

بر آورد تغییرات جنگل بر اساس عوامل اقلیمی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

علی احمدآبادی^۱

امان اله فتح‌نیا^۲

سعید رجایی^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۱۱/۰۶

چکیده

پوشش گیاهی ارتباط زیادی با شرایط اقلیمی دارد. شناسایی تغییرپذیری فصلی رشد گیاه برای شناسایی پاسخ اکوسیستم‌ها به تغییر اقلیم در مقیاس‌های زمانی فصلی و بین سالانه تعیین کننده است. برای ارائه مدل پیش‌بینی ۷ عنصر آب و هوایی شامل بارش، دما و رطوبت نسبی (حداکثر، میانگین و حداقل) برای دوره ۲۰ ساله (۲۰۰۶-۱۹۸۷) در ۱۴۱ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی به داده فضایی تبدیل شد. ترکیب مقادیر حداکثر ماهانه NDVI از تصاویر NOAA-AVHRR در همان دوره استخراج گردید. سپس عناصر آب و هوایی به عنوان متغیر مستقل و NDVI به عنوان متغیر وابسته در رگرسیون خطی چند متغیره وارد شد. نتایج نشان داد که بالاترین ضریب همبستگی بین عناصر اقلیمی و مقدار NDVI در ماه می به مقدار ۰/۸۲ اتفاق می‌افتد که اوج سبزینگی است. کمترین همبستگی در زمستان به خاطر نبود رشد کافی درختان می‌باشد. ضریب همبستگی سالانه مقدار مدل با حالت محاسباتی با در نظر گرفتن خطای تصادفی بیش از ۰/۹۳ می‌باشد. در مجموع مقدار محاسباتی ماه می و ژوئن برای سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ به ضریب همبستگی مدل نزدیک است، اما در ماه‌های زمستان به دلیل نبود سبزینگی ضریب همبستگی کم می‌شود. در سال ۲۰۰۶ به دلیل خشکی شدیدتر در اواخر بهار (ماه ژوئن) پیش‌بینی کمتری صورت گرفته است. در زمستان نقش کنترلی دما بیش از بارش و رطوبت نسبی است، اما با افزایش دما و کاهش بارش و رطوبت نسبی از اوایل ماه می نقش بارش و رطوبت نسبی مثبت و دما منفی می‌شود. فصل پاییز از نقش بارش کاسته و دما افزوده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: NDVI، جنگل، عناصر آب و هوایی، ایران.

۱- استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیای دانشگاه خوارزمی (نویسنده مسئول) ahmadabadi@khu.ac.ir

۲- استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای دانشگاه رازی کرمانشاه a_fathnia2007@yahoo.com

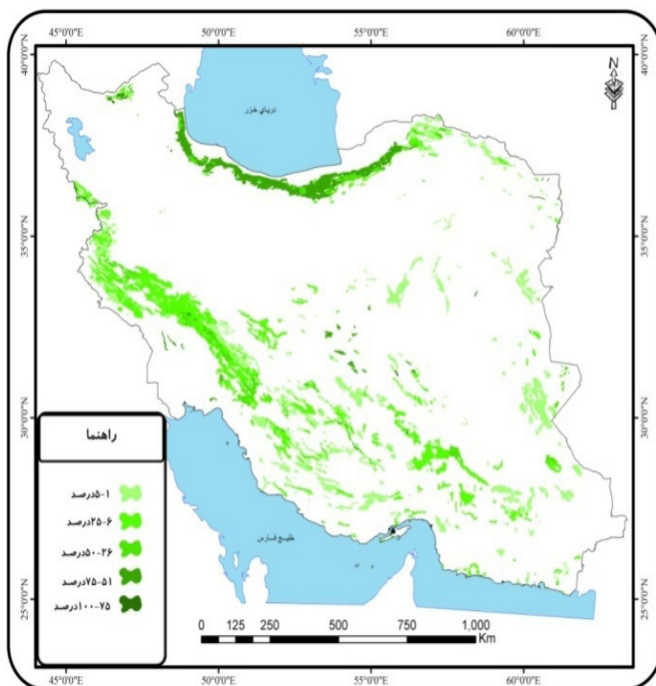
۳- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای دانشگاه رازی کرمانشاه saied.rajaee@gmail.com

مقدمه

(Dale et al., 2000; Osborne, 2004; Pettorelli et al., 2005)

به همین دلیل، پایش اکولوژی گیاه در مقیاس‌های فضایی مختلف و در مقیاس‌های طولانی مدت بخش مهمی از تحقیقات اخیر را تشکیل می‌دهد. شناسایی تغییرپذیری فصلی رشد گیاه برای شناسایی پاسخ اکوسیستم‌ها به تغییر اقلیم در مقیاس‌های زمانی فصلی و بین سالانه تعیین کننده است (Chen et al., 2001; Walther et al., 2002). بنابراین ارزیابی ارتباط کمی بین الگوی پوشش گیاهی و عناصر اقلیمی یکی از مهمترین کاربردهای سنجش از دور در مقیاس جهانی و منطقه‌ای می‌باشد. پیش‌بینی مقدار پوشش گیاهی برای برنامه‌ریزی در جهت بهره‌برداری و حفاظت آن لازم و ضروری است. بهره‌برداری نیازمند مطالعه و بررسی مقدار و حجم پوشش گیاهی از نظر مکانی و زمانی می‌باشد. کنترل گیاه می‌تواند از طریق عناصر اقلیمی مؤثر بر رشد گیاه صورت پذیرد. بررسی مقدار حجم پوشش گیاهی به صورت زمانی و مکانی برای برنامه‌ریزی در زمینه زمان چرای دام، برداشت علوفه و برخی زمینه‌های تحقیقی مفید می‌باشد. همچنین با تعیین میزان تأثیرگذاری عناصر اقلیمی می‌توان میزان تغییرات ناشی از هر عنصر اقلیمی را بر روی پوشش گیاهی مطالعه

آب و هوا یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر شرایط پوشش گیاهی می‌باشد. توزیع فضایی پوشش گیاهی ارتباط زیادی با شرایط اقلیمی دارد (Saugier, 1996). به عبارت دیگر، یک اثر پس‌خورندی روی آب و هوا از طریق زبری، تبخیر یا آلودگی دارد (Rasool, 1993)، اما اثر این پس‌خورند به آسانی قابل شناسایی نیست (Courel et al., 1984; Charney et al., 1977). بارش و دما به طور مستقیم روی توازن آب تأثیر می‌گذارد، و به نوبه خود عامل تغییرات در رژیم رطوبتی خاک و رشد گیاه می‌باشند. در دهه اخیر کره زمین شاهد تغییرات آب و هوایی در سطح جهانی بوده است که اثبات آن از طرق مختلف برای محققان و دانشمندان مسئله برانگیز بوده است (IPCC, 2001). این گرم‌شدگی آب و هوا می‌تواند سبب تغییرات قابل کشف اکوسیستم‌های محیطی شود (Hughes, 2000; Walther et al., 2002). نوسانات اقلیمی معمولاً اهمیت زیادی برای رشد گیاه در مقیاس جهانی و منطقه‌ای دارند. توانایی پیش‌بینی پاسخ اکوسیستم‌های زمینی به تغییر اقلیم، وابسته به فهم ارتباط متقابل بین رشد گیاه و آب و هوای می‌باشد (Potter & Brooks, 1998). اجتماع گیاهی تنظیم کننده کلیدی انرژی، کربن و تبادل آب بین اتمسفر، گیاه و خاک می‌باشد



