



اولین همایش ملی زهکشی در کشاورزی پایدار

تهران - ۸ اسفندماه ۱۳۹۲



## استفاده از تصاویر MODIS در محاسبه تبخیر و تعرق واقعی محصولات زراعی

جمیل ضامنی راد

نویسنده مسئول دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، J\_ZAMENE@YAHOO.COM،

کریم توشی

دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، sahim2013@yahoo.com،

آزاده امیری چولاندیمی

استاد راهنما، دکتری جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، geography8484@yahoo.com.

### چکیده

تبخیر و تعرق واقعی از متغیرهای اصلی محاسبه بیلان آب و انرژی سطح زمین محسوب می‌شود. پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق تابع تغییرات مکانی و زمانی است. بیشتر مدل‌های موجود جهت محاسبه این مولفه، غیرمکانی بوده و غالباً با استفاده از داده‌های نقطه‌ای و مقادیر پارامترهایی مانند ضریب گیاهی صورت می‌پذیرند. هدف از این تحقیق بررسی کاربرد سری زمانی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI از تصاویر سنجنده MODIS جهت محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق واقعی گندم در طول دوره رشد و در یک سطح وسیعی چون حوضه گرگان‌رود با استفاده از ترکیبی از اطلاعات ماهواره‌ای و زمینی است. نتایج آماری حاصل از روش به‌کار رفته در این تحقیق نسبت به مدل پنمن - مانتیث - فائو نشان می‌دهد که این روش دارای ریشه میانگین مربعات خطای ۱۸ میلی‌متر، میانگین خطای مطلق ۱۶ میلی‌متر، میانگین خطای ۱.۱ میلی‌متر و شاخص خطای ۱.۹۱ درصد در کل فصل رشد گندم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ضریب گیاهی، تبخیر و تعرق واقعی، NDVI، MODIS، گندم.

### مقدمه

تبخیر و تعرق گیاهان یکی از متغیرهای اصلی در محاسبه بیلان آب و انرژی سطح زمین محسوب می‌شود. پایش میزان و چگونگی توزیع تبخیر و تعرق جهت مدیریت بهینه منابع آب، برنامه‌ریزی آبیاری در شبکه‌های آبیاری و محاسبه بازدهی کشاورزی حائز اهمیت است. وجود آب، میزان انرژی موجود و شرایط لازم جهت حرکت بخار آب از سطح زمین ۳ عامل اصلی

کنترل تبخیر و تعرق است. این عوامل به متغیرهای دیگری نظیر رطوبت خاک، دمای سطح زمین، دمای هوا، نوع پوشش گیاهی، فشار بخار هوا و سرعت باد بستگی داشته که خود نیز به‌طور پیوسته در حال تغییر می‌باشند. رویکرد مناسب برای محاسبه پارامترهای مورد نیاز جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی استفاده ترکیبی از داده‌های سنجش از دور و اطلاعات زمینی است (نورمن و همکاران، ۲۰۰۳؛ نی شی دا و همکاران، ۲۰۰۳). نقشه‌های تبخیر و 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 می‌باشند (آلن و باستیانسن، ۲۰۰۵). تبخیر و تعرق گیاه 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.

$$ET_{crop} = \sum_{i=1}^n K_{ci} * ET_{oi} \quad (1)$$

که در آن  $K_{ci}$  ضریب گیاه و  $ET_{oi}$  میزان تبخیر و تعرق مرجع در مرحله رشد  $i$  است. ضریب گیاهی  $K_c$  و شاخص گیاهی  $NDVI$  هر دو تابعی از شاخص سطح برگ  $LAI$  می‌باشند. شاخص  $NDVI$  از راه اندازه‌گیری‌های طیفی و به کمک تصاویر ماهواره‌ای قابل محاسبه است. با توجه به ارتباط نزدیک و تبعیت  $NDVI$  و  $K_c$  از شاخص سطح برگ، می‌توان اقدام به برآورد  $K_c$  براساس تصاویر ماهواره‌ای نمود (بوش، ۱۹۹۵). یکی از مزیت‌های استفاده از سنجش از دور در مدیریت شبکه‌های آبیاری، امکان تخمین ضریب گیاهی طی دوره رشد تحت شرایط واقعی است (واردلو و اگبرت، ۲۰۰۸). 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 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.

