

تولید خالص اولیه در شهرستان کوهدشت، الگوهای مکانی و زمانی در ارتباط با متغیرهای اقلیمی

- ❖ مسلم برجی حسن گاو یار؛ کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ هادی اسکندری دامنه؛ دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران.
- ❖ حسن خسروی*؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.

چکیده

افزایش دما و کاهش میزان بارش و تأثیرات آن بر دینامیک زمانی چرخه تثبیت کربن امروزه همچنان با عدم قطعیت‌های فراوان روبرو است. تولید خالص اولیه (NPP) یکی از عامل‌های اصلی چرخه کربن محسوب می‌شود، اندازه‌گیری بارش و دما نیز به‌عنوان دو ابزار مفید در بررسی پایداری و تاب‌آوری اکوسیستم‌های مختلف از لحاظ اقلیمی شناخته شده می‌باشند. از این رو، در این تحقیق پراکنش زمانی NPP تحت تأثیر فاکتورهای اقلیمی دما و بارش در دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ در چهار اکوسیستم جنگل، مرتع، کشاورزی آبی و کشاورزی دیم شهرستان کوهدشت بررسی شده است. تخمین مقدار NPP در مقیاس محلی بر اساس طیف‌سنج تصویری با رزولوشن متوسط ناسا MOD17 با احتساب شرایط اقلیمی و بیوم‌ها انجام گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که برای چهار اکوسیستم مورد بررسی رابطه رگرسیونی بین NPP و بارندگی ضعیف بوده است و به عبارتی ضریب تعیین پایین بین این دو متغیر موجب قابل توجیه نبودن هر رابطه‌ای بین آن‌ها شده است. همچنین این مطالعه نشان می‌دهد که رابطه رگرسیونی بین دما و NPP در اکوسیستم‌های جنگل، مرتع و کشاورزی دیم با ضریب تعیین بالای ۰/۵۵ از معادله درجه ۲ تبعیت می‌کند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تاب‌آوری اکوسیستم جنگل نسبت به تنش‌های آبی و دمایی بیشتر از سایر اکوسیستم‌ها است و کشاورزی آبی کمترین تاب‌آوری را داشته است.

واژگان کلیدی: تولید خالص اولیه، بارش، دما، کوهدشت

۱. مقدمه

آگاهی از میزان تولید کربن جهانی، برای توسعه سیاست‌های جهانی تغییر اقلیم ضروری است [۲۸، ۱۹، ۲۴]. تولید خالص اولیه (NPP) یکی از اجزاء اصلی چرخه کربن و نشان‌دهنده افزایش زیست‌توده گیاهی در زیر و سطح زمین پس از کسر میزان مورد استفاده برای اتوتروف‌ها است. کاهش زیست‌توده گیاه کیفیت و حاصلخیزی خاک را کاهش می‌دهد، که به نوبه خود ظرفیت برای کشاورزی و حفظ دام را پایین می‌آورد. بنابراین NPP در رفاه انسان سهیم است، زیرا مبنایی برای تولید مواد غذایی، فیبر و چوب محسوب می‌شود. باید توجه داشت که عوامل تغییرات در عرصه‌های منابع طبیعی متعدد و متنوع می‌باشند. بر اساس گزارشی که توسط فائو ارائه گردیده است، عوامل تغییرات در جنگل در دهه ۱۹۹۰ میلادی در قاره‌های مختلف دنیا عمدتاً به دلیل تغییر کاربری بوده است [۱۰]. در قاره آسیا حدود ۲۳٪ تغییرات در سطح جنگل به سایر عوامل بستگی دارد که تغییرات اقلیمی را می‌توان تحت این مجموعه به حساب آورد. تغییرات اقلیمی از جمله تغییرات در دما و نزولات جوی بر فنولوژی و زمان بندی رویش گیاهان اثر می‌گذارد [۹]. درک الگوهای مکانی و زمانی از تغییرات NPP و تعاملات آن با عوامل محیطی (به‌عنوان مثال آب‌وهوا و عوامل انسانی) مطالعات جهانی را در طول چند دهه اخیر به خود معطوف کرده است [۲، ۴، ۵، ۱۸، ۳۰]. تغییر در میزان NPP اکوسیستم‌ها تا حد زیادی به تعاملات CO₂ بین زمین و جو بستگی دارد، بنابراین تعاملات NPP با آب‌وهوا از اهمیت بیشتری برخوردار است [۲۵، ۱۴]. متخصصان محیط‌زیست عموماً معتقدند که در دسترس بودن آب عامل اصلی محدود کننده عملکرد اکوسیستم‌ها است، و این به‌عنوان نیروی محرک در تغییرات NPP در بسیاری از مناطق و زیست‌توده‌ها بیان شده است [۲۱، ۱۶]. مطالعات زیادی در زمینه ارتباط بارندگی با مقدار NPP سطح زمین صورت گرفته

است [۱۱، ۱]. الگوهای زمانی و مکانی شاخص NPP و بارش باران مؤثر (RUE) چهار اکوسیستم موجود در چین را تحت تأثیر شدت و فراوانی مختلف خشک‌سالی بررسی شد [۳۳]. نتایج تحقیقاتی نشان داد که ارتباط شاخص NPP و بارندگی حاضر، تحت عوامل زنده و غیرزنده نامفهوم بوده، در حالی که میزان شاخص RUE در چهار اکوسیستم مورد مطالعه به شدت تحت تأثیر خشک‌سالی سال‌های قبلی می‌باشد. از پراکنش الگوی مکانی و زمانی شاخص NPP برای بررسی روند تخریب اکوسیستم‌های طبیعی در قزاقستان استفاده شده است [۳]؛ نتایج بیانگر ناهنجاری‌های بیشتر شاخص مذکور در مناطق خشک و کاهش آن در ماه ژوئن بوده است. عکس‌العمل میزان جهت و الگوی تغییرات ANPP (تولید خالص اولیه سطح زمین) نسبت به نیروهای محرک مختلف در ۷۳ مجموعه داده بلندمدت و در اکوسیستم‌های مختلف بررسی شده است [۲۶]. از تصاویر ماهواره‌ای مودیس برای بررسی ارتباط بین آب موجود در خاک و NPP سالانه در اکوسیستم‌های گراسلند، بوته‌زارها و جنگل‌های کاج کالیفرنیا استفاده شد [۲۰]. نتایج تحقیق نشان داد که کاهش میزان NPP در کالیفرنیا طی ماه‌های آوریل تا اکتبر، به استرس آبی وارده به منابع آب موجود در خاک بستگی دارد. الگوهای مکانی و زمانی تغییرات سالانه، فصلی و ماهانه شاخص NPP و عوامل اقلیمی کنترل‌کننده آن در سطح ملی و بیوم کشور چین طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۰ بررسی شده است [۱۵]. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که میزان NPP از شمال به سمت جنوب چین تحت تأثیر میزان بارش افزایش پیدا کرده و دما نیز به‌جز در بیوم‌های خشک در سایر بیوم‌ها به‌عنوان فاکتور کنترلی تولید خالص اولیه معرفی شده است.

