

برآورد ضریب گیاهی و تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از سنجش از دور مطالعه موردی: حوضه گرگانرود

محمدعلی غلامی سفیدکوهی^۱، سید مجید میرلطیفی^{۲*}، کوروش محمدی^۳ و عباس علیمحمدی^۴

چکیده

تبخیر-تعرق گیاهان یکی از متغیرهای اصلی در محاسبه بیلان آب و انرژی سطح زمین محسوب می‌گردد. پارامترهای ورودی مورد نیاز برای محاسبه تبخیر-تعرق تابع تغییرات مکانی و زمانی است از طرفی بیشتر مدل‌های موجود جهت محاسبه این مولفه، غیر مکانی بوده و غالباً با استفاده از داده‌های نقطه‌ای و مقادیر توصیه شده برای پارامترهایی مانند ضریب گیاهی (Kc)، اقدام به برآورد تبخیر-تعرق گیاه اقدام می‌نمایند. هدف از این تحقیق بررسی کاربرد سری زمانی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI از تصاویر سنجنده MODIS جهت محاسبه مقادیر تبخیر-تعرق واقعی گندم در طول دوره رشد در یک سطح وسیع (حوضه گرگانرود) با استفاده ترکیبی از اطلاعات ماهواره‌ای و زمینی بود. نتایج آماری حاصل از روش بکار رفته در این تحقیق نسبت به مدل پنمن - ماتیتث - فائو نشان می‌دهد که استفاده از این روش دارای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۸ میلی متر، میانگین خطای مطلق (MAE) ۱۶ میلی متر، میانگین خطا (ME) ۱/۱ - میلی متر و شاخص خطا (E) ۱/۹۱ درصد در کل فصل رشد گندم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ضریب گیاهی، تبخیر-تعرق واقعی، سنجش از دور، حوضه گرگانرود

مقدمه

کاربرد کمتری دارند (Dominique *et al.*, 2005). بنابراین تلاش می‌گردد تا تبخیر-تعرق گیاهان در مناطق با وسعت زیاد از روش‌های دیگری که دارای دقت بالاتری هستند، محاسبه شود. رویکرد عمومی برای محاسبه پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه تبخیر-تعرق گیاهان در این مناطق، استفاده ترکیبی از داده‌های سنجش از دور و اطلاعات زمینی است (Nishida *et al.*, 2003; Norman *et al.*, 2003). نقشه‌های تبخیر-تعرق واقعی گیاهان که با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای تولید شده‌اند دارای دقت کافی و قابل اطمینان جهت طراحی و مدیریت فعال در ارزیابی عملکرد پروژه‌های آبیاری هستند (Allen and Bastiaanssen, 2005).

تبخیر-تعرق گیاه (ET_{crop}) تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و مراحل رشد گیاه بوده و نشان دهنده میزان آب مورد نیاز یک گیاه سالم در یک مزرعه بدون محدودیت آب است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$ET_{crop} = \sum_{i=1}^n Kc_i \times ET_{o_i} \quad (1)$$

که در آن Kc_i ضریب گیاه و ET_{o_i} میزان تبخیر-تعرق مرجع در مرحله رشد i می‌باشند. داده‌های مورد نیاز برای محاسبه تبخیر-تعرق تابع تغییرات مکانی و زمانی است. بیشتر مدل‌های موجود جهت محاسبه این مولفه، غیر مکانی بوده و غالباً با استفاده از

تبخیر-تعرق گیاهان یکی از متغیرهای اصلی در محاسبه بیلان آب و انرژی سطح زمین محسوب می‌گردد. پایش میزان و چگونگی توزیع تبخیر-تعرق جهت مدیریت بهینه منابع آب، برنامه ریزی آبیاری در شبکه‌های آبیاری و محاسبه راندمان کشاورزی مهم به نظر می‌رسد. موجودیت آب، میزان انرژی موجود و شرایط لازم جهت حرکت بخار آب از سطح زمین به عنوان سه عامل اصلی در کنترل تبخیر-تعرق محسوب می‌گردند. این عوامل به متغیرهای دیگری مانند رطوبت خاک، دمای سطح زمین، دمای هوا، نوع پوشش گیاهی، فشار بخار هوا و سرعت باد بستگی دارند که خود نیز به صورت پیوسته در حال تغییر هستند.

دقت روش‌های کلاسیک محاسبه تبخیر-تعرق گیاهان برای استفاده در یک سطح وسیع ممکن است کافی نباشند و در نتیجه

- ۱- دانشجوی دوره دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس
- ۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
(* نویسنده مسئول: Email: mirlat_m@modares.ac.ir)
- ۳- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
- ۴- استادیار گروه GIS، دانشکده نقشه برداری و ژئودزی، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی

اطلاعات سنجنده‌هایی با توان تفکیک زمانی مناسب نیاز خواهد بود. در این رابطه، اگر چه سنجنده AVHRR^۶ از ماهواره NOAA دارای توان تفکیک زمانی بالا (۱۲ ساعت) است ولی با توجه به زیاد بودن تغییرات مکانی ضریب گیاهی، استفاده از تصاویر این سنجنده با توان تفکیک مکانی^۷ پایین (۱۱۰۰ متر) باعث بروز خطای قابل توجهی در برآورد نقشه ضریب گیاهی خواهد شد. استفاده از اطلاعات باندهای ۱ و ۲ سنجنده MODIS^۸ از ماهواره Terra با توان تفکیک زمانی مناسب (۱-۲ روز) و توان تفکیک مکانی متوسط (۲۵۰ متر)، فرصت مناسبی را برای پایش پدیده‌های موجود در زمین فراهم می‌سازد (Justice and Townshend, 2002). بنابراین بمنظور مدیریت بهینه منابع آب، استفاده از تصاویر سنجنده MODIS جهت محاسبه پارامترهایی مانند ضریب گیاهی (Kc) که متاثر از شرایط مکانی و زمانی بوده و طی دوره رشد گیاه نیز در حال تغییر هستند، اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد (Wardlow and Egbert, 2008).