استفاده از اطلاعات باندهای ۱ و ۲ سنجنده  $MODIS$  از ماهواره  $Terra$  با توان تفکیک زمانی ۲ روزه و قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، فرصت مناسبی را برای پایش پدیده‌های موجود در زمین فراهم می‌سازد (جاستیک و تونشن، ۲۰۰۲). بنابراین به‌منظور مدیریت بهینه منابع آب، استفاده از تصاویر سنجنده  $MODIS$  جهت محاسبه پارامترهایی مانند ضریب گیاهی که متأثر از شرایط مکانی و زمانی است و طی دوره رشد گیاه نیز در حال تغییر می‌باشد، اجتناب ناپذیر به‌نظر می‌رسد (واردلو و اگبرت، ۲۰۰۸). تصاویر سری زمانی ترکیبی ۱۶ روزه شاخص گیاهی  $NDVI$  مربوط به سنجنده  $MODIS$  دارای توان تفکیک زمانی و قدرت تفکیک مکانی مناسب جهت بررسی شرایط رشد گیاه بوده و مکمل خوبی برای استفاده در تحقیقات مرتبط با تعیین مراحل مختلف رشد گیاه است (هیوت و همکاران، ۲۰۰۲). 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 به‌کارگیری تقویم زراعی گیاهان مختلف به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد (هانس و همکاران، ۲۰۰۲؛ وسلز و همکاران، ۲۰۰۴؛ لوبل و اسنر، ۲۰۰۴؛ واردلو و همکاران، ۲۰۰۶). 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 حوضه گرگانرود و معرفی یک روش جدید برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی گندم جهت استفاده در مدیریت منابع آب با استفاده ترکیبی از اطلاعات ماهواره‌ای و زمینی است.

## مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه شامل تمامی حوزه گرگانرود می‌باشد. این حوزه در محدوده مختصات ۵۵ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این حوزه با وسعت ۱۰۱۲۰ کیلومترمربع شامل ۹ شهرستان می‌باشد. گندم محصول عمده منطقه بوده و حدود ۶۰ درصد مساحت اراضی کشاورزی را تشکیل می‌دهد. متوسط بارندگی، دما و تبخیر و تعرق سالانه به ترتیب ۵۳۶ میلی‌متر، ۱۷ درجه سانتی‌گراد، و ۱۴۰۰ میلی‌متر می‌باشد. اقلیم منطقه متنوع بوده و از غرب به شرق اقلیم از معتدل مرطوب تا خشک سرد در حال تغییر است.