مطالعات دیگری در زمینه بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر شاخص NPP و پراکنش زمانی و مکانی این شاخص صورت گرفته است [۱۷، ۲۹]. نتایج تحقیقی نشان داد، تغییرات مقدار شاخص NPP تحت تأثیر سال‌های خشک‌سالی پیشین معنی‌دار، اما تغییرات این

۲. روش‌شناسی تحقیق

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ای بین $31^{\circ}41'$ و $33^{\circ}17'$ عرض شمالی و $47^{\circ}25'$ و $47^{\circ}50'$ طول شرقی در استان لرستان قرار دارد (شکل ۱). محدوده مطالعاتی کوهدشت دارای ۲ دشت اصلی به نام‌های کوهدشت و رومشکان می‌باشد که از طریق جاده آسفالتی کوهدشت - سراب دوره - خرم‌آباد به مرکز استان ارتباط دارند. منطقه مورد مطالعه با وسعت $1129/3$ کیلومتر مربع یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز کرخه و بخش مرکزی شهرستان کوهدشت، در غرب استان لرستان می‌باشد. شهرستان کوهدشت با تولید سالانه $7/6$ درصد محصولات کشاورزی استان و $5/4$ درصد از سطح جنگل‌های استان لرستان، نقش بسزایی در اقتصاد کشاورزی و منابع طبیعی ایجاد کرده است. متوسط بارندگی درازمدت این دشت 459 میلی‌متر می‌باشد که در ارتفاعات مجاور دشت بیشتر می‌باشد [۲۷]. اقلیم منطقه از نوع سرد مرطوب با زمستان‌های سرد است. اراضی جنگلی منطقه پوشیده از جنگل‌های بلوط - بنه و بلوط ایرانی با تراکم‌های مختلف، اراضی مرتعی با گیاهان یک‌ساله و چندساله، زمین‌های زراعی دیم و آبی می‌باشد. اراضی زراعی دیم منطقه عمدتاً در زیر درختان جنگلی بوده و به‌صورت اراضی زراعی مشجر وجود دارد. به‌طور کلی متوسط ارتفاع در سطح دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر با $1261/1$ و $1396/2$ متر و در کل محدوده مطالعاتی نیز برابر با $1360/1$ متر می‌باشد.

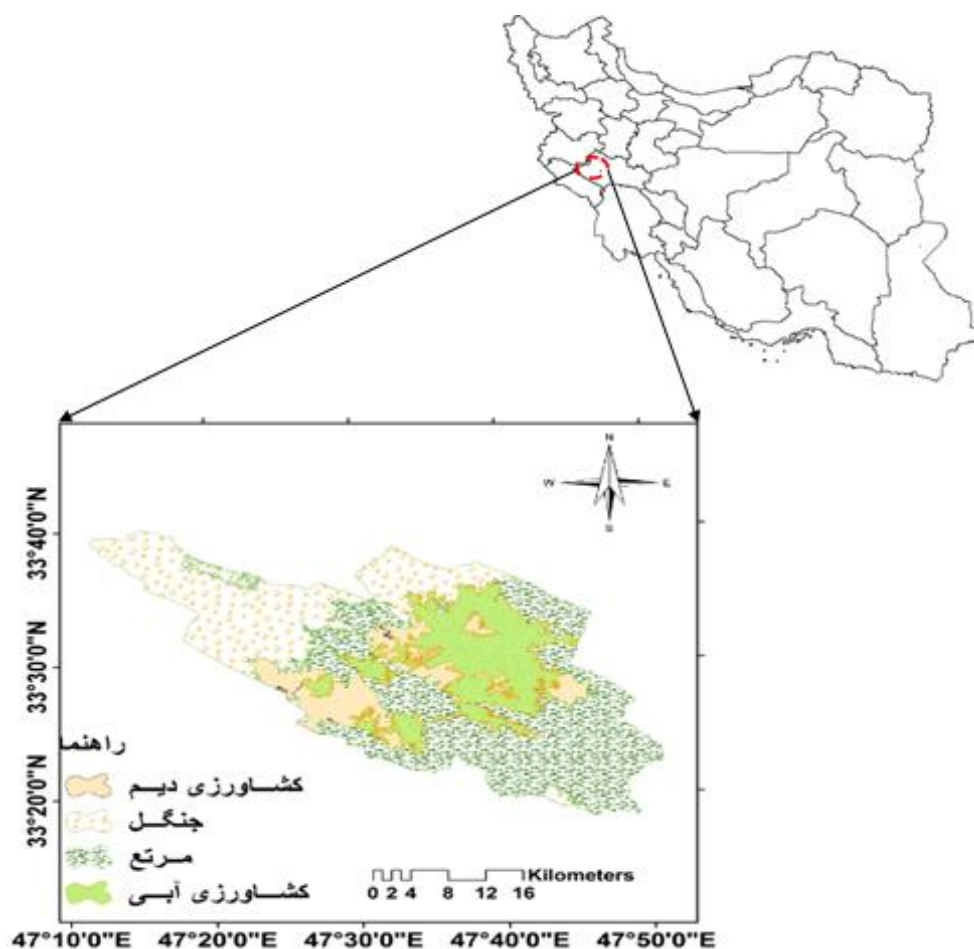
۲.۲. NPP و داده‌های هواشناسی

نخستین مرحله این تحقیق جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز از منطقه مطالعاتی است. این اطلاعات شامل تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌ها و داده‌های اقلیمی هستند. تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در این پژوهش، مربوط به سنجنده MODIS از ماهواره Terra می‌باشد. این

شاخص ناشی از خشک‌سالی همان سال معنی‌دار نمی‌باشد [۲۳]. گیاهان نسبت به عوامل محیطی از جمله دما و میزان نزولات جوی و رطوبت به‌صورت ترکیبی واکنش نشان می‌دهند و تحت تأثیر مجموعه عوامل بیرونی و درونی، کلیه فعالیت‌های آن متأثر می‌شود. ارتباط مستقیمی بین ظرفیت فتوسنتز در گیاهان و انجام تنفس در تاریکی وجود دارد، بطوریکه هرچقدر میزان ظرفیت فتوسنتز افزایش یابد به همان میزان و البته با میزان محدودتری ظرفیت فتوسنتز در تاریکی نیز افزایش می‌یابد، که باید در محاسبات لحاظ گردد. عمل فتوسنتز در گیاه که منجر به تولید کربوهیدرات می‌شود با افزایش دما افزایش می‌یابد. این افزایش به یک دمای بهینه نیاز دارد که در آن درجه به حداکثر رسیده و مجدداً در صورت افزایش دما میزان آن کاهش یافته و به صفر می‌رسد. این دمای میانگین برای مناطق جنگلی ایران 30 درجه سانتی‌گراد گزارش شده است [۱۰]. به عبارتی در دماهای زیر 30 درجه با افزایش هر 1 درجه دما در اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی به میزان $0/51$ و $0/149$ مگا گرم در هکتار در سال تولید افزایش پیدا خواهد کرد؛ این مقدار برای افزایش 1 میلی‌متر بارش در ایران برابر با $0/01$ مگا گرم در هکتار در سال گزارش شده است [۱۰]. در این تحقیق، رابطه مکانی و زمانی بین NPP و تغییرات دما و بارش در چهار اکوسیستم جنگل، مرتع، کشاورزی آبی و کشاورزی دیم در دوره 2003 تا 2010 مورد بررسی قرار گرفته است. تخمین مقدار NPP در مقیاس محلی بر اساس طیف‌سنج تصویری با رزولوشن متوسط ناسا MOD17 با احتساب شرایط اقلیمی و بیوم‌ها انجام گرفته است. این اولین ماهواره‌ای است که به‌صورت ممتد از تولیدات گیاهی، با تفکیک مکانی 1 کیلومتر، داده‌های مربوطه را ارائه می‌دهد [۳۲]. هدف این تحقیق بررسی الگوی پراکنش زمانی و مکانی شاخص NPP دشت کوهدشت در کاربری‌های مختلف، تحت تأثیر میزان تغییرات بارش و دما در حال حاضر و تأخیر یک سال پیشین می‌باشد.

کشاورزی دیم (شکل ۱) به عنوان نقشه بیوم کوهدشت از تولید پوشش زمین Landsat حاصل شده است. داده‌های هواشناسی ایستگاه همدیدی کوهدشت شامل بارش و دما در مقیاس سالانه طی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ از سایت هواشناسی کشور [۸] حاصل گردید.

