

بررسی تغییرات ماده خشک و عملکرد گندم در دوره‌های خشکسالی و ترسالی با کمک داده‌های ماهواره‌ای MODIS در استان اصفهان

غلامعلی کامالی^{۱*}، حسین مؤمن‌زاده^۲ و مجید وظیفه دوست^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۱۷

چکیده

علم سنجش از دور و تولیدات ماهواره‌ای حاصل از این تکنیک نوین از جایگاه خاصی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق، میزان تولیدات گیاهی گندم در استان اصفهان برای یک سال تر (۸۴-۱۳۸۳) و یک سال خشک (۸۰-۱۳۷۹) از داده‌های ماهواره‌ای مادیس استخراج گردید. بدین منظور ۶۸ تصویر تولیدات ماهواره‌ای مادیس مر بوط به انعکاس سطحی زمین (MOD09GA) و دمای سطح زمین LST (MOD11A2) با فواصل زمانی هشت روزه استخراج گردید. با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای شاخص گیاهی NDVI و دمای سطح زمین، میزان تنش آبی در هر فاصله زمانی برآورد گردید. همچنین توزیع مکانی جذب فعال تابش فتوسنتزی (APAR)، با استفاده از شاخص گیاهی NDVI و داده‌های هواشناسی برآورد گردید. در نهایت ماده خشک تجمعی، بعنوان بازخوردی از عملکرد گندم، پس از محاسبه APAR، راندمان استفاده از نور خورشید و نیز تنش آبی در دوره‌های زمانی مورد نظر محاسبه گردید. سپس ماده خشک بدست آمده با کمک شاخص برداشت به عملکرد تبدیل شد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که بطور کلی در دوره تر سالی تولیدات گندم در سطح استان اصفهان ۱/۴ برابر نسبت به دوره خشکسالی افزایش یافته است. نتایج نشان داد که شهرستان‌های آران و بیدگل، فلاورجان، اردستان بیشترین کاهش و اصفهان بیشترین افزایش ماده خشک را در این مدت داشته‌اند. با تعمیم این الگوریتم به سایر استان‌های کشور می‌توان نسبت به ارائه الگوهای پیش بینی عملکرد گندم قبل از برداشت محصول در مقیاس کشوری اقدام نمود.

واژه‌های کلیدی: تابش فعال فتوسنتزی، ماده خشک گیاهی، سنجش از دور

مقدمه

(FAO, 2005). در سال ۲۰۰۰ که سال خشکی بوده میزان تولید گندم در کشور به حداقل میزان خود یعنی در حدود هشت میلیون تن رسیده است، میزان تقاضا و مصرف گندم در حدود ۱۴ میلیون تن بوده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد اختلاف چشمگیری بین میزان تولید و مصرف مشاهده می‌شود و اهمیت پیش بینی میزان عملکرد به منظور ایجاد امنیت غذایی بیش از پیش احساس می‌شود، چرا که کشور ما در یک منطقه خشک و نیمه خشک قرار گرفته است و تغییرات آب و هوایی به شدت میزان تولیدات گیاهی گندم که بصورت دیم و آبی کشت می‌شود را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نیل به این اهداف مستلزم استفاده وسیع از تصاویر ماهواره‌ای است. تورشند و جوستیک (Townshend & Justice, 1986) با پردازش NDVI^۴ حاصل از ماهواره NOAA^۵ به آنالیز این پارامتر در قاره آفریقا پرداختند.

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از محصولات استراتژیک و اساسی کشورهای دنیا و همچنین تأمین کننده اصلی جیره غذایی مردم ایران و قسمت اعظم پروتئین و کالری مورد نیاز افراد جامعه به حساب می‌آید، اما با توجه به روند رو به ازدیاد جمعیت کشور و افزایش نیاز به مصرف مواد غذایی، مشکل اساسی جامعه کنونی اطلاع دقیق از میزان تولیدات گیاهی گندم و ایجاد تعادل در واردات و صادرات این محصول استراتژیک می‌باشد (Wheat Project Implemented, 2005). بطور مثال، در شکل (۱) میزان تولید و مصرف گندم کشور از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ نشان داده شده است

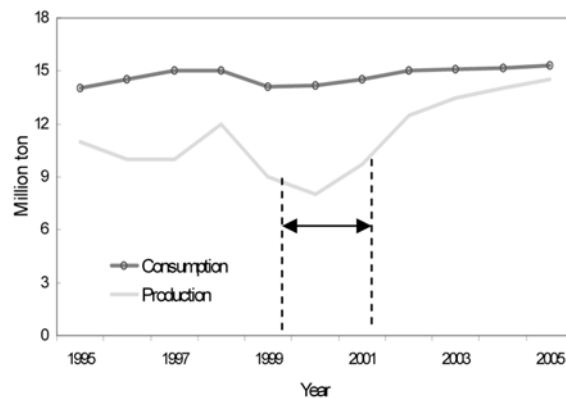
۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده علوم پایه، گروه هواشناسی، دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه هواشناسی استادیار دانشگاه گیلان

*- نویسنده مسئول:

(E-mail: a.kamali@srbiau.ac.ir)

4- Normalized difference vegetation index

5- National oceanic and atmospheric administration



شکل ۱- تولید و مصرف گندم کشور از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵
 Fig. 1- Production and consumption of wheat from 1995 to 2005

تحقیق علم سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای یکی از روش‌های جدید و مؤثر در زمینه تحقیقات کشاورزی معرفی شده است. سنجنده‌های موجود روی ماهواره‌های مختلف طیف‌های بازتابی پوشش گیاهان را ثبت می‌نماید. از این داده‌ها می‌توان برای شناسایی نوع گیاه، وضع سلامت گیاهان و برآورد عملکرد آنها استفاده کرد. ماهواره TERA^۱ با داشتن پنج سنجنده فرصت مناسبی را برای بررسی زمین، اقیانوس و اتمسفر فراهم آورده است. مودیس^۲ یکی از این پنج سنجنده است. این سنجنده دارای سی شش باند طیفی با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر است. از شاخص‌های گیاهی سنجنده مودیس در پایش تابش‌های فعال فتوسنتزی، تغییرات پوشش گیاهی، وضعیت سلامت و مساحت زیر کشت گیاهان مختلف استفاده می‌شود. در این مقاله تصاویر باند قرمز (۶۷۰-۶۲۰ نانومتر) و باند مادون قرمز نزدیک (۸۷۶-۸۴۱ نانومتر) سنجنده مودیس با دوره زمانی ۱۶ روزه مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار می‌گیرند. از این تصاویر مزارع کشت گندم زمستانه واقع در دشت مشهد در فصل زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ استخراج شده است. با استفاده از روش‌های پردازش تصویر، مقادیر رقومی^۳ (DN) پیکسل‌های موجود روی تصاویر استخراج گردیده و در این تحلیل استفاده شدند. نتایج نشان داد که در اوایل و اواخر فصل رشد گندم بین دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک، همبستگی مثبتی (با ضریب همبستگی ۰/۶۹ و ۰/۷۰) وجود داشته و مقدار شاخص NDVI کاهش (۰/۲۴) در خرداد و ۰/۱۸ در اوایل آبان) می‌یابد. این ارتباط در اوایل فصل رشد وجود نداشته و از طرفی افزایش چشمگیری (۰/۵) در شاخص NDVI مشاهده شد. همچنین علیرغم وجود پوشش گندم، در اواخر فصل رشد، کاهش