هم‌زمانی اطلاعات جهت استفاده در مطالعات سنجش از دور خصوصاً در این تحقیق امری ضروری است. تمامی اطلاعات (سنجش از دور و زمینی) استفاده شده مربوط به سال ۱۳۹۰ می‌باشند. جهت استخراج سطح زیرکشت گندم، از نتایج سرشماری عمومی کشاورزی و آمار منابع آبی از قبیل چاه‌ها، چشمه‌ها، قنات‌ها، سدهای انحرافی و ایستگاه‌های پمپاژ موجود در حوزه که دارای مختصات جغرافیایی و با محل‌های مصرف مشخص بوده‌اند به‌عنوان اطلاعات آموزشی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS10 استفاده شد. بنابراین برای محاسبه محدوده‌های زراعی، مساحت زیرکشت گندم، ضریب گیاهی و درنهایت میزان تبخیر و تعرق گندم از ۲۳ تصویر سری زمانی ترکیبی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI سنجنده MODIS که دارای کمترین شرایط ابرناکی بود (هیوت و همکاران، ۱۹۹۹)، استفاده شد. به‌منظور افزایش دقت در تعیین سطح زیرکشت گندم از تصاویر باند ۸ سنجنده ETM<sup>+</sup> با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر به‌عنوان ماسک استفاده شد. از پارامترهای رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، دما و سرعت باد متعلق به ۸ ایستگاه هواشناسی واقع در محدوده حوزه مورد مطالعه برای برآورد تبخیر و تعرق ماهانه استفاده شد. تصحیحات هندسی لازم بر روی تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup> ماهواره Landsat و تصاویر سری زمانی شاخص NDVI انجام شد. با استفاده از باند ۸ (پانکروماتیک) سنجنده ETM<sup>+</sup> مرزهای زمین زراعی مشخص شد. جهت تعیین سطح زیرکشت گندم از طبقه‌بندی نظارت شده به روش حداکثر احتمال استفاده شد. از لایه تولیدی باند ۸ سنجنده ETM<sup>+</sup> به‌عنوان اطلاعات تعلیمی در نرم‌افزار ENVI4.5 استفاده به‌عمل آمد. پس از مشخص شدن سطح اولیه زیرکشت گندم، از لایه حاصل از باند ۸ سنجنده ETM<sup>+</sup> به‌عنوان ماسک استفاده شد و بعد از انجام اصلاحات لازم، لایه نهایی سطح زیرکشت گندم تهیه شد. با به‌کارگیری لایه اخیر و ۲۳ تصویر سری زمانی ترکیبی شاخص گیاهی NDVI، نیمرخ زمانی متوسط NDVI به تفکیک شهرستان‌های موجود در حوزه استخراج شد. جهت تولید لایه سری زمانی ضریب گیاهی گندم به تفکیک هر شهرستان، یک رابطه رگرسیون خطی مابین مقادیر متوسط شاخص گیاهی NDVI و مقادیر KCT 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 - فائو و براساس میانبایی عکس مجذور فاصله لایه تبخیر و تعرق مرجع تولید شد. بعد از تولید لایه‌های سری زمانی ۱۶ روزه ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق مرجع و باتوجه به رابطه ۱، لایه سری زمانی تبخیر و تعرق واقعی گندم تولید شد.

## نتایج و بحث

جدول ۱ تحلیل واریانس بین مقادیر متوسط سری زمانی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI و ضریب گیاهی گندم KCT را به تفکیک هر شهرستان نشان می‌دهد. به‌منظور بررسی رابطه رگرسیون به‌دست آمده از شاخص‌های آماری ضریب تعیین R<sup>2</sup> میانگین مربع خطا MSE، و آماره آزمون F استفاده شد. نتایج نشان می‌دهند که فرض صفر H<sub>0</sub>: a = 0 مردود است و شواهد کافی مبنی بر وجود یک رابطه خطی بین ضریب گیاهی گندم و شاخص گیاهی NDVI وجود دارد. شهرستان گرگان دارای حداکثر ضریب تعیین ۰.۹۶ و کمترین میانگین مربع خطای ۰.۰۰۳ و شهرستان گنبد دارای حداقل ضریب تعیین ۰.۷۲ و بیشترین میانگین مربع خطای ۰.۰۲۴ می‌باشند. همچنین نتایج نشان می‌دهند که ۸۵ تا ۹۷ درصد تغییرات ضریب گیاهی گندم ناشی از تغییرات شاخص گیاهی NDVI بوده و اثر سایر عوامل بین ۳ الی ۱۵ درصد می‌باشد.

جدول ۱- شاخص‌های آماری رابطه رگرسیون خطی بین شاخص گیاهی NDVI و ضریب گیاهی گندم  $K_{CT}$ 

