سومین همایش ملی بیابان (فرصت‌ها و چالش‌ها)
۲۹ خرداد ۱۴۰۳، مرکز تحقیقات بین المللی بیابان؛ دانشگاه تهران

تولید خالص اولیه-شاخصی کلیدی و پویا برای ارزیابی خطر بیابان‌زایی

محمد غلامی[۱]، مرتضی اکبری[۲] (نویسنده مسئول)✉، ابراهیم محمودآبادی[۳]، مجید کاظم‌زاده[۴]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲-دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳-استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

چکیده

مقدمه: بیابان‌زایی، یک فرآیند تهدیدی، همراه با خسارت‌های محیطی و اجتماعی-اقتصادی است. این پدیده، همواره به دلیل تخریب سرزمین، کاهش تنوع زیستی، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و به خطر افتادن معیشت و سلامت زندگی انسان، موجب نگرانی مردم جهان بوده است. یکی از علائم مشخص این فرآیند مخرب، تغییرات در پوشش گیاهی است چراکه به دلیل پویایی زیاد، تحت تاثیر محیط اطراف می‌باشد. به همین جهت استفاده از شاخص‌های پویا، ساده، گویا و قابل اعتماد همچون تولید خالص اولیه برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی و اثرات آن بسیار مهم و ضروری است. با توجه به پویایی قابل توجهی که این شاخص دارد، می‌تواند مدل نسبتا کاملی از پتانسیل و شدت تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در یک منطقه معین ارائه نماید. این شاخص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که پوشش گیاهی محدود است، حساسیت بیشتری به تغییرات نشان داده که می‌تواند به عنوان یک ابزار قابل اعتماد مورد استفاده قرار گرفته و توصیف کاملی از منطقه مورد مطالعه ارائه کند.

مواد و روش‌ها: این مطالعه به صورت اسنادی و مروری از مطالعات انجام شده در جهان و ایران صورت گرفته است و تعداد زیادی مقاله بین‌المللی و داخلی با موضوعات بیابان‌زایی و با موضوع تولید خالص اولیه را مورد بررسی قرار داده است.

یافته‌ها: تولید خالص اولیه (NPP) می‌تواند به عنوان یک شاخص مهم و کلیدی جهت پایش و ارزیابی بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گیرد؛ چراکه انعطاف کافی برای توضیح وضعیت یک منطقه از لحاظ شدت درجه بیابان‌زایی را دارا است. همچنین استفاده از آن می‌تواند آثار فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی را آشکار کند. یکی از ابزارها و مدل‌های مورد استفاده برای برآورد NPP، مدل CASA می‌باشد که به طور گسترده و در سطوح مختلف جهانی و منطقه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است و کارایی آن نیز اثبات شده است. مدل CASA مدل مناسب و قابل قبول برای برآورد NPP می‌باشد که مقدار NPP را بر اساس اطلاعات سنجش از دوری و همچنین اطلاعات آب و هوایی برآورد می‌کند. چراکه NPP با توجه به عوامل طبیعی آب و هوایی موثر بر پوشش گیاهی که از منطقه‌ای به منطقه دیگر فرق می‌کنند، برآورد می‌شود. مدل CASA در واقع یک مدل اکولوژیکی است که بر کارایی فتوسنتزی تاج پوشش گیاهی تکیه دارد.

نتیجه‌گیری: بیابان‌زایی تهدیدی جدی برای معیشت، سلامتی و آینده انسان‌ها است. لذا، قبل از هر اقدامی برای مقابله با آن، باید از روش‌های آزمون شده، مورد بررسی و شناخت قرار گیرد. برآورد شاخص تولید خالص اولیه با استفاده از مدل CASA می‌توانند به عنوان روشی آزمون‌شده در سطح جهانی در این زمینه مورد استفاده قرار گیرند. اما مطالعاتی که در این زمینه در ایران به انجام رسیده نسبتا محدود است. به همین جهت استفاده از این شاخص جهت ارزیابی شدت و پایش بیابان‌زایی مخصوصا در ایران که بخش اعظمی از آن را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل داده است، به شدت توصیه می‌شود. شاخص NPP همچون یک شاخص کارآمد، در پژوهش‌های وسیعی در جهان مورد استفاده و آزمون قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: ارزیابی، تخریب سرزمین، تولید خالص اولیه، سنجش از دور، مدل CASA

---

[۱]- **نویسنده مسئول:** مرتضی اکبری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، آدرس محل کار: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی رایانامه: m-akbari@um.ac.ir، تلفن محل کار: ۳۸۸۰۵۴۶۹

سومین همایش ملی بیابان (فرصت‌ها و چالش‌ها)
۲۹ خرداد ۱۴۰۳، مرکز تحقیقات بین المللی بیابان؛ دانشگاه تهران

Net Primary Production–As a Dynamic and Key Indicator for Desertification Risk Assessment

Mohammad, Gholami[1], Morteza, Akbari [2] (Corresponding Author)✉, Ebrahim, Mahmoudabadi [3], Majid, Kazemzadeh [4]

[1]- MSc Student of Desert Control and Management, Department of Desert and Arid Zones Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

[2]-Associate Professor, Department of Desert and Arid Zones Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

[3]- Assistant Professor, Department of Desert and Arid Zones Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

[4]-Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Abstract

Introduction: Desertification is a threatening process that causes environmental and socio-economic damages. This phenomenon has long been a global concern due to land degradation, reduced biodiversity, lower agricultural yields, and risks to human livelihoods and health. One of the characteristic signs of this destructive process is the change in vegetation, which is highly dynamic and influenced by the surrounding environment. Therefore, it is crucial to use dynamic, straightforward, expressive, and reliable indicators, such as net primary production, to assess the intensity of desertification and its impacts. Given the significant dynamics of this index, it can offer a relatively comprehensive model of the potential and intensity of land degradation and desertification in a specific region. In arid and semi-arid areas, where vegetation is sparse, this index is more sensitive to changes and serves as a dependable tool that describes a thorough understanding of the condition of the area.

Data and method: This study was conducted through documentation and a review of research carried out in global and country scales, Iran. It has analyzed a vast array of international and national articles on desertification and net primary production.

Results: Net Primary Production (NPP) can serve as a crucial indicator for monitoring and assessing desertification due to its flexibility in explaining a region's desertification level. Additionally, it can uncover the impacts of human activities and climatic changes. The CASA model is one tool among several methods used to estimate NPP. It has gained widespread application at various global and regional scales, and its effectiveness is well-established. The CASA model is suitable and reliable appropriate for NPP estimation, which estimates NPP values based on remote sensing and meteorological data. This is because NPP is determined by natural weather factors that vary across regions. Essentially, the CASA model is an ecological model that depends on the photosynthetic efficiency of the vegetation canopy.

[1]- **Corresponding Author: Morteza Akbari**, Associate Professor, Department of Desert Areas Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. **E-mail:** m-akabri@um.ac.ir ☎ Office Tel: (+98) 9155183055, 5138805469

Conclusion: Desertification poses a serious threat to people's livelihoods, health, and future. Therefore, before taking any action to combat it, the situation should be examined and understood using proven methods. Estimating the net primary production (NPP) index with the CASA model is a globally recognized approach in this field. However, the research conducted in Iran on this subject is relatively scarce. For this reason, employing this index to assess the intensity and monitoring desertification is highly recommended, particularly in Iran, where a significant portion of the land is arid and semi-arid. The NPP index, as an effective measure, has been widely used and validated in extensive research around the world.