تصاویری که این دو به کار بردند دارای بزرگنمایی ۸^{km} بود (Townshend et al., 1986). بعد از این دو محقق، تحقیقات بسیاری با بکارگیری همین روش ولی با استفاده از داده‌های ماهواره‌های مختلف به انجام رسید. سپس گسترش این علم طی زمان در زمینه‌های گوناگون خدمات کشاورزی شامل روش‌های پهنه‌بندی اقلیمی محصولات کشاورزی، برآورد تبخیر و تعرق گیاهان، بررسی خسارات پدیده‌های زیان بخش جوی و پیش بینی عملکرد محصولات کشاورزی نظیر ذرت، برنج، گندم و غیره توسعه یافت (Mirbagheri, 2004).

بطور کلی، سنجش از دور می‌تواند به عنوان یک منبع مفید اطلاعاتی در بسیاری از فعالیت‌ها و تحقیقات کشاورزی مطرح باشد. از کاربردهای مهم دیگر این سیستم در فعالیت‌های کشاورزی می‌توان به تعیین حدود پراکنش گیاهان زراعی و تخمین سطح زیر کشت آنها، فاکتورهای مؤثر بر عملکرد و تخمین آن، ارزیابی محل‌هایی که گیاهان زراعی در آن کشت می‌شوند، بررسی خاک و تولید نقشه‌ها، بررسی منابع آبی و تهیه نقشه به منظور آبیاری بهینه، تولید نقشه‌های پوشش گیاهی اشاره نمود (Mirbagheri, 2004).

در تحقیقی که توسط اسدی راشد و همکاران (Asadi Rashed et al., 2004-2005) با عنوان «تفسیر پروفیل تغییرات NDVI سنجنده MODIS در کلاس‌های مختلف نقشه پوشش گیاهی» در دشت قزوین انجام شده به بررسی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI به عنوان نماد سبزینه گیاه پرداخته و آنرا به عنوان یک مرجع تفسیر تصاویر ماهواره ای معرفی کرده‌اند (Asadi Rashed et al., 2004).

در تحقیق دیگری ثنایی نژاد و همکاران (Sanaei Nejad et al., 2007) با عنوان «مطالعات تغییرات طیف بازتابی مزارع گندم در مشهد با استفاده از تصاویر MODIS» انجام داده‌اند. در این

1- Topfree equal rights association
 2- Moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS)
 3- Digital number

Gossypium (*aestivum* L.)، برنج (*Oriza sativa* L.)، پنبه (*Saccharum officinarum* L.) و نیشکر (*Bastiaanssen et al., 2003*) گرفت.

پژوهش دیگری که توسط یانسونگ باو و همکاران (Yansong Bao et al., 2008) در کشور چین برای برآورد گندم زمستانه با استفاده از داده‌های سنجش از دور و با قدرت تفکیک طیفی و مکانی-های متنوع انجام شد نشان داد که با استفاده از ماده خشک می‌توان وضعیت رشد گیاهان را بررسی نمود و بنابراین می‌توان چنین بیان نمود که ماده خشک شاخص مهمی جهت پایش و مونیتورینگ رشد گیاهان می‌باشد. برآورد ماده خشک گندم زمستانه این تحقیق با استفاده از داده‌های میدانی با قدرت تفکیک مکانی^۶ بالای تصاویر لندست TM انجام شد. در نهایت، برای برآورد زیست توده گندم از داده‌های سنجش از دور، اندازه گیری‌های روزمره میدانی در طول دوره‌ای که ماهواره لندست از روی منطقه مورد مطالعه عبور می‌کرد انجام شد. در ضمن در طول تحقیق از پنج تصویر لندست به ترتیب در مراحل سبز شدن، پنجه زنی، ساقه‌دهی، گلدهی و پر شدن دانه گرفته و تهیه شد. سپس زیست توده گندم در هر مرحله اندازه گیری شد. بر اساس تصاویر Landsat^۸ TM و MODIS شاخص‌های طیفی مانند NDVI^۹، RDVI^{۱۰}، EVI^{۱۱}، MSAVI^{۱۲}، NDWI^{۱۳}، محاسبه شدند. در همان زمان داده‌های میدانی با قدرت تفکیک بالا^{۱۴} جهت محاسبه تفاوت نرمال موجود در شاخص‌های طیفی، جذب طیفی و پارامترهای انعکاسی بکار گرفته شدند. سپس ضریب همبستگی بین ماده خشک گندم و پارامترهای طیفی مکان‌های آزمایشی محاسبه شدند. بر طبق ضریب همبستگی، پارامترهای طیفی مطلوب‌تر برای برآورد ماده خشک گندم تعیین شدند. مناسب‌ترین روش برای برقراری ارتباط نسبت بین مدل‌های ماده خشک گندم و پارامترهای طیفی بهینه بکار گرفته شد. در پایان مدل‌ها برای برآورد ماده خشک گندم بر اساس داده‌های لندست TM و مودیس استفاده شد. حداکثر همبستگی برآورد زیست توده ۶۶/۴۰۳ گرم بر متر مربع بود (Yansong Bao et al., 2008).

در مجموع، هدف از این تحقیق بررسی روند تغییرات میزان پوشش گیاهی، ماده خشک گیاهی و عملکرد پیش بینی شده در دو سال خشک و تر در استان اصفهان می‌باشد.

چشمگیری در میزان بازتاب باند مادون قرمز نزدیک دیده می‌شود. بنابراین، می‌توان از رابطه بین باند قرمز و مادون قرمز نزدیک همراه با شاخص NDVI در مدیریت کشاورزی دقیق مانند پیش بینی مراحل فنولوژیک گندم، برآورد عملکرد گندم و پایش وضعیت سلامت گندم استفاده کرد (Sanaei Nejad et al., 2007).

