

ارزیابی بهره‌وری آب در شبکه آبیاری و زهکشی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان با استفاده از سنجش از دور

مصطفی عساری^۱، سید مجید میرلطیفی^{۲*}، مهدی اکبری^۳، عبد علی ناصری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۳

چکیده

در تحقیق حاضر مدیریت آبیاری و بهره‌وری از آب در شبکه آبیاری و زهکشی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان توسط شاخص‌های گیاهی با استفاده از نقشه‌های پوشش گیاهی و رطوبتی سطح خاک حاصل از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره Terra سنجنده MODIS، مورد ارزیابی قرار گرفت. در ابتدا با پیش پردازش اطلاعات حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در طول دوره رشد برای ۲ سال متوالی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ ضریب بازتاب پوشش سطح زمین، ضریب تابش سطح زمین و شاخص‌های گیاهی SAVI، GVI، NDVI و BGR تعیین و سطح زیرکشت و تراکم کشت محاسبه شد. با بهره‌گیری از الگوریتم سبال، اجزای بیلان انرژی در سطح زمین تعیین و تبخیر و تعرق واقعی اراضی تحت کشت محاسبه گردید و به‌عنوان آب مصرفی برای بررسی عرضه نسبی آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد بیولوژیکی گیاه نیشکر به کمک متوسط تشعشع روزانه خورشیدی و تشعشع جذب شده مؤثر در فتوسنتز گیاه در غالب شاخص BGR تعیین و به‌عنوان نمادی از تولید محصول منظور و سودمندی آب از نسبت عملکرد زیستی به میزان تبخیر-تعرق واقعی برآورد شد. روند تغییرات فصلی برای عملکرد زیستی، شاخص‌های گیاهی و تبخیر-تعرق واقعی گیاه حاصل شد. بررسی میزان عرضه و تقاضای آب بیانگر آن است که کمبود آبی در این شبکه وجود ندارد و بخشی از آب اضافی وارد شده به شبکه صرف آبشویی نمک در پروفیل خاک می‌شود. متوسط سودمندی آب برای عملکرد زیستی در این شبکه برای سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به ترتیب ۵/۲۱ و ۶/۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب بود. هم-چنین عرضه نسبی آب برای سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به ترتیب ۱/۶۷ و ۱/۷۳ می‌باشد. نتایج حاصل دلالت بر آن دارد که روش پیشنهادی برای ارزیابی بهره‌وری آب در سطوح گسترده مانند شبکه‌های آبیاری و زهکشی مناسب و کاربردی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم سبال، سودمندی آب، سنجنده MODIS، شاخص‌های گیاهی

مقدمه

برآورد سطح زیر کشت، الگو و تراکم کشت و تولید محصول بر اساس اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای هم‌زمان بر و هم‌هزینه‌بر است. از این رو سنجش از دور، فناوری بسیار مفیدی است که با داشتن خصوصیات نظیر فراهم ساختن یک دید وسیع و یکپارچه از یک منطقه، قابلیت تکرار پذیری، سهل الوصول بودن اطلاعات و دقت بالای اطلاعات حاصله و صرفه‌جویی در زمان بر سایر روش‌ها جهت پایش پوشش گیاهی و حفاظت از منابع آب و خاک ارجحیت داده می‌شود (Akbari et al, 2007). ترکیب نتایج حاصل از مشاهدات و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای با داده‌های سنجش از دور می‌تواند نقشه‌های به‌هنگام خصوصیات گیاهی از قبیل شاخص سطح برگ، BGR و NDVI را ارائه نماید که این امر در مدیریت دقیق کشاورزی ارزشمند است. استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی نیز می‌تواند برای برآورد میزان تولید خالص سالانه، تفکیک نوع پوشش گیاهی در مقیاس‌های وسیع به کار گرفته شود (Adamchuk et al, 2004). با پایش تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای مورد اشاره در شبکه‌های بزرگ آبیاری و زهکشی می‌توان اقدام به محاسبه شاخص‌های مورد

در شبکه‌های بزرگ آبیاری و زهکشی ارزیابی بهره‌وری آب در تولید محصول کشاورزی جهت تشخیص نقاط قوت و ضعف مدیریتی و استفاده بهینه از منابع آب و خاک امری ضروری است. جهت انجام ارزیابی دقیق نیاز به داده‌هایی شامل سطح زیرکشت، الگو و تراکم کشت، تبخیر-تعرق واقعی، تولید محصول، آب برداشت شده از منابع سطحی و آب خارج شده از پروفیل خاک می‌باشد.

- ۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
 - ۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
 - ۳- دانشیار بخش تحقیقات مهندسی آبیاری تحت فشار، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج
 - ۴- استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- (*) نویسنده مسئول: (Email: mirlat_m@modares.ac.ir)

کشت، الگوی کشت و تبخیر-تعرق نیاز است. اطلاعات مذکور از طریق ابزارهای مختلفی مانند اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای، مدل‌های هیدرولوژیکی و فناوری‌های ماهواره‌ای قابل حصول می‌باشند. هر یک از ابزارهای فوق دارای محاسن و معایب خاص خود می‌باشند. لذا در تحقیق جاری از تلفیق اطلاعات سنجنش از دور و مزرعه‌ای اقدام به تهیه نقشه‌های‌های به هنگام سطح زیر کشت، الگوی کشت و تبخیر-تعرق و محاسبه عرضه نسبی آب و شاخص سودمندی آب جهت ارزیابی مدیریت آبیاری در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان گردید.

وجه تمایز تحقیق حاضر نسبت به تحقیقات قبلی در کشور استفاده از تصاویر مودیس جهت محاسبه شاخص‌های گیاهی و کاربرد آن در الگوریتم سبال برای محاسبه شاخص سودمندی آب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

کشت و صنعت میرزا کوچک خان یکی از هفت شرکت توسعه کشت نیشکر و صنایع جانبی در منطقه جنوب استان خوزستان می‌باشد. موقعیت جغرافیایی این واحد شامل: حد شمالی ۱۵° ۳۱، حد جنوبی ۴۶° ۳۰، حد شرقی ۳۰° ۴۸ (رودخانه کارون)، حد غربی ۱۲° ۴۸ (جاده اهواز - خرمشهر) می‌باشد. نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک هواشناسی به منطقه مورد مطالعه، ایستگاه سینوپتیک اهواز می‌باشد. کل مساحت کشت و صنعت میرزا کوچک خان در حدود ۱۴۰۰۰ هکتار است که نزدیک به ۱۲۰۰۰ هکتار آن به مزارع ۲۵ هکتاری شبکه‌بندی شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محل این کشت و صنعت را نشان می‌دهد.

تصاویر و امکانات مورد استفاده

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر MODIS به صورت سری زمانی ۱۰ روزه در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ میلادی مصادف با سال زراعی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ می‌باشد. تاریخ و ساعت تصویربرداری ماهواره به کار رفته در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است. زمان تصویر برداری ماهواره برحسب زمان گرینویچ (GMT) می‌باشد و بایستی به زمان محلی منطقه مورد مطالعه تبدیل شود.

زمان تصویر (به وقت محلی) برابر است با زمان تصویر (GMT) به‌علاوه جزء تصحیح. که برای ایران این مقدار تصحیح ۳/۵ ساعت می‌باشد (مباشری، ۱۳۸۵).

نیاز برای ارزیابی شبکه‌های آبیاری و زهکشی نمود و به نتایج قابل قبولی در اتخاذ تصمیمات مناسب جهت توسعه آبیاری و حفاظت از منابع آب رسید. استفاده از فناوری سنجنش از دور، امکان بررسی تغییرات مصرف آب و میزان تولید محصولات کشاورزی و در نهایت محاسبه میزان کارایی مصرف آب در مقیاس حوضه‌ای را فراهم می‌نماید. در روش‌های مبتنی بر سنجنش از دور داده‌های باندهای طیفی مختلف را که بیانگر پارامترهایی نظیر درصد پوشش گیاهان، زیست توده و شاخص سطح برگ می‌باشند به یک مقدار واحد در هر پیکسل کاهش می‌دهند. در واقع دیدگاه رایج در زمینه‌ی بررسی و پایش پوشش‌های گیاهی محاسبه مقادیر شاخص گیاهی می‌باشد (Drysdales and Metternicht, 2003). باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای به لحاظ اختلاف معنی‌دار بازتابش پوشش گیاهی در طول موج‌های آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک ایجاد می‌گردند. شاخص‌های گیاهی مورد اشاره با استفاده از یک سری عملیات ریاضی ساده مانند جمع، تفریق، نسبت گیری و یا دیگر ترکیبات خطی و غیرخطی مبتنی بر اطلاعات موجود در هر یک از باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای برای هر پیکسل محاسبه می‌گردند.