Keywords: Assessment, Land degradation, Net primary production, Remote sensing, CASA model

۱- مقدمه

بیابان‌زایی به عنوان یک تهدید و مخاطره خسارت‌زا در دوره آنتروپوسن (قرن گذشته تا کنون)، به دلیل تهدید زندگی و معیشت میلیون‌ها انسان و همچنین به دلیل ایجاد نگرانی در مورد زندگی نسل آینده بشر، توجه جهان را به خود معطوف کرده است. عمده نگرانی‌های مربوط به بیابان‌زایی ناشی از کاهش بهره‌وری زمین، به ویژه در مناطق خشک است (اکبری و همکاران، ۲۰۱۶) و این به معنای کاهش پتانسیل زمین برای پشتیبانی از تولید غذای انسان‌ها از طریق کشاورزی در این مناطق است. به طوریکه از سال ۱۹۹۴ به طور رسمی کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی سازمان ملل متحد (UNCCD) شکل گرفته و فعالیت خود را در سطح جهان آغاز نمود و اکنون در آستانه ۳۰ سالگی و اوج فعالیت خود قرار دارد. بر اساس تعریف UNCCD، بیابان‌زایی به تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک جنب مرطوب ناشی از فعالیت های انسانی و همچنین تغییرات اقلیمی، بیابان‌زایی گفته می‌شود (UNCCD, 1994). این پدیده، فرآیندی بطئی و آهسته است که در طولانی مدت رخ می‌دهد و می‌تواند توسط عوامل متعددی ایجاد و هدایت شود. به نحویکه شدت اثر آن در مناطق خشک از سایر اقلیم‌ها بیشتر است (ریورا مارین و همکاران، ۲۰۲۲). لذا، اهمیت موضوع بیابان‌زایی با توجه به اینکه ۴۱ درصد زمین‌های سطح جهان شامل مناطق خشک هستند دوچندان می‌شود که این مقدار حدود ۴۵ در صد از کشاورزی دنیا را نیز در خود جای داده‌اند (بورل و همکاران، ۲۰۲۰). اثرات اقتصادی و محیط زیستی قابل توجهی در نتیجه بیابان‌زایی حاصل می‌شود و طبق برآوردها در سطح جهان، حدود ۱/۴ میلیارد نفر متاثر از این فرآیند مخرب بوده که ۷۴ درصد آن‌ها را افراد فقیر در برمی‌گیرند (ریورا مارین و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین بیابان زایی به عنوان یک مشکل محیط زیستی و مانعی برای توسعه یکپارچه در چندین دهه شناخته شده است (بیسارو و همکاران، ۲۰۱۴).

عوامل زیادی از جمله؛ خشکسالی، فرسایش خاک، تخریب پوشش گیاهی توسط چرای سنگین دام، فعالیت‌های معدنی، جمعیت رو به رشد، فقر، زیرساخت‌های ضعیف و عدم دسترسی به بازار، توسعه سیاست‌های اشتباه و تحقیقات کشاورزی و زیست‌محیطی، باعث توسعه و تشدید فرآیند بیابان‌زایی می‌شوند (اکبری و همکاران، ۲۰۲۰). مسئله بیابان‌زایی آنقدر مهم است که در پانزدهمین هدف از اهداف هفده‌گانه توسعه پایدار (SDGs) که در کنفرانس ریو در سال ۲۰۱۲ در مورد آن‌ها تصمیم‌گیری شد، به طور خاص به اهداف حفاظت، بازیابی و ترویج استفاده پایدار از اکوسیستم‌های زمینی، مدیریت پایدار جنگل‌ها، مقابله با بیابان‌زایی، و توقف و معکوس سازی آن اشاره شده است (بریا سولیس، ۲۰۱۹). علاوه بر این‌ها برخی از اهداف دیگر توسعه پایدار همچون ریشه‌کنی فقر، توسعه اقتصادی، دسترسی به آب سالم و بهداشتی و غیره در گرو مقابله با بیابان‌زایی می‌باشد که به طور مفصل در تارنمای UNCCD به آن‌ها اشاره و نحوه ارتباط هرکدام با این فرآیند مخرب، تشریح شده است. اما لازمه تمام این موارد، داشتن شناخت مناسب از این پدیده است که در مکان و زمان متفاوت تحت تاثیر عوامل متفاوتی به پیشروی خود ادامه می‌دهد.

یکی از علائم مشخص این فرآیند مخرب، تغییرات در پوشش گیاهی است چراکه به دلیل پویایی زیاد، تحت تاثیر محیط اطراف می‌باشد. به عنوان مثال یکی از پیامدهای منفی بیابان‌زایی، از دست رفتن خاک و مواد مغذی موجود در آن مانند نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) است که حاصل فرسایش است و موجب کاهش حاصلخیزی خاک و تاثیر منفی بر اکوسیستم‌های منطقه می شود. در نتیجه این فرآیند مخرب پوشش گیاهی تخریب می شود (فنگ و همکاران، ۲۰۱۵) و در نتیجه تخریب پوشش گیاهی نیز، مجدد فرسایش خاک و از دست رفتن آن اتفاق می‌افتد که به صورت یک چرخه هم‌افزایی بسیار مضر، سبب تشدید این پدیده می شود. از این رو پوشش گیاهی می‌تواند وضعیت یک منطقه

م شخص را در طول یک بازه زمانی از لحاظ فرآیند بیابان‌زایی م شخص کند؛ چراکه یکی از اجزای ا صلی بیو سفر زمین اســت و نقش مهمی در برقراری تعادل جهانی کربن، کاهش میزان افزایش غلظت دی اکســید کربن در جو و همچنین کنترل تغییرات آب و هوای جهانی دارد (زو و همکاران، ۲۰۱۷).

در این میان، تولید خالص اولیه[1] (NPP) به عنوان یک شــاخص مهم، کلیدی و قابل درک، جهت ارزیابی ســلامت اکو سی ستم و همچنین پایش فرآیند تخریب سرزمین و بیابان‌زایی مورد ا ستفاده قرار گرفته ا ست که در تعریفی ب سیار ســاده، به عنوان تفاوت بین فتوســنتز و تنفس اتوتروف توســط گیاهان ســبز در واحد زمان و مکان تعریف می شــود (جیانگ‌لین و بائولین، ۲۰۱۶). با توجه به پویایی قابل توجهی که این شــاخص دارد، می‌تواند توضــیح نســبتا کاملی از پتانســیل و شــدت تخریب ســرزمین و بیابان‌زایی در یک منطقه معین ارائه کند. بنابراین در این پژوهش ابتدا مروری بر جایگاه و اهمیت تخریب ســرزمین و بیابان‌زایی انجام گرفت و ســپس جایگاه و اهمیت این شــاخص مهم و کلیدی در ارزیابی و پایش تخریب ســرزمین و بیابان‌زایی مورد بحث قرار گرفته و خلاصــه‌ای از نحوه برآورد آن توضــیح داده شــده است.