پژوهش دیگری در منطقه مرکزی اتار پرادش غربی^۱ (UP) هندوستان با کمک پانزده تصویر بازتابش سطحی از سنجنده مودیس با گام‌های هشت روزه و سطح سه تولیدات و همچنین استفاده از داده‌های هواشناسی انجام گردید. در این تحقیق از مدل مونتیث^۲ برای برآورد ماده خشک گیاهی با استفاده از برآورد جذب تابش فعال فتوسنتزی جذب شده^۳ (APAR) حاصله از شاخص NDVI ماهواره مودیس استفاده شده است. علاوه بر آن داده‌های هواشناسی و خروجی مراحل مختلف راندمان استفاده از نور بکار گرفته شده است. سپس جهت تبدیل ماده خشک زنده به عملکرد از شاخص برداشت حاصل شده از نمونه گیری‌های منظم و تصادفی محصول نهایی استفاده شده است. اعتبارسنجی مدل مونتیث با عملکردهای مشاهداتی اداره اقتصاد نشان داد که عملکرد گندم می‌تواند برای تقریباً ۶۰ درصد از نمونه‌ها با انحراف نسبی کمتر از ۵۰ درصد برآورد شود. ضمناً در ارزیابی که از مدل ارزیابی عملکرد مذکور به عمل آمد مشخص گردید، در مناطقی که ساختار آبیاری بهتری دارند نتایج مطلوب و همگن‌تری حاصل می‌شود. جهت برآورد عملکرد مزارع گندم در مزارع غرب اتار پرادش باید فعالیت‌های آینده بر پایه یکپارچه‌سازی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا باشد (Patel et al., 2006).

در مطالعه دیگری توسط باستیانسن و همکاران (Bastiaanssen et al., 2003) بر روی محاسبه جذب تابش فعال فتوسنتزی (APAR) و تنش آبی با اعمال کردن الگوریتم بیلان انرژی^۴ (SEBAL) بر روی داده‌های ماهواره‌ای NOAA انجام شد، تغییرات ماده خشک روی سطح زمین را در منطقه ایندوس باسین پاکستان برآورد شد. محاسبات در محیط GIS با استفاده از ۲۰ تصویر اندازه گیری شده ماهواره به روش رادیومتری با قدرت تفکیک بالای پیشرفته^۵ (AVHRR) برای یک دوره یک ساله انجام گرفت. اعتبارسنجی بوسیله اطلاعات جمع آوری شده از سطوح انجام گرفت و نتایج بدست آمده همبستگی بسیار خوبی با داده‌های مشاهداتی داشت. بطوریکه پیش بینی‌ها با خطای ۵۲۵، ۶۱۶، ۵۵۱، ۱۳۴۸۴ کیلوگرم بر هکتار به ترتیب برای عملکرد گندم (*Triticum*

6- Biomass
7- Resolution
8- Land sat (ellite)
9- Remote digital video inspection
10- The enhanced vegetation index
11- Modified soil-adjusted vegetation index
12- Normalized difference water index
13- Hyperspectral

1- Uttar pradesh
2- Monteith model
3- Absorbed photosynthetic active radiation
4- Surface energy balance algorithm for land
5- Advanced very high resolution radiometer

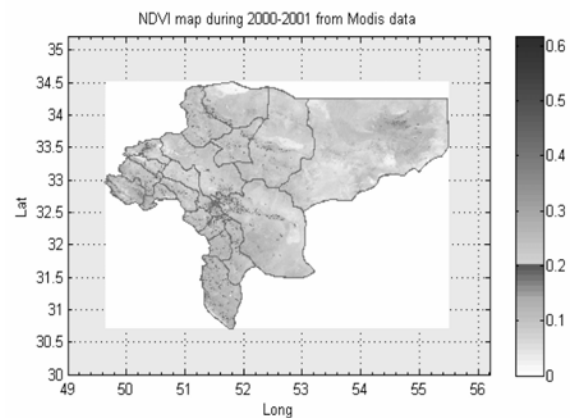
مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های هواشناسی حداقل دمای هوا، حداکثر دمای هوا و ساعت آفتابی می‌باشد. داده‌های مذکور برای دو سال خشک (۲۰۰۰-۲۰۰۱) و تر (۲۰۰۴-۲۰۰۵) از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. آمار سطح زیر کشت و عملکرد مشاهداتی برای دو سال خشک (۲۰۰۰-۲۰۰۱) و تر (۲۰۰۴-۲۰۰۵) از آرشیو وزارت جهاد کشاورزی تهیه گردید. نقشه کاربری اراضی با دقت ۱:۱۰۰۰۰۰ از اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان تهیه شد. داده‌های ماهواره‌ای این تحقیق محصولات سطح نه‌سنگنده مودیس می‌باشند که شامل باندهای یک و دو انعکاسی (MOD09) و ۳۱ و ۳۲ حرارتی^۱ (MOD11) سنگنده مودیس ماهواره ترا می‌باشند. داده‌های مذکور از سایت ناسا دانلود شده است. از ویژگی‌های داده‌های سطح نه مودیس این است که تصحیحات اتمسفریک و رادیومتریک بر روی آنها انجام شده است و لذا به همین دلیل در این تحقیق تنها پردازش‌های اولیه شامل تصحیحات هندسی بر روی آنها انجام شده است.

از باندهای انعکاسی ۱ و ۲ که به ترتیب همان باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک می‌باشند، شاخص گیاهی NDVI با استفاده از نرم افزار MATLAB با استفاده از معادله (۱) استخراج گردید:

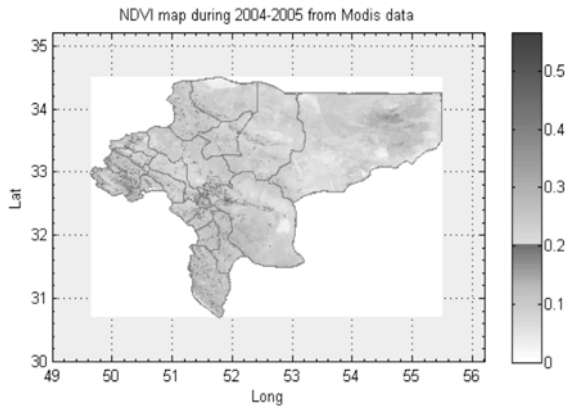
$$\text{NDVI} = \frac{[\text{باند (۱)} + \text{باند (۲)}] - [\text{باند (۱)} - \text{باند (۲)}]}{[\text{باند (۱)} + \text{باند (۲)}] + [\text{باند (۱)} - \text{باند (۲)}]}$$

معادله (۱) نقشه‌های NDVI حاصله دو سال خشک (۲۰۰۰-۲۰۰۱) و تر (۲۰۰۴-۲۰۰۵) در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.



