

برآورد آب مجازی و نیاز آبی گیاهان حاشیه بیابان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: دشت ورامین)

بدیعه نوری^۱، حمیده نوری^۲، غلامرضا زهتاییان^۱، امیر هوشنگ احسانی^۳، حسن خسروی^{۱*} و حسین آذر نیوند^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۳)

چکیده

با توجه به تغییرات اقلیم و تأثیرات آن بر نیاز آبی گیاهان و منابع آبی به‌ویژه در مناطق گرم و خشک، برآورد دقیق میزان تبخیر و تعرق به‌منظور مدیریت کشاورزی و آبیاری اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. در این پژوهش سعی شده است با شناخت وضعیت پوشش گیاهی در حاشیه مناطق بیابانی دشت ورامین به‌ویژه اراضی کشاورزی با کشت مختلط، میزان تبخیر و تعرق واقعی پوشش گیاهی و نیاز آبی آنها مشخص شود. این پژوهش به بررسی رابطه بالقوه میان تبخیر و تعرق پوشش گیاهی اراضی کشاورزی ناهمگن و شاخص پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک سنجنش از دور در اراضی کشاورزی دشت ورامین می‌پردازد. مجموعه تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ در فصول متوالی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ برای تعیین میزان سبزیگی استفاده شد. به‌منظور پردازش تصاویر از جمله تصحیحات هندسی، تصحیحات اتمسفری و تهیه نقشه‌های NDVI، نرم‌افزار ENVI به‌کار گرفته شد. علاوه بر این، اطلاعات آب‌وهوایی و پوشش گیاهی دشت ورامین جمع‌آوری شده و نرخ تبخیر و تعرق واقعی پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیت در نرم‌افزار CropWat برآورد شد. در نهایت، رابطه میان NDVI برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای و میزان تبخیر و تعرق تخمین زده شده به روش فائو ۵۶ بررسی شد. نتایج، حاکی از همبستگی قوی مثبت میان تبخیر و تعرق پوشش گیاهی اراضی کشاورزی ناهمگن و NDVI بوده است. در واقع، با برقراری رابطه ریاضی میان این دو متغیر می‌توان میزان تبخیر و تعرق واقعی پوشش گیاهی را بدون نیاز به اندازه‌گیری‌های زمینی به‌دست آورد، همچنین مشخص شد که NDVI برگرفته از سنجنش از دور می‌تواند شاخص کارآمدی برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی و تخمین نیاز آبی گیاهان اراضی کشاورزی حاشیه بیابان باشد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، سنجنش از دور، NDVI، فائو-پنمن-مانتیت، دشت ورامین

۱. گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. گروه مهندسی و مدیریت آب، بخش آگرونومی، دانشگاه گوتینگن آلمان، آلمان، ایران

۳. گروه مهندسی طراحی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*: مسئول مکاتبات: hakhosravi@ut.ac.ir

مقدمه

در جهان امروز، با افزایش روز افزون جمعیت و نیاز به تولید مواد غذایی بیشتر بحران کم آبی از اساسی ترین چالش های بشریت به شمار می رود. همچنین افزایش رقابت میان بخش کشاورزی با بخش های شرب و صنعت، کشورهای مختلف جهان را با بحران جدی آب برای تولیدات کشاورزی مواجه ساخته است (۱۴).

معضل کمبود آب در اقلیم های خشک و نیمه خشک همچون کشور ایران به دلیل پراکنش نامنظم ریزش های جوی و افزایش تبخیر از منابع آب تشدید یافته و از مهم ترین عوامل محدود کننده توسعه اجتماعی و اقتصادی است. در این مناطق، به منظور دستیابی به تولید و بهره وری بیشتر محصولات، اقدام به آبیاری می کنند. بنابراین، پیش بینی میزان تبخیر و تعرق آب لازم برای آبیاری و برنامه ریزی آبیاری به منظور جلوگیری از هدررفت آب ضروری است (۲). روش های برآورد تبخیر و تعرق در دو گروه اصلی روش های مستقیم و غیرمستقیم طبقه بندی می شوند. به طور کلی، روش های سنتی برآورد تبخیر و تعرق عمدتاً وقت گیر، پرهزینه و فاقد پوشش لازم برای مناطق بزرگ بوده است (۱۷ و ۱۸). از سوی دیگر، تعیین نظری تبخیر و تعرق با استفاده از روش های سنتی توأم با خطاهای اجتناب ناپذیری است که ناشی از به کارگیری پارامترهای متعدد هواشناسی است. این محدودیت ها باعث کاربرد روزافزون داده های سنجنش از دور برای برآورد تبخیر و تعرق در نواحی وسیع و با تکرار زمانی مطلوبی شده است (۱۳). از جمله روش های سنجنش از دوری برآورد تبخیر و تعرق می توان به شاخص های گیاهی همچون NDVI اشاره کرد. شاخص های گیاهی یکی از روش های غیرمستقیم برآورد تبخیر و تعرق بوده که ترکیبی از بازتاب سطح در دو یا چند طول موج برای برجسته سازی یک ویژگی خاص از پوشش گیاهی است. به طور کلی، پوشش گیاهی سالم و متراکم نور مرئی را که روی سطح آن افتاده جذب می کند و قسمت زیادی از نور مادون قرمز نزدیک را بازتاب می دهد. در مقابل، پوشش گیاهی ناسالم و یا

پراکنده بیشترین بازتاب از نور مرئی و کمترین بازتاب از نور مادون قرمز نزدیک را داراست. خاک لخت نیز هر دو باند مرئی و مادون قرمز نزدیک را به طور متوسط منعکس می کند (۸).

نگلر و همکاران (۱۵) با بررسی شاخص پوشش گیاهی NDVI گونه های طبیعی ساحلی در امتداد رودخانه کلرادو گزارش کردند که این شاخص اطلاعات قابل اعتمادی از فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان همچون تبخیر و تعرق فراهم می کند.

تراوت و همکاران (۲۵) با استفاده از دوربین چندطیفی به طور مستقیم تاج پوشش محصولات باغی را اندازه گیری و سپس تاج پوشش گیاهی حاصل از این روش را با مقادیر NDVI حاصل از سنجنش از دور مقایسه کردند. نتایج اثبات کرد همبستگی قوی و رابطه ای خطی میان تاج پوشش گیاهی و NDVI سنجنش از دور به منظور پیش بینی نیاز آبی پوشش گیاهی وجود دارد.

فارگ و همکاران (۴) با تلفیق روش های FAO 56 و داده های سنجنش از دور برای برنامه ریزی آبیاری محصول گندم در جنوب دلتای نیل اقدام به برآورد تبخیر و تعرق و ضریب محصول کردند. آنها با تجزیه و تحلیل نتایج به وجود رابطه قوی میان تبخیر و تعرق و شاخص های گیاهی از جمله NDVI و SAVI در طول دوره رشد گیاهان پی بردند.

نوری و همکاران (۱۹) برای تعیین برآورد نیاز آبی کلان پارک شهر آدلاید در استرالیا، رابطه میان تبخیر و تعرق (ET) و شاخص گیاهی NDVI برگرفته از ماهواره Worldview2 را بررسی کردند. آنها به وجود همبستگی بسیار قوی بین ET و NDVI پی برده و این همبستگی را به صورت یک مدل ریاضی معرفی کردند.