۲-تولید خالص اولیه NPP

یکی از اجزای کلیدی چرخه کربن زمینی تولید خالص اولیه (NPP) اســت (جیانگ‌لین و بائولین، ۲۰۱۶) که همان مواد آلی باقی مانده به هنگام کسر از مواد م صرف شده تو سط تنفس اتوتروفیک گیاه ا ست که به صورت کربن در گیاه ذخیره می شوند؛ در حالی که به کل مواد آلی تولید شده تولید ناخالص اولیه[2] (GPP) اطلاق می شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۴). در رابطه شماره (۱)، رابطه ریاضی بین NPP و GPP آورده شده است (دب‌برمن، ۲۰۲۰).

$$NPP=GPP-R_A \quad (۱)$$

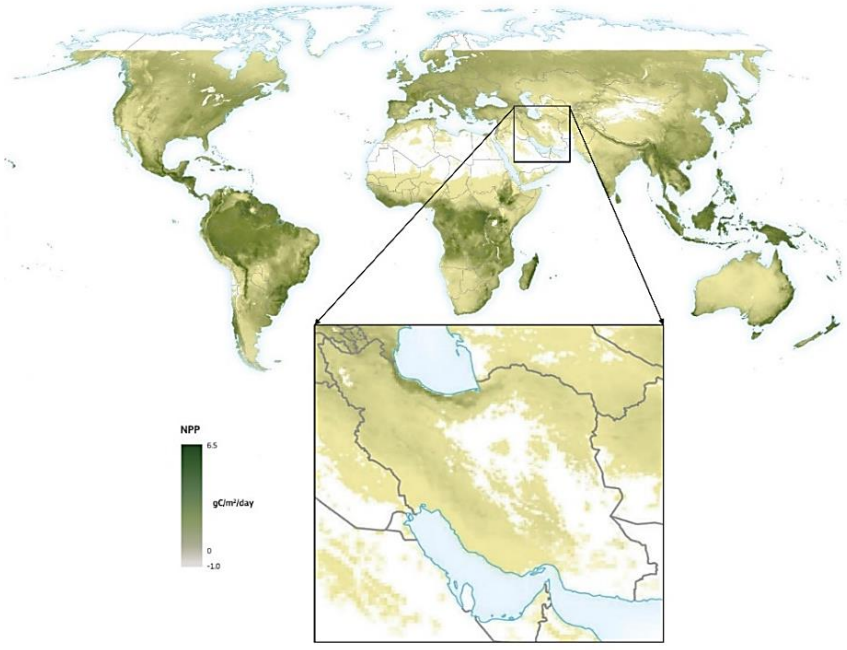
که در آن، R_A نشان‌دهنده تنفس اتوتروفیک توسط گیاهان است.

این شاخص کلیدی، به عنوان پایه و ا ساس منبع انرژی در اکو سی ستم عمل می‌کند که نه تنها موجب حفظ ا شکال مختلف زندگی در یک اکو سی ستم می شود، بلکه ا ساس زنجیره غذایی را نیز ت شکیل می‌دهد و بر فراوانی و تنوع گونه‌ها تأثیرگذار ا ست. به بیانی دیگر، NPP در واقع نشان دهنده میزان انرژی جذب شده توسط گیاهان از طریق فتوسنتز ا ست (پال و پرادان، ۲۰۲۴) که تبدیل به کربن موجود در گیاه برای تخصــیص به برگ، ســاقه، ریشــه، ترکیبات دفاعی و تولید مثل ا ست و معیار ا ساسی تولید بیولوژیک ا ست و ر شد درختان، علوفه موجود برای چرا، تولید مواد غذایی و تولید سوخت ف سیلی، به شدت تو سط NPP کنترل می شوند (وایت و همکاران، ۲۰۰۰). تغییرات مکانی-زمانی در NPP عمدتاً تحت تأثیر تعامل پیچیده بین پو شش گیاهی، خاک و عوامل آب و هوایی قرار می‌گیرد و همچنین به شدت تحت تأثیر فعالیت های انســانی می‌باشــد (یو و همکاران، ۲۰۰۹). به طوریکه تفاوت بین NPP واقعی و پتانســیل، می‌تواند به عنوان ابزاری ارزشمند جهت شناسایی و تفکیک اثرات انسانی بر اکوسیستم‌های مرتعی در سطوح وسیع مورد استفاده قرار گیرد (یغمایی و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین، برآورد NPP به عنوان یک شاخص پویا و مبتنی بر تغییرات پو شش گیاهی برای پیش‌بینی ظرفیت آتی کربن در زمینه کنترل گرمایش جهانی نیز امری ضروری است (سان و همکاران، ۲۰۲۱). چراکه NPP، نقشی مهم در تعیین توانایی اکوســیســتم برای تثبیت و ترســیب کربن دارد (لی و همکاران، ۲۰۲۳). لذا NPP، پتانســیل بالایی

[1] net primary production
[2] gross primary production

جهت آشکار سازی روند بیابان‌زایی دارد و مطالعات زیادی در این زمینه در سطح دنیا صورت گرفته است. مخصوصا در مناطق خشک و نیمه‌خشک که پوشش گیاهی محدود است، این شاخص حساسیت بیشتری به تغییرات نشان می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک ابزار قابل اعتماد که توضیح کاملی از شرایط منطقه مورد می‌دهد، مورد استفاده قرار گیرد.

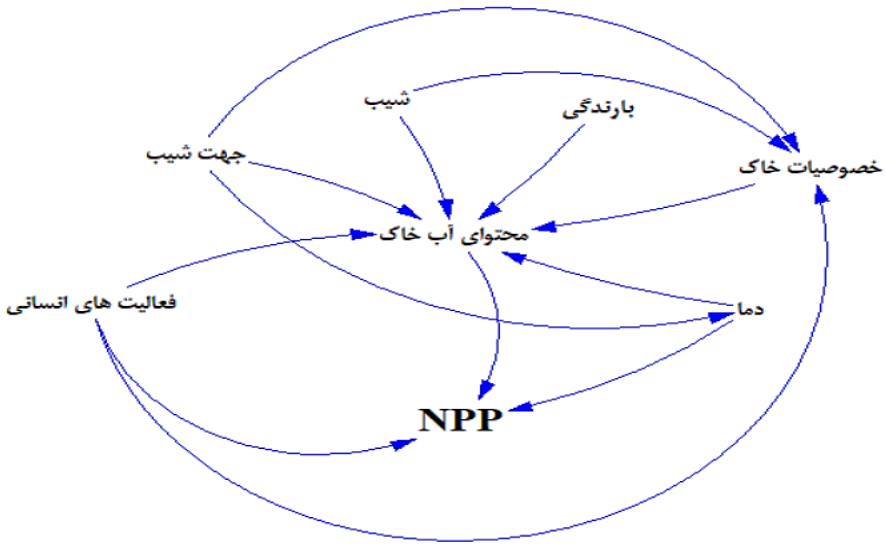
اهمیت NPP تا آن‌جاست که نقشه آن برای کل دنیا در اطلس جهانی بیابان‌زایی[1] (WAD) آورده شده است (تهیه شده توسط مرکز تحقیقات مشترک اتحادیه اروپا) و از آن به عنوان پایه و اساس تمام خدمات اکوسیستمی یاد شده است؛ چراکه سلامت و رفاه همه موجودات به طور مستقیم و غیرمستقیم، به این تولید خالص اولیه وابسته است. شکل (۱)، نقشه NPP را که به آن اشاره شد با وضوح مکانی ۵۰۰ متر، برای کل دنیا نمایش می‌دهد که کشور ایران در آن مشخص شده است. این تولید برحسب گرم کربن در متر مربع در روز بیان می‌شود. همان‌طور که مشخص است، تولید خالص اولیه در امتداد خط استوا و در بازه عرض ۱۰ درجه جنوبی تا ۱۰ درجه شمالی، در بیشترین حالت خود و در مدار راس السرطان در نیمکره شمالی و عرض ۱۵ تا ۳۵ درجه شمالی و همچنین در مدار راس الجدی در نیمکره جنوبی و عرض ۱۵ تا ۳۵ درجه جنوبی که به کمربندهای خشک زمین نیز نام‌گذاری شده‌اند، تولید بسیار کم و یا صفر است. کشور ایران نیز که در کمربند خشک جنب حاره نیمکره شمالی قرار گرفته است، جزو مناطق خشک کره زمین محسوب می‌شود. به جز مساحتی کمی واقع در شمال ایران که شامل جنگل‌های مسن هیرکانی می‌باشد، در باقی مناطق تولید به نسبت کم و یا صفر است و این نشان‌دهنده پتانسیل بالای بیابان‌زایی در کشور می‌باشد. لازم به ذکر است که مقادیر منفی در راهنمای این نقشه، به معنای این است که مقدار کربن آزاد شده از طریق تنفس بیش از مقدار جذب شده آن از طریق فتوسنتز است و این به معنای این است که آن اکوسیستم یک منبع کربن است تا یک مخزن کربن.