چمین و همکاران با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای، سیستم اطلاعات جغرافیایی و به‌کارگیری الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین، تبخیر-تعرق واقعی و آب مصرفی یک شبکه آبیاری را برآورد کردند. نتایج مذکور نشان داد که در اولین نوبت آبیاری حدود ۷۰٪ از آب تحویلی به شبکه، از طریق تبخیر-تعرق تخلیه نشده است و به صورت نفوذ عمقی یا ذخیره در لایه‌های خاک باقی مانده است. نتایج تحقیق مذکور دلالت بر آن دارد که می‌توان با استفاده از سنجنش از دور، پراکنش میزان تبخیر-تعرق واقعی گیاه در سطح شبکه را تعیین نمود و با مقایسه آن با مقدار آب تحویلی به شبکه اقدام به بررسی بهره‌وری آب و تعیین نقاط ضعف آبیاری و پتانسیل اراضی برای صرفه‌جویی در مصرف آب در یک سطح وسیع نمود (Chemin et al, 2004).

در تحقیقی جهت محاسبه شاخص‌های گیاهی از الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین (سبال) استفاده گردید (Bastiaanssen et al, 1998). ایشان به منظور صحت‌یابی الگوریتم سبال، از اطلاعات موجود تبخیر - تعرق مزارع در مقیاس بزرگ در کشورهای چین، هند، اسپانیا و پاکستان استفاده نمودند و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای تبخیر-تعرق را با نتایج حاصل از الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین (با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای) مقایسه کردند. نتایج نشان داد که در ۸۵ درصد موارد داده‌های حاصل از الگوریتم سبال با داده‌های مزرعه‌ای بدون هیچ‌گونه واسنجی مطابقت داشت و لذا استفاده از الگوریتم سبال در مقیاس منطقه‌ای و شبکه‌های آبیاری بزرگ قابل توصیه می‌باشد.

برای ارزیابی شبکه‌های آبیاری به نقشه‌های به هنگام سطح زیر



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مزارع شرکت کشت و صنعت میرزا کوچک خان

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

که ρ_{NIR} و ρ_R به ترتیب بازتابندگی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشند. دامنه تغییرات این شاخص بین ۱- و ۱+ می‌باشد. ابرها، برف و آب دارای انعکاس بیش‌تری در باند قرمز نسبت به مادون قرمز نزدیک می‌باشند. پدیده‌های مذکور در تصویر NDVI دارای مقادیر منفی می‌شوند. بازتاب مناطق با خاک لخت در محدوده مادون قرمز نزدیک و قرمز مشابه است، بنابراین در تصویر NDVI دارای ارزشی نزدیک به صفر هستند. مناطق با پوشش گیاهی متراکم دارای بازتاب بیش‌تری در طیف مادون قرمز نزدیک بوده، بنابراین ارزش این مناطق در تصویر NDVI بزرگ‌تر از صفر است (Parodi, 2002). نقشه NDVI برآورد شده از مدل سبال در تاریخ ۱۳۸۵/۵/۲۰ در شکل ۲ نشان داده شده است.

ایستگاه سینوپتیک اهواز (نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه) به‌عنوان ایستگاه مبنا انتخاب گردید. پارامترهای هواشناسی (به صورت سه ساعته) شامل تابش خورشیدی، رطوبت نسبی، سرعت باد و دما در روزهای گذر ماهواره از اندازه‌گیری‌های ثبت شده توسط این ایستگاه برای روزهای مورد نظر، استخراج گردید.

شاخص‌های گیاهی

شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI)

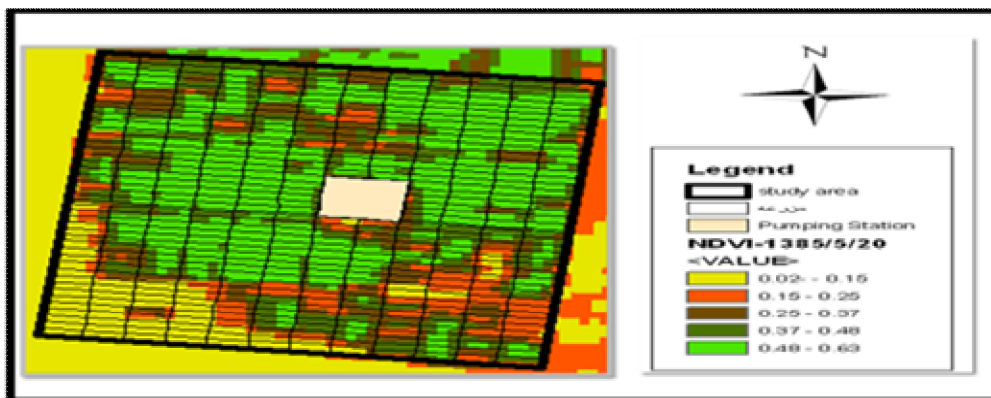
شاخص گیاهی NDVI، نمادی از میزان و وضعیت پوشش گیاهی می‌باشد. از این شاخص در برآورد بازتابش پوشش سطح زمین، شاخص سطح برگ، سطح زیر کشت و شدت رشد توده زنده گیاهی استفاده می‌گردد. این شاخص از رابطه زیر محاسبه گردید (Bastiaanssen and Ghandrapala, 2003).

جدول ۱- تاریخ (میلادی) و ساعت تصویربرداری (GMT) ماهواره Terra سنجنده MODIS

تاریخ تصویربرداری	ساعت تصویربرداری (به وقت گرینویچ)	تاریخ تصویربرداری	ساعت تصویربرداری (به وقت گرینویچ)	تاریخ تصویربرداری	ساعت تصویربرداری (به وقت گرینویچ)
۲۰۰۵/۴/۴	۷:۰۰	۲۰۰۵/۷/۱۶	۷:۱۵	۲۰۰۵/۴/۴	۷:۱۰
۲۰۰۵/۴/۱۸	۷:۱۰	۲۰۰۵/۷/۲۷	۷:۳۱	۲۰۰۵/۴/۱۸	۷:۱۵
۲۰۰۵/۴/۲۷	۷:۱۵	۲۰۰۵/۸/۳	۷:۰۵	۲۰۰۵/۴/۲۷	۷:۰۰
۲۰۰۵/۵/۶	۷:۰۰	۲۰۰۵/۸/۱۵	۷:۳۵	۲۰۰۵/۵/۶	۷:۱۵
۲۰۰۵/۵/۱۱	۷:۱۵	۲۰۰۵/۸/۲۴	۷:۲۰	۲۰۰۵/۵/۱۱	۷:۲۵
۲۰۰۵/۵/۲۲	۷:۲۵	۲۰۰۵/۹/۲	۷:۲۱	۲۰۰۵/۵/۲۲	۷:۲۰
۲۰۰۵/۶/۲	۷:۲۰	۲۰۰۵/۹/۱۳	۷:۱۰	۲۰۰۵/۶/۲	۷:۱۲
۲۰۰۵/۶/۱۲	۷:۱۲	۲۰۰۵/۹/۲۰	۷:۲۰	۲۰۰۵/۶/۱۲	۷:۰۰
۲۰۰۵/۶/۲۱	۷:۰۰	۲۰۰۵/۱۰/۲	۷:۰۵	۲۰۰۵/۶/۲۱	۷:۰۵
۲۰۰۵/۷/۲	۷:۳۰	۲۰۰۵/۱۰/۱۱	۷:۱۵	۲۰۰۵/۷/۲	