دریروپ و همکاران (۳) در مقایسه بین روش های برآورد تبخیر و تعرق واقعی پوشش گیاهی بر اساس ضرایب گیاهی و مراحل فیزیولوژیکی آنها (روش FAO56) و روش محاسبه NDVI در دیولمن آلمان به این نتیجه رسیدند که تخمین مقادیر ETc مبتنی بر NDVI جایگزین مناسبی برای روش های برآورد ETc بر اساس مقادیر ضرایب گیاهی و مرحله رشد است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی

متوسط بارندگی ورامین بر اساس آمار ۳۹ ساله تبخیرسنج مؤسسه اصلاح بذر ورامین ۱۶۱/۰۷ میلی‌متر در سال است. مجموع تبخیر و تعرق سالانه براساس آمار ۲۵ ساله ایستگاه جوادآباد ورامین در ارتفاع ۸۵۰ متری از سطح دریا برابر ۲۵۴۷ میلی‌متر است (۷ و ۲۲). دشت ورامین دارای قدمت کشاورزی بوده که به‌علت نزدیکی به تهران می‌توان گفت یک بازوی تأمین‌کننده محصولات کشاورزی در طول سال‌ها نه فقط برای تهران بلکه سایر نقاط کشور نیز بوده است. مساحت اراضی قابل کشت و سطح زیر کشت خالص دشت ورامین به‌ترتیب برابر ۷۵۶۸۰ و ۴۸۷۹۰ هکتار گزارش شده است (۱). وضعیت موجود الگوی کشت (سطح زیر کشت انواع محصولات زراعی آبی و باغی آبی) و ترکیب کشت (درصد محصولات زراعی آبی و باغی آبی) در جدول (۱) آورده شده است (۲۱).

جمع مصرف سالانه آب در این دشت، حدود ۷۰۹/۳۵ میلیون مترمکعب بوده است که ۸۷/۲ درصد از آن به مصرف کشاورزی منطقه می‌رسد (۱). از مهم‌ترین شبکه‌های آبیاری دشت ورامین حوضه آبریز دریاچه نمک به‌وسعت ۶۰۰۰۰ هکتار است که بخش غالب اراضی دشت را تحت‌تأثیر قرار

ریزگونزالز و همکاران (۲۳) به مطالعه تبخیر و تعرق پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری در چهار فصل رشد طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۶ در شمال مکزیک پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان داد که شاخص NDVI ابزاری مفید برای اندازه‌گیری میزان تبخیر و تعرق و مصرف آب کشاورزی است.

در کشور به‌ویژه در مناطق خشک و بیابانی، تا کنون کمتر به مطالعات سنجش از دوری با استفاده از شاخص‌های گیاهی برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی پوشش گیاهی پرداخته شده است. بنابراین، این پژوهش به‌منظور بررسی کارایی شاخص گیاهی NDVI در برآورد تبخیر و تعرق واقعی پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت ورامین در موقعیت جغرافیایی ۲۳'-۵۱° تا ۵۴'-۵۱° طول شرقی و ۶'-۳۵° تا ۳۷'-۳۵° عرض شمالی واقع شده است و به فاصله ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی تهران قرار دارد (شکل ۱).

جدول ۱. وضعیت کشاورزی دشت ورامین

مساحت	هکتار	درصد	کشت	پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	پوشش گیاهی	پوشش گیاهی
۳۵۱۰۴	۲۵۰	۲۸۰	۴۰۰	۵۰۶	۱۰۷	۶۵۰	۶۱۹	۱۳۸۰	۱۸۳۰	۳۹۳۲	۵۷۵۰	۹۱۰۰	۱۰۳۰۰
۱۰۰	۰/۶۹	۰/۷۷	۱/۱۱	۱/۸	۱/۸	۱/۹۶	۲/۶۶	۳/۸۱	۵/۰۶	۱۰/۸۴	۱۵/۸۹	۲۵/۱۴	۲۸/۴۶

نوارشدگی، تصحیحات هندسی و تصحیحات اتمسفری با استفاده از ابزار FLAASH در نرم‌افزار ENVI 5.2 روی تصاویر صورت گرفت. پس از آن اراضی کشاورزی مدنظر از تمامی تصاویر استخراج شده و با استفاده از ترکیب باندهای ۲-۳-۴ وضعیت پوشش گیاهی بررسی و درنهایت، شاخص گیاهی NDVI در تمامی اراضی و تصاویر مورد مطالعه محاسبه شد.

لازم به ذکر است که در بسیاری از ماهواره‌ها، شاخص گیاهی NDVI با استفاده از داده‌های باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک محاسبه می‌شود:

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

که P_{NIR} تشعشع ثبت شده در باند طول موج مادون قرمز نزدیک و P_{red} تشعشع ثبت شده در باند طول موج مادون قرمز ماهواره است. دامنه تغییرات NDVI از -۱ تا +۱ متغیر است. عدد صفر و مقادیر منفی برای مناطق فاقد پوشش گیاهی و آب و مقادیر بزرگتر از ۰/۵ برای پوشش گیاهی انبوه سالم در نظر گرفته شده است (۶، ۱۱ و ۱۶، ۲۰).

داده‌های هواشناسی

به منظور برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع، اطلاعات هواشناسی روزانه منطقه مورد مطالعه شامل تابش خورشیدی (ساعات آفتابی)، بیشینه و کمینه دمای هوا، رطوبت نسبی هوا و سرعت باد و همچنین داده‌های تشت تبخیر سال‌های ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ از سازمان هواشناسی کشور و ایستگاه هواشناسی شهرستان ورامین دریافت شد.

می‌دهد. به لحاظ کمبود منابع آب سطحی و ناپایداری آن برای بهره‌برداری کشاورزان به‌ویژه در فصل پیک آبیاری، منابع زیرزمینی بیشترین سهم (۵۰ درصد کل آب مورد نیاز کشاورزان) را در تأمین آب محصولات کشاورزی دارا هستند. مجموع مصارف آب در کشاورزی دشت ورامین در سال ۱۳۸۵، به مقدار ۶۲۰ میلیون مترمکعب برآورد شد و تا سال ۱۳۸۶ حدود ۲۷۰ میلیون مترمکعب از منابع سطحی و ۳۵۰ میلیون مترمکعب از آب‌های زیرزمینی به‌وسیله تخلیه چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق تأمین می‌شد (۹).

داده‌های ماهواره‌ای و پردازش تصاویر

در این پژوهش، تعداد ۳۰ تصویر از تصاویر سنجنده ETM^+ و OLI ماهواره Landsat مربوط به سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ استفاده شد. بدین منظور، تصاویر ETM^+ و OLI در برگیرنده اراضی کشاورزی منطقه دشت ورامین که در گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۶ ماهواره لندست ۷ قرار داشته از سایت سازمان جغرافیایی آمریکا (USGS) دریافت شد. دلایل اصلی انتخاب تصاویر لندست قدرت تفکیک مکانی نسبتاً خوب (۳۰×۳۰)، قدرت تفکیک طیفی مناسب، رایگان بودن تصاویر، دسترسی آسان است، همچنین ماهواره لندست طولانی‌ترین رکورد پیوسته از تصاویر ماهواره‌ای کره زمین را داشته و یکی از محبوب‌ترین ماهواره‌ها در مطالعات اکولوژیکی و زیست‌محیطی است.

پیش از هر گونه تجزیه و تحلیل روی تصاویر، داده‌های مورد استفاده از نظر وجود خطاهای هندسی و رادیومتری بازمینی شد، سپس تصحیحات لازم اعم از تصحیح خطای



شکل ۲. اراضی کشاورزی مورد مطالعه در کشت و صنعت چارتاسیان

بر اساس نظر کارشناسان و یا آزمایش در یک منطقه آبیاری تنظیم می‌شود.

داده‌های پوشش گیاهی

به منظور تعیین ضرایب گیاهی و برآورد تبخیر و تعرق واقعی پوشش گیاهی، مطالعات میدانی در سطح اراضی کشاورزی دشت ورامین صورت پذیرفت. پس از بررسی اراضی منطقه با توجه به در دسترس بودن اطلاعات کشت تعداد شش مزرعه مربوط به کشت و صنعت چارتاسیان در نزدیکی روستای حبیب‌آباد واقع در شهرستان ورامین به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد (شکل ۲). با مراجعه و بازدید از این مزارع اطلاعات مربوط به اراضی کشاورزی شامل نوع محصولات، زمان کاشت و برداشت محصولات، مساحت اراضی و غیره جمع‌آوری شد. بر اساس این اطلاعات، دو کشت عمده اراضی کشاورزی مذکور، محصولات زراعی شامل ذرت علوفه‌ای و یونجه هستند.