شکل (۱): نقشه تولید خالص اولیه (ماخذ: مرکز تحقیقات مشترک اتحادیه اروپا)

[1] World Atlas of Desertification

همچنین به ارتباط بین پوشش گیاهی و سایر اجزای اکوسیستم، اعم از زنده (مانند حیوانات، انسان‌ها و غیره) و غیر زنده (مانند توپوگرافی، ارتفاع، شیب، نوع خاک، بارندگی و غیره) در مطالعات زیادی اشاره شده است. این به معنای تاثیر تمام آن‌ها بر تولید خالص اولیه توسط گیاه نیز می‌باشد. به عنوان مثال آب که لازمه حیات و بقای هر جانداری است و غالبا هنگام وجود در خاک مورد استفاده گیاهان قرار می‌گیرد یکی از عوامل موثر بر NPP می‌باشد که تحت عنوان محتوای آب خاک[1] (SWC) از آن یاد می‌شود و توسط دما و بارندگی کنترل می‌شود (یین و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین بافت خاک به همراه سایر خصوصیات خاک، بر توزیع و مدت آب ذخیره شده در خاک، تأثیر می‌گذارد که در نتیجه آن توزیع گیاه در سطح زمین و ساختار پوشش گیاهی نیز توسط آن کنترل می‌شود (فرناندز–ایلسکاس و همکاران، ۲۰۰۱). و یا در مورد جهات شیب که شیب‌های آفتابی به دلیل تابش خورشیدی قوی‌تر و در پی آن تبخیر بیشتر، رطوبت کمتری را حفظ می کنند (ژو و همکاران، ۲۰۱۸). شیب نیز بر رطوبت خاک و در نهایت پوشش گیاهی تاثیرگذار است؛ زیرا با نرخ نفوذ آب با افزایش شیب کاهش می یابد (موربیدلی و همکاران، ۲۰۱۸). و ارتباطاتی از این قبیل که نشان‌دهنده پویایی سیستم بر روی کره زمین می‌باشند. شکل (۲) که با استفاده از آخرین نسخه نرم‌افزار Vensim PLE ترسیم شده است، نمایش ساده‌ی برخی از این روابط را نشان می‌دهد که توضیح بیشتر درباره این موضوع، خارج از بحث این مطالعه است.



شکل (۲): نحوه تاثیر گذاری عوامل مختلف بر NPP

بنابراین، با توجه به ارتباطات گسترده‌ای که بین عوامل مختلف و NPP وجود دارد و شکل (۲) فقط به تعداد اندک اما کلیدی از این روابط ا شاره کرده ا ست، برر سی این شاخص پویا و کلیدی در یک بازه زمانی م شخص می‌تواند به خوبی گزارشی از وضعیت اکوسیستم منطقه مورد مطالعه بدهد؛ چراکه هر گونه تغییر در آن، نشانه‌ای است از تغییر در سایر اجزا که باید مورد بررسی و کاوش قرار گیرد.

[1] Soil Water Content

۳-مدل CASA، روشی کارآمد جهت ارزیابی تولید خالص اولیه

روش‌های میدانی برآورد NPP، اطلاعات را به صـــورت نقطه‌ای در اختیار محققان قرار می‌دهد و هرچند که از دقت بالایی برخوردار است و در موارد بسیاری جهت صحت‌سنجی مقادیر برآورد شده NPP از طریق مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما در مقیاس جهانی و منطقه‌ای کاربردی نمی‌باشند و در این موارد، استفاده از مدل‌های برآورد NPP معنادارتر و کاربردی‌تر است (کیو و همکاران، ۲۰۲۲).

جهت برآورد NPP در مطالعات، ســـه نوع مدل مورد اســـتفاده قرار گرفته‌اند که شـــامل مدل‌های آماری، مدل‌های پارامتری و مدل‌های مبتنی بر فرآیند می‌باشند. در این میان، مدل CASA که نخستین بار توسط پاتر و همکاران (۱۹۹۳) ارائه شده است، یک مدل مبتنی بر فرآیند عالی برای برآورد NPP می‌باشد که جزو مدل‌های مبتنی بر فرآیند بوده (هو و همکاران؛ ۲۰۱۴) و مقدار NPP را بر اساس اطلاعات سنجش از دوری و همچنین اطلاعات آب و هوایی برآورد می‌کند و این یک مزیت محســـوب می‌شـــود؛ چراکه NPP با توجه به عوامل طبیعی آب و هوایی موثر بر پوشـــش گیاهی که از منطقه‌ای به منطقه دیگر فرق می‌کنند، برآورد می‌شـــود (ژو و همکاران، ۲۰۱۷). مدل CASA در واقع یک مدل اکولوژیکی است که بر کارایی فتوسنتزی تاج پوشش گیاهی تکیه دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۴) چرا که مبتنی بر استفاده از انرژی نور ا ست و در بـ سیاری از مطالعات از مقیاس‌های کوچک مثل شهرها تا مقیاس‌های بزرگ مثل سرا سر جهان مورد ا ستفاده قرار گرفته ا ست (خو و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین این مدل، اغلب به عنوان مدل بهره‌وری ا ستفاده از نور (LUE) نیز نامیده می شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۴). مدل CASA از تشعشعات فعال فتوسنتزی جذب شده که توسط ویژگی‌های پو شش گیاهی تعیین شده‌اند و همچنین کارایی ا ستفاده از نور واقعی که تو سط عوامل محیطی محدود می شـــود، برای برآورد NPP اســـتفاده می‌کند (لیانگ و همکاران، ۲۰۲۳). در ادامه نحوه برآورد NPP از طریق این مدل و خلاصه‌ای از روابط مربوط به آن، شرح داده شده است. NPP از طریق رابطه (۲) برآورد می‌شود.

