تعیین تبخیر و تعرق واقعی، نیاز آبیاری خالص و نقشه‌های تبخیر-تعرق واقعی، مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی را بهبود بخشید.

دشت مهاباد با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای سنتینل استخراج و تبخیر و تعرق واقعی با هدف برآورد نیاز آبیاری مورد نیاز برای تحویل در نقاط مختلف شبکه تعیین گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که تصویرهای ماهواره‌ای سنتینل برای تفکیک محصولات زراعی و تعیین سطح زیر کشت با دقت مناسب قابلیت بالایی دارند. بر اساس نتایج حاصل، ۶۴ درصد از زمین‌های کشت شده (۶۷۸۶ هکتار) شبکه مهاباد به‌صورت باغ و ۳۶ درصد از آن‌ها (۳۸۰۸ هکتار) به‌صورت زراعی است که نسبت به زمان طراحی و اجرای شبکه تغییرات زیادی داشته است. بر اساس محاسبات نیاز آبی با استفاده از روش پنمن مانتیث و نقشه الگوی کشت موجود استخراج شده، تبخیر و تعرق محاسباتی برای شبکه مهاباد برابر با ۸۴/۲ میلیون متر مکعب و نیاز خالص با احتساب باران موثر حدود ۷۱ میلیون مترمکعب در سال و نیاز ناخالص آبیاری (تبخیر و تعرق محاسباتی با کسر باران موثر) با احتساب راندمان ۴۴ درصد برابر با ۱۶۱/۳۶ میلیون مترمکعب برآورد گردید که با توجه به میزان رهاسازی سد مهاباد برای مصارف کشاورزی، امکان تأمین کامل نیاز آبیاری زمین‌های کشاورزی از طریق شبکه آبیاری میسر نیست. این امر باعث افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی شده است و طی سال‌های آتی، استفاده نابهینه از منابع آب و خاک در این منطقه می‌تواند خسارت‌ها و پیامدهای جبران ناپذیری در ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی برجای گذارد. از طرف دیگر، بررسی نقشه‌های تبخیر-تعرق واقعی شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد در فصل رشد نشان داد که کل میزان تبخیر-تعرق واقعی از شبکه در سال ۱۳۹۸ برابر با ۷۹/۷۸ میلیون

مراجع

- Abbaszadeh Tehrani, N., Beheshtifar, M. & Morabbi, M. (2011). Estimation of cropping area in Qazvin province with IRS-LISS III multi-timed images application. *Environmental Researches*, 2(3), 87-96.
- Akbari, M. (2013). Estimation of cultivar density using satellite data. *Journal of water research in agriculture*, 27(1), pp. 77-88.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R., Bastiaanssen, W.G.M. (2002). *Surface Energy Balance Algorithms for Land*, Advance Training and Users Manual–Idaho Implementation, Version 1.
- Allen, R., Morse, A. & Tasumi, M. (2003). Application of SEBAL for western US water rights regulation and planning. *ICID workshop on remote sensing of ET for large regions*.
- Ashourloo, D., Matkan, A., Bagheri, B. & Shahri, M. (2012). Extracting Wheat Biomass Using Satellite Data and Geographically Weighted Regression. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 104, pp.121–128.
- 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 (213), pp. 213-229.
- Carneiro, F. M., Furlani, C. E. A., Zerbato, C., de Menezes, P. C., da Silva Gírio, L. A. & de Oliveira, M. F. (2019). Comparison between vegetation indices for detecting spatial and temporal variabilities in soybean crop using canopy sensors: *Precision Agriculture*, pp.1-29.
- Hsu, C.W., Chang, C. & Lin, C. (2003). *A practical guide to support vector classification*.
- Khodakarami, L. & Soffianian, A. (2012). Application of Multi Temporal Remote Sensing for Precision Farming. *J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour. Water and Soil Sciences*, 16(59), pp. 215–231. (in Persian)
- Mirzaei Mossivand, A., Ghorbani, A. & Keivan Behjou, F. (2018). Land use/cover change detection using Landsat and IRS imagery: A case study, Khalkhal County. *Geographic Space*, 17(60), pp. 101–116. (in Persian)
- Mountrakis, G., Im, J. & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3), pp. 247–259.
- Najafi, A., Azizi Ghalati, S. & Mokhtari, M.H. (2017). Assessment Kernel Support Vector Machines in Classification of Landuses (Case Study: Basin of Cheshmeh kileh-Chalkrod). *Journal of Watershed Management Research*, 8(15), pp. 92–101.
- Riahi, V., Zeaiean Firouzabadi, P., Azizpour, F. & Darouei, P. (2019). Identification and investigation of the area under cultivation in Lenjanat using Landsat 8 satellite images. *Researches in Geographical Sciences*, 19(52), pp. 147–169.
- Schultz, G. A. & Engman, E. T. (2012). Remote sensing in hydrology and water management. *Springer Science & Business Media*.
- Soheylifar, Z., Mirlatifi, S.M., Naseri, A.A. & Assari, M. (2012). Estimating Actual Evapotranspiration of Sugarcane by Remote Sensing. (A Case Study: Mirza Kochakkhan Sugarcane Agro-Industry Company Farms). *Water and Soil Science*, 23(1), pp. 151-163. (in Persian)
- Tasumi, M., Trezza, R., Allen, R. G. & Wright, J. L. (2003). US Validation tests on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite. *In 2003 ICID Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions*, Vol. 17.
- Torahi, A., Firoozy Nejad, M. & Abdolkhani, A. (2017). Assessment support vector machine (SVM) algorithm and maximum likelihood to providing land use map of Riparian forest using OLI (Case Study: Maroon River – Behban. *Iranian Remote Sensing & GIS*. 9(1), pp. 49–62.
- Zhou, X., Zheng, H., Xu, X., He, J., Ge, X., Yao, X., Cheng, T., Zhu, Y., Cao, W. & Tian, Y. (2017). Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, pp. 246-255.