تصاویر سری زمانی ترکیبی ۱۶ روزه^۹ شاخص گیاهی NDVI مربوط به سنجنده MODIS دارای توان تفکیک زمانی و مکانی مناسب جهت بررسی شرایط رشد گیاه بوده و مکمل خوبی برای استفاده در تحقیقات مرتبط با تعیین مراحل مختلف رشد گیاه می‌باشد (Huete et al., 2002). نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده جهت تعیین میزان دقت این تصاویر نشان می‌دهند که قدرت تفکیک گیاهان با استفاده همزمان از سری زمانی شاخص گیاهی NDVI و بکارگیری تقویم زراعی گیاهان مختلف بطور چشم‌گیری افزایش می‌یابد (Hansen et al., 2002; Wessels et al., 2004; Lobell et al., 2004; Asner, 2004; Wardlow et al., 2006).

هدف از این تحقیق بررسی کاربرد استفاده از سری زمانی ۱۶ روزه شاخص NDVI از تصاویر سنجنده MODIS جهت محاسبه مقادیر واقعی ضریب گیاهی گندم در طول دوره رشد در یک سطح وسیع (حوضه گرگانرود) و معرفی یک روش جدید برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی گندم جهت استفاده در مدیریت منابع آب با استفاده ترکیبی از اطلاعات ماهواره‌ای و زمینی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه شامل کل حوضه گرگانرود می‌باشد. این

داده‌های نقطه‌ای و مقادیر توصیه شده برای پارامترهایی مانند Kc نسبت به برآورد تبخیر-تعرق گیاه اقدام می‌نمایند. بعنوان مثال دما، سرعت باد و شرایط کاربری زمین در یک فاصله طولی کم می‌توانند تغییرات عمده‌ای داشته باشند که باعث تغییر در مقادیر Kc و در نهایت ET_{crop} گردد. بنابراین اگر چه استفاده از مقادیر توصیه شده Kc راهنمای عملی مناسب و سریع برای برنامه‌ریزی آبیاری محسوب می‌گردد ولی باید توجه داشت که ممکن است به لحاظ تغییرات شدید مکانی و زمانی این پارامتر مقادیر قابل توجه‌ای خطا در محاسبه میزان آب مورد نیاز گیاه ایجاد شود (Jagtap and Jones, 1989).

ضریب گیاهی (Kc) و شاخص گیاهی NDVI^۱ هر دو تابعی از شاخص سطح برگ (LAI^۲) هستند. شاخص NDVI از راه اندازه‌گیری‌های طیفی و به کمک تصاویر ماهواره‌ای قابل محاسبه است. با توجه به ارتباط نزدیک و تبعیت شاخص NDVI و ضریب گیاهی (Kc) از شاخص سطح برگ، می‌توان اقدام به برآورد Kc بر اساس تصاویر ماهواره‌ای نمود (Bausch, 1995). یکی از مزیت‌های استفاده از سنجش از دور در مدیریت شبکه‌های آبیاری، امکان تخمین ضریب گیاهی طی دوره رشد تحت شرایط واقعی است (Wardlow and Egbert, 2008). در چنین شرایطی مقادیر واقعی ضریب گیاهی در قسمت‌های مختلف شبکه برآورد شده و تغییرات مکانی و زمانی آن در محاسبات نیاز آبی لحاظ خواهد شد. بنابراین مقدار واقعی آب مصرفی گیاهان^۳ در سطح پروژه محاسبه می‌شود. همچنین اگر شبکه از نظر منابع آب، بیماری، آفات و شوری آب آبیاری یا خاک زراعی برای دستیابی به پتانسیل رشد و نمو محدودیت داشته باشد، اثرات این محدودیت‌ها در شاخص سطح برگ و به تبع آن در برآورد ضریب گیاهی لحاظ خواهد شد. در صورت عدم استفاده از سنجش از دور، شرایط واقعی مزرعه از نظر رشد و نمو در حد مطلوب فرض شده و مقدار ضریب گیاهی از طریق منابع موجود استخراج و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورت وجود اختلاف زیاد بین مقادیر بدست آمده با مقادیر واقعی، خطای قابل توجهی در محاسبه آب مصرفی پروژه وارد خواهد شد.

در دهه‌های اخیر گام‌های موثری برای محاسبه سطح تحت پوشش گیاهان با استفاده از تصاویر سنجنده ماهواره Landsat از قبیل ETM+^۴ برداشته شده است (Hansen et al., 2002). با توجه به توان تفکیک زمانی^۵ نسبتاً پایین (۱۶ روز) این سنجنده‌ها و تغییر پذیری ضریب گیاهی نسبت به زمان، به نظر می‌رسد جهت تهیه نقشه ضریب گیاهی طی فصل رشد، علاوه بر تصاویر فوق، به

6- Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)
7- Spatial Resolution
8- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)
9- Time series of 16-Day Composite

1- Normalized Difference Vegetation Index
2- Leaf Area Index
3- Actual Crop Water Use
4- Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)
5- Temporal Resolution

مورد مطالعه برای محاسبه تبخیر- تعرق ماهیانه مرجع توسط نرم افزار CROPWAT4 استفاده گردید.