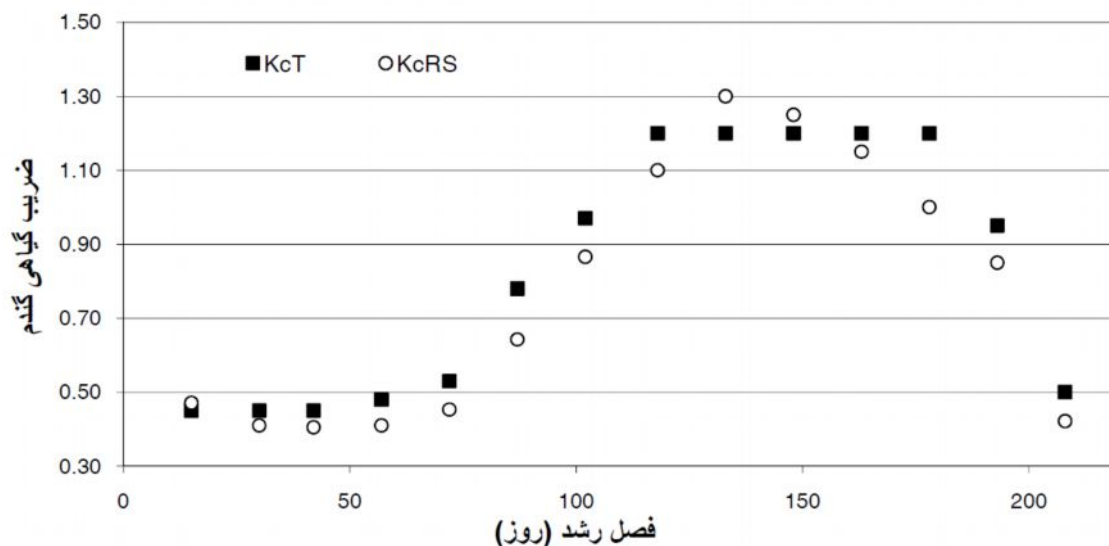
$K_{CT} = a * NDVI + b$					
شهرستان	$a$	$b$	$r^2$	$MSE$	$F$
آق قلا	۲.۵۹۱	-۰.۵۵۴	۰.۸۴	۰.۰۱۴	۶۲.۰۸۳
علی آباد	۳.۰۵	-۰.۶۸	۰.۹۱	۰.۰۰۸	۱۱۳.۹۸
آزاد شهر	۲.۱۰۷	-۰.۲۴۱	۰.۹۳	۰.۰۰۷	۱۵۳.۶۱
گنبد	۲.۴۱	-۰.۴۰۷	۰.۷۲	۰.۰۲۴	۳۰.۸۹۱
گرگان	۲.۲۸۵	-۰.۲۹۲	۰.۹۶	۰.۰۰۳	۲۹۹.۴۱۸
کلاله	۲.۷۳	-۰.۶۸۵	۰.۸۶	۰.۰۱۳	۷۱.۰۵۳
مینودشت	۳.۶۹۸	-۱.۳	۰.۸۱	۰.۰۱۷	۵۲.۰۶۱
رامیان	۳.۵۳۳	-۱.۰۹۲	۰.۸۹	۰.۰۱	۹۳.۳۲
بندر ترکمن	۳.۳۲۴	-۰.۵۸	۰.۸۷	۰.۰۱۱	۷۹.۷۶۵

جدول ۲ آماره‌های رگرسیون خطی بین ضریب گیاهی گندم  $K_{CT}$  و ضریب گیاهی تعیین شده با استفاده از سنجش از دور را نشان می‌دهد. با فرض آزمون صفر  $H_0: a = 0$  آماره‌های  $T_a$  در محدوده قابل قبول قرار گرفته و باتوجه به  $P$ -value ( $a$ ) (صفر) می‌توان گفت که فرض آزمون مردود است و میزان احتمال سازگاری ضرایب گیاهی به‌دست آمده در دو روش بسیار بالاست. از طرفی دیگر با فرض آزمون صفر  $H_0: b = 0$  آماره‌های  $T_b$  در محدوده غیرقابل قبول قرار گرفته و باتوجه به مقادیر  $P$ -value ( $b$ ) می‌توان گفت که فرض آزمون قابل قبول و عرض از مبدأ معادله رگرسیون صفر است.

جدول ۲- شاخص‌های آماری معادله رگرسیون خطی بین ضریب گیاهی  $K_{CT}$  و سنجش از دور گندم  $K_{CRS}$ 