$$NPP(x, t)=APAR(x, t)\times\varepsilon(x, t) \quad (۲)$$

که در آن $APAR(x, t)$ به عنوان همان تشعشعات فعال فتو سنتزی جذب شده و $\varepsilon(x, t)$ نیز کارایی ا ستفاده از نور در نظر گرفته می‌شوند. نحوه برآورد APAR در رابطه (۳) آورده شده است.

$$APAR(x, t)=FPAR(x, t)\times SOL(x, t)\times 0.5 \quad (۳)$$

که در آن $FPAR(x, t)$ کسری از تشعشعات فعال فتو سنتزی بوده و $SOL(x, t)$ نیز به عنوان تابش کل خور شیدی، درنظر گرفته می شود. در مطالعات زیادی برای محاسبه تابش کل خورشیدی که نشان‌دهنده میزان تابش دریافتی توسط سطح می‌باشد، از مدل آنگستروم پرسکات استفاده شده است (هادیان و همکاران، ۲۰۱۹؛ یغمایی و همکاران، ۲۰۲۱؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۷). از موارد مورد نیاز جهت برآورد تابش کل خور شیدی ر سیده به سطح تو سط این مدل، تعداد ساعات آفتابی واقعی می‌باشد که توسط ایستگاه‌های هواشناسی ثبت می‌شوند. FPAR نیز از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$FPAR(x, t)= a\times FPAR_{\text{veg index 1}}+(1-a)\times FPAR_{\text{veg index 2}} \quad (۴)$$

که در آن، $FPAR_1$ و $FPAR_2$ به ترتیب از طریق دو رابطه (۵) و (۶) محاسبه می‌شود و هر کدام جدگانه از طریق دو شاخص تفاوت گیاهی نرمال‌شده (NDVI[1]) و نسبت ساده (SR[2]) محاسبه می‌شوند و میانگین آن‌ها جهت کاهش خطا در برآورد $FPAR(x, t)$، مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولا مطابق با مدل ابتدایی CASA، اکثر مطالعات از همین دو شاخص جهت برآورد این پارامتر استفاده می‌کنند مقدار a نیز در برخی مطالعات، ۰/۵ در نظر گرفته شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ کیو و همکاران، ۲۰۲۲).

$$FPAR_1=\frac{[(NDVI)(x,t)-(NDVI)_{i,min}]\times(FPAR_{max}-FPAR_{min})}{(NDVI)_{i,max}-(NDVI)_{i,min}}+FPAR_{min} \quad (۵)$$

$$FPAR_2=\frac{[(SR)(x,t)-(SR)_{i,min}]\times(FPAR_{max}-FPAR_{min})}{(SR)_{i,max}-(SR)_{i,min}}+FPAR_{min} \quad (۶)$$

که در روابط (۵) و (۶)، $FPAR_{min}$ و $FPAR_{max}$ به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۰/۹۵ درنظر گرفته شـــده‌اند (پاتر و همکاران، ۱۹۹۹). پارامتر باقی مانده جهت محاسبه، کارایی استفاده از نور می‌باشد که طبق را بطه (۷)، قابل محاسبه است.

$$\varepsilon(x,t)=T_{\varepsilon1}(x,t)\times T_{\varepsilon2}(x,t)\times W\varepsilon(x,t)\times\varepsilon_{max} \quad (۷)$$

که در آن، $T_{\varepsilon1}(x,t)$ و $T_{\varepsilon2}(x,t)$ ضرایب تنش دما هستند. $W\varepsilon(x,t)$ نیز ضریب تنش رطوبتی و ε_{max} بیشینه استفاده از نور است (یو و همکاران، ۲۰۰۹) که در مدل اولیه ارائه شده در سال ۱۹۹۳، مقدار ثابت ۰/۴۰۵ در نظر گرفته شده است. اما طبق نتایج مطالعات بعدی، این مقدار برای پوشـــش گیاهی متفاوت از قبیل درخت، بوته، علفزار و غیره فرق می‌کند و بهتر اســـت مطابق همان نوع پوشـــش گیاهی تعیین شـــود (ژو و همکاران، ۲۰۰۶؛ لیانگ و همکاران، ۲۰۲۲). مقادیر $T_{\varepsilon1}(x,t)$ و $T_{\varepsilon2}(x,t)$، به ترتیب از طریق روابط (۸) و (۹) قابل محاسبه می‌باشند.

$$T\varepsilon1(x,t)=0.8+0.02T_{opt}(x,t)-0.0005\times2[T_{opt}(x,t)]^2 \quad (۸)$$

$$T\varepsilon2(x,t)=\frac{1/1814}{\{1+\exp[0.2(T_{opt}(x,t)-10-T(x,t))]\}\times\{1+\exp[0.3(-T_{opt}(x,t)-10+T(x,t))]\}} \quad (۹)$$

که $Topt(x,t)$ در هر دو رابطه، به میانگین دمای ماهی از سال اشاره دارد که مقدار شاخص پوشش گیاهی $NDVI$ در آن ماه نسبت به سایر ماه‌های سال بیشتر باشد. به طور معمول، مقدار این شاخص در ماه‌های اردیبهشت و سپس در خرداد مطابق با اقلیم کشـور ایران دارای بیشـترین مقدار می‌باشـد. $T(x,t)$ نیز مقدار دما در مکان مشـخص x و زمان مشخص t می‌باشد. همچنین مقدار ضریب تنش رطوبتی یا همان $W\varepsilon(x,t)$ از طریق رابطه (۱۰) برآورد می‌شود.

$$W_\varepsilon=0.5+0.5\times\frac{E(x,t)}{E_P(x,t)} \quad (۱۰)$$

که در آن، $E(x,y)$ تبخیر و تعرق واقعی و $E_P(x,y)$ پتانسیل تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

[1] Normalized Difference Vegetation Index
[2] Simple Ratio

البته در کنار مزایایی که این مدل دارد و به آن‌ها اشاره شد، مطالعاتی نیز انجام شده‌اند که با ادله کافی، به بهبود این مدل پرداخته‌اند (وو و همکاران، ۲۰۲۲؛ کیو و همکاران، ۲۰۲۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ بائو و همکاران، ۲۰۱۶، هوآنگ و همکاران، ۲۰۲۲). به عنوان مثال در پژوهشی استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی متناسب با مناطق خشک پیشنهاد شده است (هوآنگ و همکاران، ۲۰۲۲). و یا درپژوهشی دیگر استفاده از شاخص آب سطح زمین[1] (LSWI) جهت برآورد ضریب تنش رطوبتی در مناطق خشک پیشنهاد شده است (بائو و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین محققان برای استفاده از این مدل باید به منطقه مورد مطالعه توجه ویژه داشته باشند و اگر نیاز بود تغییراتی متناسب با آن منطقه در آن ایجاد کنند و از طریق مقایسه با اندازه‌گیری‌های زمینی و یا مقایسه با تولیدات NPP سنجنده مودیس (MOD17A3HGF)، دقت آن را صحت‌سنجی کنند. شاید در ذهن خواننده این سوال بوجود بیاید که چرا با وجود تولیدات NPP سنجنده مودیس، نیاز به برآورد این شاخص کلیدی برای ارزیابی بیابان‌زایی از طریق مدل وجود دارد. جواب این است که این تولیدات، برای کشور ایران که در مناطق خشک واقع شده‌اند، ناقص می‌باشند و همچنین استفاده از مدل‌ها و مخصوصا مدل CASA، مقادیر NPP را با توجه به شرایط محلی برآورد می‌کند که همین امر باعث افزایش دقت برآورد این شاخص می شود. اما به هر حال طبق مطالعات قبلی، می‌تواند به عنوان داده‌های قابل اعتماد جهت اعتبارسنجی مقادیر تخمین‌زده شده از طریق مدل CASA، مورد استفاده قرار گیرد (سان و همکاران، ۲۰۲۱).