روش تحقیق

گامهای استفاده شده برای تعیین ضریب گیاهی و نهایتاً محاسبه تبخیر- تعرق گندم در شکل (۱) نشان داده شده است. تصحیحات هندسی لازم بر روی تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat و تصاویر سری زمانی شاخص NDVI انجام شد. با استفاده از باند ۸ (پانکروماتیک) سنجنده ETM+ مرزهای زمینهای زراعی مشخص و نقشه آن تهیه شد. جهت تعیین سطح زیر کشت گندم از طبقه بندی نظارت شده^۳ به روش حداکثر احتمال^۴ استفاده گردید. از نقشه تولیدی باند ۸ سنجنده ETM+ نیز بعنوان اطلاعات آموزشی در نرم افزار استفاده بعمل آمد.

پس از مشخص شدن سطح اولیه زیر کشت گندم، از نقشه حاصل از باند ۸ سنجنده ETM+ بعنوان ماسک استفاده شد و پس از انجام اصلاحات لازم، نقشه نهائی سطح زیر کشت گندم تهیه شد. با بکارگیری نقشه اخیر و ۲۳ تصویر سری زمانی ترکیبی شاخص گیاهی NDVI، پروفیل زمانی متوسط NDVI به تفکیک شهرستانهای موجود در حوضه استخراج گردید.

جهت تولید نقشه سری زمانی ضریب گیاهی گندم به تفکیک هر شهرستان، یک رابطه رگرسیون خطی مابین مقادیر متوسط شاخص گیاهی NDVI و مقادیر Kc_T توصیه شده (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶) در طول دوره رشد گندم ایجاد شد.

با استفاده از مدل برآورد نیاز آبی گیاه مرجع به روش پنمن-مانتیث-فانو^۵ (P.M.FAO) و بر اساس روش میانابیی عکس مجذور فاصله^۶ نقشه تبخیر- تعرق مرجع تولید گردید. پس از تولید نقشه های سری زمانی ۱۶ روزه ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق مرجع و با توجه به رابطه (۱)، نقشه سری زمانی تبخیر- تعرق واقعی گندم تولید شد.

نتایج و بحث

سطح زیر کشت

جهت ارزیابی و صحت سنجی نتایج بدست آمده به روش سنجنش از دور (RS)، از نتایج تفصیلی سرشماری عمومی کشاورزی مرکز آمار ایران (SCI) و اطلاعات محصولات زراعی وزارت جهاد کشاورزی

حوضه در محدوده مختصات $53^{\circ}55'$ تا $56^{\circ}25'$ شرقی و $35^{\circ}36'$ تا $37^{\circ}50'$ شمالی قرار دارد. این حوضه با وسعت ۱۰۱۲۰ کیلومتر مربع شامل ۹ شهرستان می باشد. گندم محصول عمده منطقه بوده و حدود ۶۰ درصد مساحت اراضی کشاورزی را تشکیل می دهد. متوسط بارندگی، دما و تبخیر سالانه به ترتیب ۵۳۶ میلیمتر، ۱۷ درجه سانتیگراد و ۱۴۰۰ میلیمتر می باشد. اقلیم محدوده متنوع بوده و از غرب به شرق در محدوده ۱۳۰ کیلومتر، اقلیم از معتدل مرطوب تا خشک سرد در حال تغییر است.

اطلاعات مورد استفاده

همزمانی اطلاعات جهت استفاده در مطالعات سنجنش از دور خصوصاً در این تحقیق امری ضروری می باشد. بر این اساس، تمامی اطلاعات (سنجنش از دور و زمینی) استفاده شده مربوط به سال ۱۳۸۲ می باشند. جهت استخراج سطح زیر کشت گندم، از نتایج سرشماری عمومی کشاورزی و همچنین آمار منابع آبی از قبیل چاهها، چشمهها، قناتها، سدهای انحرافی، و ایستگاههای پمپاژ موجود در حوضه گرگانود که دارای مختصات جغرافیایی و با محل های مصرف مشخص بوده اند، بعنوان اطلاعات آموزشی در محیط نرم افزار ILWIS^۱ استفاده شد.

حساسیت شاخص گیاهی NDVI نسبت به مراحل مختلف رشد گیاه زیاد می باشد (Geo et al., 2000). بنابراین برای محاسبه محدوده زمینهای زراعی، مساحت تحت کشت گندم، ضریب گیاهی و در نهایت میزان تبخیر- تعرق گندم از ۲۳ تصویر سری زمانی ترکیبی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI سنجنده MODIS که دارای کمترین شرایط ابرناکی بودند (Huete et al., 1999)، استفاده شد. مزیت استفاده از تصاویر سری زمانی شاخص NDVI دسترسی آسان و رایگان و کمترین نیاز به پردازش اولیه تصاویر می باشد. علاوه بر آن تصاویر MODIS دارای کیفیت مختصاتی مناسب جهت تعیین پوشش زمین می باشند و بر اساس تحقیقات انجام شده دقت مکانی این تصاویر ۹۹ درصد در فاصله طولی ۱۵۰ متر می باشد (Stroev et al., 2005).

با توجه به توان تفکیک مکانی باندهای ۱ و ۲ سنجنده MODIS (۲۵۰ متر) و جهت افزایش دقت تعیین سطح زیر کشت گندم، از تصاویر باند ۸ سنجنده ETM+ با توان تفکیک مکانی اسمی ۱۵ متر بعنوان ماسک^۲ استفاده شد.