ادامه جدول ۱- تاریخ (میلادی) و ساعت تصویربرداری (GMT) ماهواره Terra سنجنده MODIS

تاریخ تصویربرداری	ساعت تصویر برداری (به وقت گرینویچ)	تاریخ تصویر برداری	ساعت تصویر برداری (به وقت گرینویچ)	تاریخ تصویر برداری	ساعت تصویر برداری (به وقت گرینویچ)
۲۰۰۶/۳/۲۳	۸:۰۰	۲۰۰۶/۸/۴	۷:۳۵	۲۰۰۶/۳/۲۳	۷:۲۰
۲۰۰۶/۳/۳۱	۷:۱۰	۲۰۰۶/۸/۱۱	۷:۴۱	۲۰۰۶/۳/۳۱	۷:۱۰
۲۰۰۶/۴/۱۴	۷:۲۵	۲۰۰۶/۸/۲۰	۷:۲۵	۲۰۰۶/۴/۱۴	۷:۲۰
۲۰۰۶/۴/۲۲	۷:۲۰	۲۰۰۶/۹/۳	۷:۳۵	۲۰۰۶/۴/۲۲	۷:۲۰
۲۰۰۶/۴/۳۰	۷:۲۵	۲۰۰۶/۹/۷	۷:۲۲	۲۰۰۶/۴/۳۰	۷:۲۵
۲۰۰۶/۵/۱۴	۷:۳۵	۲۰۰۶/۹/۱۹	۷:۴۷	۲۰۰۶/۵/۱۴	۷:۳۵
۲۰۰۶/۵/۲۳	۷:۳۰	۲۰۰۶/۹/۲۸	۷:۳۰	۲۰۰۶/۵/۲۳	۷:۳۰
۲۰۰۶/۶/۳	۷:۲۲	۲۰۰۶/۱۰/۷	۷:۲۵	۲۰۰۶/۶/۳	۷:۲۲
۲۰۰۶/۶/۲۱	۷:۰۰	۲۰۰۶/۱۰/۱۸	۷:۰۵	۲۰۰۶/۶/۲۱	۷:۰۰
۲۰۰۶/۷/۱۰	۷:۴۱	۲۰۰۶/۱۱/۶	۷:۳۵	۲۰۰۶/۷/۱۰	۷:۴۱



شکل ۲- نقشه (NDVI) برآورد شده از مدل سببال در تاریخ ۱۳۸۵/۵/۲۰

شاخص تعدیل شده گیاهی برای خاک (SAVI)

ساختار اولیه شاخص گیاهی SAVI بر مبنای اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای محصول پنبه و پوشش گیاهی مرتع (علفزار) با خاک‌های تیره و روشن استوار گردیده است. این شاخص از رابطه ۲ محاسبه گردید (Bastiaanssen and Ghandrapala, 2003).

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{(\rho_{NIR} + \rho_R + L_c)} (1 + L_c) \quad (2)$$

که در آن L_c فاکتور تصحیح اثرات خاک لخت می‌باشد و از صفر برای پوشش‌های گیاهی متراکم تا یک برای تراکم‌های ضعیف، متغیر است. از آنجایی که تراکم کشت در شبکه مورد مطالعه صد در صد نمی‌باشد و به دلیل رشد سریع گیاه نیشکر مقدار L_c بین مقادیر ۰/۳۶ تا ۰/۶۴ (۱-۰/۶۴) و یک در طول سال ۱۳۸۴ و ۰/۲۶ تا ۰/۷۴ (۱-۰/۷۴) و یک در طول سال ۱۳۸۵، متغیر است (جدول شماره ۲). دامنه تغییرات شاخص SAVI مانند شاخص NDVI از -۱ تا ۱ است (Parodi, 2002). شکل ۳، نقشه SAVI برآورد شده از مدل سببال در تاریخ ۱۳۸۵/۲/۲۴ را نشان می‌دهد.

شاخص سبزی پوشش گیاهی (GVI)

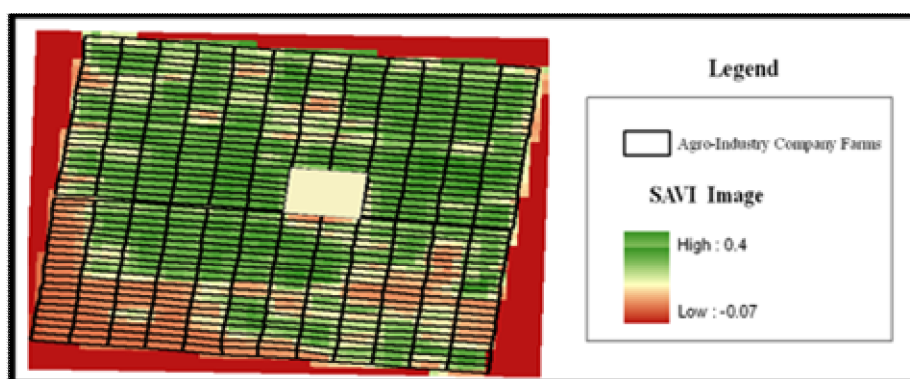
شاخص GVI توسط معادله ۳ محاسبه می‌شود (Panda et al, 2010).

$$GVI = \frac{\rho_{Nir} - \rho_g}{\rho_{Nir} + \rho_g} \quad (3)$$

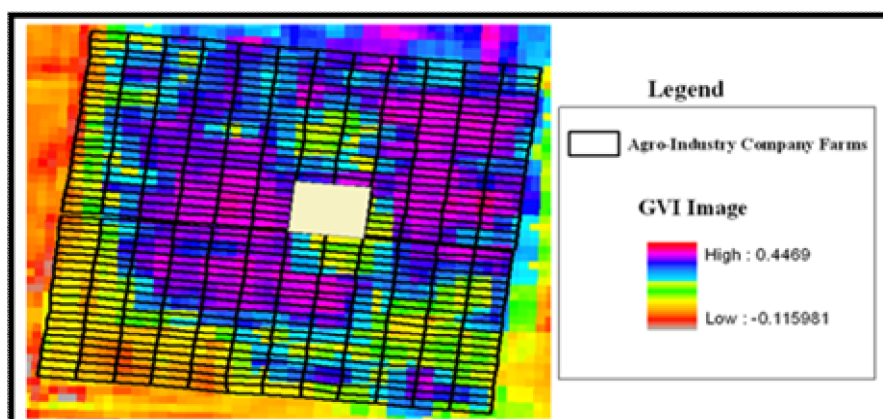
که ρ_{Nir} و ρ_g به ترتیب بازتاب طیفی از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک تصاویر می‌باشند. نقشه GVI برآورد شده از مدل سببال در تاریخ ۱۳۸۵/۵/۲۰ در شکل ۴ نشان داده شده است.

نرخ رشد توده زنده گیاهی (BGR)

با توجه به صرف بخشی از انرژی خورشیدی در فرایند فتوسنتز می‌توان نرخ رشد توده زنده گیاهی را با برآورد میزان انرژی مورد استفاده در فتوسنتز و بهره‌گیری از شاخص‌های گیاهی از جمله NDVI تخمین زد (Parodi, 2002). نرخ رشد توده گیاهی (BGR) به شرح زیر محاسبه گردید:



شکل ۳- نقشه (SAVI) برآورد شده از مدل سبیل در تاریخ ۱۳۸۵/۲/۲۴

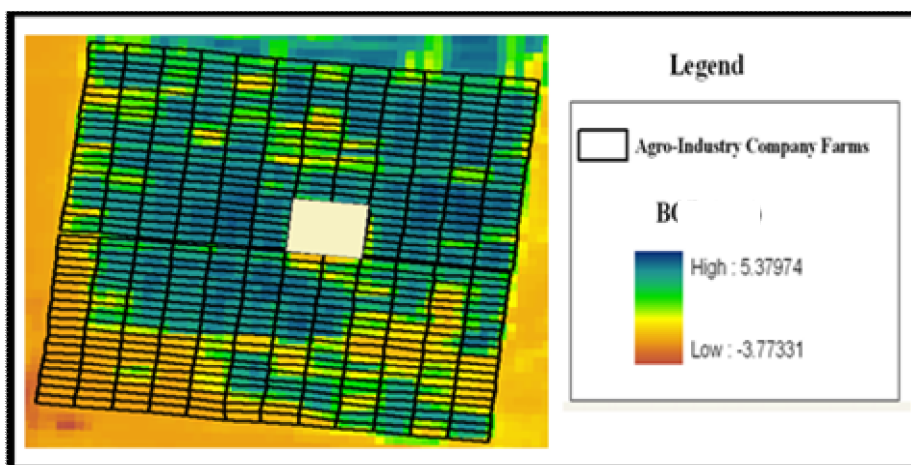


شکل ۴- نقشه (GVI) برآورد شده از مدل سبیل در تاریخ ۱۳۸۵/۵/۲۰

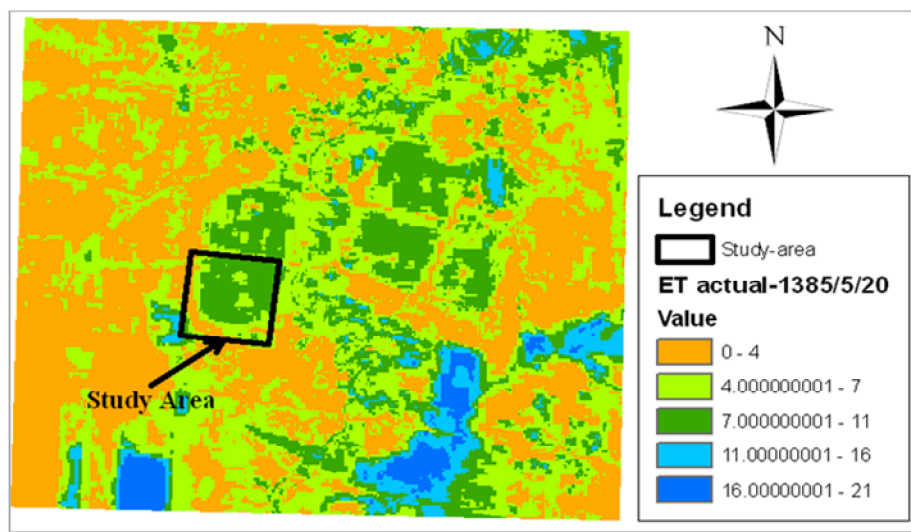
(BGR) و نقشه تبخیر - تعرق واقعی (ETA) برآورد شده از مدل سبیل (mm) در تاریخ ۱۳۸۵/۵/۲۰ به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. اعداد منفی در شکل مذکور بیانگر شرایط ماندابی در سطح زمین می‌باشد.

$$BGR = 0.0365 * R_{s\text{daily}} * (-0.1914 + (1.2222 * NDVI)) \quad (4)$$

که در آن $R_{s\text{daily}}$ تشعشع روزانه موج کوتاه رسیده به سطح زمین (مگاژول بر متر مربع در روز) و BGR نرخ رشد توده زنده گیاهی (کیلو گرم در هکتار در روز) می‌باشد. نقشه نرخ رشد توده زنده گیاهی



شکل ۵- نقشه نرخ رشد توده زنده گیاهی برآورد شده از مدل سبیل ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$) در تاریخ ۱۳۸۵/۵/۲۰



شکل ۶- نقشه تبخیر - تعرق واقعی (ETa) برآورد شده از مدل سبال (mm) در تاریخ ۱۳۸۵/۵/۲۰

حرکت صعودی مقادیر NDVI از اوایل فروردین تا اواسط مهرماه می‌باشد. بنابراین تغییرات زمانی شاخص NDVI که مبتنی بر سنجش از دور است انطباق کامل با مشاهدات مزرعه‌ای دارد. علاوه بر این کاهش شدید NDVI در اواخر مهرماه تطابق زمانی با شروع فصل برداشت نیشکر در منطقه دارد.

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، فاکتور تصحیح‌کننده خاک باعث تعدیل مقادیر NDVI در ابتدای فصل رشد نیشکر شده و مقادیر SAVI در ابتدای فصل رشد کم‌تر از NDVI شده است. با افزایش پوشش گیاهی در طول فصل رشد به دلیل کاهش اثر خاک روی تصاویر NDVI، مقادیر SAVI به مقادیر NDVI نزدیک می‌شود. در واقع مقادیر SAVI معیار مناسب تری برای میزان تشعشع ساحل شده از پوشش گیاهی است.

در شکل ۹ مقادیر GVI در طول فصل رشد نشان داده شده است که تفاوت چندانی با مقادیر NDVI ندارد. در منطقه مورد مطالعه به دلیل پوشش گیاهی مناسب مقادیر بازتابش پوشش گیاهی در طول موج سبز زیاد است و نزدیک بازتابش طول موج قرمز است لذا، GVI که شاخص سبزی پوشش گیاهی است نزدیک به NDVI شده است. به طور کلی شاخص‌های گیاهی محاسبه شده برای شبکه مورد مطالعه در سال ۱۳۸۴ حدود ۱۵ درصد کم‌تر از سال ۱۳۸۵ می‌باشند. با توجه به گزارش‌های مکتوب کشت و صنعت میرزا کوچک خان از وضع نامطلوب کشت نیشکر در سال ۱۳۸۴ و بهبود نسبی آن به دلیل مدیریت سطح ایستابی و زهاب خروجی از زهکش‌ها در سال ۱۳۸۵، تفاوت ۱۵ درصدی قابل درک می‌باشد (بی نام، ۱۳۸۵).

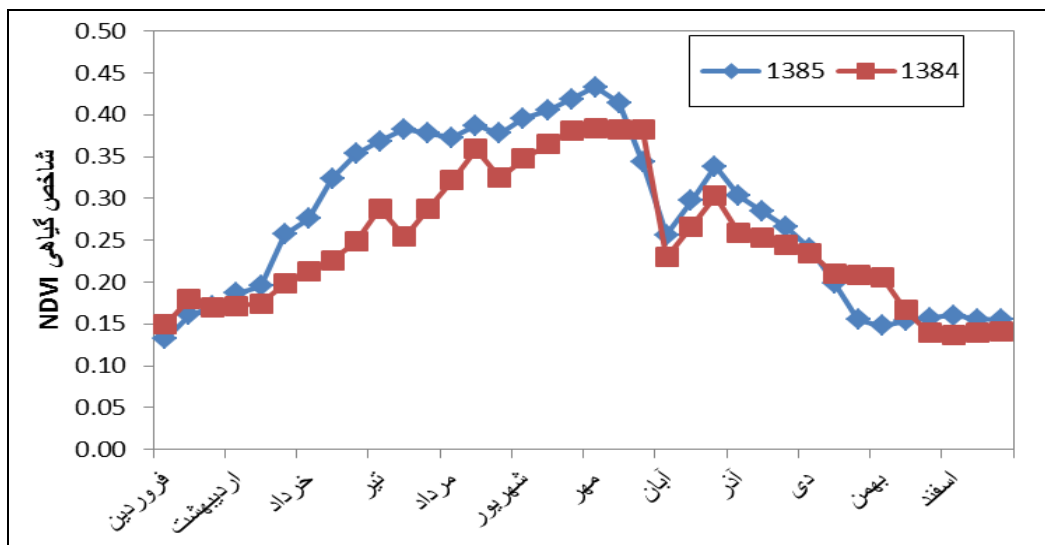
برآورد سطح زیر کشت و تراکم کشت با استفاده از سنجش از دور

در تحقیق حاضر تراکم کشت به‌عنوان درصدی از کل سطح شبکه که زیر کشت رفته تعریف شده است. به‌منظور تعیین سطح زیر کشت و تراکم کشت شبکه مورد مطالعه از سری زمانی تصاویر سنجنده مودیس برای سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ استفاده گردید. تصاویر مذکور پردازش و با استفاده از شاخص گیاهی NDVI مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این شاخص میزان پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. لذا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای فوق‌الذکر و شاخص مذکور، به روش طبقه‌بندی نظارت شده و با توجه به داده‌های مزرعه-ای سطح زیر کشت شبکه برآورد گردید. با تخمین سطح زیر کشت و سطح کل شبکه، تراکم کشت در تاریخ‌های تصاویر فوق تعیین شد.