نگاره ۱: پراکندگی جنگل‌های ایران به تفکیک مقدار تراکم

مستقل و داده NDVI به عنوان متغیر وابسته در رگرسیون خطی چند متغیره (استفاده از نرم افزار IDRISI) وارد گردید. در نهایت از مقادیر فضایی داده های آب و هوایی سال ۲۰۰۶-۲۰۰۴ (ماهانه و سالانه) و مدل استخراجی، برای پیش بینی NDVI استفاده شد و با مقادیر واقعی به دست آمده، سال های مربوطه مقایسه گردید. در معادله رگرسیون چندمتغیره (MLS):

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K + \varepsilon \quad (1)$$

Y = متغیر وابسته (NDVI)، α = عرض از مبدأ، β

= ضریب رگرسیون، X = متغیر مستقل (عناصر اقلیمی) و ε = خطای تصادفی می باشد (Baker, 2003).

برای ارزیابی ضریب B، انحراف معیار تصاویر فضایی متغیرهای وابسته و مستقل به صورت جداگانه محاسبه گردید و در معادله وارد شد:

$$\beta = b_i \left(\frac{S_{xi}}{S_y} \right)$$

رابطه ۲)

که β مقدار ضریب هر متغیر در برآورد متغیر وابسته، b_i مقدار ضریب متغیر مستقل در مدل اولیه، S_{xi} انحراف معیار متغیر مستقل و S_y انحراف معیار متغیر وابسته می باشد. هر چه مقدار بدست آمده بیشتر باشد اثر آن در برآورد مدل بیشتر خواهد بود.

۳- نتایج

۳-۱ نتایج همبستگی مدل پیش بینی

نتایج همبستگی مدل پیش بینی مقدار NDVI با استفاده از داده های میانگین ۱۷ ساله (۲۰۰۶-۱۹۸۷) و مقدار محاسباتی بر اساس داده های فضایی عناصر آب و هوایی و قرارگیری در مدل طی ۳ سال (۲۰۰۶-۲۰۰۴) در جدول ۱ نشان داده شده است. مقادیر واقعی ماهانه و سالانه NDVI به همراه مقدار پیش بینی شده مدل محاسبه شد (نگاره های ۴ و ۵ الف و ب). به دلیل زیاد بودن تصاویر، یک تصویر ماهانه و سالانه از مقادیر واقعی و پیش بینی در مقاله ذکر می شود. بالاترین ضریب همبستگی بین عناصر اقلیمی و مقدار NDVI در ماه می به مقدار ۰/۸۲ اتفاق می افتد که اوج

کرد. داده سنجش از دور به عنوان مؤثرترین داده برای مطالعه ارتباط متقابل بین گیاه و آب و هوا می باشد، زیرا تصاویر دارای توالی فضایی و زمانی هستند (Myneni et al., 1997, 1998; Tucker et al., 2001; Zhou et al., 2001).

هدف این پژوهش بررسی ارتباط متقابل پوشش گیاهی و عناصر آب و هوایی و در نهایت پیش بینی رشد گیاه در عرصه جنگلی بر اساس عناصر اقلیمی می باشد.

۲- داده ها و روش

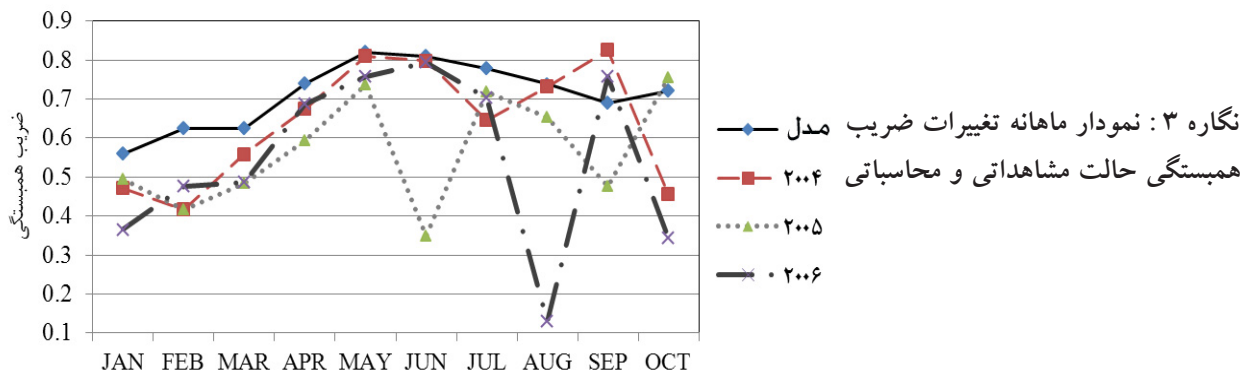
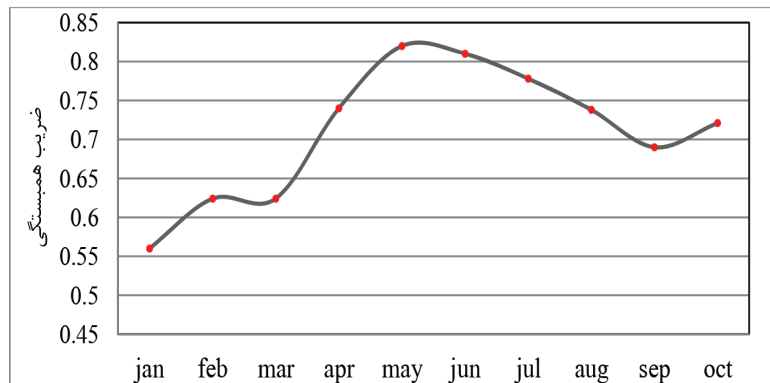
در این پژوهش رشد سالانه و فصلی مناطق جنگلی ایران بررسی شد که لایه های رقومی آن از سازمان جنگل ها و مراتع کشور اخذ گردید و در نرم افزار ArcGIS به ترتیب مقدار تراکم طبقه بندی شد. جنگل های ایران به ترتیب مقدار تراکم، ۱۰۰-۷۶ درصد با ۸/۱۵۰۸۶ هکتار، ۷۵-۵۱ درصد با ۹/۲۹۱۷۲۰۰ هکتار، ۵۰-۲۶ درصد با ۳۵۱۶۱۷۹۳ هکتار، ۲۵-۶ درصد با ۶/۱۸۷۰۵۵۹۰ هکتار و ۵-۱ درصد با ۳/۸۸۸۸۱۴۷۹ هکتار می باشند (نگاره ۱).