همچنین از پارامترهای رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، دما و سرعت باد متعلق به ۸ ایستگاه هواشناسی واقع در محدوده حوضه

3- Supervised Classification

4- Maximum Likelihood Classification Method

5- Penman-Monteith FAO (P.M.FAO)

6- Inverse square Distance

1- Integrated Land and Water Information System (ILWIS)

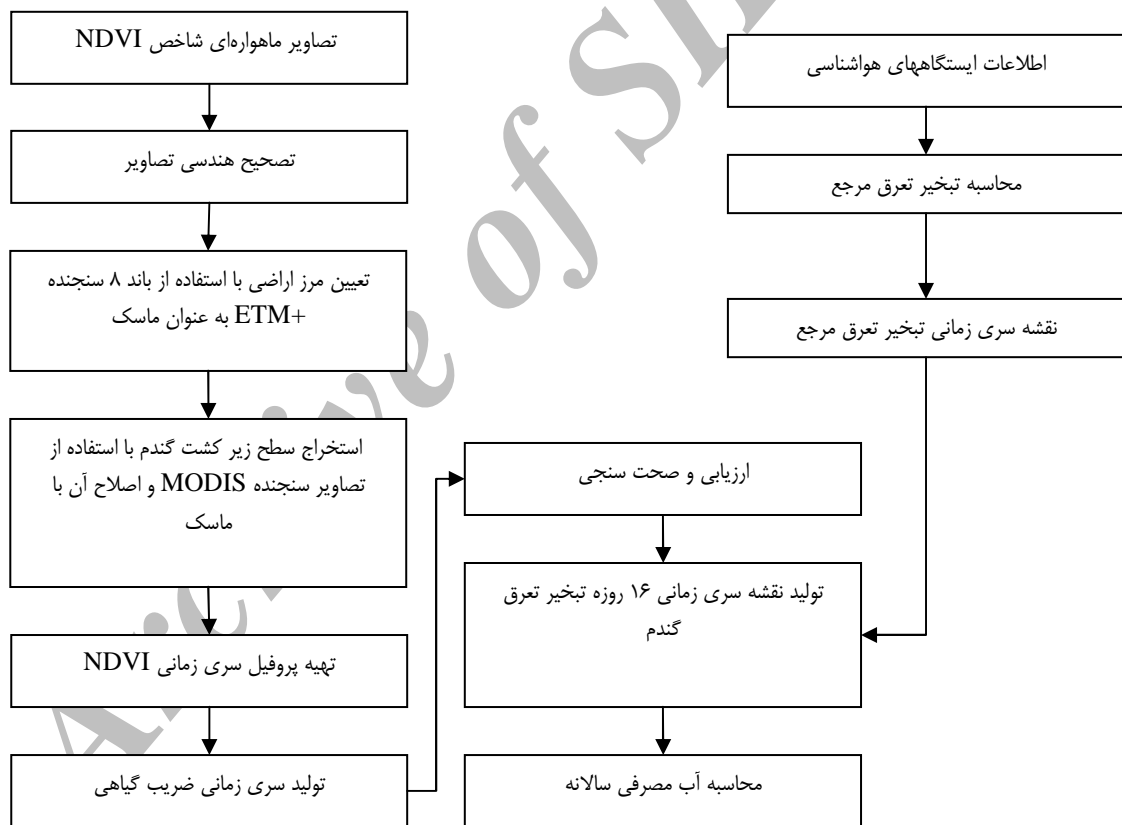
2- Mask

به نظر می‌رسد.

نقشه سری زمانی ضریب گیاهی

جدول (۲) آنالیز واریانس بین مقادیر متوسط سری زمانی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI و ضریب گیاهی گندم (Kc_T) را به تفکیک هر شهرستان نشان می‌دهد. به منظور بررسی رابطه رگرسیون بدست آمده، از شاخص‌های آماری شامل ضریب تعیین (R^2)، میانگین مربع خطا (MSE) و آماره آزمون (F) استفاده شد. نتایج نشان می‌دهند که فرض صفر ($H_0: a=0$) مردود است و شواهد کافی مبنی بر وجود یک رابطه خطی بین ضریب گیاهی گندم و شاخص گیاهی NDVI وجود دارد.

(MAJ) مربوط به سال ۱۳۸۲ استفاده شد. بدین منظور از شاخص‌های آماری شامل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین خطا (ME) و درصد خطا (E) استفاده شد (جدول ۱). نتایج نشان می‌دهد که میزان سطح تحت کشت محاسبه شده گندم به روش سنجش از دور دارای ۰/۶۲ درصد خطا نسبت به اطلاعات موجود در وزارت جهاد کشاورزی می‌باشد، در حالیکه این شاخص در مقایسه با نتایج سرشماری عمومی مرکز آمار ایران دارای درصد خطا ۱۰/۱۸ است. همچنین مقایسه سطح زیر کشت گندم مندرج در نتایج سرشماری عمومی نسبت به اطلاعات موجود در وزارت جهاد کشاورزی نشان از درصد خطا ۷/۶۲ دارد. در صورتیکه ارقام ارائه شده توسط وزارت جهاد کشاورزی به لحاظ مرتبط بودن امور مذکور به این وزارتخانه پذیرفته شود، دقت محاسبه سطح زیر کشت گندم با استفاده از سنجش از دور قابل قبول



شکل ۱- مراحل انجام تحقیق

جدول ۱- مقایسه سطح زیر کشت گندم بر اساس منابع مختلف

شاخص آماری	مبنای مقایسه MAJ & RS	مبنای مقایسه SCI & RS	مبنای مقایسه MAJ & SCI
RMSE (ha)	۳۷۴	۳۸۱۰	۳۷۶۵
MAE (ha)	۱۸۷	۱۸۵۸	۱۹۹۰
ME (ha)	۵۷	-۱۵۲۷	-۱۵۸۴
E (%)	۰/۶۲	۱۰/۱۸	۷/۶۲

Value(a) (صفر) می‌توان گفت که فرض آزمون مردود است و میزان احتمال سازگاری ضرایب گیاهی بدست آمده در دو روش بسیار بالا است. از طرفی دیگر با فرض آزمون صفر ($H_0: b=0$) آماره‌های T_b در محدوده غیر قابل قبول قرار می‌گیرند و با توجه به مقادیر نسبتا بالای P -Value(b)، می‌توان گفت که فرض آزمون قابل قبول و عرض از مبدا معادله رگرسیون صفر است.