سنجنده، از سال ۲۰۰۰ میلادی تاکنون به صورت روزانه در حال اخذ تصویر و ارسال آن‌ها به گیرنده‌های زمینی است. برای منطقه مطالعاتی، تصاویر مذکور در اکثر روزهای سال موجود بوده و می‌توان این داده‌ها را از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا [۷] دانلود کرد. چهار بیوم مختلف جنگل، مرتع، کشاورزی آبی و



شکل ۱. نقشه کاربری اراضی بخش مرکزی شهرستان کوهدشت

ممتد و وسیع طیفی و مکانی را داراست. به طوری که ۲ باند آن دارای قدرت تفکیک ۲۵۰ متر، ۵ باند دارای تفکیک ۵۰۰ متر و ۲۹ باند دیگر آن تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر را دارا می‌باشند. بنابراین مطالعه و ارزیابی تغییرات کوتاه مدت و بلندمدت در دریا، خشکی و اتمسفر توسط MODIS امکان پذیر می‌باشد. محدوده طیفی این

۳.۲. MODIS^۱

مودیس به معنای طیف‌سنج تصویری با رزولوشن متوسط می‌باشد. یک ابزار کلیدی در تمام ماهواره‌های EOS رادیومتر MODIS است. این سنجنده پوشش

1. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

(NPP)، کربن خالص ذخیره شده بعد از کم کردن تنفس گیاهی اتوترفها از GPP می‌باشد. درحالی‌که ممکن است مقداری از NPP سالانه در اکوسیستم به‌وسیله حوادث دوره‌ای مانند بادهای تند و آتش از دست برود، و این ضرورتی برای سرویس‌های اکوسیستمی از قبیل: سوخت، مواد غذایی، خوراک، فیبر و مواد برای اهداف سوخت‌وساز است. پایش و نظارت تولید اولیه در برآورد تنوع منابع و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تولید گیاهان بسیار مهم است.

در این تحقیق، NPP سالانه از داده‌های جهانی مودیس (MOD17A3) با وضوح تصویر ۱ کیلومتر در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۳ به دست آمد. NPP حاصل از مودیس (MOD17A3) بر اساس مدل نور قابل استفاده (LUE) و NPP سالانه؛ ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی در تولید و رفتار زمینی را در مقیاس سالانه فراهم می‌کند. برای محاسبات مربوط به پردازش تصاویر به‌منظور به دست آوردن مقادیر NPP و تعیین کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، از نرم‌افزار ENVI4.9 و Imagine Erdas استفاده شد.

به‌منظور کمی کردن تغییرات نیروی محرک اقلیم بر روی NPP، از آنالیز همبستگی بین مقادیر NPP و متغیرهای اقلیمی در مقیاس زمانی سالانه استفاده گردید. ضریب پیرسون (r) برای محاسبه میزان قدرت رابطه NPP - اقلیم و بهترین شیب تابع خطی به‌عنوان حساسیت NPP به تغییرات اقلیمی در مقیاس سالانه استفاده شد.

علاوه براین، با توجه به تأثیر عوامل آب و هوایی بر NPP، انتظار می‌رود که در گام‌های زمانی محدود اختلاف در پاسخ زمانی تغییرات پوشش گیاهی به متغیرهای آب‌وهوا صورت گیرد. به این منظور، میزان همبستگی بین مقدار تولید اولیه خالص و متغیرهای اقلیمی دما و بارش با یک گام تأخیر محاسبه شد [۳۰]. در ادامه با استفاده از روش رگرسیون دو متغیره، ارتباط و اثرات بین دوره‌های بارندگی و دما با پارامتر تولید خالص اولیه در هر کاربری در حالت‌های مختلف لگاریتمی،

۳۶ باند بین ۰/۴-۱۴/۴ میکرومتر می‌باشد. از دیگر ویژگی‌های این سنجنده شامل، عرض گذر ۲۳۳۰ کیلومتر و دوره تواتر ۱ تا ۲ روز است. از کاربردهای اصلی این سنجنده، می‌توان به مطالعات منطقه‌ای و جهانی روی اتمسفر، خشکی‌ها و آب‌ها و همچنین مدیریت بحران از جمله در سیل، آتش‌سوزی، طوفان و ... اشاره کرد.

الگوریتم MOD17 اولین محاسبه نزدیک به واقعیت از GPP و NPP جهانی را به‌وسیله سنجنده EOS مودیس فراهم می‌کند. این الگوریتم دو زیرمجموعه دارد: (۱) MOD17A2 که ترکیب ۸ روزه فتوسنتز خالص است و کنترل کیفیت (QC) را انجام می‌دهد. (۲) MOD17A3 که شامل NPP سالانه و کنترل کیفیت (QC) می‌باشد.

به این نکته باید توجه شود که MOD17A2 جمع ۸ روزه GPP، فتوسنتز خالص (SonNet) و MOD17A3 شامل NPP، GPP سالانه است. Mod17A3 مجموعه‌ای از داده‌های زمینی خالص و تولید خالص اولیه با وضوح ۱ کیلومتری است، که از ماهواره ترا و سنجنده مودیس به دست آورده شد.

فتوسنتز خالص از رابطه ۱ حاصل می‌شود:

$$PsnNet = GPP - R_{ml} - R_{mr} \quad (1)$$

که در آن R_{ml} : تنفس برگ و R_{mr} : تنفس ریشه است؛ و فرمول NPP سالانه به‌صورت رابطه ۲ می‌باشد:

$$NPP = \sum_{i=1}^{365} PsnNet - (R_{mo} + R_g) \quad (2)$$

که در آن R_{mo} : تنفس به‌وسیله سایر موجودات زنده به‌جز برگ و R_g : تنفس رشد است.

تولید ناخالص اولیه ((GPP، ظرفیت ذخیره و جذب کربن و انرژی در طول فتوسنتز می‌باشد [۶،۲۲]. GPP از تخمین تبادل خالص اکوسیستم (NEED) و تنفس اکوسیستم (Reco) مشتق شد. تولید خالص اولیه