مشخصات هر یک از اراضی کشاورزی مورد مطالعه همچون نوع محصول، مساحت و دوره کشت محصول در جدول (۲) نشان داده شده است. پس از تعیین مشخصات پوشش گیاهی، مقادیر ضرایب گیاهی مورد نیاز از ضرایب به دست آمده توسط فرشی (۵) در کتابی با عنوان "آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور" استخراج شد.

داده‌های تبخیر و تعرق واقعی

در این پژوهش، برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی پوشش گیاهی، روش FAO-56 استفاده شد. اساس این روش دو مرحله‌ای بدین صورت است که ابتدا میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیت تخمین زده می‌شود (رابطه ۲).

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + 0.7 \frac{900}{T + 273} U_p (e_s - e_a)}{\Delta + 0.7 (1 + 0.34 U_p)} \quad (2)$$

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm day^{-1})، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($\text{MJm}^{-2} \text{day}^{-1}$)، G شار گرما به داخل خاک ($\text{MJm}^{-2} \text{day}^{-1}$)، T میانگین دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین ($^{\circ}\text{C}$)، U_p سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (m s^{-1})، e_s فشار بخار اشباع، e_a فشار بخار واقعی، Δ شیب منحنی فشار بخار ($\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)، γ ضریب رطوبتی ($\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) است.

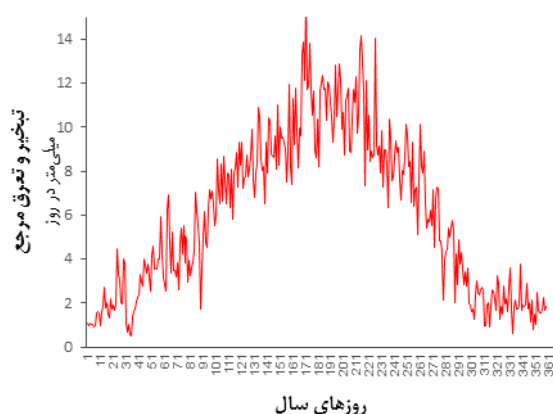
در مرحله بعدی، تبخیر و تعرق واقعی گیاه مورد نظر از حاصل ضرب تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ضریب گیاهی به دست می‌آید:

$$ET_c = K_c ET_0 \quad (3)$$

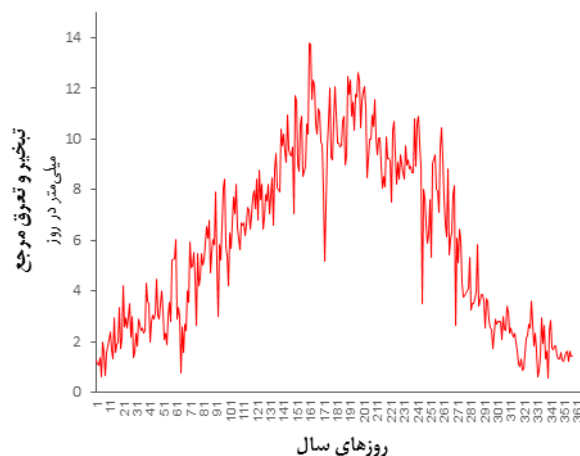
ضرایب گیاهی در طول چرخه رشد محصول بر طبق مرحله رشد گیاه تغییر می‌یابند. این ضرایب اغلب برای شرایط محلی

جدول ۲. مشخصات اراضی کشاورزی کشت و صنعت چارتاسیان

شماره زمین	یک	دو	سه	چهار	پنج	شش
محصول	یونجه	ذرت علوفه‌ای	ذرت علوفه‌ای	ذرت علوفه‌ای	ذرت علوفه‌ای	ذرت علوفه‌ای
مساحت (هکتار)	۱۱	۵۳	۱۰	۱۵	۲۵	۱۸
دوره کشت	دهه اول مهر الی اردیبهشت	کشت اول: دهه اول فروردین الی دهه اول تیر ماه کشت دوم: دهه دوم تیر الی مهرماه				



شکل ۴. تبخیر و تعرق مرجع روزانه در سال ۲۰۱۴



شکل ۳. تبخیر و تعرق مرجع روزانه در سال ۲۰۱۳

نتایج و بحث

تبخیر و تعرق گیاه مرجع

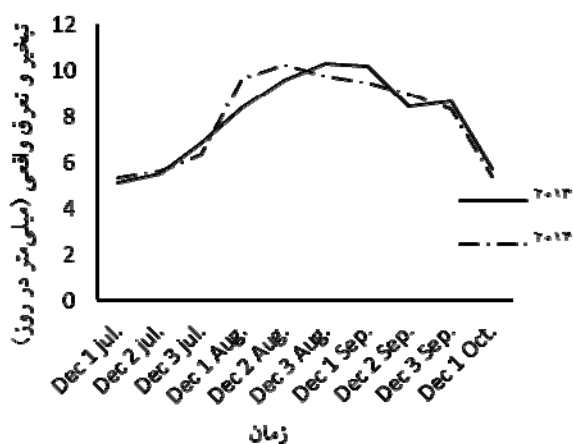
بر اساس نتایج به دست آمده از برآورد میزان تبخیر و تعرق می‌توان اظهار داشت که تبخیر و تعرق گیاه مرجع در روزهای ابتدایی و انتهایی سال که پارامترهای هواشناسی دارای مقادیر و تغییرات کمتر بود، اعداد کوچک‌تر و در روزهای میانی سال منطبق بر فصول تابستان و پاییز اعداد بزرگ‌تری را نشان می‌دهند (شکل‌های ۳ و ۴). بنابراین، می‌توان گفت پارامترهای هواشناسی از جمله ساعات آفتابی، دمای هوا، سرعت باد و غیره تنها عوامل مؤثر بر میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع هستند.

تبخیر و تعرق واقعی

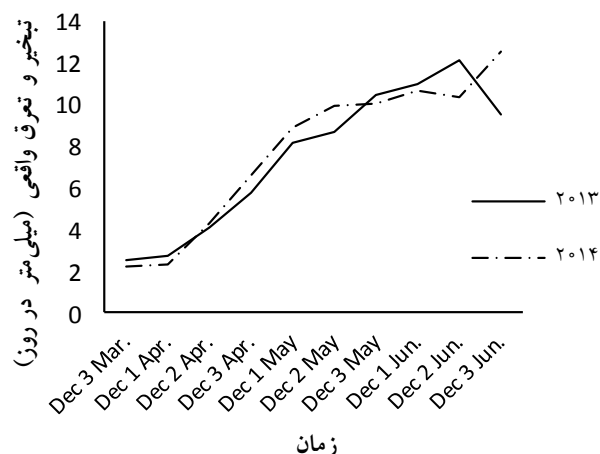
پس از محاسبه تبخیر و تعرق مرجع و اعمال ضرایب گیاهی در روش فائو ۵۶، میزان تبخیر و تعرق واقعی پوشش گیاهی

مربوط به یونجه و ذرت علوفه‌ای به صورت ۱۰ روزه مشخص شد. با توجه به شکل‌های ۵ و ۶، میزان تبخیر و تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای در هر دو دوره کشت (فروردین تا تیر و مهر) مربوط به هر دو سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴، در ابتدای فصل رشد مقادیر کمی را نشان می‌دهد. پس از آن، با جوانه‌زنی و وارد شدن گیاه به مرحله رویشی، بخشی از آب مصرفی گیاه صرف تعرق می‌شود. با رشد برگ‌ها و افزایش نمایه سطح برگ، نیاز آبی گیاه افزایش یافته و سهم تعرق در تلفات آب بر تبخیر از سطح خاک پیشی می‌گیرد. در مراحل پایانی رشد، میزان تبخیر و تعرق سیر نزولی داشته که این امر احتمالاً به دلیل کامل شدن دوره رشد گیاه است.