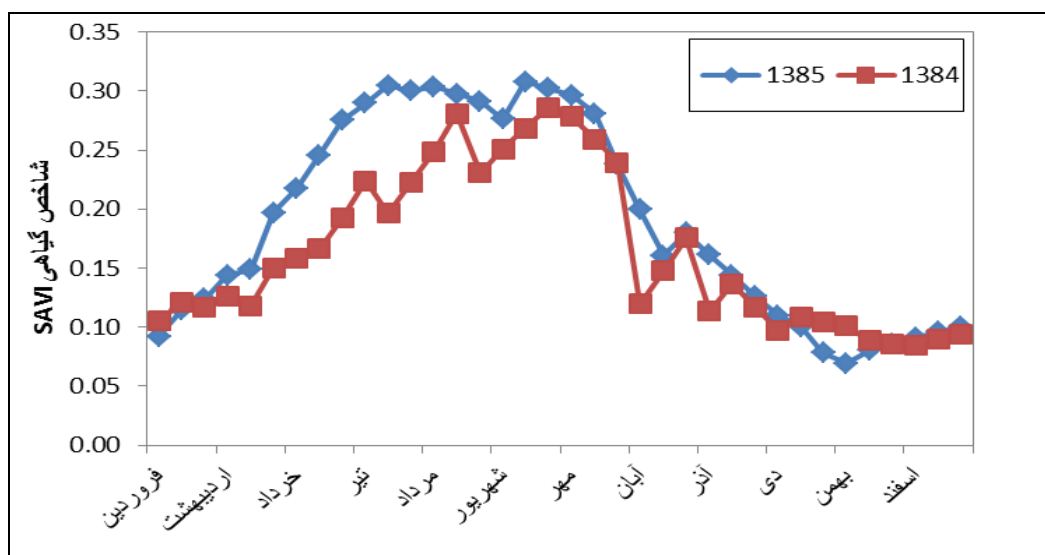
نتایج و بحث

شاخص‌های گیاهی

در ابتدا بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده محصول تر تولیدی در سطح شبکه، مناطقی که دارای بیش‌ترین مقدار محصول تولیدی بودند به‌عنوان اراضی شاداب تعیین گردیدند. با مقایسه مقادیر به‌دست آمده NDVI در سطح کل شبکه مشخص گردید که اراضی شاداب دارای بیش‌ترین مقادیر NDVI می‌باشند. نتایج مذکور دلالت بر صحت محاسبات NDVI دارد. در شبکه مورد مطالعه رشد نیشکر از اوایل فروردین آغاز شده و تا اواسط مهرماه ادامه می‌یابد و فصل برداشت از اوایل آبان آغاز می‌گردد. بررسی تغییرات زمانی NDVI در شکل ۷ نشان می‌دهد که در این شبکه فصل رشد نیشکر به‌دلیل



شکل ۷- مقادیر شاخص گیاهی NDVI



شکل ۸- مقادیر شاخص گیاهی SAVI

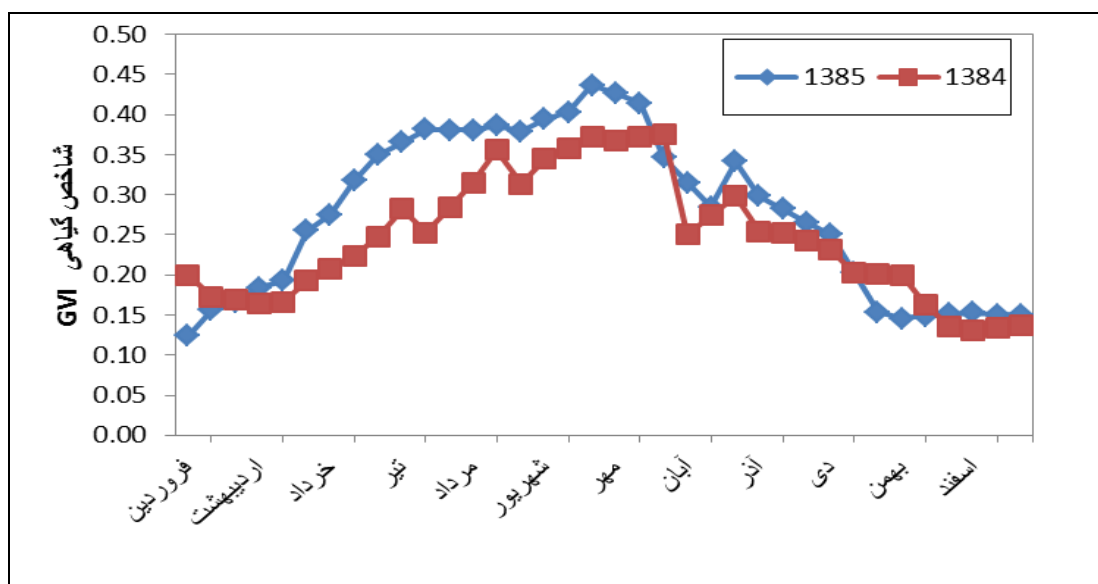
سطح زیر کشت و تراکم کشت

نتایج محاسبات شاخص گیاهی NDVI در شکل ۷ نشان داده شده است. افزایش مقدار این شاخص طی ماه‌های فروردین تا مهر مبین فصل رشد نیشکر می‌باشد. با شروع فصل بهار و رشد نیشکر پوشش گیاهی شبکه افزایش پیدا کرده که با توجه به روند افزایشی NDVI در فصل بهار به خوبی توسط سنجش از دور قابل تشخیص است. در مهر و آبان به دلیل برداشت نیشکر و کاهش قابل توجه سطح سبز، مقدار شاخص NDVI کاهش یافته است و با شروع رشد دوباره نیشکر در ماه‌های آذر و دی کمی بالاتر می‌رود. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور نشان می‌دهد که به طور کلی برای سال‌های مختلف روند تغییرات شاخص‌های گیاهی من جمله NDVI ثابت است و تفاوت اندک در سال‌های مختلف به دلیل شرایط اقلیمی

و گیاهی حاکم بر شبکه در هر سال می‌باشد. نتایج سطح زیر کشت و تراکم کشت برآورد شده از طریق شاخص NDVI برای شبکه آبیاری و زهکشی میرزا کوچک خان در جدول ۲ ارائه شده است.

تبخیر - تعرق و سودمندی آب

نتایج ماهیانه تبخیر-تعرق واقعی و سرعت رشد توده گیاهی شبکه آبیاری و زهکشی میرزا کوچک خان با استفاده از الگوریتم سبال و اطلاعات سنجنده مودیس طی سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج داده‌های سنجش از دور نشان داد که روند تغییرات تبخیر-تعرق روزانه برای سال‌های مختلف یکسان بوده و حداکثر ۷ میلی‌متر بر روز برای سال ۱۳۸۴ و ۸/۵ میلی‌متر بر روز برای سال ۱۳۸۵ می‌باشد.



شکل ۹- مقادیر شاخص گیاهی GVI

ماه توسط معادله فائو-پنمن-مانتیث برابر ۷/۵ میلی‌متر بر روز به دست آمد که با مقدار برآورد شده از الگوریتم سبال در تاریخ گذر ماهواره مطابق با دهه دوم مرداد ماه (به میزان ۷/۴ میلی‌متر) همخوانی دارد. شکل ۱۱ و ۱۰ مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق روزانه توسط الگوریتم سبال و معادله فائو-پنمن-مانتیث را نشان می‌دهد که در فصل رشد مقادیر محاسباتی توسط الگوریتم سبال اندکی کم‌تر از معادله فائو-پنمن-مانتیث است.