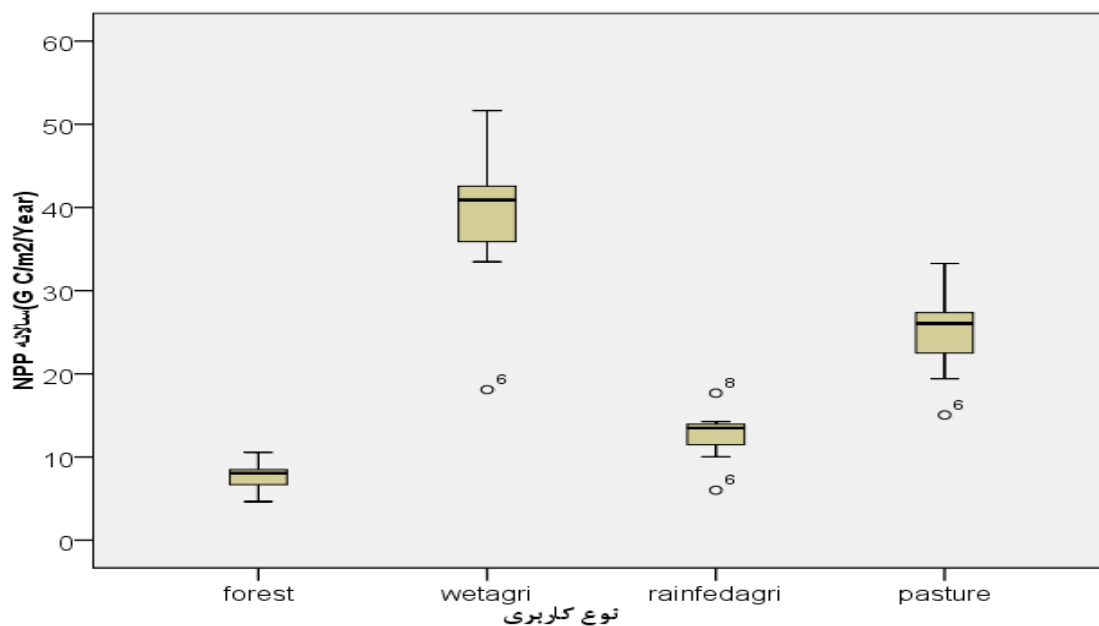
کمبود بارش در منطقه رخ داده است نسبت به سایر کاربری‌ها در یک سطح بالای قرار گیرد. البته بازه تغییرات مقادیر سالانه NPP در این کاربری بیشتر از سایر است، بطوریکه متوسط سالانه آن ($g C m^{-2} yr^{-1}$) ۳۸/۵ می‌باشد (شکل ۲). این مقدار تقریباً سه برابر تیپ کشاورزی دیم ($12/7 g C m^{-2} yr^{-1}$) و پنج برابر مقدار تولید شده در تیپ جنگل ($7/7 g C m^{-2} yr^{-1}$) و بیشتر از تیپ مرتع ($25 g C m^{-2} yr^{-1}$) می‌باشد. میزان تغییرات NPP در بخش مرکزی کوهدشت از ۰/۰۱۵ تا ۰/۰۸۵۲ ($kg C m^{-2} yr^{-1}$) متغیر است. مقادیر بالای NPP در کل دوره مورد بررسی (۲۰۰۳-۲۰۱۰) در مرکز دشت که دارای کاربری کشاورزی دیم و کشاورزی آبی است می‌باشد (شکل ۴). همچنین کمترین میزان NPP، ۰/۰۱۵ تا ۰/۰۳۸۲ ($kg C m^{-2} yr^{-1}$) می‌باشد که در شمال غربی و جنوب شرقی دشت کوهدشت مشاهده شده است، که این مقدار بیشتر در اکوسیستم جنگل ظاهر شده است. جنگل‌های این منطقه بیشتر از نوع بلوط ایرانی، بنه و کهکم است.

خطی، نمایی، توانی، معادله درجه ۲ و ۳ و مدل S و مدل معکوس با استفاده از نرم‌افزار SPSS و Excel مورد بررسی قرار گرفت. معنی‌داری بودن هر کدام از این رابطه‌ها از طریق جدول ANOVA مشخص شده است.

۳. نتایج

۱.۳. تغییرات مکانی NPP

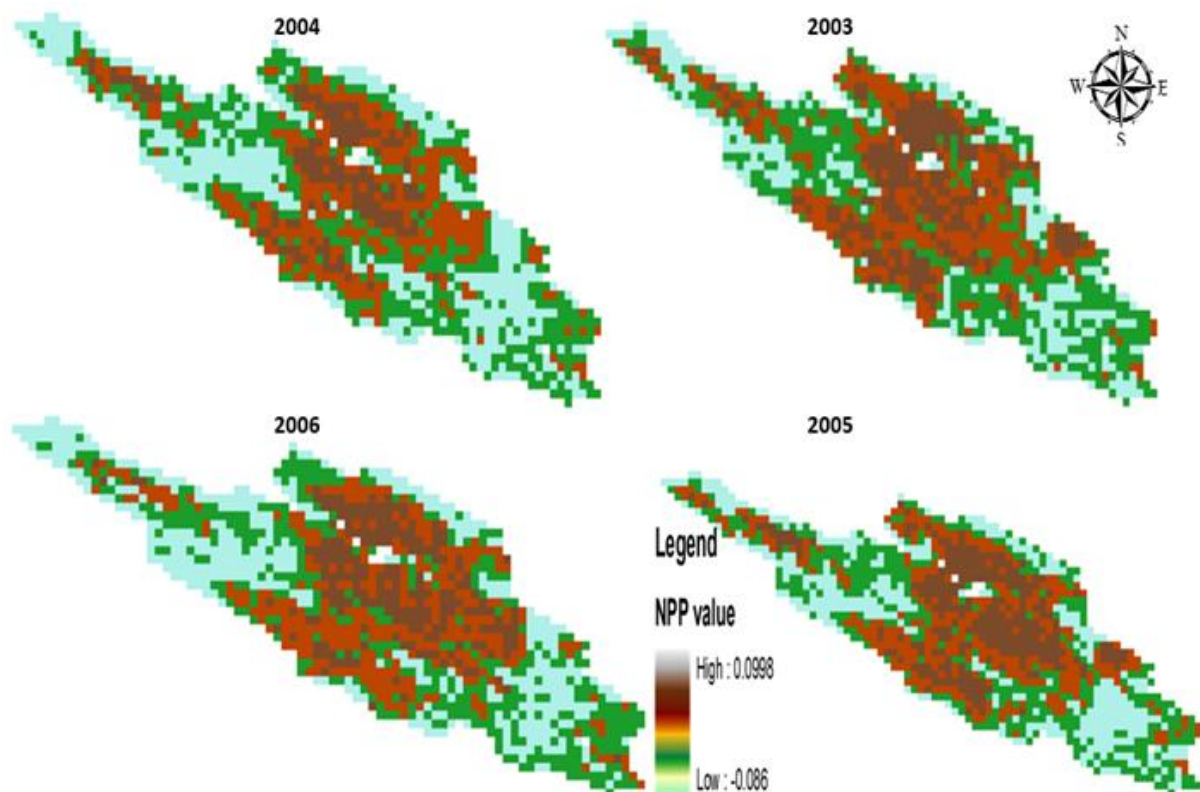
شکل ۴ میانگین سالانه NPP برای کاربری‌های جنگل، مرتع، کشاورزی دیم و کشاورزی آبی در سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. مقادیر سالانه NPP بالاتر ($0.472 kg C m^{-2} yr^{-1}$) در بخش مرکزی شهرستان کوهدشت که بیشتر کاربری آن کشاورزی دیم و کشاورزی آبی است دیده می‌شود. در این قسمت هر ساله در فصل بهار و تابستان مقادیر زیادی چغندر قند، ذرت، گندم آبی و صیفی‌جات کشت می‌شود. آبیاری این کشت‌ها به صورت کامل از برداشت آب زیرزمینی صورت می‌پذیرد و این موضوع باعث شده است که میزان تولید خالص اولیه حتی در سال‌های که شرایط خشک‌سالی و