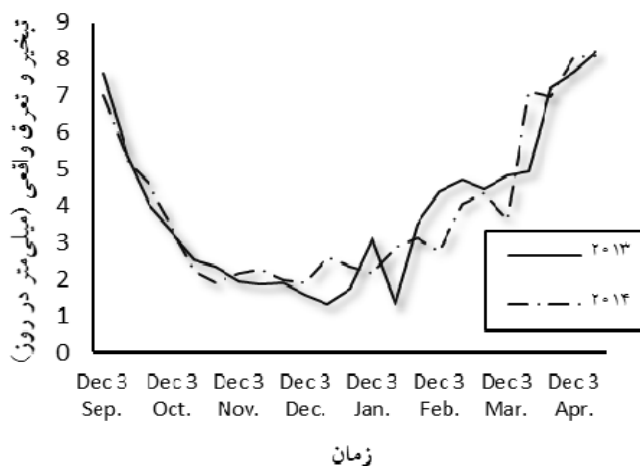
با توجه به نتایج حاصل از برآورد تبخیر و تعرق واقعی یونجه در هر دو سال مورد مطالعه، با گذشت زمان و وارد شدن گیاه از مرحله رشد اولیه به مراحل بعدی و افزایش رشد برگ‌ها، میزان تعرق از پوشش گیاهی یونجه افزایش می‌یابد. این



شکل ۶. میزان تبخیر و تعرق واقعی کشت دوم ذرت علوفه‌ای در سال‌های زراعی ۲۰۱۳-۲۰۱۴



شکل ۵. میزان تبخیر و تعرق واقعی کشت اول ذرت علوفه‌ای در سال‌های زراعی ۲۰۱۳-۲۰۱۴



شکل ۷. میزان تبخیر و تعرق واقعی یونجه در سال‌های زراعی ۲۰۱۳-۲۰۱۴

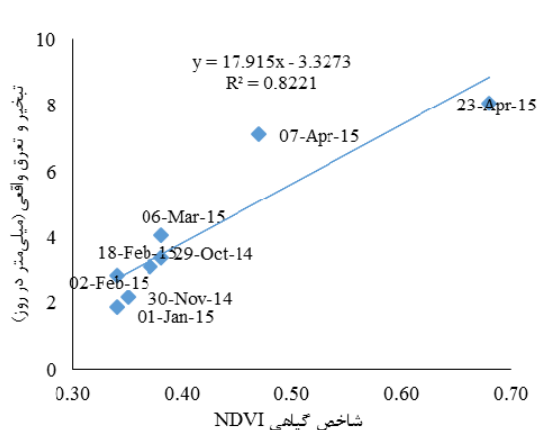
کشت، مقدار شاخص NDVI افزایش یافته است. این تغییر، نشان‌دهنده افزایش تراکم و همگن‌تر و یک‌دست شدن پوشش زمین است. به طوری که در انتهای مراحل رشد و در ماه‌های نزدیک به عملیات برداشت که پوشش زمین بیشترین تراکم را دارد، NDVI دارای بیشترین مقادیر است.

ارتباط تبخیر و تعرق واقعی و شاخص NDVI

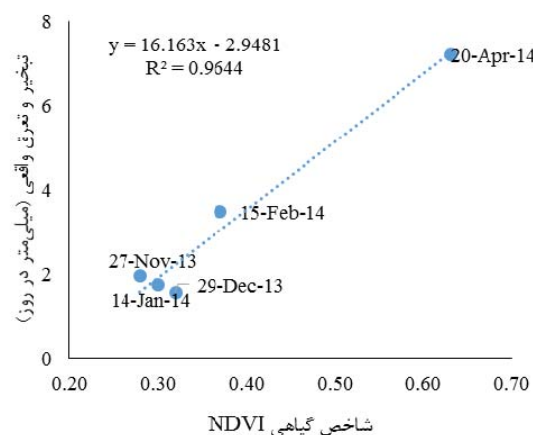
به منظور بررسی رابطه میان تبخیر و تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای و یونجه و شاخص NDVI در اراضی کشاورزی کشت و

درحالی است که با نزدیک شدن به فصل سرما و کاهش فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه و کاهش رسانایی روزنه‌ای، میزان تعرق از پوشش گیاهی کاهش یافت و تغییرات کمتری را نشان می‌دهد. پس از آن، همراه با افزایش دمای هوا به بالاتر از دمای پایه فیزیولوژیکی گیاه، فعالیت گیاه نیز افزایش یافت و این موجب افزایش تعرق از پوشش گیاهی می‌شود (شکل ۷).

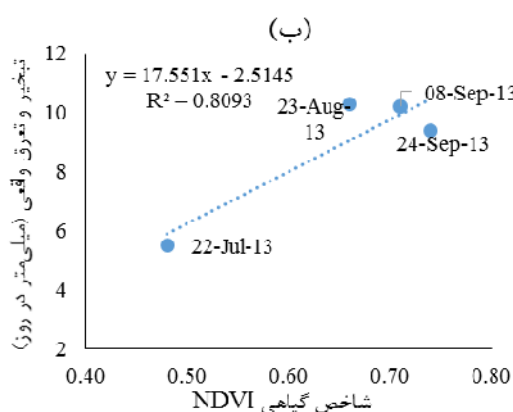
شاخص پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های ماهواره لندست بر اساس نتایج حاصل از محاسبه مقادیر شاخص گیاهی NDVI می‌توان گفت که با کاشت گیاه و سبز شدن آن در طول زمان



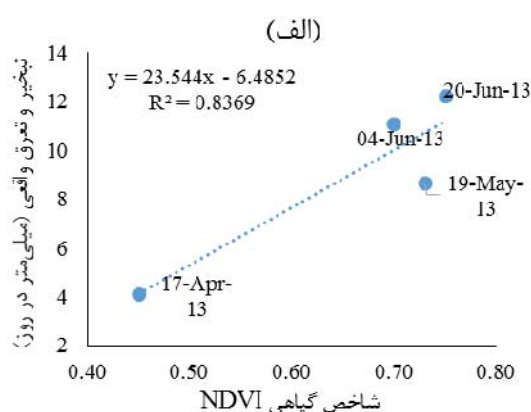
شکل ۹. ارتباط مقادیر NDVI-ETc در زمین شماره یک (یونجه) در سال ۲۰۱۴



شکل ۸. ارتباط مقادیر NDVI-ETc در زمین شماره یک (یونجه) در سال ۲۰۱۳



شکل ۱۰. ارتباط مقادیر NDVI-ETc در زمین شماره دو در سال ۲۰۱۳: الف) کشت اول و ب) کشت دوم