شکل (۲) مقایسه ضریب گیاهی گندم (K_{CT}) و ضریب گیاهی گندم تعیین شده با استفاده از سنجش از دور (K_{CRS}) را طی دوره رشد در شهرستان گرگان را نشان می‌دهد.

شهرستان گرگان دارای حداکثر ضریب تعیین ($0/96$) و کمترین میانگین مربع خطا ($0/003$) و شهرستان گنبد دارای حداقل ضریب تعیین ($0/72$) و بیشترین میانگین مربع خطا ($0/24$) می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که ۸۵ تا ۹۷ درصد تغییرات ضریب گیاهی گندم ناشی از تغییرات شاخص گیاهی NDVI است و اثر سایر عوامل بین ۳ الی ۱۵ درصد می‌باشد.

جدول (۳) آماره‌های رگرسیون خطی بین ضریب گیاهی گندم (K_{CT}) و ضریب گیاهی تعیین شده با استفاده از سنجش از دور (K_{CRS}) را نشان می‌دهد. با فرض آزمون صفر ($H_0: a=0$) آماره‌های T_a در محدوده قابل قبول قرار می‌گیرند و با توجه به مقدار P -

جدول ۲- شاخص‌های آماری رابطه رگرسیون خطی بین شاخص گیاهی NDVI و ضریب گیاهی گندم (K_{CT})

$$Kc_T = a \times NDVI + b$$

شهرستان	a	b	r ²	MSE ^a	F ^b
آق قلا	۲/۵۹۱	-۰/۵۵۴	۰/۸۴	۰/۰۱۴	۶۲/۰۸۳
علی آباد	۳/۰۵۰	-۰/۶۸۰	۰/۹۱	۰/۰۰۸	۱۱۳/۹۸۰
آزاد شهر	۲/۱۰۷	-۰/۲۴۱	۰/۹۳	۰/۰۰۷	۱۵۳/۶۱۰
گنبد	۲/۴۱۰	-۰/۴۰۷	۰/۷۲	۰/۰۲۴	۳۰/۸۹۱
گرگان	۲/۲۸۵	-۰/۲۹۲	۰/۹۶	۰/۰۰۳	۲۹۹/۴۱۸
کلاله	۲/۷۳۰	-۰/۶۸۵	۰/۸۶	۰/۰۱۳	۷۱/۰۵۳
مینودشت	۳/۶۹۸	-۱/۳۰۰	۰/۸۱	۰/۰۱۷	۵۲/۰۶۱
رامیان	۳/۵۳۳	-۱/۰۹۲	۰/۸۹	۰/۰۱۰	۹۳/۳۲۰
بندر ترکمن	۳/۳۳۴	-۰/۵۸۰	۰/۸۷	۰/۰۱۱	۷۹/۷۶۵

^a Mean Square Error

^b F-Statistic is the ratio of MST to MSE

جدول ۳- شاخص‌های آماری معادله رگرسیون خطی بین ضریب گیاهی (K_{CT}) و سنجش از دور گندم (K_{CRS})

$$Kc_T = a \times Kc_{RS} + b$$

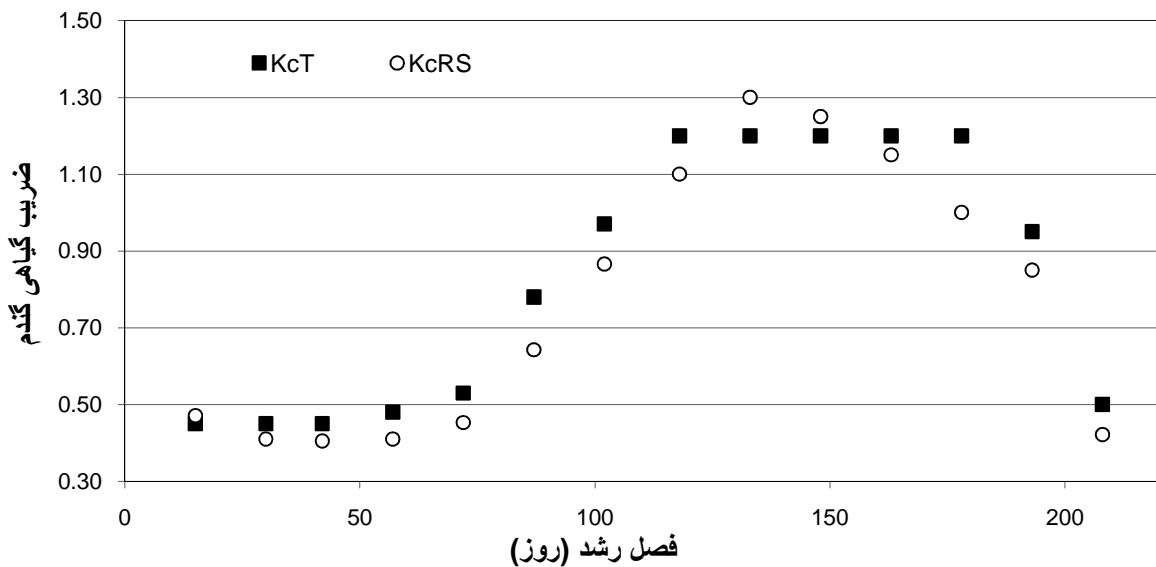
شهرستان	a	b	r ²	T(a) ^a	P-Value(a) ^b	T(b) ^c	P-Value(b) ^d
آق قلا	۱/۰۲۳	-۰/۰۲۳	۰/۸۷	۹/۰۰۷	.	-۰/۲۵۳	۰/۸۰۴
علی آباد	۰/۹۹۴	۰/۰۰۳	۰/۹۱	۱۱/۱۴۶	.	۰/۰۲۷	۰/۹۷۱
آزاد شهر	۰/۹۶۰	۰/۰۲۵	۰/۹۰	۱۰/۴۰۶	.	۰/۳۴۰	۰/۷۴۰
گنبد	۱/۰۳۷	-۰/۰۳۶	۰/۷۶	۶/۲۵۱	.	-۰/۲۷۸	۰/۷۸۶
گرگان	۱/۰۰۳	-۰/۰۰۹	۰/۹۶	۱۷/۲۸۳	.	-۰/۲۰۳	۰/۸۴۳
کلاله	۰/۹۸۱	-۰/۰۰۸	۰/۸۲	۷/۵۲۵	.	-۰/۰۸۱	۰/۹۳۶
مینودشت	۰/۹۶۰	۰/۰۲۸	۰/۷۹	۶/۷۰۶	.	۰/۲۴۹	۰/۸۰۸
رامیان	۱/۰۳۸	-۰/۰۳۴	۰/۸۹	۹/۸۸۴	.	-۰/۴۱۸	۰/۶۸۳
بندر ترکمن	۱/۰۰۱	-۰/۰۰۷	۰/۸۹	۹/۷۷۱	.	-۰/۰۸۷	۰/۹۳۲