شکل ۲- نقشه پوشش گیاهی استان اصفهان در سال خشک (۲۰۰۰-۲۰۰۱)

Fig. 2- Distribution of plant coverage over Isfahan province in 2000-1 dry year



شکل ۳- نقشه پوشش گیاهی استان اصفهان در سال تر (۲۰۰۴-۲۰۰۵)

Fig. 3- Distribution of plant coverage over Isfahan province in 2004- 2005 wet year

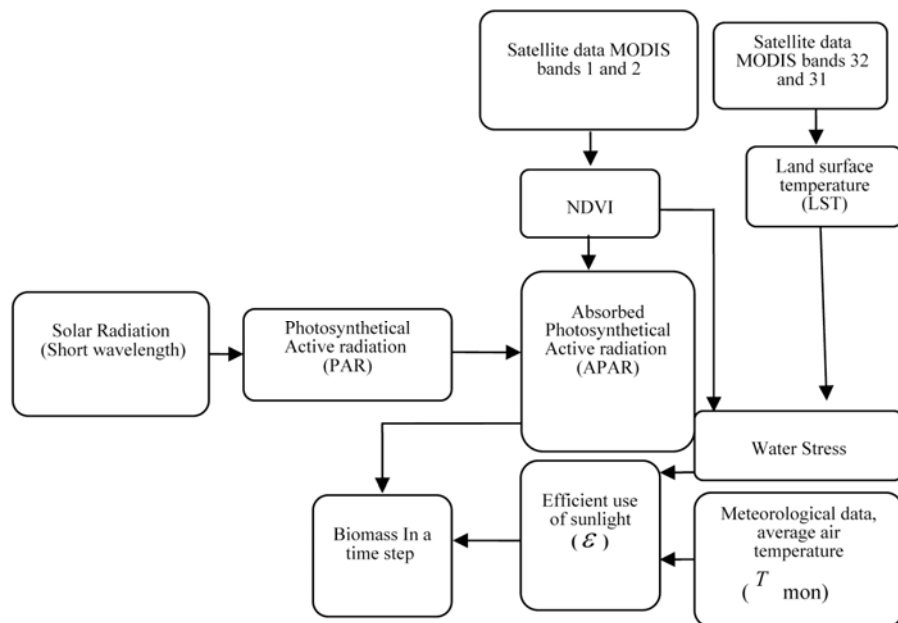
برای اجرای پیش بینی عملکرد از معادلات PAR از موتیس (Monteith et al., 1972)، راندمان استفاده از نور خورشید فیلد^۲ و همکاران (Field et al, 1995) و معادله محاسبه تنش آبی استفاده شد. از مدل PAR تابش فعال فتوسنتزی و نهایتاً جذب فعال فتوسنتزی (APAR) محاسبه شده است. معادله فیلد با استفاده از داده‌های هواشناسی ساعت آفتابی، حداقل دمای هوا، حداکثر دمای هوا ایستگاه‌های هواشناسی استان اصفهان و خروجی معادله تنش آبی (Λ) راندمان استفاده از نور خورشید (ε) را محاسبه می‌نماید. سپس با استفاده از نقشه کاربری اراضی استان اصفهان میزان ماده خشک در مزارع کشت آبی و دیم محاسبه گردید. جزئیات و مراحل انجام محاسبات و فرمول‌های مورد استفاده در الگوریتم به ترتیب ذیل ذکر می‌باشد:

ماده خشک تجمعی (B_{act}) از ابتدای رویش و ایجاد سبزینه گیاهی تا اواخر مرحله خوشه‌دهی گیاه گندم از طریق معادله ذیل محاسبه گردید (Bastiansen et al., 2003):

$$B_{act}^{total} = \varepsilon \sum (APAR(t) t) \quad (Kgm^{-2}) \quad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله، B_{act}^{total} میزان ماده خشک تجمعی در بالای اراضی خشک در دوره زمانی t ، ε : ضریب راندمان استفاده از نور خورشید و t : در مدت زمان که ماده خشک تجمع یافته در روی زمین قرار گرفته است، می‌باشد.

با توجه به تغییراتی که ممکن است در ارتباط با عملکرد دانه وجود داشته باشد، باید به مقادیر ε (راندمان استفاده از نور خورشید)، کل ماده خشک، کل تولیدات خالص، ریشه‌ها و رشد سایر انواع محصولات توجه ویژه‌ای داشت (Bastiansen et al., 2003). مراحل انجام محاسبات در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل ۴- مراحل محاسبه ماده خشک گیاهی با استفاده از تلفیق داده‌های هواشناسی و ماهواره ای در یک گام زمانی (Bastiansen et al., 2003)
 Fig. 4- Stages of calculation dry plant material, using a combination of meteorological and satellite data in a special period of time (Bastiansen et al., 2003)

فتوسنتزی وات بر متر مربع می‌باشد. مقدار C_1 بطور قراردادی برابر 0.48 در نظر گرفته شده است. در ادامه برای محاسبه ماده خشک تجمعی، مدل راندمان استفاده از نور (ϵ) با استفاده از معادله (۵) محاسبه گردید.

$$\epsilon = \epsilon' \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot W \quad (5)$$

شایان ذکر است مقدار ϵ' بطور قراردادی برای گیاهان سه کربنه برابر $2/5$ و برای گیاهان چهار کربنه مقدار آن 4 است. پارامترهای T_1 و T_2 مطابق معادله‌های (۶) و (۷) به روش ذیل محاسبه گردیدند.

$$T_1 = 0.8 + 0.002 \cdot T_{opt} - 0.005 \cdot T_{opt}^2 \quad (6)$$

$$(7)$$

$$T_2 = 1.185 \cdot \frac{1}{1 + \exp(0.2 \cdot T_{opt} - 10 - T_{min})} \cdot \frac{1}{1 + \exp(-0.3 \cdot T_{opt} - 10 - T_{min})}$$

در این معادلات، T_{opt} (°C): میانگین دمای هوا در طول دوره یک ماه از حداکثر شاخص سطح برگ یا NDVI و T_{min} : میانگین ماهیانه دمای هوا می‌باشد. پارامتر کسر تبخیر (Λ) یا تنش آبی مطابق معادله (۸) از مدل بیلان انرژی محاسبه گردید.

$$\Lambda = 1 - (LST - LST_{min}) / (LST_{max} - LST_{min}) \quad (8)$$

در نهایت، حاصل کار ماده خشک تجمعی ($Bact$) می‌باشد. نقشه ماده خشک استان اصفهان در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

بدین ترتیب، برای محاسبه ماده خشک تجمعی ابتدا APAR تجمعی و سپس مدل راندمان استفاده از نور (ϵ) محاسبه گردید. مقادیر APAR، مقدار کل تابش در دسترس برای فتوسنتز را در شرایطی که همه برگ‌ها در برابر تابش خورشید قرار گیرند، بیان می‌کند. ترجیحاً این یک مقدار نظری است برای اینکه برگ‌ها تابش خورشیدی را انتقال و بازتاب می‌کنند. فقط بخشی از تابش فعال فتوسنتزی به وسیله کانوپی (جذب تابش فعال فتوسنتزی) از تعادل تابش یک برگ نتیجه می‌شود برای محاسبه جذب تابش فعال فتوسنتزی (APAR) تجمعی به ترتیب ذیل اقدام شد:

محاسبه جذب تابش فعال فتوسنتزی (APAR):