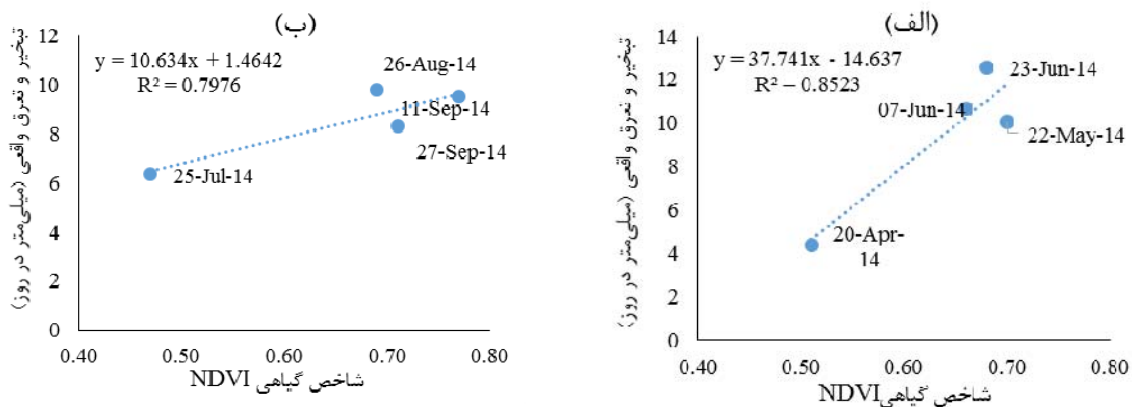


نتایج حاصل از زمین‌های شماره دو الی شش زیر کشت ذرت علوفه‌ای در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ در شکل‌های ۱۰ تا ۱۸ نشان داده شده است. با توجه به نتایج شکل‌های ۱۰ و ۱۱، میان شاخص NDVI و تبخیر و تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای در زمین شماره دو طی دو سال مطالعه و در طول دو دوره کشت همبستگی قوی و مثبتی وجود دارد.

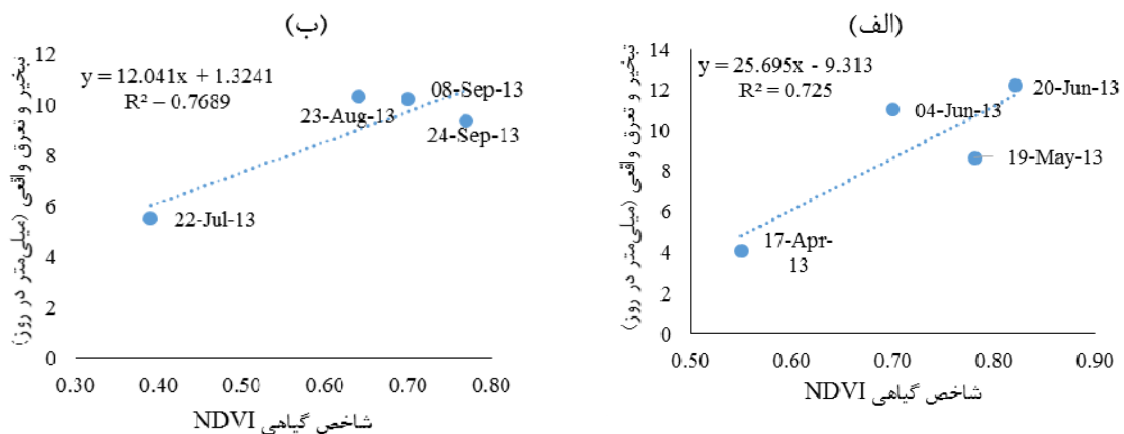
نتایج حاصل از زمین شماره سه (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) نشان می‌دهد که روند ثابتی میان تغییرات NDVI و ETc در دو دوره کشت سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۴ وجود دارد. علاوه بر این، همبستگی خوبی میان این دو متغیر به‌جز در دوره اول کشت سال ۲۰۱۴ ($R^2 = 0.3189$) مشاهده می‌شود. این درحالی است که کاهشی در مقدار شاخص NDVI در آخرین تاریخ تصویر مورد؛

صنعت چارتاسیان، ضریب همبستگی و معادله رگرسیونی میان دو متغیر NDVI و ETc در هر یک از زمین‌های مورد مطالعه طی دو سال ۲۰۱۳-۲۰۱۴ مشخص شد. نتایج حاصل از زمین شماره یک با محصول یونجه در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ به ترتیب در شکل (۸) و (۹) ارائه شده است.

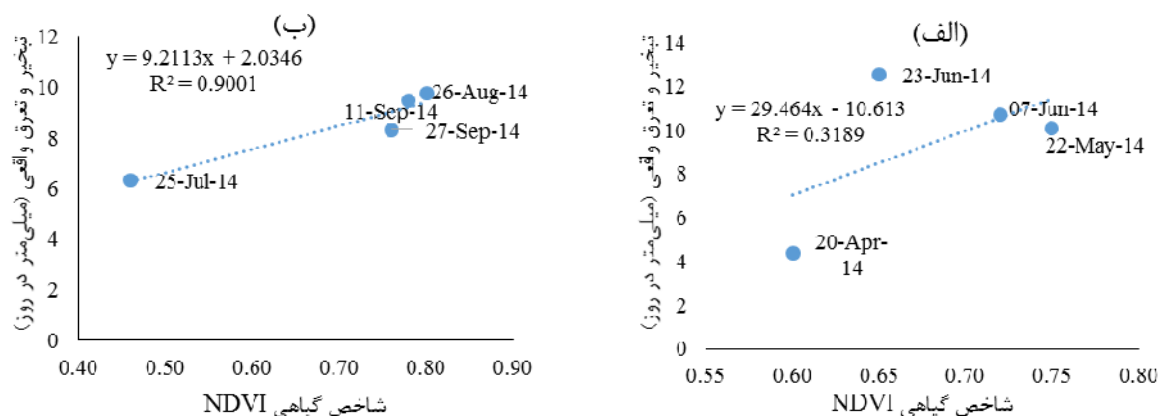
تجزیه و تحلیل نتایج شکل‌های ۸ و ۹، همبستگی قوی ($R^2 = 0.9644$ در سال ۲۰۱۳ و $R^2 = 0.8221$ در سال ۲۰۱۴) را میان شاخص NDVI به‌دست آمده از تصاویر ماهواره لندست و تبخیر و تعرق محاسبه شده از روش فائو ۵۶ در زمین زیر کشت یونجه در دو سال مطالعه نشان می‌دهد. این ارتباط قوی حاکی از این است که با رشد پوشش گیاهی و افزایش تراکم آن، میزان تبخیر و تعرق افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۱۱. ارتباط مقادیر NDVI-ET_c در زمین شماره دو در سال ۲۰۱۴: الف) کشت اول و ب) کشت دوم

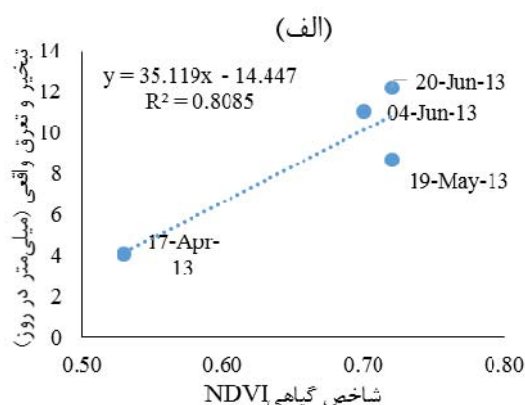
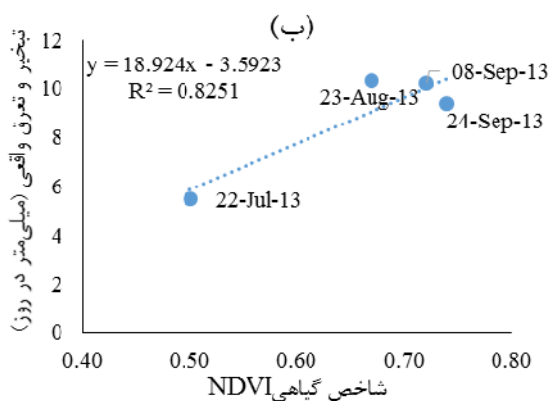


شکل ۱۲. ارتباط مقادیر NDVI-ET_c در زمین شماره سه در سال ۲۰۱۳: الف) کشت اول و ب) کشت دوم