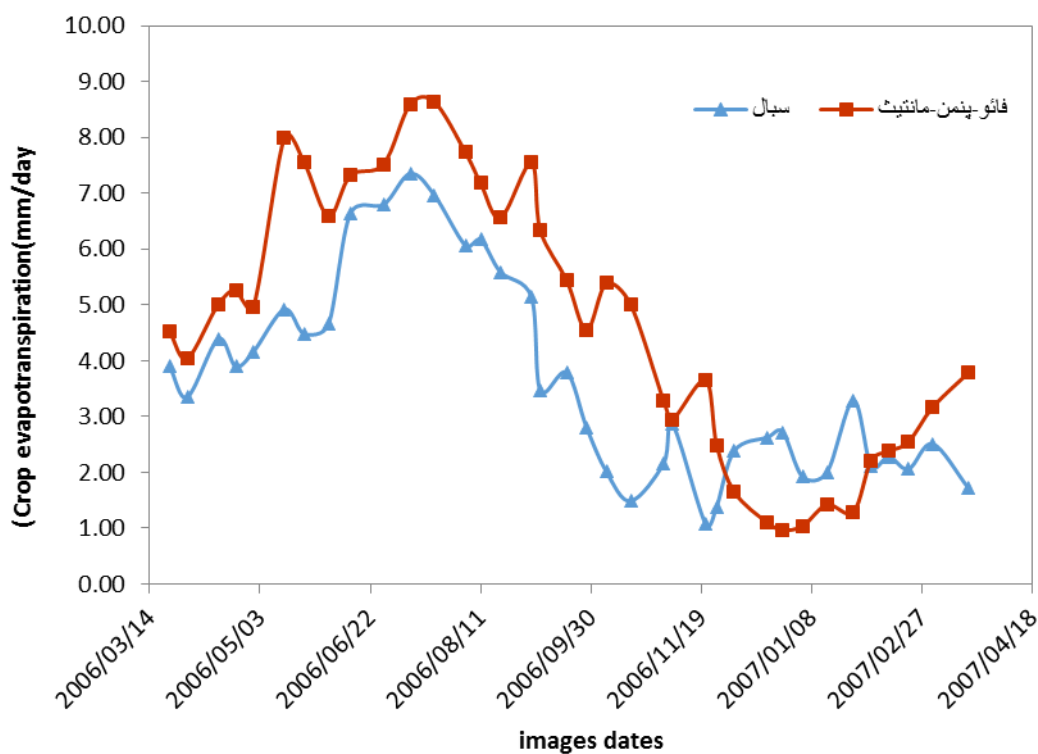
نقشه نهایی تبخیر - تعرق روزانه توسط نرم‌افزار GIS با ۵ کلاس طبقه‌بندی تولید شد که در شکل ۶ به‌عنوان نمونه برای ۲۰ مرداد ۱۳۸۵ نشان داده شده است. نقشه‌های تولید شده NDVI و تبخیر تعرق روزانه بیانگر این مطلب هستند که اراضی شاداب و یا با پوشش گیاهی کامل بالاترین میزان تبخیر-تعرق را نشان می‌دهند. با دور شدن از زمین‌های کشاورزی و نزدیک شدن به سطوح با پوشش‌های گیاهی کم، میزان تبخیر-تعرق بسیار کاهش می‌یابد. مقدار تبخیر - تعرق گیاه در منطقه مورد مطالعه در دهه دوم مرداد

جدول ۲- سطح کل و سطح زیر کشت شبکه آبیاری و زهکشی میرزا کوچک خان بر اساس داده‌های سنجش از دور

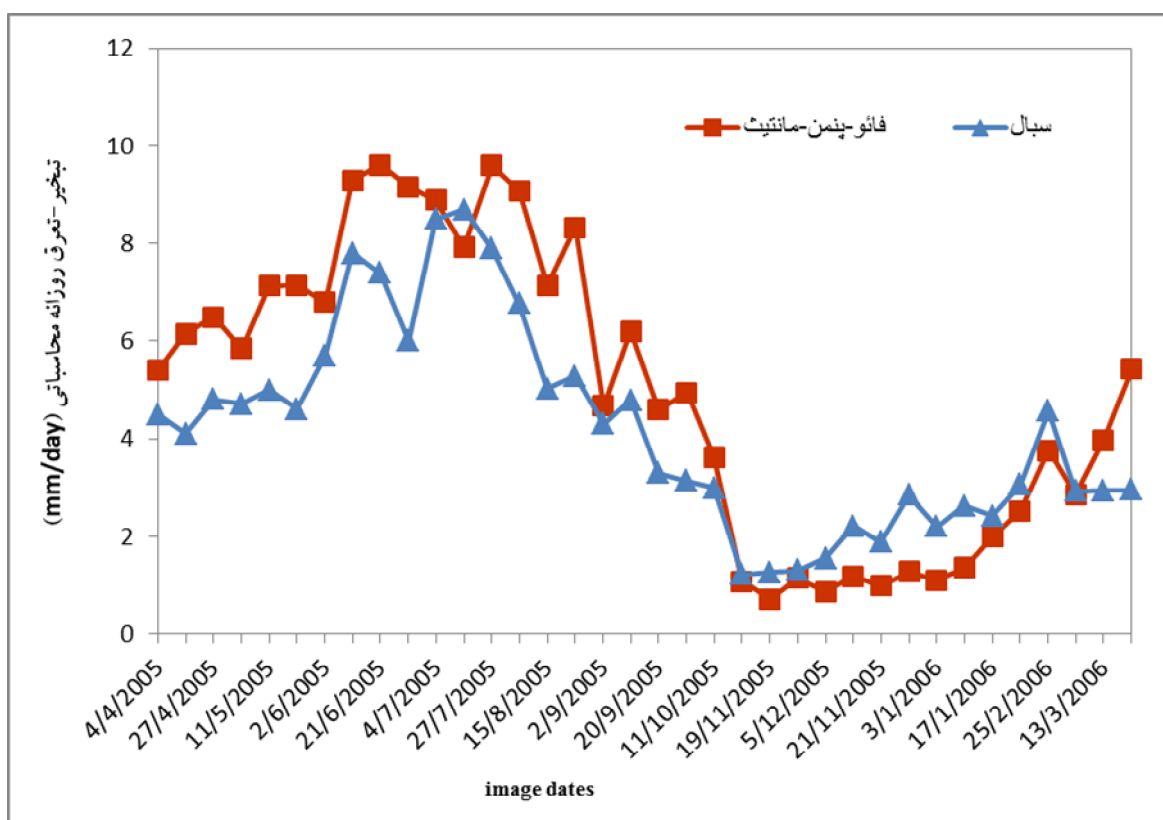
سال	سطح کل شبکه (ha)	سطح زیر کشت واقعی (ha)	سطح زیر کشت محاسبه شده (ha)	تراکم کشت (%)
۱۳۸۴	۱۲۰۰۰	۷۲۲۵	۷۷۲۵	۶۴
۱۳۸۵	۱۲۰۰۰	۸۴۰۰	۸۸۵۰	۷۴

جدول ۳- نتایج تبخیر-تعرق، بیلان آب و سودمندی آب بر اساس داده‌های سنجش از دور

سال آبی	تبخیر-تعرق واقعی محاسبه شده توسط الگوریتم سبال (mm)	آب منحرف شده به شبکه (mm)	آب زهکشی شده از منطقه (mm)	میزان بارندگی (mm)	بیلان آب (mm)	عرضه نسبی آب	متوسط محصول تر اندازه‌گیری شده (ton/ha)	تولید محصول تر با استفاده از سنجش از دور (ton/ha)	سودمندی آب (kg/m ³)
۱۳۸۴	۱۵۲۳	۲۵۶۸	۱۲۹۵	۱۴۴۲	-۱۱۶	۱/۶۷	۸۵	۸۰	۵/۲۱
۱۳۸۵	۱۶۷۲	۲۹۰۰	۱۵۳۳	۱۰۵۳	-۲۰۰	۱/۷۳	۱۱۰	۱۰۳	۶/۱۶



شکل ۱۰- تبخیر- تعرق محاسباتی برای سال ۱۳۸۴ توسط دو روش سیال و فائو-پنمن-مانتیت



شکل ۱۱- تبخیر- تعرق محاسباتی برای سال ۱۳۸۵ توسط دو روش سیال و فائو-پنمن-مانتیت

الکتریکی آب آبیاری که برای ماه‌های مختلف برای کشت و صنعت میرزا کوچک‌خان در دو سال متوالی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در جدول شماره ۴ ارائه شده است. به‌طور متوسط میزان آبیاری برای سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به ترتیب ۲۱ و ۲۳ درصد می‌باشد. با توجه به محاسبات انجام شده برای نیاز آبیاری و عرضه نسبی آب حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد از آب آبیاری بدون استفاده در اراضی کشت و صنعت میرزا کوچک خان هدر می‌رود.