برای محاسبه APAR ابتدا PAR بر اساس معادله (۳) ابتدا از معادله (۴) محاسبه گردید.

$$APAR = fPAR \cdot PAR \quad (3)$$

$$PAR = C_1 \cdot K_{day}^{\downarrow} \quad (4)$$

تابش فعال فتوسنتزی بخشی از انرژی ورودی خورشیدی است و با قابلیت دید، ضخامت اپتیکی، مقدار ذرات معلق در هوا، آئروسول‌ها و مقدار ازن تغییر می‌کند. برای شرایط میانگین ۲۴ ساعته مقدار تقریبی 45 تا 50 درصدی برای $\frac{PAR}{K}$ قابل قبول است. واحد تابش فعال

تغییرات زیادی می‌شود. هر پوشش گیاهی دارای یکسری خصوصیات فیزیولوژیک بوده که متناسب با آن در طول فصول مختلف تغییر می‌کند. شایان ذکر است که تغییرات پوشش گیاهی در طول یک فصل به عنوان یکی از خصوصیات آن پوشش مطرح است که قابلیت تفکیک آن را از دیگر پوشش‌ها فراهم می‌سازد. شاخص‌های پوشش گیاهی می‌توانند به عنوان نمادی از پوشش گیاهی تلقی گردند. لذا بررسی تغییرات NDVI در طی یک سال می‌تواند نماینده تغییرات پوشش باشد (Asadi Rashed et al., 2004).

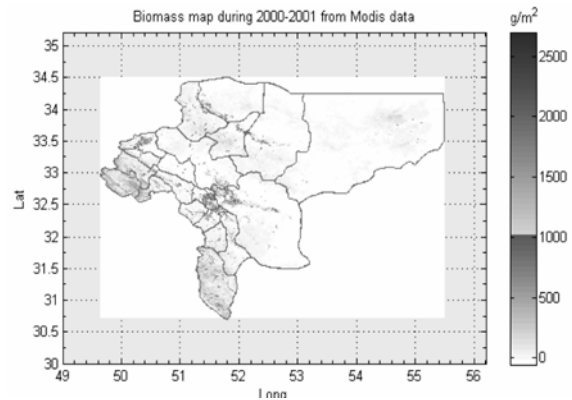
نمودار پوشش گیاهی شهرستان اصفهان، متعلق به سال خشک با خطوط ممتد در شکل ۷ نشان داد که با آغاز سبز شدن مزارع گندم میزان پوشش گیاهی در این شهرستان افزایش یافته است و به تدریج با سرد شدن هوا میزان پوشش گیاهی در بعضی مواقع ثابت یا کم شده است و مجدداً با گرم شدن هوا بر میزان پوشش گیاهی منطقه افزوده گردیده است، تا جائیکه در هفتم آوریل این میزان به حدود ۰/۶ رسید. در ادامه با برداشت گندم شاخص NDVI در اوایل ماه جولای به حداقل رسیده است و مجدداً با آغاز کشت ثانویه، روند افزایشی پوشش گیاهی ادامه یافته است.

در سال تر (۲۰۰۴-۲۰۰۵) نیز همانگونه که در شکل ۷ با خط چین مشخص شده است، روند تغییرات پوشش گیاهی تقریباً همانند سال خشک (۲۰۰۰-۲۰۰۱) می‌باشد. بطوریکه با سرد شدن هوا سیر نزولی منحنی تغییرات پوشش گیاهی اتفاق افتاده است و مجدداً با گرم شدن هوا منحنی سیر صعودی داشته است. با برداشت گندم منحنی به سمت پائین نزول کرده است. با آغاز کشت ثانویه، میزان سبزینه مجدداً افزایش یافته است (شایان ذکر است که روند یکباره افزایشی پوشش گیاهی در هشتم نوامبر احتمالاً به دلیل نوبه^۲ در تصاویر ماهواره است). با توجه به اینکه روند تغییرات پوشش گیاهی نمودار حاصله از مدل تقریباً مشابه آنچه در طبیعت اتفاق می‌افتد می‌باشد، بدین ترتیب، می‌توان چنین نتیجه گرفت که الگوریتم محاسبه میزان ماده خشک به کار گرفته در این تحقیق از اعتبارسنجی نسبتاً مناسبی برخوردار است.

تغییرات میزان عملکرد تجمعی پیش بینی شده در روزهای برداشت تصاویر ماهواره در سال خشک

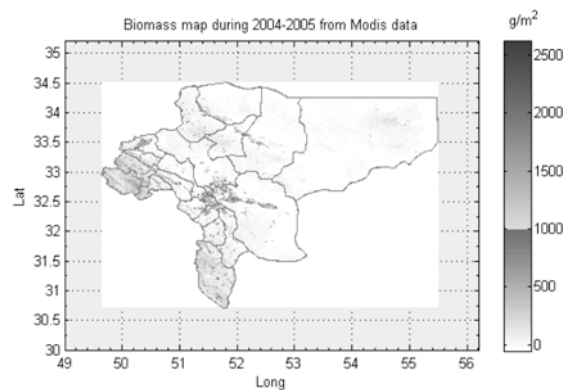
تغییرات میزان عملکرد تجمعی پیش بینی شده در روزهای برداشت تصاویر ماهواره در سال خشک در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به ماههای سال، روند تغییرات میزان ماده خشک تغییر یافته است.

بطوریکه در ماههای سپتامبر و اکتبر که مقارن با زمان آماده سازی اراضی کشاورزی جهت کشت گندم می‌باشند و زمین‌ها عاری از پوشش گیاهی هستند میزان ماده خشک افت پیدا کرده است.



شکل ۵- نقشه ماده خشک گندم استان اصفهان در سال خشک ۲۰۰۰-۲۰۰۱

Fig. 5- Distribution of wheat dry material in Isfahan in 2000-2001 dry year



شکل ۶- نقشه ماده خشک گندم استان اصفهان در سال تر ۲۰۰۴-۲۰۰۵

Fig. 6- Distribution of wheat dry material in Isfahan in 2004-2005 wet year

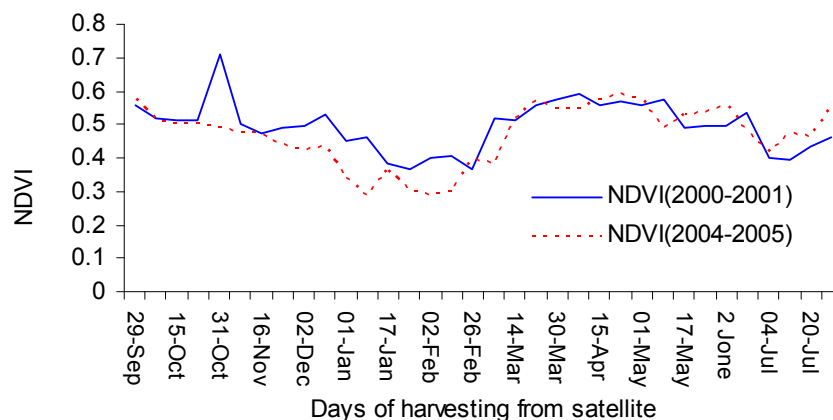
با استفاده از شاخص برداشت^۱ (HI)، ۳۳، ۳۷/۵، ۴۲ و ۵۵ درصد عملکرد بذر برای شهرستان‌های مختلف استان محاسبه گردید. در ادامه میزان عملکرد محاسبه شده به صورت شهرستان به شهرستان با داده‌های مشاهداتی عملکرد وزارت جهاد کشاورزی مقایسه گردید. شایان ذکر است که بطور میانگین شاخص برداشت گندم در ایران بین ۳۳ تا ۴۲ درصد متغیر بوده و در موارد خاص به ۵۵ درصد می‌رسد (Nourmohammadi et al., 2003).