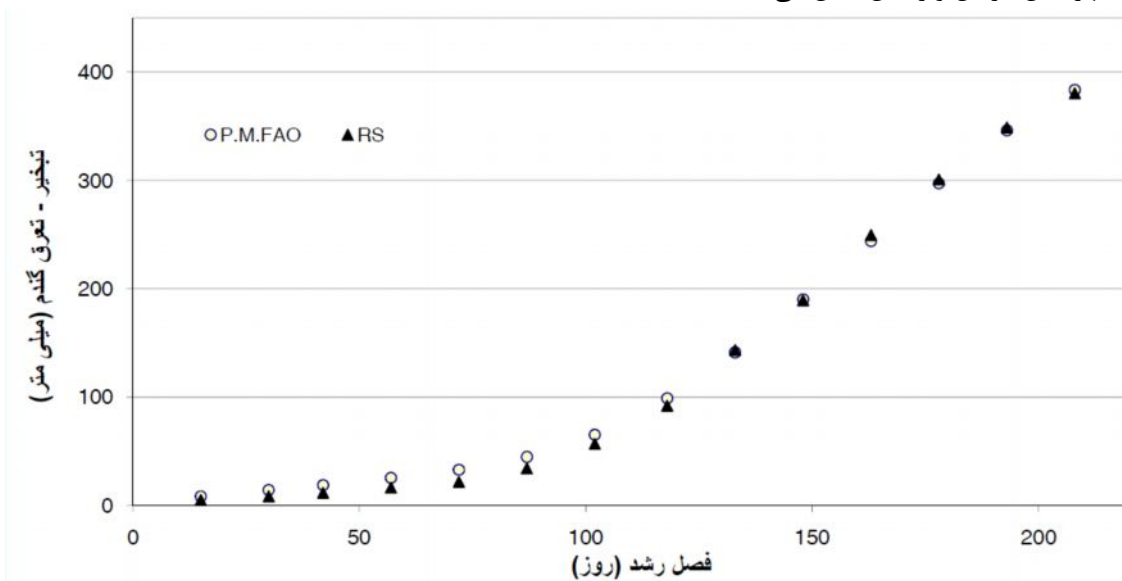
$K_{CT} = a * K_{CRS} + b$								
شهرستان	$a$	$b$	$r^2$	$MSE$	$T_a$	$P$ -value ( $a$ )	$T_b$	$P$ -value ( $b$ )
آق قلا	۱.۰۲۳	-۰.۰۲۳	۰.۸۷	۰.۰۱۴	۹.۰۰۷	.	-۰.۲۵۲	۰.۸۰۴
علی آباد	۰.۹۹۴	۰.۰۰۳	۰.۹۱	۰.۰۰۸	۱۱.۱۴۶	.	۰.۰۳۷	۰.۹۷۱
آزاد شهر	۰.۹۶	۰.۰۲۵	۰.۹	۰.۰۰۷	۱۰.۴۰۶	.	۰.۳۴	۰.۷۴
گنبد	۱.۰۳۷	-۰.۰۳۶	۰.۷۶	۰.۰۲۴	۶.۲۵۱	.	-۰.۲۷۸	۰.۷۸۶
گرگان	۱.۰۰۳	-۰.۰۰۹	۰.۹۶	۰.۰۰۳	۱۷.۲۸۳	.	-۰.۲۰۳	۰.۸۴۳
کلاله	۰.۹۸۱	۰.۰۰۸	۰.۸۲	۰.۰۱۳	۷.۵۲۵	.	۰.۰۸۱	۰.۹۳۶
مینودشت	۰.۹۶	۰.۰۲۸	۰.۷۹	۰.۰۱۷	۶.۷۰۶	.	۰.۲۴۹	۰.۸۰۸
رامیان	۱.۰۳۸	-۰.۰۳۴	۰.۸۹	۰.۰۱	۹.۸۸۴	.	-۰.۴۱۸	۰.۶۸۳
بندر ترکمن	۱.۰۰۱	-۰.۰۰۷	۰.۸۹	۰.۰۱۱	۹.۷۷۱	.	-۰.۰۸۷	۰.۹۳۲

شکل ۱ 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 نشان می‌دهد.