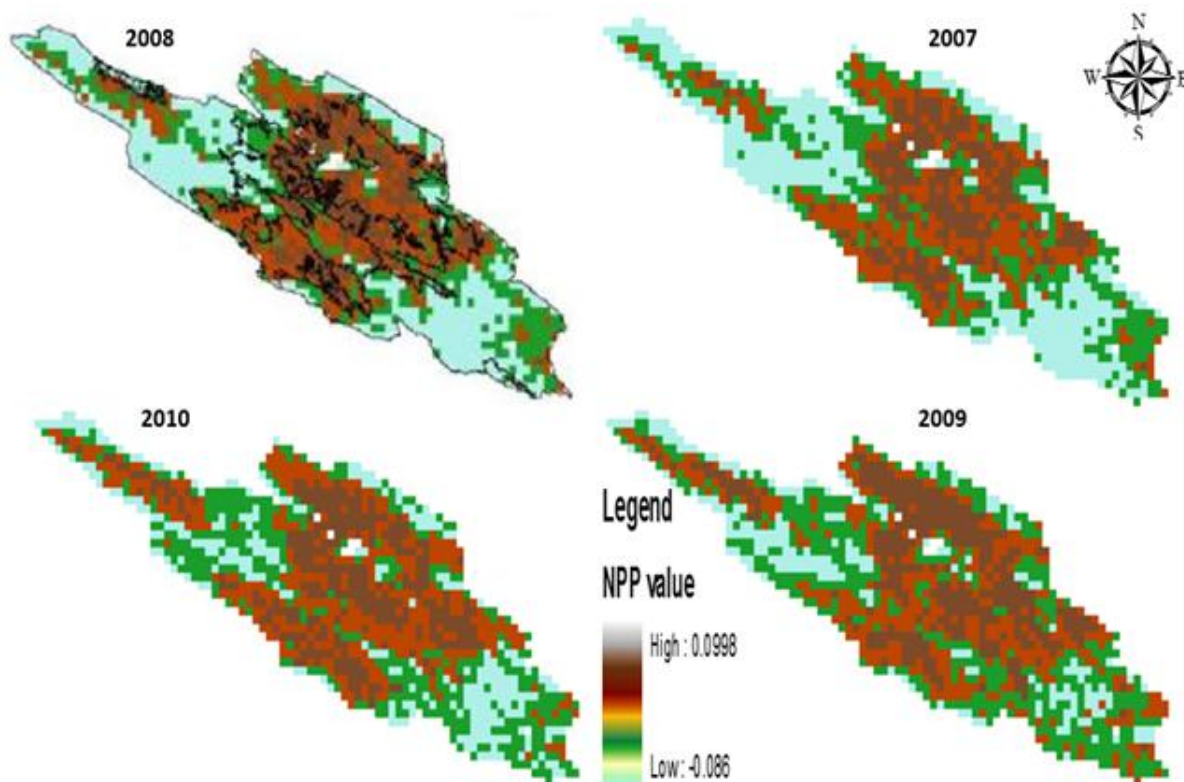
شکل ۲. تغییرات میزان NPP سالانه نسبت به میانگین

تقریباً در سال ۲۰۰۵ نیز تکرار شده است. در سال ۲۰۰۶ از عرصه‌های با مقادیر کم NPP کاسته شده است و عرصه‌های با NPP بیشتر از $0.0482 \text{ kg C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ گسترش پیدا کرده‌اند. این پراکنش مکانی در سال ۲۰۰۷، مشابه سال‌های قبلی از جمله ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ بوده است اما در سال ۲۰۰۸ میزان تولید خالص اولیه دشت به شدت کاهش پیدا کرده است (شکل ۴). به گونه‌ای که مساحت زیادی از تیپ جنگل و مرتع دارای میزان NPP کمتر از $0.0358 \text{ kg C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ شده است. دو سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ نیز به‌طور مشابه دارای بیشترین میزان تولید خالص اولیه بوده‌اند؛ به گونه‌ای که عرصه‌های مرتعی و جنگلی هم به‌رغم سال‌های پیشین شاهد سطوح بالای (>0.0587) از میزان تولید خالص اولیه بوده‌اند.

البته روند تغییرات گستره این بازه از تولید خالص اولیه در سال‌های متفاوت تحت تأثیر عوامل اقلیمی کم یا زیاد شده است، بطوریکه در سال ۲۰۰۳ بیشتر مساحت منطقه دارای میزان NPP بین 0.0358 تا $0.0482 \text{ kg C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ است (شکل ۴). البته این گستره بیشتر در قسمت جنوب شرقی و شمال غربی دیده می‌شود و در مرکز و غرب تا شرق دشت مقدار NPP بیشتر از $0.0482 \text{ kg C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ است. الگوی پراکنش مقادیر تولید خالص اولیه در سال ۲۰۰۴ شکل متفاوت‌تری به خود گرفته است، به گونه‌ای که مساحت بیشتری از دشت دارای مقدار NPP کمتر از $0.0358 \text{ kg C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ بوده است. البته همانند سال ۲۰۰۴ قسمت‌های مرکزی دشت مجدداً در بازه ارزشی بیشتر از $0.0482 \text{ kg C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ قرار گرفته است. این الگو



شکل ۳. الگوی مکانی تغییرات تولید خالص اولیه در دشت کوهدشت و رومشکان در دوره ۲۰۰۳-۲۰۰۶



شکل ۴. الگوی مکانی تغییرات تولید خالص اولیه در دشت کوهدهشت و رومشکان در دوره ۲۰۰۷-۲۰۱۰

۲.۳. رابطه NPP با اقلیم

برای بررسی رابطه اقلیم و مقدار NPP، از روش رگرسیون دو متغیره، ارتباط و اثرات بین دوره‌های بارندگی و دما با پارامتر تولید خالص اولیه در هر کاربری در حالت‌های مختلف لگاریتمی، خطی، نمایی، توانی، معادله درجه ۲ و ۳ و مدل S و مدل معکوس با استفاده از نرم‌افزار SPSS و Excel مورد بررسی قرار گرفت. معنی‌داری بودن هر کدام از این رابطه‌ها از طریق جدول ANOVA مشخص گردید (جدول ۱). بدین منظور، از داده‌های مربوط به دما و بارندگی سالانه ایستگاه سینوپتیک کوهدهشت در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ استفاده گردید. نتایج بررسی نشان داد که رابطه رگرسیونی بین دما و میانگین NPP سالانه در سه کاربری جنگل، کشاورزی و مرتع در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد از معادله درجه ۲ تبعیت می‌کند و بیشترین

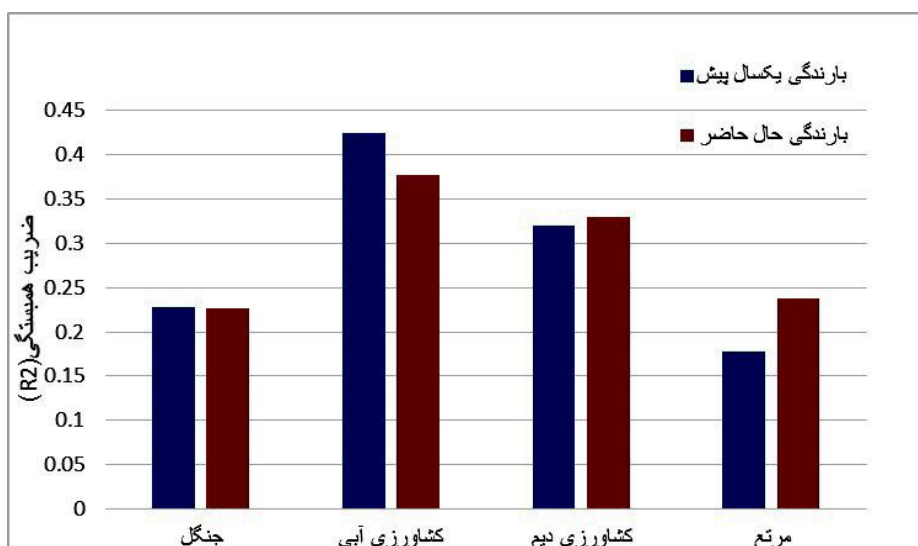
ضریب تعیین مربوط به رابطه دما و NPP سالانه در کاربری مرتع بوده است؛ اما هیچ‌گونه رابطه معنی‌داری بین متغیر دما و NPP در کاربری کشاورزی آبی پیدا نشده است. نتایج نشان داد که در سطوح معنی‌داری مختلف رابطه معنی‌داری بین میزان بارندگی و NPP در هیچ‌کدام از کاربری‌ها وجود ندارد.

اگرچه بر اساس روش رگرسیون دو متغیره، دما فاکتور کنترلی مهمی بر روی تغییرات سالانه NPP در بیشتر اکوسیستم‌ها (به‌جز کشت آبی) بوده است، اما فقط بارندگی یک سال پیش در کاربری‌های کشاورزی آبی دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با NPP بوده است (شکل ۵). این در حالی است که رابطه همبستگی بین دما و NPP برابر ۰/۲ بوده و تأثیر کنترلی زیادی بر تولید خالص اولیه کشت آبی نداشته است (شکل ۶).