نتایج و بحث

بررسی روند تغییرات شاخص گیاهی NDVI در سال‌های خشک و تر در استان اصفهان پوشش گیاهی در طول یک فصل رشد بواسطه تغییر فصل دچار

2- Noise

1- Harvest index



شکل ۷- پروفیل تغییرات پوشش گیاهی شهرستان اصفهان در دو سال زراعی خشک (۲۰۰۱-۲۰۰۰) و تر (۲۰۰۵-۲۰۰۴)
 Fig. 7- Profile of plant coverage changes of Isfahan in two dry (2000-2001) and wet (2004-2005) years

جوانه زنی و رویش بذرهای گندم و افزایش میزان سبزیگی میزان ماده خشک از اوایل ماه نوامبر افزایش یافته است. در زمستان به دلیل سرد شدن هوا میزان ماده خشک تقریباً ثابت مانده است. مجدداً با گرم شدن هوا روند افزایش ماده خشک از تاریخ ۲ فوریه آغاز شده است. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده، میزان ماده خشک در تاریخ اول می در شهرستان گلپایگان به حدود ۳۰۰۰ کیلو گرم بر روز است. که این مقدار در مقایسه با سال خشک از نظر مقدار ماده خشک بیشتر شده است. همچنین زمان رسیدن به حداکثر میزان ماده خشک در شهرستان گلپایگان در سال تر ۲۳ آوریل بوده است که این زمان در سال خشک در تاریخ ۱۵ آوریل بوده است که این موضوع حاکی از گرمای هوا و در نتیجه کوتاه شدن دوره رشد گندم در اثر خشکسالی است.

در ادامه منحنی تغییرات روند میزان ماده خشک تجمعی، احتمالاً به دلیل ریزش برف در بعضی از نقاط و پوشیده شدن اراضی گندم یا ابری بودن آسمان در پاره‌ای از نقاط، در روز ۱۷ می و ۱ ژوئن به شدت نزول یافته که سبب ایجاد نوفه در تصاویر ماهواره و در نتیجه به شدت از میزان ماده خشک کاسته شده است. شایان ذکر است به دلیل استفاده از تعداد تصاویر بالا در این تحقیق این خطا در تصویر و روز بعدی به تاریخ ۲۵ می (تصاویر هشت روزه هستند) جبران شده است. بتدریج در شهرستانهای مختلف با توجه به اقلیم های متفاوت و همچنین دیررس یا زودرس بودن ارقام مختلف گندم آبیاری مزارع گندم متوقف گردیده است و برگ‌های گندم شروع به زرد شدن کرده- اند. در نتیجه از میزان سبزیگی کاسته شده است و در نتیجه از میزان ماده خشک نیز کاسته شده است. با برداشت گندم این مقدار به حداقل رسیده است. مجدداً با انجام کشت ثانویه که در شهرستان‌های مختلف با توجه به نوع اقلیم (گرم یا سردتر بودن شهرستان‌های مختلف نسبت به یکدیگر) متفاوت می‌باشد، غالباً کشت گیاهانی نظیر ذرت، برنج و... می‌باشد) میزان ماده خشک در تیر ماه افزایش داشته است.

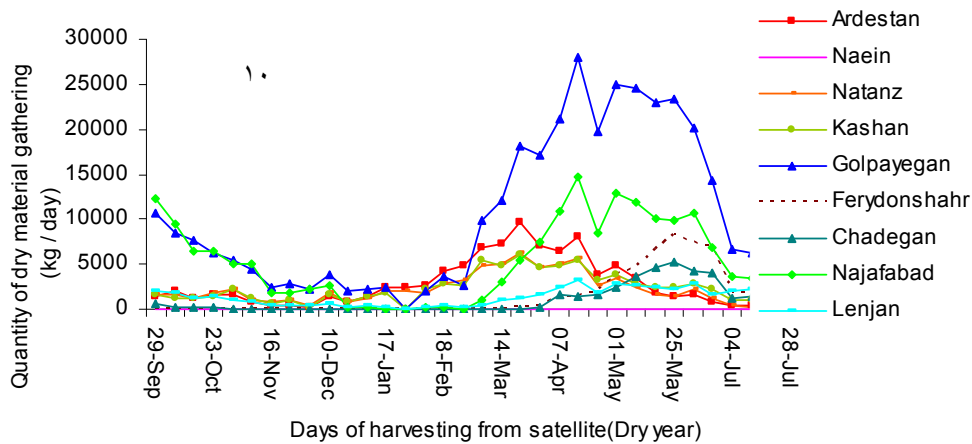
با آغاز جوانه زنی و رویش بذرهای گندم و افزایش میزان سبزیگی میزان ماده خشک از اواخر ماه نوامبر افزایش یافته است. در زمستان به دلیل سرد شدن هوا میزان ماده خشک تقریباً ثابت مانده است. مجدداً با گرم شدن هوا روند افزایش ماده خشک از اوایل فوریه آغاز شده است. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است میزان ماده خشک در تاریخ ۱۵ آوریل در شهرستان گلپایگان به مقداری حدود ۲۸۰۰ کیلو گرم بر روز است. در ادامه به دلیل آمدن برف در بعضی نقاط و پوشیده شدن اراضی کشت گندم یا ابری بودن آسمان در پاره‌ای از نقاط، در روز ۲۳ آوریل شاهد نوفه می‌باشیم که به یکباره از میزان ماده خشک کاسته است، ولی به دلیل استفاده از تعداد تصاویر بالا در این تحقیق این خطا در تصویر و روز بعدی به تاریخ اول می (تصاویر هشت روزه هستند) جبران شده است. به تدریج در شهرستان‌های مختلف با توجه به اقلیم‌های متفاوت و همچنین دیررس یا زودرس بودن ارقام مختلف گندم آبیاری مزارع گندم متوقف گردیده است و برگ‌های گندم شروع به زرد شدن کرده‌اند. در نتیجه از میزان سبزیگی و به دنبال آن از میزان ماده خشک نیز کاسته شده است. البته با برداشت گندم این مقدار به حداقل رسیده است. مجدداً با انجام کشت ثانویه که در شهرستان‌های مختلف با توجه به نوع اقلیم متفاوت می‌باشد، غالباً کشت گیاهانی نظیر ذرت، برنج و... می‌باشد) میزان ماده خشک در ماه جولای افزایش یافته است.