a T statistic for assessment of (a) in the linear regression

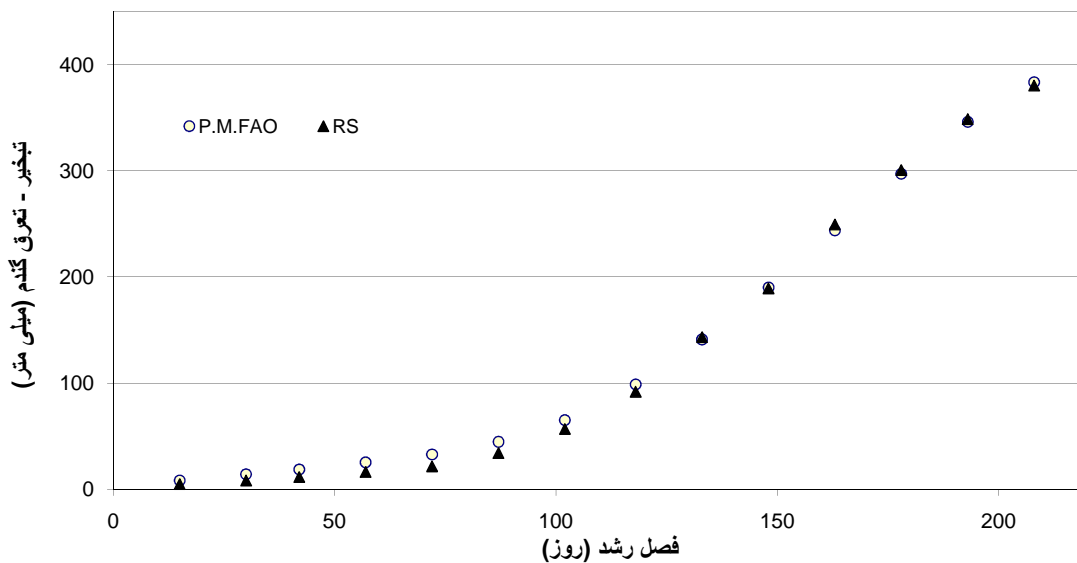
b the probability of compatibility (a) Coefficient for other samples

c T statistic for assessment of (b) in the linear regression

d the probability of compatibility (b) coefficient for other samples



شکل ۲- مقایسه ضرایب گیاهی گندم در شهرستان گرگان

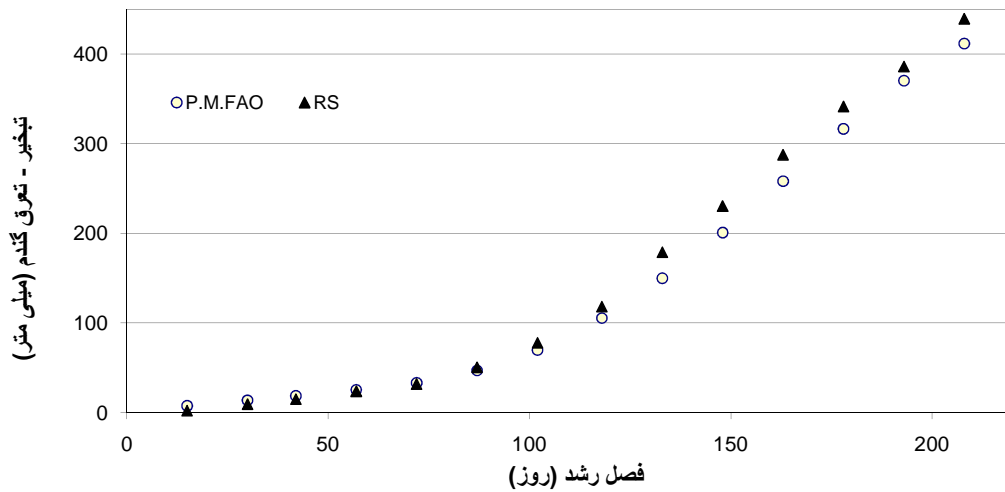


شکل ۳- مقایسه تبخیر-تعرق تجمعی سالانه گندم (پنمن-مانتیت-فائو و سنجش از دور) در شهرستان گرگان