Estimation of crop water requirement and actual evapotranspiration using satellite images to improve volumetric water delivery in irrigation and drainage networks

(Case study: Mahabad irrigation and drainage network, West Azerbaijan province)

Amir Nourjou*, Farid Feizolahpour

* **Corresponding Author:** Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

Received: 12 November 2023, **Accepted:** 30 June 2024

Email: nourjou@yahoo.com

https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.363930.1566

Extended Abstract

Introduction

Due to the location of Iran in arid and semi-arid regions and according to the quantitative and qualitative limitations of water resources, optimal management and volumetric delivery of water is important in irrigation and drainage networks. In this regard, it is necessary to estimate the water requirement of crops accurately and to provide adequate water to farmers. Remote sensing technology provides facilities that can be used to obtain different layers of information at the lowest cost in the fastest time. Accordingly, many researchers have used remote sensing data to monitor vegetation cover, provide land use maps, estimate crop evapotranspiration and have declared this technology as appropriate tool for such studies. Based on the previous studies, it is observed that low researches has been conducted to investigate the crop evapotranspiration considering the crop water requirement. Therefore, the most important aims of this study are as follows: providing the cropping pattern and land use maps using Sentinel 2 satellite images, determination of the water requirement for the delivery points of irrigation network, determination of the actual evapotranspiration of the crop cover using SEBAL algorithm and Landsat 8's images, and evaluation of the water supply and management in the Mahabad irrigation and drainage network.

Methodology

In order to determine the cropping pattern of the Mahabad irrigation and drainage network, Sentinel 2 images have been used related to the 2018-2019 cropping year. The images were examined in terms of the region of syudy and the percentage of cloudiness and after selecting the appropriate images, pre-processing operations including radiometric and atmospheric corrections were applied on them. Then, the NDVI index was calculated based on selected images. After determination of the classes, the phenological cycle of crops were examined for each class and spectral pattern of crops was determined during the growing season. Training samples were selected for supervised classification using the existing maps, Google Earth images, creating images with false color composites and considering the growth pattern and some of them were also considered for validation of the classified map. Then, the cropping pattern map was obtained by using the SVM classification algorithm. After generating the crop classification map, the water requirement of the different classes was determined based on the Penman-Monteith evapotranspiration method, applying plant coefficients and irrigation application efficiency at the volumetric water delivery points. Finally, the actual evapotranspiration rate of the study area calculated based on the SEBAL algorithm and compared with the net water requirement map.

Results and Discussion

Based on the results, kappa coefficient and overall accuracy of the classified map were determined to be 0.953 and 91%, respectively. The area of the planted agricultural farms was equal to 10594 hectares and 1576 hectares of farms were without planting. The area of orchard farms was equal to 6786 hectares and the area of sugar beet,

Estimation of crop water requirement and actual evapotranspiration using satellite images ...

wheat, alfalfa and corn lands were 998, 1839, 693 and 278 hectares, respectively. Thus, the net irrigation water requirement was equal to 71 million cubic meters and the gross irrigation water requirement was calculated equal to 161.36 million cubic meters, considering the irrigation efficiency of 44%. On the other hand, the evaluation of the SEBAL evapotranspiration maps during the growing season indicated that the total amount of evapotranspiration was equal to 79.78 million cubic meters, and this amount was 14% higher than the net irrigation water requirement. Finally, according to the crop classification map and based on the comparison of the net irrigation water requirement and evapotranspiration maps, the water consumption in the Mahabad irrigation and drainage network was evaluated. It turned out that in the upstream farms of the network or close to the Mahabad River, the Water consumption was more than net water requirement and downstream areas were faced to deficit irrigation due to lack of sufficient water.

Conclusions

Based on the results of this study, it was observed that by using the capabilities of satellite images and remote sensing, it is possible to monitor and evaluate the condition of agricultural farms on a large scale with acceptable accuracy. Also it is possible to improve the management of water supply and water use efficiency in irrigation and drainage networks by creating up-to-date land use maps, determining net and gross irrigation water requirement and comparing with actual evapotranspiration maps.

Keywords: Crop Pattern, Plant Phenology Cycle, SEBAL, Deficit Irrigation, Support Vector Machine