تغییرات میزان ماده خشک تجمعی پیش بینی شده در روزهای برداشت تصاویر ماهواره در سال تر

تغییرات میزان ماده خشک تجمعی پیش بینی شده در روزهای برداشت تصاویر ماهواره در سال تر در شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به ماههای سال، روند تغییرات میزان ماده خشک تغییر یافته است. بطوریکه در اوایل فصل پائیز که مقارن با زمان آماده سازی اراضی کشاورزی جهت کشت گندم می‌باشند و زمین‌ها عاری از پوشش گیاهی هستند، میزان ماده خشک افت پیدا کرده است. با آغاز

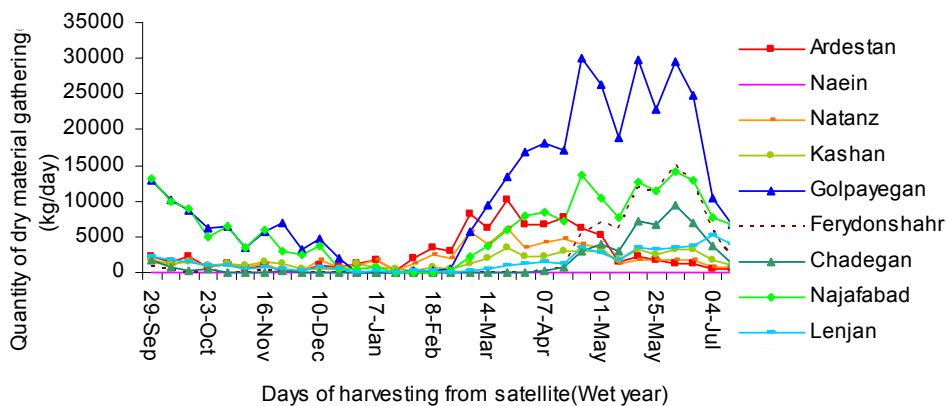
احتمالاً علت این کاهش و افزایش ماده خشک به دلیل نوع منبع تأمین آب این شهرستان‌ها می‌باشد. شهرستان‌هایی که منبع تأمین آب آنها رودخانه زاینده رود بوده است به دلیل تر سالی افزایش ماده خشک داشته‌اند. شهرستان‌هایی که منبع تأمین آب آنها چاه یا قنات بوده است و به دلیل خشک سالی‌های هیدرولوژی سال خشک هنوز خشک سالی ادامه داشته است، همچنان شاهد کاهش میزان ماده خشک هستیم.

در شکل ۱۰ میزان ماده خشک گیاهی دو سال خشک و تر بصورت میله‌های دارای هاشورهای لوزی شکل قرمز و میله‌های دارای هاشورهای مربعی زرد نشان داده شده است. همچنین میله‌های ساده سبز رنگ تفاوت میزان ماده خشک را طی این دو سال نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ۱۰ ملاحظه می‌گردد در شهرستان‌های لنجان، نجف آباد، چادگان، فریدون شهر و گلپایگان میزان ماده خشک در سال تر افزایش یافته است و در شهرستان‌های اردستان، کاشان، نائین و نطنز میزان ماده خشک در سال تر کاهش داشته است.



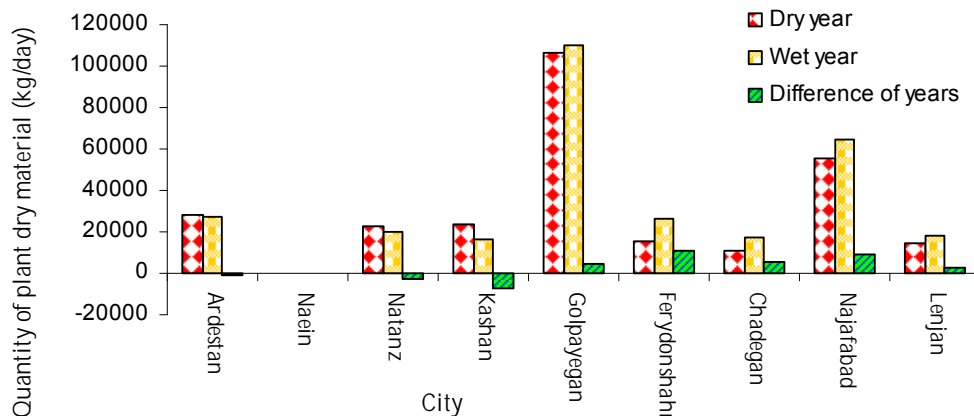
شکل ۸- مقایسه تغییرات روند میزان ماده خشک تجمعی پیش بینی شده در روزهای برداشت تصاویر ماهواره در استان اصفهان سال زراعی خشک (۲۰۰۰-۲۰۰۱)

Fig. 8- Comparison of trend changes of farming a gathering of forecasted dry material in harvesting days in Isfahan province in 2000-2001 agricultural dry years taken by satellite



شکل ۹- مقایسه تغییرات روند میزان ماده خشک تجمعی پیش بینی شده در روزهای برداشت تصاویر ماهواره در استان اصفهان سال زراعی تر (۲۰۰۴-۲۰۰۵)

Fig. 9- Comparison of trend changes of farming a gathering of forecasted dry material in harvesting days in Isfahan province in 2004-5 agricultural wet years taken by satellite



شکل ۱۰- مقایسه تغییرات میزان ماده خشک گیاهی در دو سال خشک (۲۰۰۰-۲۰۰۱) و تر (۲۰۰۴-۲۰۰۵) و تر
 Fig. 10- Comparison of quantity of plant dry material in 2000-2001 dry and 2004-2005 wet years

شد که تغییرات پوشش گیاهی که بواسطه تغییر فصول مختلف ایجاد می‌شود، می‌تواند به عنوان یک عامل تفسیر نقشه‌های پوشش گیاهی به کار آید. استفاده از شاخص NDVI به عنوان نماد سبزینه گیاه می‌تواند تغییرات پوشش گیاهی را مشخص نماید. با بکارگیری NDVI می‌توان تحولات صورت گرفته در طول دوره رشد را تفسیر نمود. همچنین از بررسی تغییرات شاخص گیاهی NDVI مشاهده شد که روند کلی تغییرات شاخص گیاهی NDVI با آنچه در طبیعت اتفاق می‌افتد تقریباً هماهنگ می‌باشد. بطوریکه با کاهش دما و آغاز فصل سرد میزان شاخص گیاهی NDVI کاهش و با افزایش دما و ورود به فصول گرم روند تغییرات شاخص گیاهی NDVI افزایشی بوده است. این مهم نشان داد که NDVI حاصل از الگوریتم تحقیق مذکور، از دقت و صحت مناسبی برخوردار است. از مقایسه و بررسی روند تغییرات ماده خشک استحصال شده در دو سال تر و خشک مشاهده شد که الگوریتم بکار گرفته شده در این تحقیق نسبتاً با آنچه در طبیعت اتفاق افتاده است، هماهنگ می‌باشد و از نظر اعتبارسنجی در حد قابل قبولی می‌باشد. از تحلیل و مقایسه تغییرات میزان NDVI و نهایتاً ماده خشک استحصال شده از آن در دو سال تر و خشک، ملاحظه شد میزان ماده خشک گندم در سال تر حدود ۱/۴ از ماده خشک گندم سال خشک افزایش داشته است.