از آنجایی که دوره مطالعاتی حداقل ۲۰ سال (۲۰۰۶-۱۹۸۷) و دوره ای به هم پیوسته از داده مدنظر بود، تنها ۱۰۸ ایستگاه سینوپتیک و ۳۳ ایستگاه کلیماتولوژی دارای چنین ویژگی هایی بودند. بدلیل تأثیر بیشتر توپوگرافی نسبت به دیگر عوامل مکانی بر عوامل اقلیمی، داده های ارتفاعی مربوط به ایستگاه ها و همچنین نقاط ارتفاعی با فواصل ۰/۳ درجه ای از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استخراج گردید. برای محاسبه شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) ابتدا تصاویر ماهواره ای تصحیح هندسی (استفاده از داده های GCP فایل با خطای کمتر از ۰/۱ پیکسل) و رادیومتریکی به روش histogram equalization شدند. برای کاهش خطای اتمسفری چندین تصویر در هر ماه استفاده شد و سپس ترکیب مقادیر حداکثر NDVI استخراج گردید. برای ارائه مدل پیش بینی داده های فضایی ۷ عنصر آب و هوایی شامل بارش، دما (حداکثر، میانگین و حداقل) و رطوبت نسبی (حداکثر، میانگین و حداقل) به عنوان متغیر

جدول ۱: ضریب همبستگی عناصر اقلیمی و NDVI در مدل مشاهداتی و محاسباتی

R+ε	اختلاف	R مشاهداتی (میانگین ۱۷ ساله)	R محاسباتی (۳ ساله)	ماه
۰/۷۲۲۰۹۷	۰/۰۹۳	۰/۵۶۳	۰/۴۷۰۳۵۱	ژانویه ۲۰۰۴
۰/۷۷۳۶۲۶	۰/۰۶۹۰۳۳	۰/۵۶۳	۰/۴۹۳۹۶۷	ژانویه ۲۰۰۵
۰/۷۰۷۴۰۶	۰/۱۹۷۲۳۱	۰/۵۶۳	۰/۳۶۵۷۶۹	ژانویه ۲۰۰۶
۰/۷۲۵۰۵۷	۰/۱۹۷۹۲۳	۰/۶۲۴	۰/۴۲۶۰۷۷	فوریه ۲۰۰۴
۰/۷۵۰۵۱۳	۰/۲۰۷۲۴۸	۰/۶۲۴	۰/۴۱۶۷۵۲	فوریه ۲۰۰۵
۰/۷۶۰۲۸۶	۰/۱۴۶۸۹۹	۰/۶۲۴	۰/۴۷۷۱۰۱	فوریه ۲۰۰۶
۰/۷۸۱۲۱۵	۰/۰۶۵۵۸۷	۰/۶۲۴	۰/۵۵۸۴۱۳	مارس ۲۰۰۴
۰/۷۹۵۶۴۴	۰/۱۴۰۸۱۱	۰/۶۲۴	۰/۴۸۳۱۸۹	مارس ۲۰۰۵
۰/۸۱۳۰۱۸	۰/۱۳۷۲۵۸	۰/۶۲۴	۰/۴۸۶۷۴۲	مارس ۲۰۰۶
۰/۸۸۱۶	۰/۰۶۵۷۸۵	۰/۷۴	۰/۶۷۴۲۱۵	آوریل ۲۰۰۴
۰/۸۳۹۸۹۵	۰/۱۴۵۵۷۱	۰/۷۴	۰/۵۹۴۴۲۹	آوریل ۲۰۰۵
۰/۸۸۴۲۴۷	۰/۰۵۳۸۲۸	۰/۷۴	۰/۶۸۶۱۷۲	آوریل ۲۰۰۶
۰/۹۳۵۴۴۳	۰/۰۱۰۸۱۱	۰/۸۲	۰/۸۰۹۱۸۹	می ۲۰۰۴
۰/۹۰۲۷۳۳	۰/۰۸۳۸۷۳	۰/۸۲	۰/۷۳۶۱۲۷	می ۲۰۰۵
۰/۹۰۴۲۱۹	۰/۰۶۲۶۳	۰/۸۲	۰/۷۵۷۳۷۰	می ۲۰۰۶
۰/۹۳۸۴۹۲	۰/۰۱۲۱۳۸	۰/۸۱	۰/۷۹۷۸۶۲	ژوئن ۲۰۰۴
۰/۵۶۶۲۰۳	۰/۴۶۲۲۳۴	۰/۸۱	۰/۳۴۷۷۶۶	ژوئن ۲۰۰۵
۰/۹۳۶۲۰۷	۰/۰۱۴۹۵۱	۰/۸۱	۰/۷۹۵۰۴۹	ژوئن ۲۰۰۶
۰/۷۷۷۸۴۱	۰/۱۳۲۶	۰/۷۷۸	۰/۶۴۵۴	ژوئیه ۲۰۰۴
۰/۸۵۶۱۶۴	۰/۰۵۹۶۶۸	۰/۷۷۸	۰/۷۱۸۳۳۲	ژوئیه ۲۰۰۵
۰/۸۱۶۰۰۳	۰/۰۷۴۳۷	۰/۷۷۸	۰/۷۰۳۶۳۰	ژوئیه ۲۰۰۶
۰/۸۸۳۲۱۵	۰/۰۰۶۸۶۲	۰/۷۳۸	۰/۷۳۱۱۳۸	اوت ۲۰۰۴
۰/۸۴۰۳۲۴	۰/۰۸۴۳۳۲	۰/۷۳۸	۰/۶۵۳۶۶۸	اوت ۲۰۰۵
۰/۴۳۷۷۱۸	۰/۶۰۷۷۵۷	۰/۷۳۸	۰/۱۳۰۲۴۳	اوت ۲۰۰۶
۰/۹۳۷۴۴۲	-۰/۱۳۶۰۹۵	۰/۶۹	۰/۸۲۶۰۹۵	سپتامبر ۲۰۰۴
۰/۶۹۵۷۱۲	۰/۲۱۲۷۸۱	۰/۶۹	۰/۴۷۷۲۱۹	سپتامبر ۲۰۰۵
۰/۸۸۵۹۰۶	-۰/۰۶۶۵۲	۰/۶۹	۰/۷۵۶۵۲۰	سپتامبر ۲۰۰۶
۰/۷۰۹۰۳۸	۰/۲۶۶۴۴۶	۰/۷۲۱	۰/۴۵۴۵۵۴	اکتبر ۲۰۰۴
۰/۸۶۲۷۲۵	-۰/۰۳۲۹۹۵	۰/۷۲۱	۰/۷۵۳۹۹۵	اکتبر ۲۰۰۵
۰/۳۸۸۴۶۷	۰/۷۲۵۵۶۴	۰/۷۲۱	-۰/۰۰۴۵۶۴	اکتبر ۲۰۰۶
۰/۹۵۳۳۱۴	۰/۰۰۷۵۱۱	۰/۸۵	۰/۸۴۲۴۸۹	سالانه ۲۰۰۴
۰/۹۵۸۴۸۸	۰/۰۲۴۲۷۷	۰/۸۵	۰/۸۲۵۷۲۳	سالانه ۲۰۰۵
۰/۹۴۵۵۵۲	۰/۰۳۳۶۵۱	۰/۸۵	۰/۸۱۶۳۴۹	سالانه ۲۰۰۶