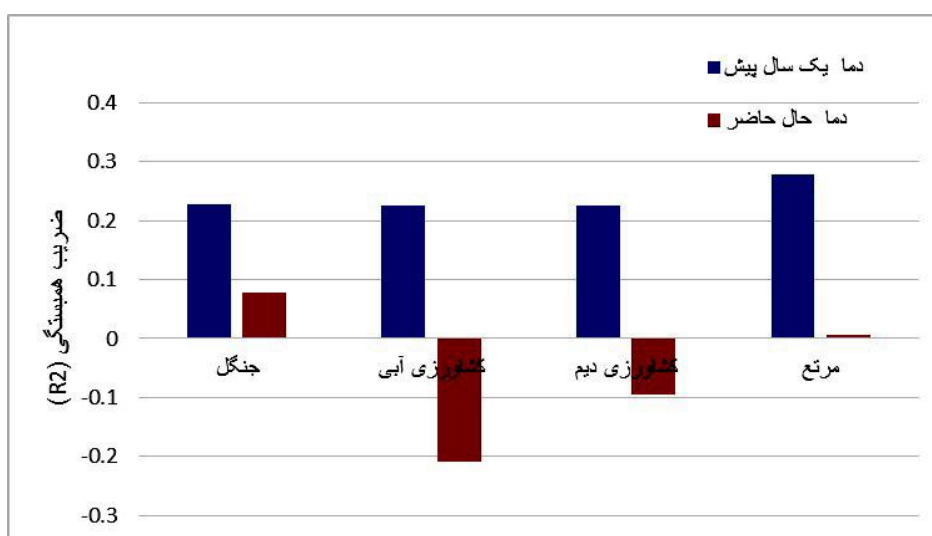
جدول ۱. نتایج حاصل از ارتباط دما با مقادیر NPP در کاربری‌های مختلف

رابطه*	سطح معنی‌داری			انحراف معیار SD	ضریب تعیین R ²	کاربری
	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱			
$NPP_{(for)}=21.06-1.47T+0.101T^2$	است	است	-	۰/۳۲	۰/۵۲	جنگل
$NPP_{(agr)}=19.44-0.64T+2.027T^2$	است	است	-	۰/۳	۰/۵۷	کشاورزی دیم
$NPP_{(gras)}=22.03-0.54T+2.011$	است	است	-	۰/۳	۰/۶	مرتع
-	-	-	-	-	-	کشاورزی آبی

* $NPP_{(for)}$: تولید در جنگل، $NPP_{(agr)}$: تولید کشاورزی دیم، $NPP_{(gras)}$: تولید در مراتع



شکل ۵. مقدار همبستگی بین NPP و مقادیر بارش در تأخیرهای متفاوت



شکل ۶. مقدار همبستگی بین NPP و مقادیر دما در تأخیرهای متفاوت

افت NPP در اکوسیستم کشاورزی آبی و دیم صورت گرفته است (شکل A۸، B۸) و دو اکوسیستم جنگل و مرتع نیز به ترتیب کمترین تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند (شکل CA، DA). این شرایط نیز مانند بارش، فقط در سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸ صدق می‌کند و سال‌های دیگر شرایط متفاوتی را داشته‌اند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

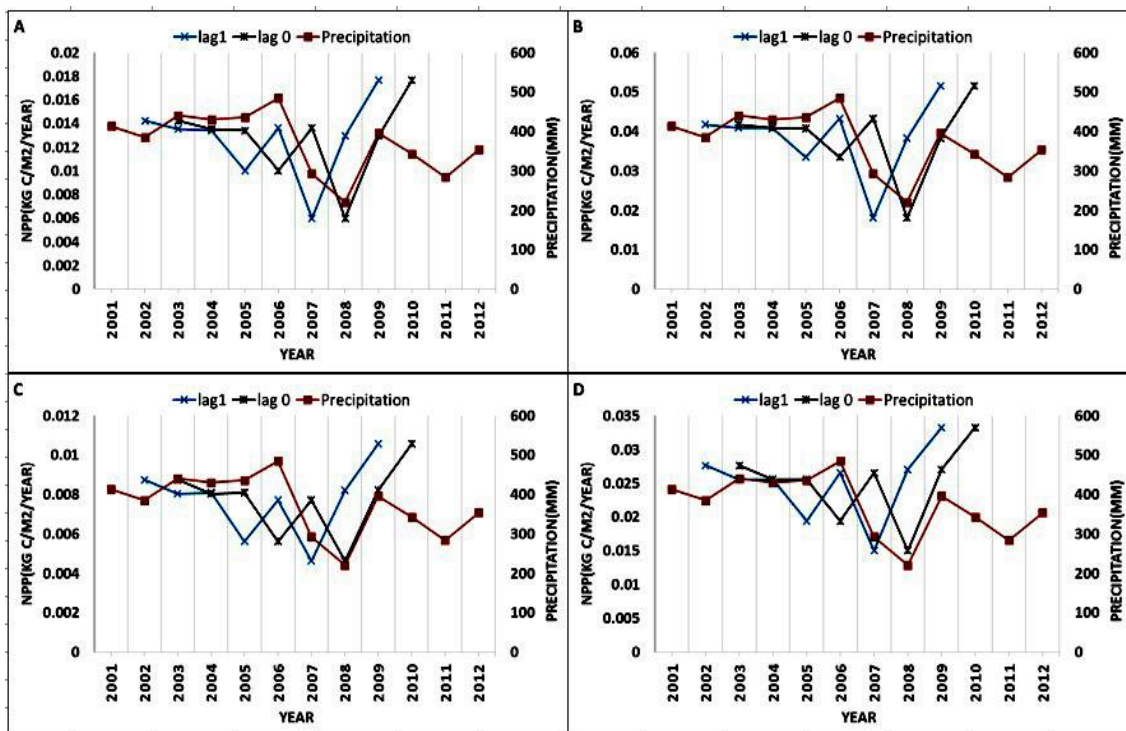
تغییرات اقلیمی و محیطی در مناطق مختلف ایران مشاهده شده است و پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز تغییراتی به وقوع بپیوندد. تولید خالص اولیه از شاخص‌های مهم در ارزیابی تولید اکوسیستم‌های طبیعی جنگلی، مرتعی و کشاورزی می‌باشد. تغییرات اقلیمی باعث وقوع تغییرات در تولید زیست‌توده (بیوماس) در اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود.

در این تحقیق مقدار تولید خالص اولیه در چهار اکوسیستم جنگل، مرتع، کشاورزی دیم و کشاورزی آبی شهرستان کوهدشت با استفاده از داده‌های جهانی مودیس (MOD17A3) با وضوح تصویر ۱ کیلومتر در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۳ به‌دست آمده است.