جهت برآورد سودمندی آب با استفاده از تصاویر ماهواره ای میزان شدت رشد توده زنده گیاهی در تاریخ‌های مختلف به صورت ده روزه برآورد و مجموع ۳۶ دهه به‌عنوان رشد سالانه توده زنده گیاهی تعیین گردید. سپس عملکرد بیولوژیکی شبکه که حاصلضرب مجموع رشد توده زنده گیاهی در طول سال در سطح ناخالص شبکه می‌باشد، به‌عنوان نمادی از عملکرد محصول در شبکه منظور شد. سودمندی آب از نسبت عملکرد بیولوژیکی به میزان تبخیر-تعرق واقعی برآورد شده از اطلاعات ماهواره‌ای، برای سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به ترتیب ۵/۲۱ و ۶/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. این ارقام بیش از مقداری است که مامن پوش و همکاران (۱۳۸۰) در طرح ملی راندمان‌های آبیاری گزارش داده‌اند. در این پژوهش، کارایی آب بیانگر متوسط وزنی محصول تر است و اگر به جای محصول تر از میانگین محصول خشک استفاده شود مقدار سودمندی آب از طرح ملی راندمان‌های آبیاری کمتر می‌شود. علاوه بر این مقدار متوسط کارایی مصرف آب برای میانگین محصول تر در ۷۱ مزرعه از کشت و صنعت میرزا کوچک خان، توسط رضانی اعتدالی و همکاران (۱۳۸۷c) برابر ۳/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۸۵ محاسبه شد. این مقدار کمتر از کارایی مصرف آب در تحقیق حاضر است که دلیل آن استفاده از آب ورودی پمپاژ شده به اراضی کشت و صنعت میرزا کوچک خان به جای تبخیر-تعرق واقعی می‌باشد.

با توجه به نتایج فوق، از علل پایین بودن سودمندی آب می‌توان به عرضه بیش از حد و نامتناسب آب در طول دوره رشد و ناآگاهی از نیاز واقعی گیاه اشاره کرد. این نتایج نشان داد که از اطلاعات ماهواره‌ای می‌توان به‌عنوان یک ابزار مناسب و قابل اعتماد در بررسی وضعیت آبیاری و تولید محصول سطح حوضه و یک شبکه وسیع آبیاری استفاده نمود (Akbari et al., 2007).

در پروژه تحقیقاتی انجام شده توسط میاشری (۱۳۸۵) در دشت-های مرکزی و شمالی خوزستان بیان شد که تبخیر - تعرق محاسبه شده توسط الگوریتم سبال با برداشت‌های زمینی از همبستگی قابل قبولی برخوردار بوده و حدود ۱۵ درصد کم‌تر از برداشت‌های زمینی می‌باشد و نتایج مشابهی با این تحقیق به‌دست آمده است. نتایج داده-های سنجنش از دور در خصوص سرعت رشد توده زنده گیاهی (BGR) در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. حداکثر مقدار این شاخص در منطقه مطالعاتی مربوط به فصل تابستان بوده که از نظر انرژی و رطوبت موجود در خاک در مزارع محدودیتی وجود نداشته است (فصل رشد گیاه). حداقل مقدار سرعت رشد توده زنده گیاهی مربوط به اواخر آبان تا اسفند (فصل برداشت گیاه نیشکر) می‌باشد که کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد.

با توجه به مطالعات انجام شده در سطح کشت و صنعت میرزا کوچک خان برای سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ می‌توان دلایل منفی بودن بیان آب در جدول ۳ را اینطور بیان کرد که:

سطح ایستایی در این دو سال از تراز زهکشی (۱/۵ متر) بالاتر بوده و برداشت از سفره آب زیرزمینی به صورت صعود کاپیلاری انجام شده و نفوذ عمقی صورت نگرفته است (رضانی اعتدالی و همکاران، ۱۳۸۷b)

خطا در اندازه‌گیری دبی ورودی به شبکه و خروجی از زهکش‌ها (رضانی اعتدالی و همکاران، ۱۳۸۷a)

نتایج نیاز آب آبیاری محاسبه شده و میزان آب عرضه شده به شبکه نشان می‌دهد که عرضه نسبی آب آبیاری به شبکه در دو سال متوالی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ حدوداً ۱/۷ است. این موضوع بیانگر این مطلب است که در کل آب عرضه شده ۷۰٪ بیش‌تر از آب مورد نیاز بوده است. بخشی از این تلفات جهت آبیاری استفاده گردیده و از زهکش-های مزرعه خارج می‌شوند.

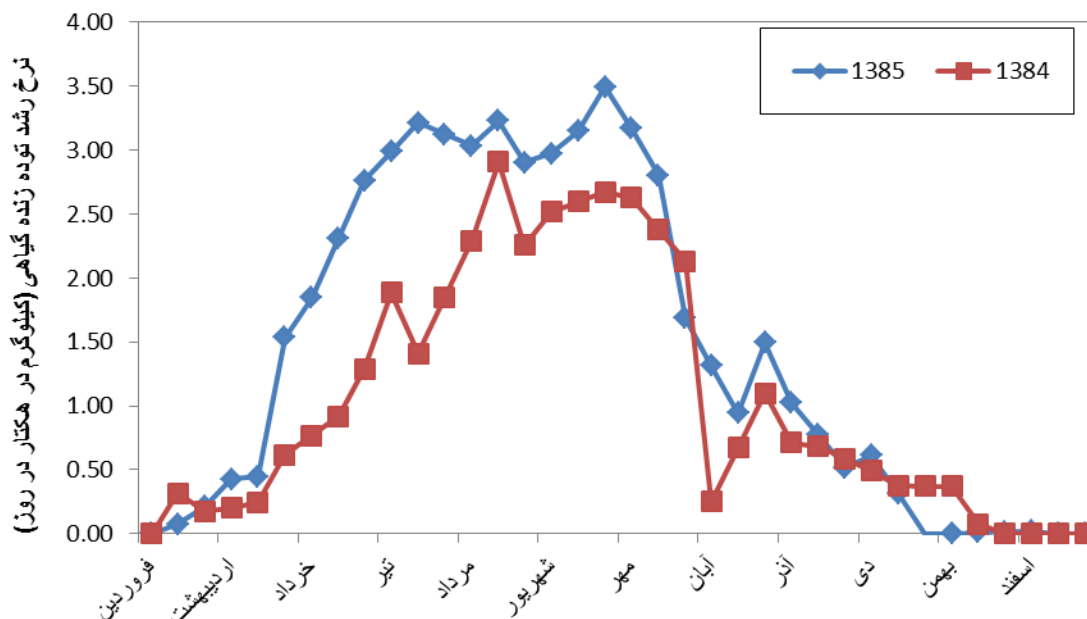
جهت محاسبه نیاز آبیاری از معادله ۵ استفاده شد.