نگاره ۲: نمودار ماهانه تغییرات ضریب همبستگی عناصر اقلیمی با مقدار NDVI



تصادفی نیز در جدول ۱ آورده شده است. ضریب همبستگی مقدار محاسباتی از طریق قرارگیری داده فضایی عناصر اقلیمی در مدل در سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۶ نشان می‌دهد که مقدار ضریب محاسباتی ماه می و ژوئن برای سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ به ضریب همبستگی مدل پیش‌بینی نزدیک است، اما در ماه‌های زمستان همبستگی حالت محاسباتی از مقدار مدل (خط ممتد) فاصله می‌گیرد (نگاره ۳)، در سال ۲۰۰۶ به دلیل خشکی شدیدتر در اواخر بهار (ماه ژوئن) پیش‌بینی کمتری صورت گرفته است. کمترین مقدار پیش‌بینی مربوط به ماه اوت سال ۲۰۰۶ می‌باشد که مقدار مشاهداتی حدود ۰/۷۳ بوده، درحالی‌که مقدار محاسباتی ۰/۱۳ است (نگاره ۳). لازم به ذکر است که مقادیر محاسبه شده برای سال ۲۰۰۴-۲۰۰۶ بدون مقدار خطای تصادفی می‌باشد، به همین دلیل از مقدار مشاهداتی تا حد زیادی پایین‌تر است.

برآورد واقعی اثر هر کدام از عناصر اقلیمی در مدل پیش‌بینی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد که مقادیر هر

سبزی‌نگی درخت است و عناصر اقلیمی نیز برای رشد در محیط موجود می‌باشد. کمترین ضریب همبستگی در زمستان به‌خاطر نبود رشد درختان و برگ سبز می‌باشد، در این فصل با وجود بارش بیشتر، ولی دمای کافی برای رشد فراهم نیست. مقدار ضریب همبستگی در فصل تابستان به دلیل نبود بارش کافی کمتر از بهار است. در فصل پاییز (ماه اکتبر) بارش و دما تا حدی برای رشد فراهم است و همبستگی تا حدی نسبت به ماه سپتامبر بیشتر می‌شود، ولی به دلیل نوسان دمایی و خشک بودن، همبستگی بالایی وجود ندارد (نگاره ۲). بر اساس جدول ۱ ضریب همبستگی سالانه ۰/۸۵ می‌باشد.

در صورتی‌که مقدار خطای تصادفی (ستون +R) نیز در مدل آورده شود همبستگی خیلی زیادتر می‌شود، به‌طوری‌که در ماه‌های بهار به بیش از ۰/۹۳ رسیده است. از آنجائی‌که مقدار خطای تصادفی برای هر مکان متفاوت است، باید به صورت یک لایه فضایی در مدل قرار گیرد، به همین دلیل برای ساده شدن معادله خطی، محاسبات بدون خطای

جدول ۲: ارزیابی ضریب B در معادلات رگرسیونی

ردیف	maxH	meanH	minH	maxT	meanT	minT	Pre
ژانویه	۱/۱۱۶	-۰/۴۷۸	۰/۴۰۴	۱/۵۷۹	-۰/۰۹۷	-۰/۹۶۲	۰/۰۰۰۸
فوریه	۰/۹۱۷	-۰/۰۰۷	۰/۰۵۹	۱/۲۱	-۰/۰۵۱	-۰/۶۳۵	-۰/۱۱۸
مارس	-۰/۰۳۸	۱/۳۵۸	-۰/۰۵۲۱	۱/۴۲	۰/۱۲۸	-۰/۷۸۴	۰/۱۳۲
آوریل	-۰/۶۱۶	۱/۵۸۸	-۰/۱۳۵	۰/۶۷۲	۰/۱۶۳	-۰/۸۱۳	۰/۰۵
می	-۰/۱۶۸	۰/۰۹۵	۱/۷	۰/۸۰۴	-۰/۰۹۲	-۰/۸۲۷	۰/۰۵۲
ژوئن	۰/۰۱۱	-۰/۴۶۰	۱/۸۴	۰/۲۲۳	-۰/۱۲	-۰/۲۱۸	۰/۲۷۸
ژوئیه	-۰/۷۳	۱/۵۸۴	-۰/۰۵۸۳	۰/۴۳	-۰/۱۱۴	-۰/۲۵۶	۰/۶۹۱
اوت	۰/۳۹۸	۰/۲۶۰	-۰/۳۷	۰/۶۸۹	-۰/۴۰۹	-۰/۱۸۷	۰/۸۲۳
سپتامبر	-۰/۶۸۶	۲/۸۴۸	-۱/۷۲۵	۰/۴۹۵	-۰/۱۰۴	-۰/۳۴۱	۰/۵۹۲
اکتبر	-۰/۹۳۷	۳/۱۹۹	-۱/۸۰۲	۱/۰۲۶	-۰/۶۲۷	-۰/۱۹	۰/۸۵۴
سالانه	-۲/۱۸۸	۵/۲۰۶	-۲/۵۳۱	-۰/۰۴۲	۰/۲۳۴	-۰/۴۱۶	۰/۲۷۱