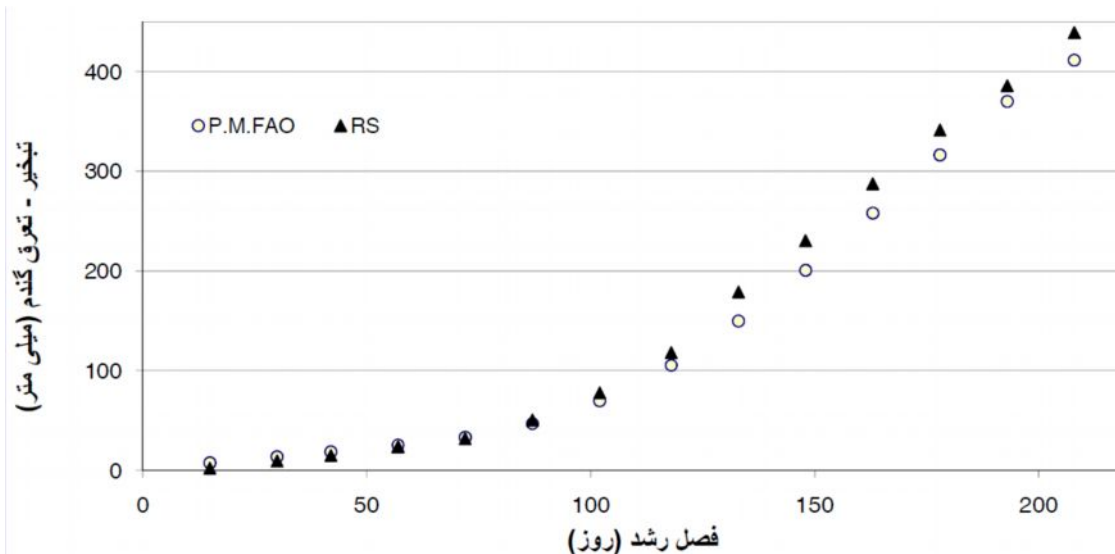


شکل ۱- مقایسه ضرایب گیاهی گندم در شهرستان گرگان

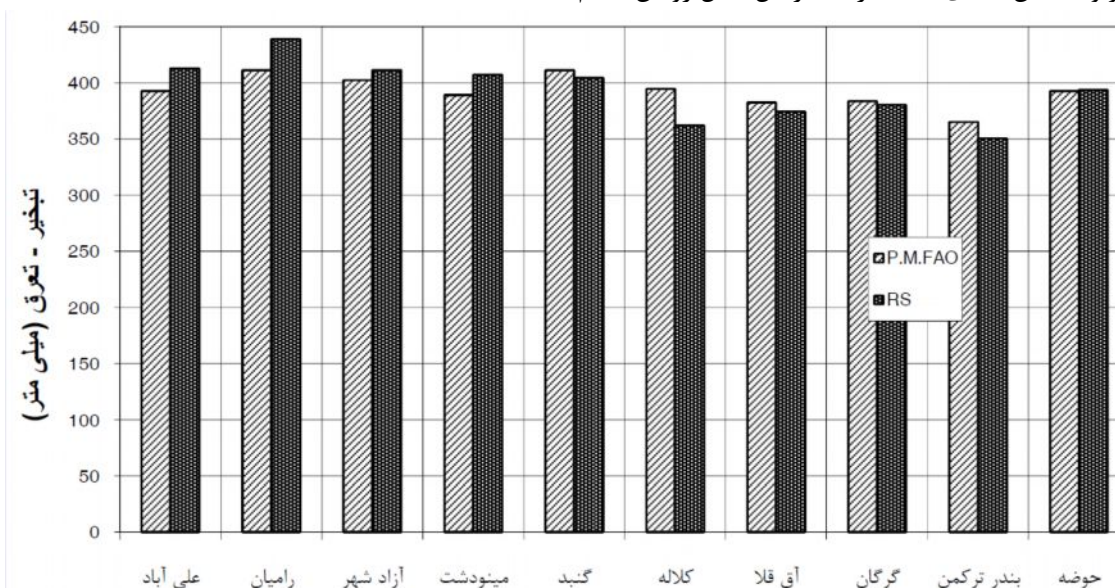
پس از ایجاد لایه‌های سری زمانی ضریب گیاهی گندم و تبخیر و تعرق مرجع، لایه سری زمانی تبخیر و تعرق واقعی گندم تولید شد. شکل‌های ۲ و ۳ به صورت نمونه تبخیر و تعرق تجمعی گندم را براساس روش سنجش از دور و روش پنمن - مانتیث - فائو را برای شهرستان گرگان و رامیان نشان می‌دهند.