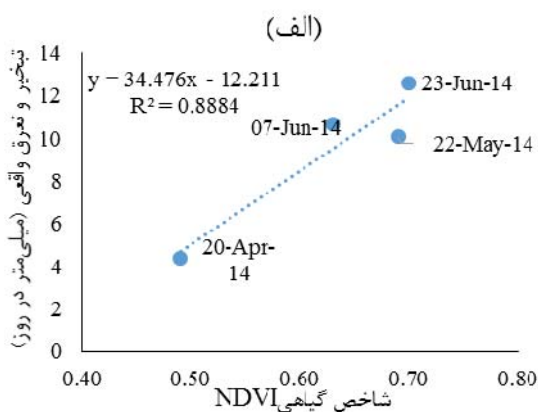
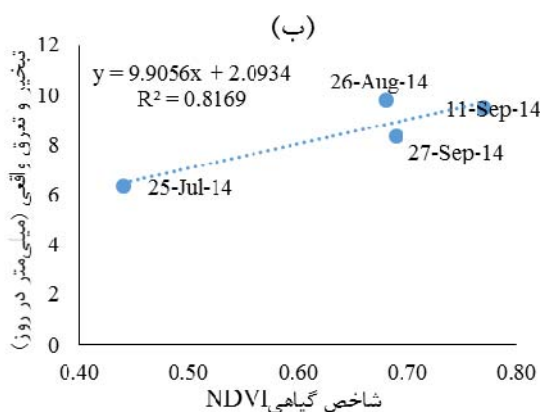


شکل ۱۳. ارتباط مقادیر NDVI-ET_c در زمین شماره سه در سال ۲۰۱۴: الف) کشت اول و ب) کشت دوم

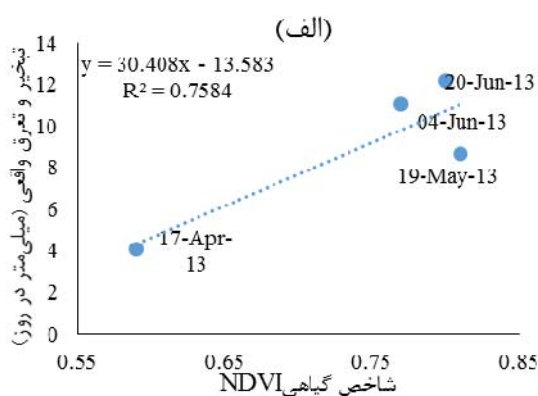
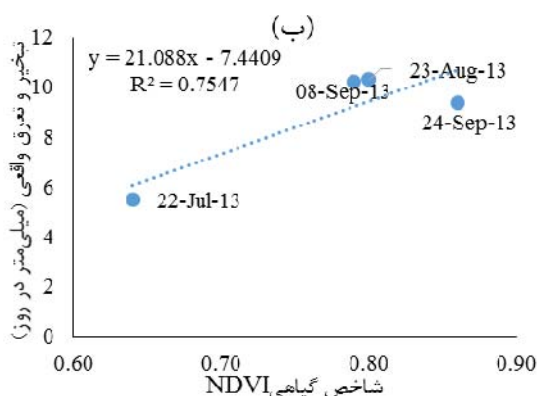
مطالعه در این دوره کشت (تاریخ ۲۳ ژوئن ۲۰۱۴) دیده می‌شود و در نتیجه کاهش تراکم و سبزیگی پوشش گیاهی است. تجزیه و تحلیل نتایج شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نشان می‌دهد که دلیل این امر نیز برداشت بخشی از محصولات در اوایل تیر ماه



شکل ۱۴. ارتباط مقادیر NDVI-ET_c در زمین شماره چهار در سال ۲۰۱۳: الف) کشت اول و ب) کشت دوم



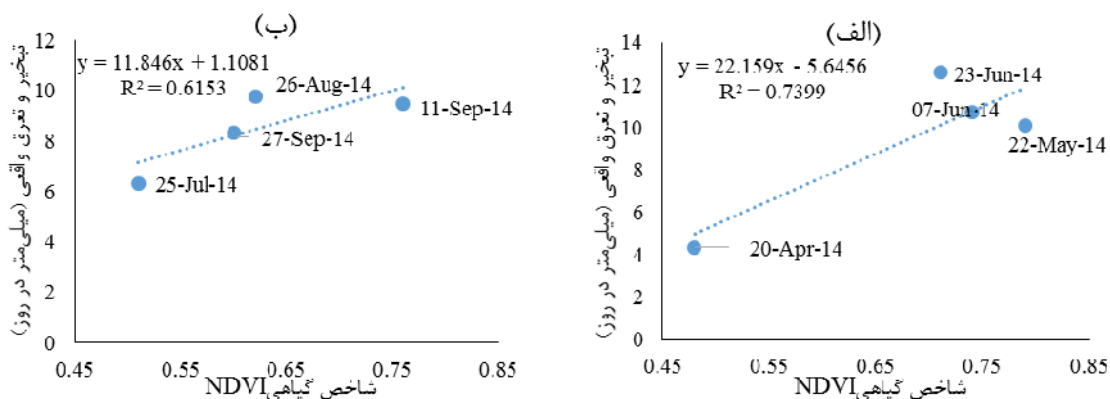
شکل ۱۵. ارتباط مقادیر NDVI-ET_c در زمین شماره چهار در سال ۲۰۱۴: الف) کشت اول و ب) کشت دوم



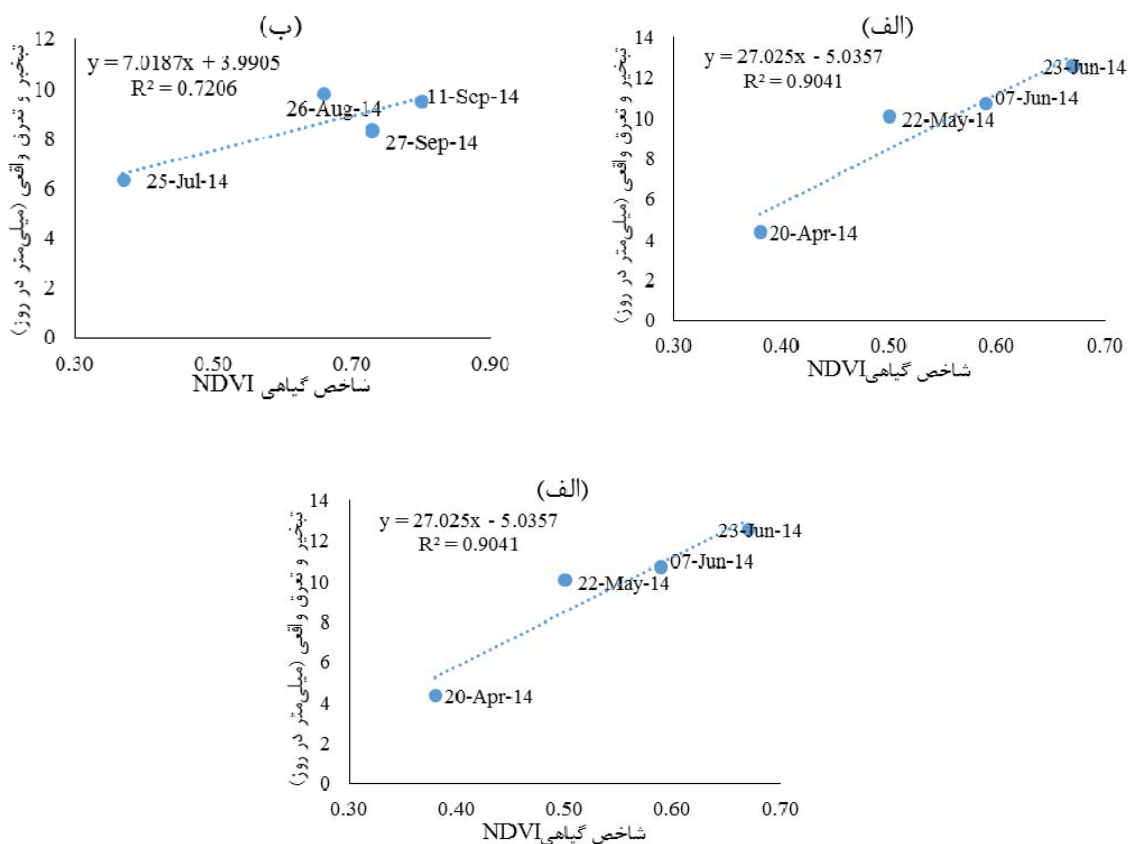
شکل ۱۶. ارتباط مقادیر NDVI-ET_c در زمین شماره پنج در سال ۲۰۱۳: الف) کشت اول و ب) کشت دوم