جدول ۳: مدل پیش‌بینی مقدار NDVI به صورت ماهانه و سالانه

ماه	مدل پیش‌بینی مقدار NDVI
ژانویه	$NDVI = 92.059 + 0.1857 \times MaxH - 0.0628 \times MeanH + 0.0509 \times MinH + 0.3705 \times MaxT - 0.0246 \times MeanT - 0.2591 \times MinT + 0.0023 \times Pre$
فوریه	$NDVI = 72.4468 + 0.2538 \times MaxH - 0.0014 \times MeanH + 0.0102 \times MinH + 0.3501 \times MaxT - 0.0150 \times MeanT - 0.2005 \times MinT - 0.0386 \times Pre$
مارس	$NDVI = 85.5807 - 0.0113 \times MaxH + 0.3470 \times MeanH - 0.1183 \times MinH + 0.3698 \times MaxT + 0.0467 \times MeanT - 0.2909 \times MinT + 0.0676 \times Pre$
آوریل	$NDVI = 105.0304 - 0.2614 \times MaxH + 0.6327 \times MeanH - 0.0484 \times MinH + 0.4173 \times MaxT + 0.1043 \times MeanT - 0.5267 \times MinT + 0.0499 \times Pre$
می	$NDVI = 137.0096 - 0.0715 \times MaxH + 0.0416 \times MeanH + 0.4189 \times MinH + 0.6822 \times MaxT - 0.0744 \times MeanT - 0.7589 \times MinT + 0.0578 \times Pre$
ژوئن	$NDVI = 137.6107 + 0.0036 \times MaxH - 0.1579 \times MeanH + 0.3752 \times MinH + 0.1729 \times MaxT - 0.0937 \times MeanT - 0.1756 \times MinT + 0.5557 \times Pre$
ژوئیه	$NDVI = 118.9448 - 0.1688 \times MaxH + 0.3925 \times MeanH - 0.1518 \times MinH + 0.2768 \times MaxT - 0.0750 \times MeanT - 0.1702 \times MinT + 1.6434 \times Pre$
اوت	$NDVI = 126.9373 + 0.0848 \times MaxH + 0.0572 \times MeanH - 0.0858 \times MinH + 0.4329 \times MaxT - 0.2921 \times MeanT - 0.1426 \times MinT + 2.0129 \times Pre$
سپتامبر	$NDVI = 130.3114 - 0.1261 \times MaxH + 0.5303 \times MeanH - 0.3328 \times MinH + 0.2812 \times MaxT - 0.0709 \times MeanT - 0.2396 \times MinT + 1.3709 \times Pre$
اکتبر	$NDVI = 112.1823 - 0.1563 \times MaxH + 0.5266 \times MeanH - 0.3041 \times MinH + 0.5315 \times MaxT - 0.3535 \times MeanT - 0.1068 \times MinT + 1.0559 \times Pre$
سالانه	$NDVI = 137.6999 - 0.7804 \times MaxH + 1.7996 \times MeanH - 0.9148 \times MinH - 0.0161 \times MaxT + 0.1037 \times MeanT - 0.1830 \times MinT + 0.1439 \times Pre$

میانگین صرفنظر نمود. به طور کلی در فصل زمستان، اثر دمای حداکثر بیش از دیگر عناصر اقلیمی در پیش‌بینی NDVI است که نشان‌دهنده نیاز دمایی درختان در فصل سرد سال به نسبت بارش می‌باشد. اما اثر رطوبت در درجه دوم قرار دارد. در ماه مارس اثر بارش بر رشد گیاه مثبت است، یعنی با افزایش سبزی‌نگی نیاز بارش بیشتر شده است. در ماه آوریل بالاترین اثر را در پیش‌بینی NDVI، رطوبت نسبی میانگین دارد و حداکثر دما در درجه دوم بر رشد جنگل مؤثر است، بارش نیز اثر مثبتی بر افزایش NDVI داشته است. اما اثر حداقل دما و حداکثر رطوبت نسبی منفی شده است. در ماه می اثر دمای حداقل به بیشترین مقدار تأثیر در پیش‌بینی NDVI داشته که این اثر منفی بوده است. در این ماه از سال دمای حداکثر اثر مثبت بر رشد گیاه دارد، در صورتی که طبق معمول چون ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته باید تا آستانه مشخصی دما بر رشد اثر مثبت داشته باشد. اثر رطوبت بر رشد در مجموع مثبت است، به طوری که حداقل رطوبت نسبی با مقدار $0/4189$ در درجه سوم اهمیت در پیش‌بینی NDVI قرار دارد. بارش در این زمان در درجه سوم اهمیت بعد از دما و رطوبت قرار دارد. در ماه ژوئن با افزایش دما مقدار اثر منفی آن افزایش می‌یابد هر چند در مدل اثر دمای حداکثر مثبت است، اما در مجموع اثر دما بر رشد گیاه منفی است یعنی با افزایش دما از رشد گیاه کاسته می‌شود. در این ماه اثر بارش به بیشترین مقدار تأثیر تا این زمان از سال رسیده است که نشان‌دهنده نیاز آبی گیاه به نسبت بقیه عناصر اقلیمی می‌باشد. رطوبت نسبی در درجه دوم اهمیت قرار دارد. اثر منفی رطوبت نسبی میانگین ناشی از موازی بودن آن با دیگر عناصر اقلیمی است که می‌توان در این فصل عنصر مربوطه را در پیش‌بینی کنار گذاشت.

با شروع فصل تابستان (ژوئیه) نیاز آبی گیاه به بیش از $1/6$ می‌رسد که حاکی از نیاز بیش از حد به بارش همراه با افزایش دما می‌باشد. اثر میانگین رطوبت نسبی نیز بعد از بارش قرار دارد. به طور کلی اثر دمایی در این فصل منفی است، چون بیش از نیاز گیاه در طبیعت فراهم است. بالاترین

کدام در جدول ۲ ذکر شده است. بر این اساس، بالاترین ضرایب عناصر اقلیمی به ترتیب بارش در ماه اکتبر ($0/854$)، دمای حداقل در ماه اکتبر ($-0/827$)، میانگین در ماه اکتبر ($-0/627$) و حداکثر در ماه ژانویه ($1/579$)، رطوبت نسبی حداقل سالانه ($-2/531$)، میانگین سالانه ($0/206$) و حداکثر سالانه ($-2/188$) می‌باشد.