برآورد NPP از طریق این مدل، می‌تواند در نرم‌افزارهایی همچون GIS، R، Matlab و یاحتی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین (GEE) صورت گیرد. یکی از پارامترهای مورد استفاده در این مدل، شاخص‌های پوشش گیاهی می‌باشند که نیاز برای تهیه آن‌ها باید از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شود که انجام این کار با استفاده از نرم‌افزارهایی همچون Envi و یا Erdas Imagine کاری زمان‌بر و سخت می‌باشد؛ مخصوصا زمانی که نیاز به برآورد NPP در یک بازه زمانی طولانی جهت پایش و ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی و یا تهیه نقشه‌های NPP با وضوح مکانی بالا باشد. اما در بازه زمانی که GEE در اختیار محققان قرار گرفته است، انجام این کار بسیار آسان و سریع صورت می‌گیرد. GEE، یک سامانه محاسبات مبتنی بر فضای ابری است که برای ذخیره و پردازش مجموعه داده‌های بسیار عظیم (در مقیاس پتابایت) و تجزیه و تحلیل و تصمیم‌گیری نهایی طراحی شده که مخزن داده‌های عظیم مجموعه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای برای کل جهان است که در بیش از ۴۰ سال گذشته به ثبت رسیده‌اند (کومار و موتانگا، ۲۰۱۸). کاربران این سامانه همچنین می‌توانند داده‌ها و مجموعه‌های خود را به فضای ابری این سامانه اضافه کرده و آن‌ها را مدیریت کنند؛ در حالی که از منابع ابری موجود در آن نیز برای انجام تمام پردازش‌های مورد نیاز خود استفاده کنند (موتانگا و کومار، ۲۰۱۹). بنابراین استفاده از این سامانه برای انجام محاسبات مربوط به شاخص‌های مورد نیاز جهت برآورد NPP و یا تمامی محاسبات مربوط به آن، می‌تواند بسیار مفید و کارآمد باشد.

٤-مطالعات انجام شده در ارتباط با NPP و ارزیابی بیابان‌زایی در جهان و ایران

مطالعات زیادی جهت ارزیابی و پایش بیابان‌زایی با تمرکز بر NPP در سطح دنیا و کشور ایران صورت گرفته. برخی از آن‌ها با استفاده از مدل‌های دیگر مقادیر NPP را برآورد کرده‌اند و برخی نیز با استفاده از مدل CASA این کار را به انجام رسانده‌اند که در مورد مدل CASA، بیشتر از ۱۰۰ پژوهش در سطح دنیا صورت گرفته است (جی و

[1] Land Surface Water Index

همکاران، ۲۰۱۶). اغلب مطالعات صورت گرفته در کشور ایران، با استفاده از مدل CASA مقادیر NPP را برآورد کرده‌اند.

از مطالعاتی که در جهان با تمرکز بر NPP و بدون استفاده از مدل CASA به انجام رسیده، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. ژو همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از NPP به عنوان یک شاخص بیابان‌زایی، به ارزیابی نقش نسبی تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در گسترش بیابان‌زایی پرداختند. آن‌ها با استفاده از مدل CASA مقادیر NPP را طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ در شمال غربی چین تخمین زدند. نتایج نشان این پژوهش داد که ۵۵/۸ درصد از مناطق شمال غربی چین شاهد گسترش بیابان‌زایی بوده‌اند که نقش نسبی فعالیت‌های انسانی و تغییر اقلیم در گسترش بیابان‌زایی به ترتیب ۷۰/۳ درصد و ۲۱/۷ درصد تشخیص داده شد. محققان در این مطالعه ذکر کردند که اگر ارزیابی کمی بر اساس گسترش منطقه بیابان‌زایی باشد و یا بر اساس تغییرات NPP باشد، به هر حال اثر فعالیت‌های انسانی بر گسترش بیابان‌زایی غالب بوده است. هو و همکاران (۲۰۲۰)، روند تغییرات بیابان‌زایی را از طریق بررسی روند NPP طی یک دوره ۱۶ ساله در قزاقستان، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و به ارزیابی نقش عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی پرداختند. آن‌ها متوجه شدند که افزایش دما و کاهش بارندگی از تاثیرات تغییر اقلیم است که سبب روند افزایشی بیابان‌زایی با شدت متفاوت در نقاط مختلف شده است. همچنین توسعه نامناسب فعالیت‌های مرتبط با زمین طی سال‌های اخیر در این کشور مثل توسعه دامداری و کشاورزی، جزو عوامل انسانی تشدیدکننده روند بیابان‌زایی قرار گرفتند. آن‌ها در این پژوهش توصیه کردند که کلید کنترل بیابان‌زایی، تغییر حالت توسعه گسترده کشاورزی فعلی است؛ به این معنی که گسترش زمین‌های زیر کشت و رشد نامحدود دام، باید سریعا کاهش یابد. کورسیو و همکاران (۲۰۲۳)، برای بررسی روند بیابان‌زایی در اولنگ‌های پاتاگونیا، جوامع گیاهی که به جهت تغذیه مداوم و زیاد توسط آب‌های شیرین زیرقشری، جزو محیط‌های خاص به شمار می‌روند؛ روند تغییرات NPP را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در بیش‌تر مناطق مورد مطالعه با توجه به کاهش مقادیر NPP، بیابان‌زایی اتفاق افتاده است و فقط در بخش‌های کوچکی مقادیر NPP افزایش یافته است. همین امر باعث کاهش ظرفیت این جوامع گیاهی در ترسیب کربن و چرای دام شده است. همچنین محققان در این پژوهش به این نتیجه رسیدند که ۵۵ درصد که حدود ۱۳۷۰۰۰ هکتار از منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، تحت تاثیر بدترین حالت تخریب قرار دارد.