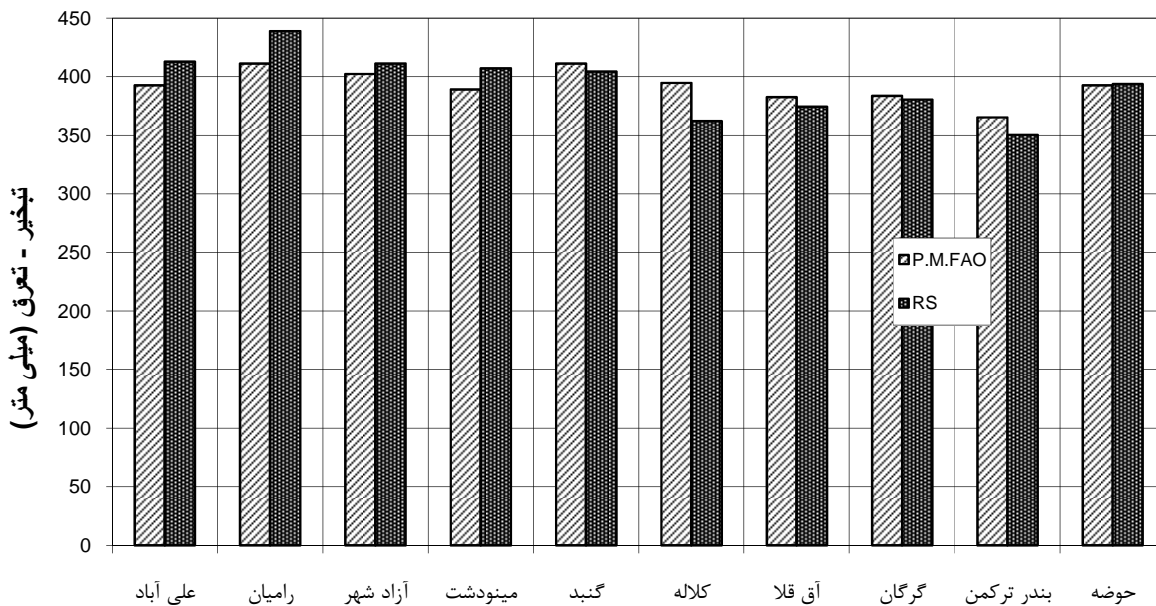
به تفکیک شهرستانها و متوسط کل حوضه را نشان می‌دهد. بررسی شاخص‌های آماری جهت ارزیابی اعتبار و درستی روش بکار گرفته شده نسبت به مدل پنمن - مانتیت - فائو نشان می‌دهد که استفاده از این روش دارای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۸ میلی متر، میانگین خطای مطلق (MAE) ۱۶ میلی متر، میانگین خطا (ME) ۱/۱- میلی متر و شاخص خطا (E) ۱/۹۱ درصد در کل فصل رشد گندم می باشد.

نقشه سری زمانی تبخیر-تعرق واقعی گندم

پس از ایجاد نقشه‌های سری زمانی ضریب گیاهی گندم و نقشه تبخیر-تعرق مرجع، نقشه سری زمانی تبخیر-تعرق واقعی گندم تولید شد. اشکال (۳) و (۴) بصورت نمونه تبخیر-تعرق تجمعی گندم را بر اساس روش سنجش از دور (RS) و روش پنمن - مانتیت - فائو (P.M.FAO) را برای شهرستان گرگان و رامیان نشان می‌دهند. همچنین شکل (۵) تبخیر-تعرق گندم بر اساس دو روش ذکر شده را



شکل ۴- مقایسه تبخیر-تعرق تجمعی سالانه گندم (پنمن-مانتیت-فائو و سنجش از دور) در شهرستان رامیان



شکل ۵- مقایسه تبخیر-تعرق سالانه گندم (پنمن-مانتیت-فائو و سنجش از دور) در شهرستان‌ها و متوسط حوضه

ماهواره ای می‌توان توزیع مکانی و زمانی این پارامتر را با دقت بهتری برای مکانهای مختلف برآورد نمود و در نتیجه امکان ارتقاء دقت در چنین برآوردی وجود دارد.

در این تحقیق از تصاویر رایگان سری زمانی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI حاصل از سنجنده MODIS که دارای توان تفکیک

نتیجه گیری

برآورد دقیقتر تبخیر و تعرق گیاهان در سطح یک حوضه همواره بعنوان یکی از مسائل و مشکلات مهم مطرح بوده است. چرا که اکثر اطلاعات ورودی مورد نیاز به صورت نقطه ای اندازه گیری شده و سپس به کل سطح منطقه بسط داده می‌شوند. به کمک سنجنده‌های