سپاسگزاری

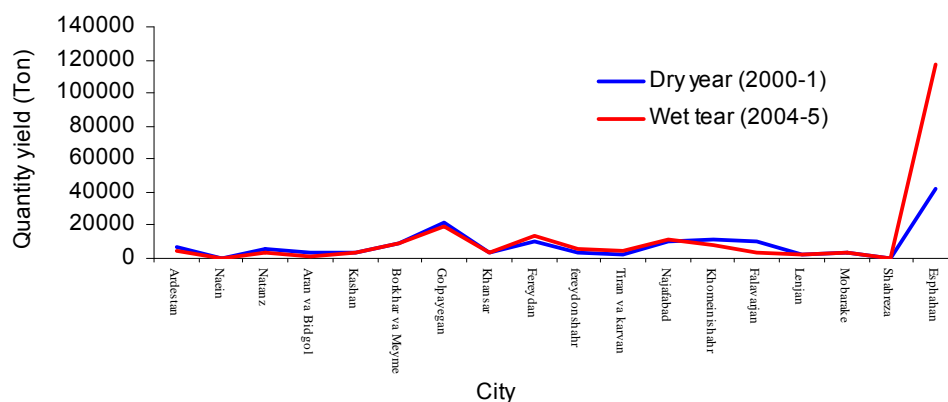
از سازمان هواشناسی جهت تأمین برخی از هزینه‌های مالی این مقاله تشکر می‌گردد.

مقایسه عملکرد پیش بینی شده دو سال خشک و تر با شاخص برداشت ۳۷/۵ درصد

پس از محاسبه میزان ماده خشک گیاهی با استفاده از شاخص برداشت متوسط ۳۷/۵ درصد میزان متوسط عملکرد، تخمین زده شده است. شایان ذکر است که شاخص برداشت ۳۷/۵ درصد متوسط شاخص برداشت گندم کشور می‌باشد و از میانگین شاخص برداشت حداقل ۳۳ درصد و شاخص برداشت حداکثر ۴۲ درصد اعلام شده از سوی آمارهای رسمی کشور حاصل شده است (Nourmohammadi et al., 2003). لذا شاخص برداشت ۳۷/۵ درصد بعنوان میانگین محاسبات شاخص برداشت محاسبات در نظر گرفته شده است. مجموع عملکرد پیش بینی شده در استان اصفهان با استفاده از این شاخص در سال تر به میزان حدود ۱/۴ برابر نسبت به عملکرد پیش بینی شده سال خشک افزایش یافته است. با توجه به شکل ۱۱ چنین به نظر می‌رسد که نوع منبع تأمین آب در افزایش و کاهش میزان عملکرد نقش مستقیم داشته است. بطوریکه در بعضی از شهرستان‌ها که منبع تأمین آب آنها رودخانه زاینده رود بوده است در سال تر شاهد افزایش عملکرد گندم و در شهرستانهایی که بوسیله منابع دیگری تغذیه شده‌اند، شاهد کاهش عملکرد بوده‌ایم. بطور مثال، در شکل ۱۱ این افزایش عملکرد به وضوح در شهرستان اصفهان مشاهده می‌شود و علت آن آبیاری مجدد رودخانه زاینده رود در سال ۲۰۰۴-۰۵ بوده است. در شهرستانهایی که منبع تأمین آب آنها منابعی غیر از رودخانه زاینده رود مانند منابع زیر زمینی بوده است، به دلیل اثرات خشکسالی هیدرولوژی سال خشک (۲۰۰۰-۲۰۰۱) و ادامه اثرات آن در سال‌های بعدی هنوز شاهد کاهش عملکرد در این شهرستان‌ها هستیم.

نتیجه گیری

با توجه به بررسی روند تغییرات شاخص گیاهی NDVI، مشاهده



شکل ۱۱- مقایسه میزان عملکرد پیش بینی شده در دو سال خشک (۲۰۰۰-۲۰۰۱) و تر (۲۰۰۴-۲۰۰۵)

Fig. 11- Comparison of functional forecasting of quantity in 2000-2001 dry and 2004-2005 wet years

منابع

- 1- Wheat Project Implemented. 2005. Research and Education, Education Vice and mobilization human resource, Office of Technology Training, 2th Publication of Publishing Agricultural Training, Ministry of Jihad-e-Keshavarzi, Iran. (In Persian)
- 2- Sanainejad, S.H., Shahtahmaseby, A.R., Sadrabadi Haghighy, R., and Kelarestany, V.K. 2007. Variations students of reverse spectrum of wheat farms in Mashhad province, using MODIS illustrations. Sciences and Techniques of Agriculture Magazine, 12th year 45: 11-19. (In Persian)
- 3- Nourmohammadi, V., Siadat, S.A., and Kashani, A. 2003. Grain's Cultivation, Ahvaz Shahid Chamran University Publication, Iran 446 pp. (In Persian)
- 4- Asadi Rashed, H., Mirbagheri, V., and Sadeghi Naini, A. 2007. Profile interpretation of NDVI, MODIS Sensor in different levels of plant coverage Map. Geomatics 2007 Conference.
- 5- Mirbagheri, V. 2004 Estimation of Zanjan State face wheat function, using illustrations of MODIS and SPOT Satellite, Zabol University, Iran. (In Persian)
- 6- FAO. 2005. The State of Food Insecurity in the World, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- 7- Patel, N.R., Mohammed, A.J., and Rakhesh, D. 2006. Modeling of Wheat Yields Using Multi-temporal Terra/MODIS Satellite Data. Geocarto International 21(1): 43 – 50
- 8- Towrshend, J.R.G., and Justice, C.O. 1986. Analysis of dynamics of African vegetation using the Normalized Difference Vegetation Index.
- 9- Bastiaanssen, W.G.M., and Samia, A. 2003 A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. Agriculture, Ecosystems and Environment 94: 321–340.
- 10- Bao, Y., Gao, W., Gao, Z. 2008. Estimating winter wheat biomass based on LANDSAT TM and MODIS data” Front. Earth Science 3(1): 118–128.