برخی از مطالعاتی که مقادیر NPP را با استفاده از مدل CASA برآورد کرده‌اند که همان‌طور که اشاره شد، غالب مطالعات صورت گرفته در کشور ایران نیز از همین نوع می‌باشند. به عنوان مثال ساکی و همکاران (۲۰۱۹)، با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی NPP، مقادیر این شاخص مهم را در بازه زمانی ۹ ساله و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ با استفاده از مدل CASA برآورد کردند. برای این کار، آن‌ها مراتع استان اصفهان را در هفت اقلیم متفاوت مورد مطالعه قرار دادند. طبق نتایج، بیشترین و کمترین مقادیر NPP به ترتیب در اقلیم‌های سرد مرطوب و فوق خشک گرم برآورد شدند که مهم‌ترین دلیل آن بارش بیشتر در مناطق خشک و مرطوب شناسایی شد. همچنین محققان در این پژوهش، خشکسالی را مهم‌ترین عامل در جهت کنترل تغییرات زمانی–مکانی NPP گزارش کردند. یغمایی و همکاران (۲۰۲۰)، جهت بررسی تاثیر خشکسالی بر NPP، مقادیر آن را با استفاده از مدل CASA در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ در مراتع استان چهار محال و بختیاری برآورد کردند. آن‌ها برای بررسی تغییرات زمانی–مکانی NPP نسبت به خشکسالی از شاخص خشکسالی استاندارد شده پالمر[1] (SPDI) استفاده کردند. نتایج نشان داد که مقادیر NPP طی دوره مورد مطالعه در این پژوهش سیر نزولی

[1] Standardized Palmer Drought Index

داشته و ضریب همبستگی بین NPP و SPDI با توجه به نوع مراتع، از ۱۰ درصد تا ۸۵ درصد متفاوت بدست آمد. دشتی و همکاران (۱۴۰۱)، جهت ارزیابی گسترش بیابان‌زایی در دو شهر تربت حیدریه و بجنورد که به ترتیب در استان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی در کشور ایران واقع شده‌اند، مقادیر NPP را از طریق مدل CASA برای یک دوره ۳۰ ساله تخمین زدند. آن‌ها با استفاده از ۶ سناریو، نقش نسبی تأثیر عوامل اقلیمی و فعالیتهای انسانی در بیابان‌زایی را آشکار کردند. نتایج نشان داد که در ۶۱/۲۳ درصد از سطح مناطق مورد مطالعه، گسترش بیابان‌زایی ناشی از تغییرات اقلیمی بوده و در ۳۸/۷۷ درصد این مناطق گسترش بیابان‌زایی ناشی از تعامل عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، بوده است. و مطالعات مشابه دیگری که البته با توجه به وسعت کشور ایران که غالبا خشک و نیمه خشک می‌باشد، نیاز هرچه بیشتر به آن‌ها حس می‌شود تا دولتمردان و سیاستمداران با استفاده از آن‌ها بتوانند سیاست‌های کارآمد و برنامه‌ریزی سودمندی را پیش‌بینی کنند.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه که به صورت اسنادی و مروری انجام گرفت، ابتدا به اهمیت و جایگاه مسئله بیابان‌زایی در سطح دنیا پرداخته شد سپس در مورد تولید خالص اولیه و اهمیت آن به عنوان یک شاخص ارزیابی بیابان‌زایی بحث شد و در نهایت به شرح اختصاری روابط مربوطه به محاسبه این شاخص مهم از طریق مدل CASA پرداخته شد. برخلاف این که بیابان‌زایی، فرآیندی آهسته است، اما یکی از مخاطرات مهم محیطی به حساب می‌آید و آثار زیان‌بار آن در طول زمان قابل رویت است. به همین دلیل آثاری که هم اکنون به چشم می‌خورد، نتیجه پیشروی این پدیده در چندین سال گذشته است. لذا نباید از کنار این مسئله مهم راحت رد شد و در قبال آن کوتاهی کرد، بلکه باید مورد توجه بسیار نیز قرار گیرد؛ چراکه آثار زیان‌بار بیابان‌زایی در مواردی بسیاری غیر قابل جبران است که با معیشت، سلامت، رفاه و بسیاری از موارد ضروری دیگر برای انسان‌ها در نسل کنونی و آینده گره خورده است. اما لازمه مقابله با این فرآیند مخرب، نیاز به آگاهی و دانش لازم در رابطه با عملکر آن با توجه به منطقه مورد مطالعه وجود دارد تا بشود بر اساس آن برای ایجاد تمهیداتی جهت رویارویی با بیابان‌زایی آماده شد. لذا استفاده از شاخص‌هایی که یک دید چندجانبه داشته باشند و همچنین قابل اعتماد باشند، بسیار مهم است. تولید خالص اولیه یکی از کلیدی‌ترین و مهم‌ترین این شاخص‌ها می‌باشد که به طور گسترده در سطح دنیا، مورد استفاده قرار گرفته است. اما تعداد مطالعاتی که در این زمینه و با استفاده از این شاخص در کشور ایران صورت گرفته نسبتا محدود است. به همین جهت، این پژوهش به استفاده بیشتر و گسترده‌تر از آن جهت پایش فرآیند تخریب سرزمین در کشوری همچون ایران که دارای تنوع اقلیمی قابل توجهی می‌باشد و بخش اعظم آن را مناطق خشک در بر گرفته‌اند، توصیه می‌کند. علاوه بر این، محققان باید در جهت بهبود روش‌های برآورد این شاخص مهم کوشا باشند. کمترین کار در این زمینه، استفاده از تجربه‌های مطالعات قبلی جهت برآورد NPP و مقایسه با نتایج مدل اصلی در یک منطقه مشخص می‌باشد. و یا اینکه با توجه به مطالعات قبلی که بسیار در این زمینه کار شده است، ایده گرفته و مطابق با منطقه مورد مطالعه خود این مدل را بهبود بخشند. امروزه بعد از حدود ۳۰ سال، هنوز هم مطالعاتی در باب بهبود و اصلاح مدل CASA صورت می‌گیرد که نشان‌دهنده پتانسیل بسیار بالای آن جهت برآورد NPP می‌باشد.

٦- فهرست منابع

دشتی, جمال, نیکو, رحیمی, محمد, & اکبری. (۲۰۲۳). ارزیابی کمی گسترش بیابان‌زایی با بهره‌گیری از تغییرات زمانی-مکانی تولید خالص اوّلیه در مناطق خشک شمال شرق ایران. مدیریت بیابان, ۱۰(٤), ۳۹-٥٤.

Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H., Sadoddin, A., & Khosravi, H. (2016). Design and development of early warning system for desertification and land degradation. *Environmental Resources Research*, *4*(2), 111-130 .

Akbari, M., Shalamzari, M. J., Memarian, H & ,.Gholami, A. (2020). Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological Indicators*, *111*, 106011 .

Bao, G., Bao, Y., Qin, Z., Xin, X., Bao, Y., Bayarsaikan, S., Zhou, Y & ,.Chuntai, B. (2016). Modeling net primary productivity of terrestrial ecosystems in the semi-arid climate of the Mongolian Plateau using LSWI-based CASA ecosystem model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *46*, 84-93 .

Bisaro, A., Kirk, M., Zdruli, P., & Zimmermann, W. (2014). Global drivers setting desertification research priorities: insights from a stakeholder consultation forum. *Land degradation & development*, *25*(1), 5-16 .

Briassoulis, H. (2019). Combating land degradation and desertification: The land-use planning quandary. *Land*, *8*(2), 27 .

Burrell, A., Evans, J., & De Kauwe, M. (2020). Anthropogenic climate change has driven over 5 million km2 of drylands towards desertification. *Nature communications*, *11*(1), 1-11 .

Curcio, M., Irisarri, G., García Martínez, G., & Oesterheld, M. (2023). Trends of Aboveground Net Primary Productivity of Patagonian Meadows, the Omitted Ecosystem in Desertification Studies. *Remote Sensing*, *15*(10), 2531 .

Deb Burman, P. K. (2020). Estimation of Net Primary Productivity: An Introduction to Different Approaches. In *Spatial Modeling in Forest Resources Management: Rural Livelihood and Sustainable Development* (pp. 33-69). Springer .