در مورد زمین شماره پنج نیز با توجه به شکل‌های ۱۶ و ۱۷، همبستگی خوبی میان NDVI و ET_c به‌جز در دومین دوره کشت سال ۲۰۱۴ ($R^2 = 0/61$) قابل مشاهده است. در واقع،

میان شاخص NDVI و تبخیر و تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای در زمین شماره چهار طی دو سال مطالعه و در طول دو دوره کشت همبستگی قوی و مثبتی وجود دارد.



شکل ۱۷. ارتباط مقادیر NDVI-ET_c در زمین شماره پنج در سال ۲۰۱۳: الف) کشت اول و ب) کشت دوم



شکل ۱۸. ارتباط مقادیر NDVI-ET_c در زمین شماره شش در سال ۲۰۱۴: الف) کشت اول و ب) کشت دوم

لازم به ذکر است که با بررسی نتایج حاصل از شاخص NDVI زمین شماره شش و پایین بودن مقادیر آن (غالباً کمتر از ۰/۲) در هشت تصویر مورد مطالعه مربوط به ماه‌های مختلف دو دوره کشت سال ۲۰۱۳ مشخص شد که این زمین در سال ۲۰۱۳ تحت کشت قرار نگرفته و فاقد پوشش بوده است. مقادیر پایین

کاهش میزان شاخص NDVI در آخرین تاریخ تصویر مورد مطالعه در این دوره کشت (تاریخ ۲۷ سپتامبر ۲۰۱۴) که مصادف با انجام عملیات برداشت محصول در اوایل مهرماه است، نشان‌دهنده کاهش تراکم پوشش زمین و در نتیجه کاهش ضریب همبستگی است.

می‌توان این مدل ریاضی را در هر زمان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست به‌روزرسانی کرد.

در همین راستا، سوزوکی و همکاران (۲۴) با بررسی تغییرات سالانه پوشش گیاهی از طریق تعیین شاخص گیاهی NDVI بیان کردند تغییرات سالانه این شاخص گیاهی، دما و بارش رابطه مستقیمی با تغییرات سالانه تبخیر و تعرق داشته است.

جانسون و تراوت (۱۰) روش شاخص گیاهی NDVI را به‌عنوان روشی دقیق و کم‌هزینه برای تعیین میزان تبخیر و تعرق پوشش گیاهی معرفی کردند و اظهار داشتند این روش نزدیک‌ترین نتایج را در مقایسه با میزان تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر ارائه می‌دهد. ماسلی (۱۲) استفاده از مدل NDVI-ETC را به‌دلیل دقت بالای آن، به‌منظور پایش و ارزیابی تبخیر و تعرق در مقیاس منطقه‌ای توصیه کرد.

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی کارایی شاخص گیاهی NDVI در تعیین تبخیر و تعرق اراضی کشاورزی حاشیه بیابان بوده است. بنابراین، ابتدا با استفاده از روش فائو- پنمن-مانتیت میزان تبخیر و تعرق مرجع اراضی کشاورزی مورد مطالعه برآورد شد و پس از آن با اعمال ضرایب گیاهی مناسب با مرحله رشد محصول، میزان تبخیر و تعرق واقعی محصول زراعی هر یک از زمین‌ها تعیین شد. از سوی دیگر، پس از دریافت تصاویر ماهواره لندست ۷ و انجام پردازش‌های لازم روی آنها، شاخص NDVI محاسبه و درنهایت، ارتباط میان تبخیر و تعرق واقعی با شاخص گیاهی NDVI به‌دست آمده از داده‌های ماهواره‌ای بررسی شد.

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و با توجه به کارایی بالای مدل NDVI-ETC در اراضی کشاورزی دشت ورامین پیشنهاد می‌شود که این مدل، به‌منظور مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی، در مناطق مختلف ایران استفاده شود. از سوی دیگر، به‌دلیل اینکه بررسی دقت نتایج حاصل از مدل-NDVI-ETC نیازمند نتایج به‌دست آمده از لایسیمترها است؛ بنابراین

شاخص NDVI در این ماه‌ها نیز حاکی از این است که میزان سبز بودن به‌دلیل رویش گیاهان خودرو در این زمین است. نتایج به‌دست آمده از دو دوره کشت ذرت در سال ۲۰۱۴ در این زمین، نشان‌دهنده وجود ارتباط قوی میان NDVI و ET_C است (شکل ۱۸).

نتایج نشان داد که بیشترین میزان NDVI در دوره‌ای است که بیشترین تراکم پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی مشاهده می‌شود. علت این مسئله مربوط به وجود باندها و مادون قرمز نزدیک به‌کار گرفته شده در تعیین این شاخص است؛ زیرا گیاهان سبز بیشترین میزان انعکاس را در باندها و مادون قرمز نزدیک دارند. بنابراین، می‌توان گفت شاخص NDVI شاخصی مفید برای بررسی و تعیین وضعیت پوشش زمین در اراضی کشاورزی است. همچنین، می‌توان اظهار داشت که با توجه به فصل رشد و تراکم هر یک از محصولات غالب در اراضی مورد مطالعه در این پژوهش، نتایج حاصل از NDVI در محدوده قابل قبولی قرار دارند.

علاوه بر این، با توجه به بالا بودن ضریب همبستگی، ارتباط قوی میان شاخص NDVI و ET_C حاصل از روش فائو ۵۶ در تمامی زمین‌ها و با محصولات مختلف زراعی وجود دارد. لازم به ذکر است که عواملی همچون برداشت محصولات، بروز بیماری و یا کاهش شادابی در پوشش زمین موجب افت شاخص NDVI شد که این خود باعث کاهش ضریب همبستگی میان NDVI و ET_C می‌شود. البته در هر حال، روند ثابت و مثبتی میان تغییرات NDVI و ET_C قابل مشاهده است.

همچنین می‌توان اظهار کرد که با برقراری رابطه ریاضی (مدل ریاضی) میان NDVI و ET_C، می‌توان میزان تبخیر و تعرق واقعی پوشش گیاهی را بدون اندازه‌گیری‌های زمینی و با دقت نسبتاً بالایی به‌دست آورد. البته لازم به توجه است که رابطه ریاضی میان این دو متغیر برای هر زمین بر اساس پوشش گیاهی موجود در آن متفاوت خواهد بود که طی یک بار عملیات صحرائی می‌توان مدل مربوط به هر زمین را تعیین کرد. بدین ترتیب، پس از به‌دست آوردن رابطه ریاضی میان NDVI و ET_C،

انجام می‌شود. از آنجایی که مقادیر ET_0 بر اساس تغییرات پارامترهای هواشناسی، تغییرات مکانی شدیدی نشان می‌دهند؛ افزایش تراکم ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق مورد مطالعه باعث افزایش دقت در محاسبات تبخیر و تعرق خواهد شد.