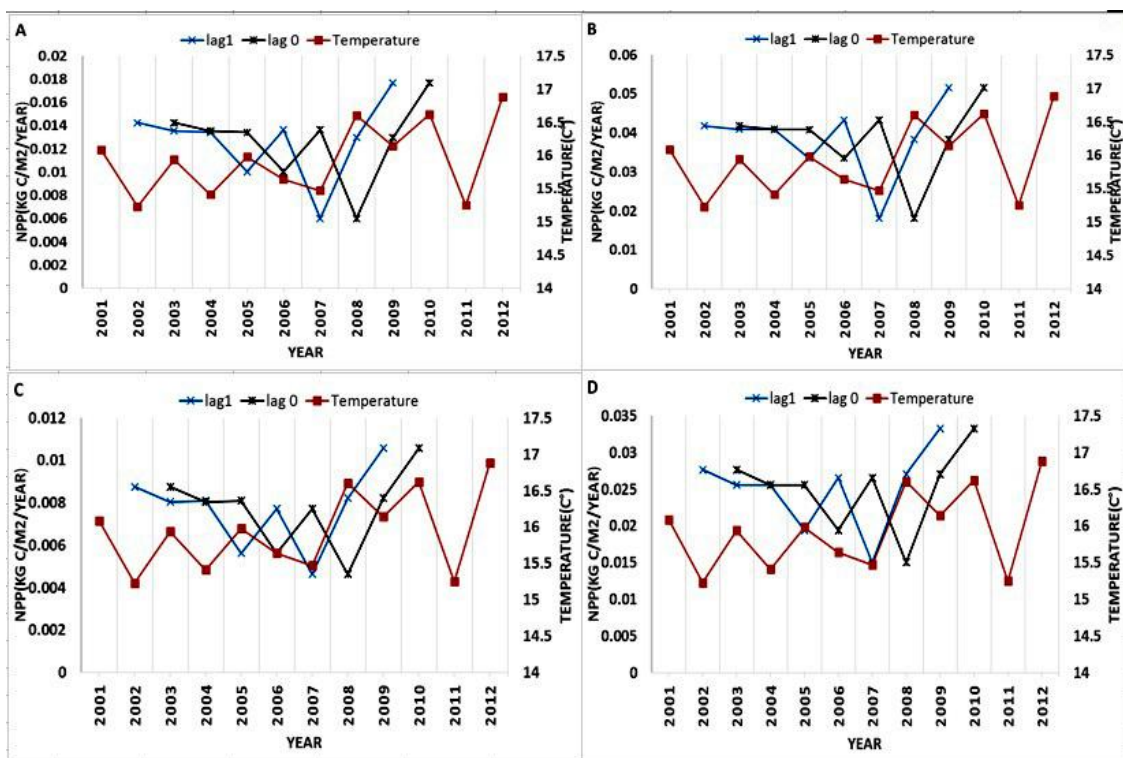
نتایج نشان داد که برای چهار اکوسیستم مورد بررسی رابطه رگرسیونی بین NPP و بارندگی ضعیف بوده است و به عبارتی ضریب تعیین پایین بین این دو متغیر موجب قابل توجیه نبودن هر رابطه‌ای بین آن‌ها شده است، که این نتایج با نتایج تحقیق جعفری [۱۰] مخالف و با نتایج تحقیق دیگر - [۳۲] مطابقت دارد. این رابطه ضعیف بین NPP و بارندگی می‌تواند دلایل متفاوتی داشته باشد؛ مثلاً تولید خالص اولیه تحت تأثیر متغیرهای زیستی و غیرزیستی فراوانی مانند مواد غذایی در دسترس، ویژگی‌های فیزیکی خاک و روابط پیچیده بین عوامل زیستی و ... می‌باشد؛ که در این بین بارندگی فقط یک آرایه است [۱۲، ۳۱].

برخلاف دو اکوسیستم مرتع و کشاورزی دیم در اکوسیستم‌های کشاورزی آبی و جنگل میزان ضریب R^2 بر اساس تأخیر یک سال پیش بارندگی و NPP بیشتر از NPP و بارندگی حال حاضر است. این درحالی‌که است که در چهار اکوسیستم مورد بررسی رابطه همبستگی بین تأخیر یک سال پیش دما و NPP بیشتر از NPP و دما در حال حاضر است (شکل ۶). این بدین معنی است که میزان تولید خالص اولیه بیشتر از اینکه تحت تأثیر بارندگی با تأخیر یک‌ساله قرار گرفته باشد تحت تغییرات موجود در دمای پیشین بوده است. نکته قابل توجه این است که در تمام اکوسیستم‌های مورد بررسی در سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸ که کمترین میزان بارندگی در منطقه رخ داده است، میزان NPP هم به حداقل مقدار خود رسیده است. بیشترین میزان افت مربوط به اکوسیستم کشاورزی آبی بوده است (شکل B ۷) و کمترین مقدار افت را در اکوسیستم جنگل شاهد بوده‌ایم (شکل C7).

به عبارتی دیگر در این سال به ازای هر یک میلی‌متر کاهش در مقدار بارندگی به میزان $kg C m^{-2} yr^{-1}$ ۰/۰۰۰۳۴ از تولید خالص اولیه اکوسیستم کشاورزی آبی کاسته شده است درحالی‌که این مقدار برای اکوسیستم جنگل $kg C m^{-2} yr^{-1}$ ۰/۰۰۰۰۴ بوده است. این مقادیر برای اکوسیستم‌های مرتع و کشاورزی دیم به ترتیب برابر $kg C m^{-2} yr^{-1}$ ۰/۰۰۰۱۵ و $kg C m^{-2} yr^{-1}$ ۰/۰۰۰۰۱ می‌باشد (شکل ۷ A و D). پس می‌توان نتیجه گرفت که اکوسیستم‌های طبیعی جنگل و مرتع شهرستان کوهدشت نسبت به تنش آبی مقاوم‌تر بوده و در شرایط خشک‌سالی بیشترین تولید را نسبت به سایر اکوسیستم داشته‌اند. البته این نسبت‌ها در سایر سال‌ها صدق نمی‌کند. با توجه به اینکه تغییرات NPP با دمای یک سال پیش همبستگی بیشتری داشته است، پس محاسبات میزان تغییرات دما بر روی تولید خالص اولیه با در نظر گرفتن دمای سال پیشین صورت گرفته است. بررسی تغییرات در مقادیر NPP تحت شرایط دمایی نشان داد که بیشترین میزان



شکل ۷. مقدار تغییرات تولید خالص اولیه نسبت به تغییرات بارش با تأخیرهای مختلف در تیپ کشاورزی دیم- A، کشاورزی آبی B، جنگل C، مرتع D



شکل ۸. مقدار تغییرات تولید خالص اولیه نسبت به تغییرات دما با تأخیرهای مختلف در تیپ کشاورزی دیم- A، کشاورزی آبی B، جنگل C، مرتع D

آبی و صیفی جات است و تنها منبع تأمین کننده آب آن‌ها آبخوان کوهدشت و رومشکان است. این بدین معنی می‌باشد که میزان تولید در این قسمت شدیداً به آب زیرزمینی وابسته است. پس برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌گردد که برای حصول نتایج بهتر، میزان برداشت آب زیرزمینی در این دوره نیز بررسی گردد تا تأثیر خالص پارامترهای اقلیمی بر تولید آشکار گردد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که کاربری جنگل و مرتع با اینکه همواره کمترین میزان تولید را در کل دوره مورد بررسی دارا بوده‌اند، اما نسبت به تنش‌های اقلیمی همواره مقاومت نشان داده است. دلیل این موضوع را می‌توان به گونه‌های مقاوم درختی مانند بلوط و بنه نسبت داد، که برای تحقیقات آینده بررسی میزان تولید وارسته‌های مختلف بلوط و بنه در منطقه لرستان را می‌توان پیشنهاد داد.

همچنین پیشنهاد می‌گردد که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس میزان تولید خالص اولیه برای کل کشور تحت اقلیم مختلف و شرایط خشک‌سالی موجود محاسبه گردد تا بدین منظور مناطق مستعدی را که در شرایط اقلیمی شدید و خشک‌سالی توانسته‌اند میزان تولید خود را حفظ کنند شناسایی شود و برای پروژه‌های مانند ترسیب کربن مورد استفاده قرار گیرند.