2002. Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: Examples using AVHRR and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 83: 303–319.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83: 195–213.
- Huete, A., Justice, C., van Leeuwen, W., 1999. MODIS Vegetation Index (MOD 13), Algorithm theoretical basis document. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf.
- Jagtap, S.S. and Jones, J.W., 1989. Stability of crop coefficients under different climate and irrigation management practices. *Irrigation and Drainage science*, 10: 231-244.
- Justice, C.O. and Townshend, J.R.G., 2002. Special issue on the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): A new generation of land surface monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 83: 1–2.
- Lobell, D.B., Asner, G.P., 2004. Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 93: 412–422.
- Nishida, K., Nemani, R.R., Running, S.W. and Glassy, J.M., 2003. An operational remote sensing algorithm of land evaporation. *Journal of Geophysical Research*, 108(D9): 4270.
- Norman, J.M., Anderson, M.C., Kustas, W.P., French, A.N., Mecikalski, J., Torn, R., 2003. Remote sensing of surface energy fluxes at 101-m pixel resolutions. *Water Resources Research*, 39(8): 1221.
- Stroeve, J., Box, J.E., Gao, F., Liang, S., Nolin, A., Schaaf, C., 2005. Accuracy assessment of the MODIS 16-day albedo product for snow: comparisons with Greenland in situ measurements. *Remote Sensing of Environment*, 94: 46–60.
- Wardlow, B.D. and Egbert, S.L., 2008. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: An assessment for the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, 112: 1096–1116.
- Wardlow, B.D., Kastens, J.H., Egbert, S.L., 2006. Using USDA crop progress data for the evaluation of greenup onset date calculated from MODIS 250-meter data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(11): 2002–2011.
- زمانی، مکانی و طیفی مناسب برای تشخیص گیاهان است، برای محاسبه سطح زیر کشت، ضریب گیاهی و میزان تبخیر-تعرق سالانه گندم استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهند که سطح زیر کشت گندم با خطای نسبی حدود ۰/۶۲ درصد قابل استخراج است. مقایسه پروفیل زمانی شاخص گیاهی NDVI هر یک از شهرستانها نشان می‌دهد که این شاخص متأثر از شرایط اقلیمی بوده و با تطبیق تقویم زراعی می‌توان نسبت به شناسائی محصولات عمده اقدام نمود. همچنین از آنجائی که ضریب گیاهی نیز متأثر از اقلیم و شرایط گیاه می‌باشد، می‌توان رابطه همبستگی بین شاخص گیاهی NDVI و ضریب گیاهی ایجاد نمود. نتایج نشان می‌دهند که ۸۵ تا ۹۷ درصد تغییرات ضریب گیاهی گندم ناشی از تغییرات شاخص گیاهی NDVI می‌باشد. همچنین مقایسه ضریب گیاهی (KCT) و ضرایب استخراج شده از روش سنجش از دور (KCRS) برای گندم نشان از احتمال سازگاری بالا بین این دو ضریب دارد.
- میزان تبخیر-تعرق سالانه گندم به روش سنجش از دور با استفاده از سری زمانی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI از سنجنده MODIS و اطلاعات زمینی از قبیل اطلاعات ایستگاههای هواشناسی و مزرعه‌ای محاسبه شد. نتایج نشان از این دارد که با استفاده از ترکیب اطلاعات سنجنده MODIS و اطلاعات سایر سنجنده‌ها با توان تفکیک مکانی بالا (از قبیل ETM+) و همچنین اطلاعات مربوط به منطقه مانند تقویم زراعی محصول، می‌توان تبخیر-تعرق سالانه گندم را با خطای نسبی ۱/۹۱ درصد برآورد نمود.

مراجع

- فرشی، علی اصغر و دیگران، ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. نشر آموزش کشاورزی.
- Allen, R.G. and Bastiaanssen, W.G.M., 2005. Editorial: Special issue on remote sensing of crop evapotranspiration for large regions. *Irrigation and Drainage Systems*, 19: 207–210.
- Bausch, W.C., 1995. Remote sensing of crop coefficients for improving the irrigation scheduling of corn. *Agricultural Water Management*, 27: 55-67.
- Dominique, C., Bernard, S. and Albert, O., 2005. Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: From empirical to numerical modeling approaches. *Irrigation and Drainage Systems*, 19: 223–249.
- Gao, X., Huete, A.R., Ni, W., Miura, T., 2000. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*, 74: 609–620.
- Hansen, M.C., DeFries, R.S., Townshend, J.R.G., Sohlberg, R., Dimiceli, C. and Carroll, M.,

MODIS data for biological conservation: Examples from the Great Yellowstone Ecosystem, USA and Para State, Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 92: 67–83.

1225–1234.
Wessels, K.J., DeFries, R.S., Dempewolf, J., Anderson, L.O., Hansen, A.J., Powell, S.L., 2004. Mapping regional land cover with

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۸۸/۹/۱۸

Archive of SID

Estimating Crop Coefficient and Actual Evapotranspiration of Wheat By Remote Sensing:

A Case Study, Gorgan Rood Command Area, Golestan, Iran.

M. A. Gholami¹, S. M. Mirlatifi^{2*}, K. Mohammadi³, A. Alimohammadi⁴

Abstract

Crop evapotranspiration (ET_c) is one of the main factors essential for the assertion of water and energy balances at the earth surface. Although, the input parameters required for the estimation of ET_c are spatially and temporally variables, ET_c is usually estimated by reference evapotranspiration models that are locally calibrated and are site specific and then adjusted by implementing crop coefficient (K_c) to include the effects of a specific crop. The objective of this research was to investigate the feasibility of using time-series MODIS 250 m Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) datasets in conjunction with ground data (climatic parameters) to calculate actual wheat crop coefficient in a large scale area (i.e., Gorgan Rod watershed) during wheat growing season. The results indicated that the annual actual wheat evapotranspiration derived from remote sensing as compared with FAO-penman-monteith equation had RMSE, MAE, ME and E of 18 mm, 16 mm, -1.1 mm and 1.91 percent, respectively.

Keywords: Crop coefficient, Actual evapotranspiration, Remote sensing, Gorgan Rod

1- PhD student, Department of Irrigation and drainage, Tarbiat Modares University

2- Associate Professor, Department of Irrigation and drainage, Tarbiat Modares University

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

3- Associate Professor, Department of Irrigation and drainage, Tarbiat Modares University

4- Assistant Professor, Department of GIS, K. N. Toosi University of Technology