شکل ۲- مقایسه تبخیر و تعرق تجمعی سالانه گندم (پنمن - مانتیث - فائو و سنجش از دور) در شهرستان گرگان



شکل ۳- مقایسه تبخیر و تعرق تجمعی سالانه گندم (پنمن - مانتیث - فائو و سنجش از دور) در شهرستان رامیان  
 شکل ۴ تبخیر و تعرق گندم براساس دو روش ذکر شده را به تفکیک شهرستان‌ها و متوسط کل حوضه نشان می‌دهد. بررسی شاخص‌های آماری جهت ارزیابی اعتبار و درستی روش به کار گرفته شده نسبت به مدل پنمن - مانتیث - فائو نشان می‌دهد که استفاده از این روش دارای ریشه میانگین مربعات خطای ۱۸ میلی‌متر، میانگین خطای مطلق ۱۶ میلی‌متر، میانگین خطای ۱.۱- میلی‌متر و شاخص خطای ۱.۹۱ درصد در کل فصل رویش گندم است.



شکل ۴- مقایسه تبخیر و تعرق سالانه گندم (پنمن - مانتیث - فائو و سنجش از دور) در شهرستان‌ها و متوسط حوضه

## نتیجه‌گیری

برآورد دقیق‌تر تبخیر و تعرق گیاهان در سطح یک حوضه همواره به‌عنوان یکی از مسائل و مشکلات مهم مطرح بوده است. چراکه اثر اطلاعات ورودی موردنیاز به‌صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری شده و سپس به کل سطح منطقه بسط داده می‌شوند. به کمک سنجنده‌های ماهواره‌ای می‌توان توزیع مکانی و زمانی این پارامتر را با دقت بهتری برای مکان‌های مختلف برآورد نمود که در نتیجه امکان ارتقاء دقت در چنین برآوردی وجود دارد. در این تحقیق از تصاویر سری زمانی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI حاصل از سنجنده MODIS که دارای توان تفکیک زمانی و قدرت تفکیک مکانی و طیفی مناسب برای تشخیص گیاهان است جهت محاسبه سطح زیرکشت، ضریب گیاهی و میزان تبخیر و تعرق سالانه گندم استفاده شد. نتایج نشان می‌دهند که سطح زیرکشت گندم با خطای نسبی حدود ۰.۶۲ درصد قابل استخراج است. مقایسه نیمرخ زمانی شاخص گیاهی NDVI هریک از شهرستان‌ها نشان می‌دهد که این شاخص متأثر از شرایط اقلیمی بوده و با تطبیق تقویم زراعی می‌توان نسبت به شناسایی محصولات عمده اقدام نمود. همچنین از آنجایی که ضریب گیاهی نیز متأثر از اقلیم و شرایط گیاه است، می‌توان رابطه همبستگی بین شاخص گیاهی NDVI و ضریب گیاهی ایجاد کرد. نتایج نشان می‌دهند که ۸۵ تا ۹۷ درصد تغییرات ضریب گیاهی گندم ناشی از تغییرات شاخص گیاهی NDVI می‌باشد. همچنین مقایسه ضریب گیاهی  $K_{CT}$  و ضرایب استخراج شده از روش سنجش از دور  $K_{CRS}$  برای گندم نشان از احتمال سازگاری بالا بین این دو ضریب دارد. میزان تبخیر و 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 قدرت تفکیک مکانی بالا از قبیل  $ETM^+$  و همچنین اطلاعات مربوط به منطقه مانند تقویم زراعی محصول، می‌توان تبخیر و تعرق سالانه گندم را با خطای نسبی ۱.۹۱ درصد برآورد نمود.

## تقدیر و تشکر:

با امتنان بیکران از مساعدت‌های بی‌شائبه‌ی مدیر گروه جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جناب دکتر منوچهر جوانمردی استاد بزرگوار که همیشه حامی ما در این راه بوده است.

## منابع

- 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: 23–249.
- 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.
- 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](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf).
- Jagtup, 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):