نتایج تحقیق دیگران نشان داده است که بارندگی حال حاضر سهم اندکی از میزان NPP سالانه دارد درحالی‌که بارندگی یک سال پیش تأثیر معنی‌داری بر تولید سال حاضر داشته است [۲۱، ۲۳]؛ اما این مطالعه نشان می‌دهد که رابطه رگرسیونی بین دما و NPP در اکوسیستم‌های جنگل، مرتع و کشاورزی دیم با ضریب تعیین متوسط از معادله درجه ۲ تبعیت می‌کند. این بدین معنی است که فاکتور دما خود به تنهایی تغییرات به وجود آمده در تولید را می‌تواند نسبتاً توجیه کند. نتایج تحقیقی [۱۰] نشان داد که اگر دمای مناطق جنگلی کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد کاهش در دما ۰/۵۱ مگا گرم در هکتار به تولید افزوده خواهد شد که با نتایج این تحقیق تناقض داشته است. نتایج این تحقیق نشان داد که در دمای موجود در منطقه مورد مطالعه (۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد) نسبت و تناسب خاصی را نمی‌توان بین افزایش یا کاهش دما و میزان NPP پذیرفت. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که در کل دوره مورد بررسی قسمت‌های مرکزی شهرستان کوهدشت در دو بخش رومشکان و بخش مرکزی، همواره دارای بیشترین مقادیر NPP بوده است، این درحالی است که کاربری اصلی موجود در این قسمت کشاورزی آبی شامل کشت چغندر قند، ذرت، گندم

References

- [1] Bai, Y., Wu, J., Xing, Q., Pan, Q., Huang, J. and Yang, D. (2008). Primary production and rain use efficiency across a precipitation gradient on the Mongolia Plateau. *Ecology*, 89, 2140–2153.
- [2] Ei-Masri, B., Barman, R., Meiyappan, P., Song, Y., Liang, M.L. and Jain, A.K. (2013). Carbon dynamics in the Amazonian Basin: integration of eddy covariance and ecophysiological data with a land surface model. *Agricultural and forest meteorology*, 182, 156-167.
- [3] Eissfelder, C., Klein, I., Niklaus, M. and Kuenzer, C. (2014). Net primary productivity in Kazakhstan, its spatio-temporal patterns and relation to meteorological variables. *Journal of Arid Environments*, 103, 17-30.
- [4] Eskandari, H., Borji, M., Khosravi, H. and Mesbahzadeh, T. (2016). Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. *Solid Earth*, 7(3), 905-915.
- [5] Fang, J., Piao, S., Field, C.B., Pan, Y., Guo, Q., Zhou, L. and Tao, S. (2003). Increasing net primary production in China from 1982 to 1999. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 293-297.
- [6] Hemming, D., Betts, R. and Collins, M. (2013). Sensitivity and uncertainty of modelled terrestrial net primary productivity to doubled CO₂ and associated climate change for a relatively large perturbed physics ensemble. *Agricultural and forest meteorology*, 170, 79-88.
- [7] Heinsch, F. A., Reeves, M., Votava, P., Kang, S., Milesi, C., Zhao, M. and Running, S.W. (2003). GPP and NPP (MOD17A2/A3) Products NASA MODIS Land Algorithm. *MOD17 User's Guide*, 1-57.
- [8] <http://earthexplorer.usgs.gov/> (18/03/2013).
- [9] <http://www.irimo.ir/far/wd/2703.html> (30/4/2013).
- [10] Jafari, M. (2007). Review on needfulness for plant ecophysiological study and investigation on climate change's effects on forest, rangeland and desert ecosystems, Climate Change in South-Eastern European Countries: Causes, Impacts, Solutions, 26- 27 March 2007, Orangerie, Burggarten, Graz, Austria.
- [11] Jafari, M. (2013). Change and vulnerability of Net Primary Production (NPP) in Iranian forest, rangeland and desert ecosystems impacted by climate change. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 21, 140-153.
- [12] Jobbágy, E.G., Sala, O.E. and Paruelo, J.M. (2002). Patterns and controls of primary production in the patagonian steppe: A remote sensing approach. *Ecology*, 83, 307–319.
- [13] Knapp, A. K., and Smith, M.D. (2001). Variation among biomes in temporal dynamics of above ground primary production. *Science*, 291, 481–484.
- [14] Lauenroth, W. K. (1979). Grassland primary production: North American grasslands in perspective. In *Perspectives in grassland ecology* (pp. 3-24). *Springer New York*.
- [15] Li, Z. A. J. X. (2012). The 2010 spring drought reduced primary productivity in southwestern China. *Environmental Research Letters*, 7(4), 1-10.
- [16] Liang, W., Yang, Y., Fan, D., Guan, H., Zhang, T., Long, D. and Bai, D. (2015). Analysis of spatial and temporal patterns of net primary production and their climate controls in China from 1982 to 2010. *Agricultural and Forest Meteorology*, 204, 22-36.
- [17] Noy-Meir, I. (1973). Desert ecosystems: Environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 25–51.
- [18] Pei, F., Li, X., Liu, X., Lao, C. and Xia, G. (2015). Exploring the response of net primary productivity variations to urban expansion and climate change: A scenario analysis for Guangdong Province in China. *Journal of environmental management*, 150, 92-102.
- [19] Piao, S.L., Fang, J.Y., Zhou, L.M., Zhu, B., Tan, K. and Tao, S. (2005a). Changes in vegetation net primary productivity from 1982 to 1999 in China. *Global Biogeochem*, 19, 20-27.
- [20] Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Peylin, P., Reichstein, M., Luysaert, S. and Vesala, T. (2008b). Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming. *Nature*, 451, 49-52.

- [21] Potter, C. (2014). Microclimate influences on vegetation water availability and net primary production in coastal ecosystems of Central California. *Landscape ecology*, 29, 677-687.
- [22] Reichmann, L. G., Sala, O. E. and Peters, D.P.C. (2012). Precipitation legacies in desert grassland primary production occur through previous-year tiller density. *Ecology*, 94, 435-443.
- [23] Running, S. W., Nemani, R. R., Heinsch, F. A., Zhao, M., Reeves, M. and Hashimoto, H. (2004). A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. *Bioscience*, 54(6), 547-560.
- [24] Sala, O.E., Gherardi, L.A., Reichmann, L., Jobbagy, E. and Peters, D. (2012). Legacies of precipitation fluctuations on primary production: Theory and data synthesis *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 367, 3135-3144.
- [25] Schulze, E.D., Wirth, C. and Heimann, M. (2000). Managing forests after Kyoto. *Science (Washington)*, 289, 2058-2059.
- [26] Smith, M.D., La Pierre, K.J., Collins, S.L., Knapp, A.K., Gross, K.L., Barrett, J.E. and Yarie, J. (2015). Global environmental change and the nature of aboveground net primary productivity responses: insights from long-term experiments. *Oecologia*, 177, 935-947.
- [27] Tavakoli, A.R., Liaghat, A. and Akbari, Z. (2014). The role of Climate Parameters on Wheat Yield at Rainfed Regions of Kohdasht and Poldokhtar of Lorestan Province. *Geography and Environmental Planning*, 24, 1-14.
- [28] Wofsy, S.C. and Harriss, R.C. (2002). A report of the NACP Committee of the US Carbon Cycle Science Steering Group. N. Am. Carbon Program, Washington, DC (Available at <http://www.carboncyclescience.gov/>).
- [29] Xu, C., Li, Y., Hu, J., Yang, X., Sheng, S. and Liu, M. (2012). Evaluating the difference between the normalized difference vegetation index and net primary productivity as the indicators of vegetation vigor assessment at landscape scale. *Environmental monitoring and assessment*, 184, 1275-1286.
- [30] Yang, Y., Guan, H., Shen, M., Liang, W. and Jiang, L. (2015). Changes in autumn vegetation dormancy onset date and the climate controls across temperate ecosystems in China from 1982 to 2010. *Global change biology*, 21, 652-665.
- [31] Zhao, M. and Running, S.W. (2010a). Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science*, 329, 940-943.
- [32] Zhao, M., Heinsch, F. A., Nemani, R.R. and Running, S. W. (2005b). Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing of Environment*, 95, 164-176.
- [33] Zhang, X., Moran, M. S., Zhao, X., Liu, S., Zhou, T., Ponce-Campos, G. E. and Liu, F. (2014). Impact of prolonged drought on rainfall use efficiency using MODIS data across China in the early 21st century. *Remote Sensing of Environment*, 150, 188-197.