توصیه می‌شود که در مناطق مورد مطالعه ایستگاه‌های لایسیمتری وزنی تأسیس شود. این نوع لایسیمترها توانایی اندازه‌گیری تبخیر و تعرق را در زمان گذر ماهواره دارا بوده و می‌توان نتایج به‌دست آمده از آنها را به‌طور مستقیم با نتایج حاصل از داده‌های ماهواره‌ای مقایسه کرد و اصلاحات لازم

منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, H. A. 2014. Dynamic Modeling of Wastewater Utilization with Sustainable Agriculture Approach (Case Study: Varamin Plain). PhD Thesis, Department of Irrigation Engineering, Colleague of Agricultura and Natural Resources, University of Tehran.
2. Dodds, P. E., A. Barton and W. S. Meyer. 2005. Review of Methods to Estimate Irrigated Reference Crop Evapotranspiration Across Australia. CRC for Irrigation Futures Technical Report No 04/05, 48 pp.
3. Drerup, P., H. W. Brueck and H. Scherer. 2017. Evapotranspiration of winter wheat estimated with the FAO 56 approach and NDVI measurements in a temperate humid climate of NW Europe. *Agricultural Water Management* 192: 180-188.
4. Farg, E., S. M. Arafat, M. A. El-Wahed and A. M. EL-Gindy. 2012. Estimation of Evapotranspiration ET_c and Crop Coefficient K_c of Wheat, in south Nile Delta of Egypt Using integrated FAO-56 approach and remote sensing data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 15(1):83-9.
5. Farshi, A. A. 1998. An estimate of water requirement of main field crops and orchards in Iran. Iranian Water and Soil Research Institute, pp. 900.
6. Glenn, E. P., P. L. Nagler and A. R. Huete. 2010. Vegetation index methods for estimating evapotranspiration by remote sensing. *Surveys in Geophysics* 31(6): 531-55.
7. Hekmaat Pour, L., S. Faiznia, H. Ahmadi and A. Khalil Pour. 2007. Zoning suitable areas for artificial nutrition in Varamin plain using GIS and decision support system. *Environmental Studies* 33(42): 1-8.
8. Holm, A. M., D. G. Burnside and A. A. Mitchell. 1987. The development of a system for monitoring trend in range condition in the arid shrublands of Western Australia. *The Rangeland Journal* 9(1): 14-20.
9. Iran Water Resources Management Company. 2010, Studies of updating the water resources balance in the salt lake study period, Water and Sustainable Development Consulting Engineers.
10. Johnson, L. F. and T. J. Trout. 2012. Satellite NDVI assisted monitoring of vegetable crop evapotranspiration in California's San Joaquin valley. *Remote Sensing* 4(2): 439-455.
11. Johnson, T. D. and K. Belitz. 2012. A remote sensing approach for estimating the location and rate of urban irrigation in semi-arid climates. *Journal of Hydrology* 414: 86-98.
12. Maselli, F., D. Papale, M. Chiesi, G. Matteucci, L. Angeli, A. Raschi and G. Seufert. 2014. Operational monitoring of daily evapotranspiration by the combination of MODIS NDVI and ground meteorological data: Application and evaluation in Central Italy. *Remote Sensing of Environment* 152: 279-290.
13. Mobasheri, M. R and H. F. Khavarian. 2014. Analysis of Satellite Usage Methods for Evaluation of Evapotranspiration Rate. *Scientific Journals Management System* 3(4): 83-98.
14. Molden, D., T. Y. Oweis, S. Pasquale, J. W. Kijne, M. A. Hanjra, P. S. Bindraban, B. A. Bouman, S. Cook, O. Erenstein, H. Farahani and A. Hachum. 2007. Pathways for increasing agricultural water productivity. Water for food, water for life: a Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London, UK: Earthscan; Colombo, Sri Lanka. *International Water Management Institute (IWMI)* 279-310.
15. Nagler, P. L., E. P. Glenn, T. L. Thompson and A. Huete. 2004. Leaf area index and normalized difference vegetation index as predictors of canopy characteristics and light interception by riparian species on the Lower Colorado River. *Agricultural and Forest Meteorology* 125(1): 1-17.
16. Nouri, H., S. Anderson, S. Beecham and D. Bruce. 2013. Estimation of Urban Evapotranspiration through Vegetation Indices Using worldview2 Satellite Remote Sensing Images (Doctoral dissertation, Commission Internationale du Genie Rural).
17. Nouri, H., S. Beecham, F. Kazemi and A. M. Hassanli. 2013. A review of ET measurement techniques for estimating the water requirements of urban landscape vegetation. *Urban Water Journal* 10(4): 247-259.
18. Nouri, H., S. Beecham, F. Kazemi, A. M. Hassanli and S. Anderson. 2013. Remote sensing techniques for predicting evapotranspiration from mixed vegetated surfaces. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 10(3): 3897-3925.

19. Nouri, H., S. Beecham, S. Anderson and P. L. Nagler. 2014. High spatial resolution WorldView-2 imagery for mapping NDVI and its relationship to temporal urban landscape evapotranspiration factors. *Remote Sensing* 6(1): 580-602.
20. Nouri, H., S. Beecham, S. Anderson, A. M. Hassanli and F. Kazemi. 2015. Remote sensing techniques for predicting evapotranspiration from mixed vegetated surfaces. *Urban Water Journal* 12(5): 380-393.
21. Organization Agriculture-Jihad Tehran, 2012, <http://tehran.agri-jahad.ir>.
22. Rafiee Eman, A. and G. Zehtabian. Investigation of factors affecting land Degradation in Varamin Plain. 2006. *Iranian Journal of Natural Resources* 59(2): 289-298.
23. Reyes-González, A., J. Kjaersgaard, T. Trooien, C. Hay and L. Ahiablame. 2018. Estimation of Crop Evapotranspiration Using Satellite Remote Sensing-Based Vegetation Index. *Advances in Meteorology* 2018: 1-13.
24. Suzuki, R., K. Masuda and D. G. Dye. 2007. Interannual covariability between actual evapotranspiration and PAL and GIMMS NDVIs of northern Asia. *Remote Sensing of Environment* 106(3): 387-398.
25. Trout, T. J., L. F. Johnson and J. Gartung. 2008. Remote sensing of canopy cover in horticultural crops. *HortScience* 43(2): 333-337.

Estimation of Virtual Water and Water Requirement of Desert Margin Vegetation Using Satellite Images (A Case Study: Varamin Plain)

B. Noori¹, H. Nouri², GH. Zehtabian¹, A. H. Ehsani³, H. Khosravi^{1*}
and H. Azarnivand¹

(Received: November 18-2018 ; Accepted: March 4-2019)

Abstract

Due to the impact of climate change on the plant water demand and the availability of water, especially in drylands, it is vital to estimate the evapotranspiration rates accurately. In this study, the vegetation status in the marginal desert areas of Varamin Plain was studied, and the actual evapotranspiration and water demand of intercropped farms were assessed. This study also evaluated the potential relationship between the evapotranspiration of different agricultural lands and their vegetation index using remote sensing techniques. A collection of satellite images from Landsat 7 in consecutive seasons was used to determine the greenness rate of marginal desert areas during 2013 and 2014. ENVI software was used for the image processing, which included geometric corrections and atmospheric corrections, to develop NDVI maps. Also, weather data and crop properties of Varamin Plain were collected, and the actual evapotranspiration rate of plant cover was estimated using CropWat. The correlation between NDVI extracted from satellite images and the evaluated evapotranspiration rate was assessed. The results showed a strong relationship between evapotranspiration of heterogeneous agricultural lands and NDVI. This confirmed that the NDVI derived by remote sensing approach could be a useful index to evaluate vegetation status and water demand of farmlands in the desert borders.

Keywords: Evapotranspiration, Remote sensing, NDVI, FAO- Penman- Monteith, Varamin plain

1. Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Water Engineering and Management, Division of Agronomy, University of Gottingen, Germany.

3. Environmental Design Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

*: Corresponding author: hakhosravi@ut.ac.ir