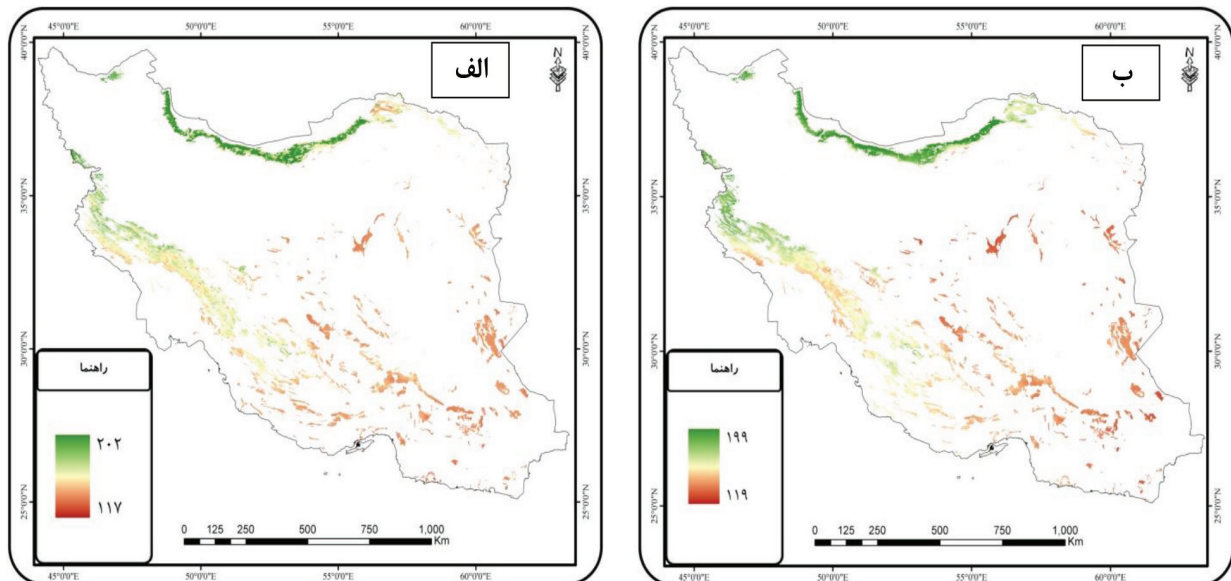
۲-۳- مدل پیش‌بینی NDVI در عرصه‌های جنگلی

در این پژوهش با استفاده از عناصر اقلیمی فضایی به صورت ماهانه و سالانه برای دوره میانگین ۱۷ ساله مدل پیش‌بینی NDVI محاسبه شده است که اثر تأخیر زمانی عناصر اقلیمی (اثر بارش دو ماهه و بقیه عناصر اقلیمی ۱ ماهه) نیز در مدل لحاظ گردیده است (جدول ۳).

Pre و *MinT*, *MeanT*, *MaxT*, *MinH*, *MeanH*, *MaxH* *

به ترتیب عناصر رطوبت نسبی حداکثر، میانگین و حداقل، دمای حداکثر، میانگین و حداقل و بارش می‌باشد. در ماه ژانویه دمای حداکثر بیشترین اثر مثبت را به مقدار $0/3705$ برای رشد جنگل داشته است. در این ماه از سال نیاز حرارتی درختان برای رشد خیلی بیش از نیاز رطوبتی می‌باشد، زیرا در کشور ایران که اغلب بارش آن مربوط به فصل زمستان است نیاز رطوبتی درختان از ماه‌های قبل تأمین شده است. رطوبت حداکثر در درجه دوم اهمیت در پیش‌بینی NDVI در این ماه می‌باشد. اثر بارش هر چند مثبت اما اندک است که نشان‌دهنده نیاز کمتر پوشش جنگلی به عنصر بارش می‌باشد.

در ماه فوریه مانند ماه قبل اثر دمای حداکثر به مقدار $0/3501$ و رطوبت نسبی به مقدار $0/2538$ بیشترین اثر مثبت را در پیش‌بینی NDVI داشته است، اما بارش، دمای حداقل و میانگین اثر منفی داشته‌اند. همچنان‌که می‌دانیم دما در این فصل مورد نیاز جنگل می‌باشد، اما آنچه نقش این عناصر را در پیش‌بینی NDVI منفی کرده است، اثر موازی عناصر اقلیمی است. به عبارت بهتر می‌توان از دمای حداکثر برای پیش‌بینی NDVI استفاده کرد و از دمای حداقل و



نگاره ۴: الف؛ مقادیر واقعی NDVI؛ ب) مقادیر پیش‌بینی مدل همراه با خطای تصادفی ماه می سال ۲۰۰۶

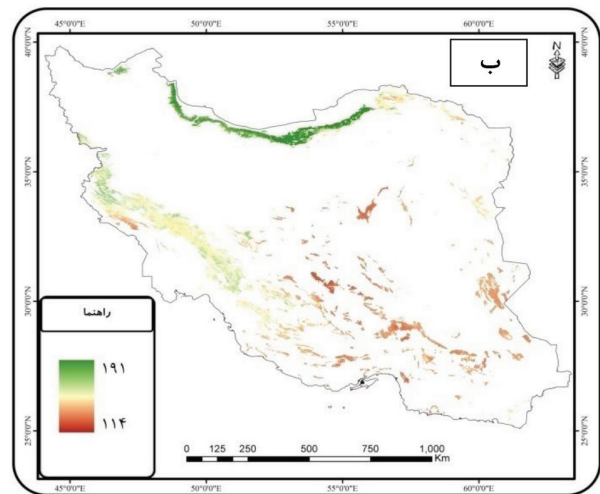
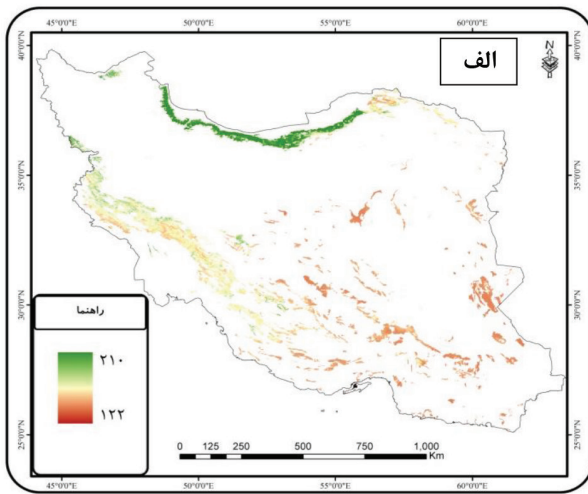
دارد. اثر مثبت رطوبت نسبی از حالت میانگین آن مشخص است. رطوبت نسبی در کل ایام سال نقش مثبتی بر افزایش NDVI دارد. برای پیش‌بینی مقدار سالانه NDVI، به ترتیب اهمیت میانگین رطوبت نسبی (۱/۷۹۹۶)، حداکثر رطوبت نسبی (۰/۷۸۰۴-) و بارش (۰/۱۴۳۹) قرار دارد، اثر دما بر پیش‌بینی در مجموع منفی است، چون دو عنصر دمای حداکثر و حداقل با مقدار NDVI همبستگی منفی دارند (جدول ۳).