Feng, Q., Ma, H., Jiang, X., Wang, X., & Cao, S. (2015 .(What has caused desertification in China? *Scientific reports*, *5*(1), 15998 .

Fernandez-Illescas, C. P., Porporato, A., Laio, F., & Rodriguez-Iturbe, I. (2001). The ecohydrological role of soil texture in a water-limited ecosystem. *Water Resources Research*, *37*(12), 2863-2872.

Hu, Y., Han, Y., & Zhang, Y. (2020). Land desertification and its influencing factors in Kazakhstan. *Journal of Arid Environments*, *180*, 104203.

Hua, L., Liu, H., Zhang, X., Zheng, Y., Man, W., & Yin, K. (2014). Estimation terrestrial net primary productivity based on CASA Model: a case study in Minnan urban agglomeration, China. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science ,

Huang, X., He, L., He, Z., Nan, X., Lyu, P., & Ye, H. (2022). An improved Carnegie-Ames-Stanford Approach model for estimating ecological carbon sequestration in mountain vegetation. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *10*, 1048607 .

Jay ,S., Potter, C., Crabtree, R., Genovese, V., Weiss, D. J., & Kraft, M. (2016). Evaluation of modelled net primary production using MODIS and landsat satellite data fusion. *Carbon Balance and Management*, *11*, 1-13 .

Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, *10*(10), 1509 .

Li, W., Zhou, J., Xu, Z., Liang, Y., Shi, J., & Zhao, X. (2023). Climate impact greater on vegetation NPP but human enhance benefits after the Grain for Green Program in Loess Plateau. *Ecological Indicators*, *157*, 111201 .

Liang, L., Geng, D., Yan, J., Qiu, S., Shi, Y., Wang, S., Wang, L., Zhang, L., & Kang, J. (2022). Remote Sensing Estimation and Spatiotemporal Pattern Analysis of Terrestrial Net Ecosystem Productivity in China. *Remote Sensing*, *14*(8), 1902.

Liang, L., Wang, Q., Qiu, S., Geng, D., & Wang, S. (2023). NEP Estimation of Terrestrial Ecosystems in China Using an Improved CASA Model and Soil Respiration Model. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* .

Morbidelli, R., Saltalippi, C., Flammini, A., & Govindaraju, R. S. (2018). Role of slope on infiltration: A review. *Journal of Hydrology*, *557*, 878-886.

Mutanga, O., & Kumar, L. (2019). Google earth engine applications. In (Vol. 11, pp. 591): MDPI.

Pal, M. K., & Pradhan, P. M. (2024). Development of Estimation Techniques for Solar Radiation, NDVI and Net Primary Productivity. *SN Computer Science*, *5*(4), 378 .

Potter, C. S., Klooster, S., & Brooks, V. (1999). Interannual variability in terrestrial net primary production: Exploration of trends and controls on regional to global scales. *Ecosystems*, *2*, 36-48 .

Potter, C. S., Randerson, J. T., Field, C. B., Matson, P. A., Vitousek, P. M., Mooney, H. A., & Klooster, S. A. (1993). Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data. *Global biogeochemical cycles*, *7*(4), 811-841 .

Qingling, S., & Baolin, L. (2016). Developing the Biome-Bgc model to estimate net primary productivity of alpine meadow on the Qinghai-Tibet plateau. 2016 3rd International conference on information science and control engineering (ICISCE)

Qiu ,S., Liang, L., Wang, Q., Geng, D., Wu, J., Wang, S., & Chen, B. (2022). Estimation of European terrestrial ecosystem NEP based on an improved CASA model. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *16*, 1244-1255 .

Rivera-Marin, D., Dash, J., & Ogutu, B. (2022). The use of remote sensing for desertification studies: A review. *Journal of Arid Environments*, *206*, 104829 .

Sun, J., Yue, Y., & Niu, H. (2021). Evaluation of NPP using three models compared with MODIS-NPP data over China. *PLoS One*, *16*(11), e0252149.

Wang, Y., Xu, X., Huang, L., Yang, G., Fan, L., Wei, P., & Chen, G. (2019). An improved CASA model for estimating winter wheat yield from remote sensing images. *Remote Sensing*, *11*(9), 1088 .

White, M. A., Thornton, P. E., Running, S. W., & Nemani, R. R. (2000). Parameterization and sensitivity analysis of the BIOME–BGC terrestrial ecosystem model: Net primary production controls. *Earth interactions*, *4*(3), 1-85 .

Wu, C ,.Chen, K., You, X., He, D., Hu, L., Liu, B., Wang, R., Shi, Y., Li, C., & Liu, F. (2022). Improved CASA model based on satellite remote sensing data: Simulating net primary productivity of Qinghai Lake Basin alpine grassland. *Geoscientific Model Development*, *15*(17), 6919-6933 .

Xu, F., Wang, X., & Li, L. (2023). NPP and Vegetation Carbon Sink Capacity Estimation of Urban Green Space Using the Optimized CASA Model: A Case Study of Five Chinese Cities. *Atmosphere*, *14*(7), 1161 .

Xue, R., Yang, Q., Miao, F ,.Wang, X., & Shen, Y. (2018). Slope aspect influences plant biomass, soil properties and microbial composition in alpine meadow on the Qinghai-Tibetan plateau. *Journal of soil science and plant nutrition*, *18*(1), 1-12 .

Yaghmaei, L., Jafari, R., & Soltani ,S. (2021). Investigating net primary production in climate regions of central Zagros, Iran, using MODIS and meteorological data. *Climate Research*, *83*, 173-186 .

Yin, C., Chen, X., Luo, M., Meng, F., Sa, C., Bao, S., Yuan, Z., Zhang, X., & Bao, Y .(۲۰۲۳) .Quantifying the Contribution of Driving Factors on Distribution and Change of Net Primary Productivity of Vegetation in the Mongolian Plateau. *Remote Sensing*, *15*(8), 1986 .

Yu, D., Shi, P., Shao, H., Zhu, W., & Pan, Y. (2009). Modelling net primary productivity of terrestrial ecosystems in East Asia based on an improved CASA ecosystem model. *International Journal of Remote Sensing*, *30*(18), 4851-4866 .

Zhang, Z., Huo, L., Su, Y., Shen, H., & Yang, G. (2024). Estimation of Corn Net Primary Productivity and Carbon Sequestration Based on the CASA Model: A Case Study of the Fen River Basin. *Sustainability*, *16*(7), 2942 .

Zhou, W., Gang, C., Zhou, F., Li, J., Dong, X., & Zhao, C. (2015). Quantitative assessment of the individual contribution of climate and human factors to desertification in northwest China using net primary productivity as an indicator. *Ecological Indicators*, *48*, 560-569 .

Zhu, Q., Zhao, J., Zhu, Z., Zhang, H., Zhang, Z., Guo, X., Bi, Y., & Sun, L. (2017). Remotely sensed estimation of net primary productivity (NPP) and its spatial and temporal variations in the Greater Khingan Mountain region, China. *Sustainability*, *9*(7), 1213 .

Zhu, W., Pan, Y., He, H., Yu, D., & Hu, H. (2006). Simulation of maximum light use efficiency for some typical vegetation types in China. *Chinese Science Bulletin*, *51*, 457-463 .