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_s - EC_w} \quad (5)$$

که در آن LR نسبت آب شستشوی مورد نیاز (بدون بعد)، EC_e هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با توجه به عملکرد قابل انتظار زارع (ds/m) که برای نیشکر این مقدار ۱/۷ می‌باشد و EC_w هدایت

جدول ۴- متوسط هدایت الکتریکی ماهانه آب آبیاری در کشت و صنعت میرزا کوچک خان (ds/m)

سال آبی	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۱۳۸۴	۰/۹۵	۰/۹۵	۱/۹۹	۱/۹۱	۱/۵۱	۱/۸۱	۲/۱	۱/۹۳	۱/۷۳	۱/۵۴	۱/۶۲	۱/۰۰
۱۳۸۵	۱/۰۵	۱/۰۶	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۵۹	۱/۵۹	۱/۳۴	۱/۸۲	۱/۵۸	۱/۶۵	۱/۷۲	۱/۵۵



شکل ۱۲- مقادیر نرخ رشد توده زنده گیاهی (BGR)

نتیجه گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از اطلاعات سنجش از دور می‌توان فاکتورهایی مانند سطح زیر کشت، الگوی کشت، و غیره را که جهت محاسبه میزان آب آبیاری مورد نیاز هستند تجزیه و تحلیل کرد. مقایسه نتایج برآورد سطح زیر کشت از تصاویر ماهواره Terra سنجنده Modis و اطلاعات دریافت شده از کشت و صنعت میرزا کوچک خان در مورد سطح زیر کشت در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ تفاوتی در حد ۵ تا ۱۰ درصد را نشان می‌دهد، به عبارت دیگر، آمار کشت و صنعت میرزا کوچک خان کم‌تر از آمار است که از ماهواره استنتاج می‌شود. دلیل این امر نیز می‌تواند به دلیل توان تفکیک مکانی بالای تصاویر Modis باشد که توانایی محدودی در تفکیک اراضی آیش و تحت آبشویی درون اراضی تحت کشت دارد.

در مجموع با توجه به کاهش مقادیر شاخص‌های گیاهی در سال ۱۳۸۴ نسبت به سال ۱۳۸۵، تبخیر-تعرق و تولید گیاهی نیز در سال ۱۳۸۴ نسبت به ۱۳۸۵ کم‌تر می‌باشد.

نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن است که فنآوری سنجش از دور می‌تواند نقش مؤثری در تعیین نقشه‌های به‌هنگام سطح زیر کشت، الگوی کشت و تبخیر-تعرق و یافتن راهکارهایی جهت بهبود مدیریت آبیاری و سودمندی آب ایفا نماید. هم‌چنین از امکانات سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان به‌عنوان یک ابزار مناسب و قابل اعتماد در بررسی مدیریت آبیاری و شبکه‌های بزرگ استفاده نمود.

سپاسگذاری

بدین وسیله از زحمات بی‌شائبه پرسنل زحمت کش کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان که در انجام این تحقیق از هیچ تلاشی دریغ نکردند، کمال تشکر را داشته باشیم.

منابع

- بی‌نام. ۱۳۸۵. گزارش میان‌دوره‌ای طرح مطالعاتی بررسی عوامل موثر بر نوسانات سطح ایستابی در اراضی کشت و صنعت میرزا کوچک خان. شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی، معاونت بهره برداری.
- رضوانی اعتدالی، ه.، لیاقت، ع.، ناصری، ع. ۱۳۸۷ا. تخمین سطح مورد نیاز برای کنترل زه‌آب‌های شور با استفاده از حوضچه‌های تبخیری. (مطالعه‌ی موردی: واحد میرزا کوچک خان در خوزستان). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲، ۲:
- رضوانی اعتدالی، ه.، لیاقت، ع.، ناصری، ع. ۱۳۸۷ب. بررسی اثر آب آبیاری و کمیت و کیفیت سطح ایستابی بر عملکرد مزارع نیشکر (مطالعه موردی: واحد میرزا کوچک خان خوزستان). دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. بهمن ۱۳۸۷ اهواز.
- رضوانی اعتدالی، ه.، لیاقت، ع.، ناصری، ع. ۱۳۸۷c. بررسی کارایی مصرف آب در مزارع نیشکر (مطالعه موردی: واحد میرزا کوچک خان خوزستان). دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. بهمن ۱۳۸۷ اهواز.
- مباشری، م. ۱۳۸۵. برآورد میزان تبخیر-تعرق در دشت‌های مرکزی و

- energy balance algorithm for land (SEBAL), part 1: formulation. *Journal Of Hydrology*. **212-213**. 198–212.
- Chemin, Y.A., Platonoy, M., Ul- Hassan and Abdullaey, I. 2004. Using remote sensing data for water depletion assessment at administrative and irrigation system levels. *Agriculture Water Management*. **64.3:183-196**.
- Drysdale, G and Metternicht, G. 2003. Remote sensing for site-specific crop management. Evaluating the potential of Digital Multi-Spectral Imagery (DMSI) for monitoring crop variability and weeds within paddocks. 14th international farm management association conference, Perth, WA. August 2003.
- Parodi, G.N. 2002. AHAS, AVHRR hydrological analysis system software developed by institute for remote sensing and earth science-water resources division. The Netherlands.
- Panda, S. Ames, D.P. Panigrahi, S. 2010. Application of vegetation indices for agricultural crop yield prediction using Neural Network techniques. *Remote Sensing*. 2: 673-696.
- شمالی خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM+7. گزارش‌های نهائی طرح پژوهشی به سازمان آب و برق خوزستان ۱۳۸۵.
- مأمّن پوش، ع. عباسی، ف و موسوی، ف. ۱۳۸۰. ارزیابی بازده کاربرد آب در روش‌های آبیاری سطحی، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۹: ۴۳-۵۸.
- Adamchuk, V.I., Hummel, J.W., Morgan, M. T and Upadhyaya, S.K. 2004. On-The-Go soil sensors for Precision agriculture. *Computers and Electronics in agriculture*, 44.1:71-91.
- Akbari, M., Toomanian, N., Droogers, P., Bastiaanssen, W and Gieske, A. 2007. Monitoring Irrigation performance in Esfahan Iran using NOAA satellite imagery. *Agriculture Water Management*. **88: 99-109**.
- Bastiaanssen, W.G.M and Chandrapala, L. 2003. Water balance variability across Sri lanka for assessing agricultural and environmental water use. *Agriculture Water Management*. **58.2: 171-192**.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A and Holtslong, A.A. M. 1998. A remote sensing surface

Application of Remote Sensing in the Evaluation of water productivity of irrigation and Drainage Networks, Case Study: Mirza koochak khan agro-Industrial Company

M. Assari¹, M. Mirlatifi^{2*}, M. Akbari³, A. Naseri⁴
Recived: Agu.30, 2014 Accepted: Feb.25, 2015

Abstract

In the present research, irrigation management and water productivity on irrigation and drainage networks of Mirza koochak khan agro Industrial Company is evaluated by vegetation index and soil surface moisture maps resulted from SEBAL algorithm and TERRA-MODIS satellite images.

In the first stage, reflection coefficient of ground surface, ground radiation coefficient, vegetation indexes such as NDVI, SAVI, GVI and BGR were determined by data preprocessing obtained from satellite images during growth period for 2 years of 1384 and 1385. Then cultivation area and density were estimated.

Using the SEBAL algorithm, elements of energy balance on ground surface and Real evapotranspiration were computed and assumed as the water consumption and relative supply of water. Biological production of sugarcane obtained using the average daily solar radiation and fraction of photosynthetic absorbed radiation is determined in form of BGR index and assumed as a symbol of production. Water productivity is resulted from the ration of biological production to real evapotranspiration. Process of seasonal variation is gained for biological production, vegetation index and evapotranspiration. Studying of water supply and demand presents no lack of water in this network and the fraction of overflow is used for salt leaching in soil profile. Average water productivity for biological production in this network for two years of 1384 and 1385 is 4.24 and 5.32 kg/m³. In addition, relative water supply for these two years are 1.67 and 1.73 respectively. Results of this study, suggests the application of this method for water productivity evaluation in large scale irrigation and drainage networks.

Keywords: vegetation index, SEBAL algorithm, water productivity, MODIS sensor

1- PHD student of Tarbiat Modares University, Tehran

2- Associate Prof. Irrigation and Drainage Eng., Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran

3- Assistant research professor, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj

4- Professor Irrigation and Drainage Eng., Agriculture Faculty, Shahid Chamran university, Ahvaz

(*-Corresponding Author Email: mirlat_m@modares.ac.ir)