۳-۳ - مقادیر پیش‌بینی NDVI ماه می

در جدول ۴ مقادیر فضایی عناصر اقلیمی و NDVI ماه می در دوره میانگین ۱۷ ساله و سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۶ ذکر شده است که برای تحلیل تصاویر پیش‌بینی مورد نیاز است. نگاره ۴ (الف و ب) مقدار پیش‌بینی مدل و مقادیر NDVI واقعی در ماه می سال ۲۰۰۶ را نشان می‌دهد. مقدار واقعی NDVI (۱۱۷-۲۰۲) برآورد شده است. همچنین مقادیر پیش‌بینی به همراه خطای تصادفی برای NDVI بین ۱۹۹-۱۱۹ پیش‌بینی شده که به مقدار واقعی خیلی نزدیک می‌باشد. مقدار دما در این ماه با مقدار میانگین ۱۷ ساله برابر شده و مقدار بارش نسبت به میانگین کاهش یافته است. رطوبت نیز تغییری نسبت به میانگین نداشته است. مقدار

نیاز بارشی (مقدار ضریب ۲/۰۱۲۹) برای رشد گیاه به ماه اوت یا مرداد برمی‌گردد که در این فصل از سال افزایش دما به بیشترین حد می‌رسد، درحالی‌که بارش به اندازه کافی نیست که نیاز رطوبتی گیاه فراهم شود. با توجه به دو عنصر دمایی حداقل و میانگین می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع اثر دما در این ماه منفی می‌باشد و با کاهش دما و افزایش رطوبت نسبی آستانه تحمل جنگل بالاتر رفته و رشد افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است رطوبت نسبی موجود در هوا در تلطیف و سبزی‌نگی برگ تأثیر بسزایی دارد. در ماه سپتامبر با کاهش دما نیاز آبی گیاه تا حدی کاهش می‌یابد و از اثر بارش کاسته می‌شود، اما همچنان بیشترین اثر را در سبزی‌نگی دارد. اثر رطوبت نسبی میانگین در درجه دوم اهمیت قرار دارد. در این ماه از نقش منفی دما تا حدی کاسته شده است.

در ماه اکتبر با شروع فصل پاییز و کاهش دما بر اثر مثبت آن افزوده می‌شود این حالت از افزایش اثر دمای حداکثر و کاهش اثر منفی دمای حداقل پیداست، ولی در مجموع هنوز اثر منفی دارد. نیاز بارشی جنگل به نسبت فصل تابستان کاهش یافته است، اما همچنان نقش اصلی را در رشد گیاه و پیش‌بینی NDVI - که شاخص تشخیص سبزی‌نگی است -



نگاره ۵: الف) مقادیر واقعی NDVI؛ ب) مقادیر پیش‌بینی مدل همراه با خطای تصادفی سال ۲۰۰۶

مقدار همبستگی نسبت به سال‌های گذشته کم شده است، کاهش همه عناصر اقلیمی نسبت به میانگین ۱۷ ساله است، اما مقدار میانگین NDVI افزایش یافته است. لازم به ذکر است که مقادیر پیش‌بینی شده برای مناطق شمال شرقی ایران بیش از مقدار واقعی می‌باشد که دلیل آن پراکندگی تراکم جنگلی است، درحالی‌که مقدار دما در این عرض جغرافیایی پایین می‌باشد.

همبستگی NDVI واقعی با پیش‌بینی همراه با خطای تصادفی ۲۰۱۹/۰۴/۰۷ می‌باشد (نگاره ۴).

جدول ۴: مقادیر عناصر اقلیمی و NDVI ماه می

ماه می	NDVI	بارش	دمای میانگین	رطوبت نسبی میانگین
۱۷ ساله	۲۸/۱۴۲	۲۲/۲۶	۲۱/۱۵۰	۷۷/۱۱۹
۲۰۰۴	۵۶/۱۴۴	۲۳/۱۴	۱۴/۹	۳۵/۱۳۶
۲۰۰۵	۲/۱۴۵	۲۲/۳۰	۱۵/۷۳	۴۸/۱۱۳
۲۰۰۶	۲۷/۱۴۳	۹۲/۱۳	۱۴/۲۷	۹۳/۱۲۶

جدول ۵: مقادیر عناصر اقلیمی و NDVI سالانه

سال	NDVI	بارش	دمای میانگین	رطوبت نسبی میانگین
۱۷ ساله	۱۴۶/۱	۵۵/۱۳	۱۳۹/۸۲	۱۰۳/۹۵
۲۰۰۴	۱۴۸/۸۴	۶۱/۳۹	۱۴۷/۸۸	۱۰۰/۴۸
۲۰۰۵	۱۴۹/۵۵	۶۵/۳۱	۱۴۰	۱۱۲/۸۴
۲۰۰۶	۱۴۹/۷۳	۵۳/۶۶	۱۵۳/۱۶	۹۷

۳-۴- مقادیر برآورد سالانه

در جدول ۵ مقادیر فضایی عناصر اقلیمی و NDVI واقعی سالانه در دوره میانگین ۱۷ ساله و سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۴ ذکر شده است که برای تحلیل تصاویر پیش‌بینی مورد نیاز است. مقدار پیش‌بینی همراه با خطای تصادفی و مقدار واقعی NDVI برای سال ۲۰۰۶ نشان می‌دهد که مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۴۵۵۵۲ است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

تغییر آب و هوا و شرایط حاکم بر اکوسیستم‌های حساس مناطق خشک و نیمه خشک ضرورت پایش و شناسایی تغییرات این محیط‌ها را افزایش داده است. استفاده از داده‌های سنجش از دوری بعنوان یکی از ابزارها و

این مقدار نسبت به سال‌های گذشته تا حدی افت نشان می‌دهد، دلیل این امر خشکسالی شدیدتر سال ۲۰۰۶ نسبت به سال‌های قبل می‌باشد (نگاره ۵ الف و ب). دلیل اینکه

واقعی است. لازم به ذکر است که با کاهش مقدار بارش از میانگین مدل، خطای بیشتری در برآورد ماه می صورت می‌گیرد. در مدل پیش‌بینی سالانه در درجه اول افزایش دما نسبت به میانگین مدل باعث خطای بیشتری در پیش‌بینی مقدار NDVI می‌شود و بارش در درجه دوم قرار دارد.

در حالت پیش‌بینی سالانه مقدار خطای مناطق زاگرس بیش از بقیه مناطق است که دلایل آن پیش‌تر توضیح داده شد. در مجموع پیش‌بینی در مقادیر بالای NDVI کمتر است. نتیجه حاصل از مدل پیش‌بینی مقدار NDVI نشان می‌دهد به‌طور کلی در فصل زمستان دما بیشترین اثر مثبت بر افزایش مقدار NDVI دارد و رطوبت نسبی در درجه دوم اهمیت قرار دارد. با آغاز بهار و رشد سریع جنگل در کشور بر مقدار اثر منفی دما به دلیل افزایش بیش از نیاز جنگل افزوده می‌شود. تا اینکه در اواخر بهار به حداکثر اثر منفی می‌رسد. در مورد بارش برعکس هر چه به طرف ماه‌های گرم سال می‌رویم بر نیاز آبی افزوده شده و در ماه اوت بیشترین تأثیر را دارد.

رطوبت نسبی در اغلب ایام سال اثر متوسطی در پیش‌بینی مقدار NDVI دارد، اما در برخی از ماه‌های سال اثر آن از بارش و دما فزونی می‌یابد. بیشترین اثر رطوبت نسبی میانگین در ماه آوریل یعنی اوایل بهار اتفاق افتاده است. در مدل پیش‌بینی سالانه رطوبت نسبی دارای بیشترین تأثیر برای برآورد NDVI، سپس بارش و در نهایت دما قرار دارد. دلیل این امر قرارگیری ایران در عرض‌های خشک و نیمه‌خشک جنب حاره می‌باشد که نیاز آبی گیاه در سال بیش از نیاز دمایی است.

رطوبت توزیع یکنواختی در اغلب ایام سال دارد و با مقدار NDVI ضریب همبستگی مثبت دارد، درحالی‌که عنصر دما اغلب بیش از نیاز گیاه در دسترس بوده و بارش نیز توزیع نایکنواخت مکانی و زمانی دارد. از آنجایی‌که بارش در اغلب مناطق ایران مربوط فصل سرد سال می‌باشد و در این زمان رشد جنگل متوقف شده است، بنابراین اثر آن کم می‌شود.

تکنیک‌های جدید مطرح می‌باشد. در این بین شاخص‌های پوشش گیاهی با توجه به کاربرد آنها در شناسایی ویژگی‌های پوشش گیاهی از اهمیت بیشتری برخوردار است.

در تحقیق حاضر با یک رویکرد جدید با استخراج و استفاده از شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) ارتباط بین تغییرات پوشش گیاهی و عناصر اقلیمی بدست آمد که در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی مدل‌سازی گردید.

نتیجه حاصل از ارزیابی مدل پیش‌بینی نشان می‌دهد که بالاترین ضریب همبستگی بین عناصر اقلیمی و مقدار NDVI در ماه می به مقدار ۰/۸۲ اتفاق می‌افتد که اوج سبزی‌نگی جنگل است و عناصر اقلیمی نیز برای رشد گیاه در محیط موجود می‌باشد. کمترین همبستگی در زمستان به‌خاطر نبود رشد کافی در درختان می‌باشد، در این فصل با وجود بارش بیشتر، ولی دمای کافی برای رشد فراهم نیست. ضریب همبستگی سالانه در حالت محاسباتی در عرصه‌های جنگلی با مقدار خطای تصادفی بیش از ۰/۹۳ می‌باشد.

در مجموع مقدار محاسباتی در ماه می و ژوئن برای سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ با مقدار ضریب همبستگی مدل نزدیک است، اما در ماه‌های زمستان ضریب همبستگی حالت محاسباتی از مقدار مدل فاصله می‌گیرد.

در سال ۲۰۰۶ به دلیل خشکی شدیدتر در اواخر بهار (ماه ژوئن) پیش‌بینی کمتری صورت گرفته است، به‌طوری‌که کمترین مقدار پیش‌بینی مربوط به ماه اوت سال ۲۰۰۶ است که مقدار مشاهداتی حدود ۰/۷۳ بوده، درحالی‌که مقدار محاسباتی ۰/۱۳ می‌باشد.

در حالت فضایی مقادیر خطای محاسباتی عمدتاً در شمال شرق و مناطق زاگرس بیشتر از بقیه نقاط است، دلیل این امر وضعیت کوهستانی زاگرس با بارش زیاد و دمای کمتر و رطوبت نسبی بالا که مقدار NDVI را بیش از حد واقعی پیش‌بینی می‌کند و در مناطق شمال غرب نیز در ماه می هنوز تحت تأثیر نفوذ هوای سرد سیبری و دمای کم و بارش متوسط قرار دارد که در اینجا پیش‌بینی بیش از حد

Dominos Flammarion), P: 107.

14- Tucker, C. J., D. A. Slayback, J. E. Pinzon, S. O. Los, R. B. Myneni, & M. G. Taylor, 2001. Higher northern latitude NDVI and growing season trends from 1982–1999, *International Journal of Biometeorology*, 45: 184–190.

15- Walther, G. R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, & T. J. C. Beebee, 2002. Ecological responses to recent climate change, *Nature*, 416, 389–395.

16- Zhou, L. M., C.J. Tucker, R.K. Kaufmann, D. Slayback, N.V. Shabanov, & R.B. Myneni, 2001. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999, *Journal of Geophysical Research*, 106 (17): 20069–20083.

منابع و مأخذ

1- Baker, M. J., 2003. *The marketing book*, fifth edition, Oxford OX2 8DP, (google book online).

2- Charney, J. G., W. J. Quirk, S. Chow, & J. Kornfield, 1977. A comparative study of the effects of albedo change on drought in the semiarid regions, *J. of Atmospheric Sciences*, 34, PP: 1366- 1385.

3- Chen, Y. H., X. B.Li, & P. J. Shi, 2001. Variation in NDVI driven by climate factors across China, 1982–1992, *Acta PhytoecologicaSinica*, 25(6): 716–720.

4- Courel, M. F., R. S. Kandel, & S. I., Rasool, 1984. Surface albedo and the Sahel drought. *Nature*, 307, PP: 528- 531.

5- Dale, V. H., L. A. Joyce, S. McNulty, & R. P. Neilson, 2000. The interplay between climate change, forest, and disturbances, *Science of the Total Environment*, 262, 201–204.

6- Hughes, L., 2000. Biological consequences of global warming: Is the signal already, *Trends in Ecology and Evolution*, 15: 56–61.

7- IPCC, 2001. Third assessment report of the intergovernmental panel on climate change IPCC, WG I, Cambridge: Cambridge University Press, 94pp.

8- Myneni, R. B., C. D. Keeling, C. J. Tucker, G. Asrar, & R. R. Nemani, 1997. Increase plant growth in the north high latitudes from 1981–1991, *Nature*, 386: 698–702.

9- Osborne, C. P., 2004. Modelling the ecology of plants. In J. Wainwright, & M. Mulligan (Eds.) *Environmental modeling*, pp. 143–155.

10- Pettorelli, N., J. O. Vik, A. Myrsetrud, J. M. Gaillard, C. J. Tucker, & N. Stenseth, 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change, *Trends in Ecology and Evolution*, 20: 503–510.

11- Potter, C.S., & V. Brooks, 1998. Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI, *International Journal of Remote Sensing*, 15: 2921–2948.

12- Rasool, S. I., 1993. *Systeme Terre*, (France: Dominos Flammarion), P: 12.

13- Saugier, B., 1996. *vegetation et atmosphere*, (France:

