Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Comparing the impact of water vapor pressure deficit and soil moisture on the performance of forest plants photosynthesis using remote sensing data

Alireza Saadatmoghadasi [1] | Zahra Aghashariatmadari[2]✉ | Vahid Etemad[3]

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, E-mail: saadatmoghadasi28@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, E-mail: zagha@ut.ac.ir
3. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, E-mail: vetemad@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: June. 5, 2023

Revised: Nov. 27, 2023

Accepted: Dec. 11, 2023

Published online: Feb. 20, 2024

Keywords:
Soil moisture,
Water vapor pressure,
SIF,
Remote sensing,
Needles.

ABSTRACT

Earth's climate is the result of complex interactions between its effective components and a function of solar radiation, which has a significant role on the afore said components. Among the most important climatic factors that are effective in the vegetation of humid, dry and semi-arid regions, we can mention the variables of vapor pressure and soil moisture, which play an important role in the process of plant photosynthesis. Chlorophyll plays a significant role in photosynthesis of plants, including coniferous. According to the research conducted in Chitgar and Nowshahr, the effect of two different components has been evaluated. The effects of the season on the fluorescence value of two components can't be denied. The highest value of correlation in soil moisture and its effect on the amount of fluorescence in Chitgar forest park in autumn and winter seasons is estimated with R^2=0.44 and 0.56, respectively. The RMSE were calculated 7.4 and 6.7(mg/m2), respectively. In Nowshahr, the highest correlation value with total depth moisture was obtained in summer season. The numerical value of R^2 is calculated as 0.21. Also, P-Value is estimated at 0.498. The effects of environmental stresses on the amount of soil moisture in different depths are undeniable, especially in the seasons when the plant activity is high and the amount of photosynthesis will be more exposed to drought and salinity stresses. Regarding the effect of vapor pressure in Nowshahr, the highest degree of correlation has been calculated with the fluorescence value in the autumn season. The peak of the rainy season in the north of the country can be estimated in the autumn season, and with the increase in relative humidity, the water vapor pressure will increase.

Cite this article: Saadatmoghadasi, A., Aghashariatmadari, Z., & Etemad, V., (2024) Comparing the impact of water vapor pressure deficit and soil moisture on the performance of forest plants photosynthesis using remote sensing data, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (12), 1863-1883. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.360135.669509

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.360135.669509

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۱۲ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

مقایسه تاثیر تفکیکی کمبود فشار بخارآب و رطوبت خاک بر عملکرد فتوسنتز پوشش گیاهی جنگلی با استفاده از داده‌های سنجش از دور

علیرضا سعادت مقدسی[۱] | زهرا آقاشریعتمداری[۲]✉ | وحید اعتماد[۳]

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: saadatmoghadasi28@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: zagha@ut.ac.ir

۳. گروه جنگلداری و اقتصاد دانشکده منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، نام شهر کرج، کشور ایران، رایانامه: vetemad@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱

واژه‌های کلیدی:
رطوبت‌خاک،
فشاربخارآب، SIF،
سنجش از دور،
سوزنی‌برگان.

چکیده

اقلیم کره زمین حاصل برهم‌کنش‌های پیچیده موجود بین اجزا موثر آن و تابعی از تابش خورشیدی است که بر اجزا مذکور تاثیر بسزایی دارد. از مهمترین عوامل اقلیمی که در پوشش‌گیاهی مناطق مرطوب، خشک و نیمه‌خشک اثر گذار هستند می‌توان به متغیرهای فشاربخار و رطوبت‌خاک اشاره کرد که نقش مهمی در فرآیند فتوسنتز گیاهی ایفا می‌کنند. فلورسانس کلروفیل نقش بسزایی در عملکرد فتوسنتز گیاهان از جمله سوزنی‌برگان دارد. با توجه به پژوهش انجام شده در منطقه چیتگر و نوشهر اثر دو مولفه متفاوت ارزیابی شده است. تاثیرات فصل بر مقدار فلورسانس دو مولفه قابل انکار نیست. بالاترین مقدار همبستگی بین رطوبت‌خاک و تاثیر آن بر مقدار فلورسانس در مجموع پارک جنگلی چیتگر در فصول پاییز و زمستان با مقدار R^2 به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۵۶ برآورد شده است. مقدار RMSE به ترتیب ۷/۴ و ۶/۷ (میلی‌گرم بر مترمربع) محاسبه شده است. در منطقه نوشهر، بالاترین مقدار همبستگی با مجموع رطوبت اعماق در فصل تابستان (۲۰۲۲-۲۰۱۹) بدست آمده است (R^2=۰/۲۱). همچنینمقدار P-value برابر با ۰/۴۹ برآورد شده است. اثرات تنش‌های محیطی نیز بر مقدار رطوبت‌خاک در اعماق مختلف انکار ناپذیر است، خصوصا فصولی که فعالیت گیاه بیشتر بوده و مقادیر فتوسنتز بیشتر در برابر تنش های خشکی و شوری قرار خواهند گرفت. درخصوص اثرفشاربخار درمنطقه نوشهر بالاترین درجه همبستگی در فصل پاییز با مقدارفلورسانس محاسبه شده است. می‌توان اوج فصل بارشی شمال کشور را در بازه فصل پاییز برآورد کرد، همچنین با افزایش رطوبت‌نسبی، فشاربخار آب نیز افزایش خواهد یافت.

استناد: سعادت مقدسی؛ علیرضا، آقا شریعتمداری؛ زهرا، اعتماد؛ وحید، (۱۴۰۲) مقایسه تاثیر تفکیکی کمبود فشار بخارآب و رطوبت خاک بر عملکرد فتوسنتز پوشش گیاهی جنگلی با استفاده از داده‌های سنجش از دور، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۱۲)، ۱۸۸۳-۱۸۶۳.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.360135.669509

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.360135.669509

مقدمه

در سال‌های اخیر روش‌های نوین برای کاربرد در حوضه‌های مختلف علوم از جمله علم هواشناسی-کشاورزی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. کاربردهای متفاوت سنجش از دور برآورد شاخص گرمای (آقاشریعتمداری و همکاران ۱۳۹۷) و یا برآورد محاسبه دمای یخبندان برای مرکبات در سواحل دریای کاسپین منطقه رامسر (حسن ذبیحی و همکاران ۱۳۹۵) از این دسته موارد است. یکی دیگر از این روش‌ها، استفاده از سنجش از دور جهت برآورد فلورسانس کلروفیل خورشید است. توجه به اینکه اقلیم کره زمین مجموع برهمکنش موجود بین اجزاء موثر آن است و پوشش‌گیاهی یکی از اجزا مهم و جدای ناپذیر آن محسوب می‌شود، در این میان فرآیند فتوسنتز از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که با تولید ناخالص اولیه گیاهان رابطه مستقیم دارد و عوامل متنوع و گوناگونی بر این فرآیند اثر می‌گذارند. دو مولفه کلیدی که بر این فرآیند خصوصا در پوشش جنگلی سوزنی‌برگان اثر گذار هستند فشاربخار آب و رطوبت‌خاک است. افزایش یا کاهش هر یک می‌تواند در نهایت بر فرآیند فتوسنتز پوشش‌گیاهی جنگلی سوزنی‌برگان در آب و هوای مختلف اثرگذار باشد، در آب و هوای مرطوب هر دو مولفه مذکور نقش کلیدی در افزایش بیوماس بالای سطح دارند و در آب و هوای خشک و نیمه‌خشک نیز هر دو بعنوان عوامل محدودکننده می‌توانند در کاهش مقدار عملکرد فتوسنتز پوشش‌گیاهی تاثیر بسزایی داشته باشند.

کمبود یا بیش‌بود فشاربخار آب در ساختار گیاهی سبب اخلال در فرآیند فتوسنتزی گیاه می‌شود. زمانی که کمبود فشاربخار افزایش می‌یابد، مقادیر فتوسنتز برگ‌ها و کانوپی نیز ممکن است به دلیل بسته شدن روزنه‌ها کاهش یابد. در روند تغییرات جهانی محیطی، افزایش کمبود فشاربخار و نیز خشکی خاک ممکن است فتوسنتز گیاه و جذب کربن را در اکوسیستم زمینی محدود کند (YuT,etal., 2022). همچنین رطوبت‌خاک در یک اقلیم خشک و نیمه‌خشک عامل محدودکننده محسوب می‌شود و می‌تواند در گسترش عمق ریشه موثر پوشش‌گیاهی علی‌الخصوص (سوزنی‌برگان) تا عمق ۵۰ سانتی‌متری اثرگذار باشد، حال آن‌که این مسئله در یک اقلیم پر باران و حاره ای کاملا متفاوت است و به دلیل بیش بود رطوبت و وجود رطوبت مازاد در سطح‌خاک عمق ریشه موثر در گیاهان نامبرده در حدود ۳۰-۲۰ سانتی‌متری برآورد شده است.(Jiapper, etal.,2022).

در سال‌های اخیر مطالعات متعددی درخصوص پوشش‌گیاهی سوزنی‌برگان در نواحی مختلف دنیا با آب و هوای متنوع انجام شده است. بررسی اثر عوامل محدودکننده فشاربخار آب و رطوبت‌خاک در منطقه آسیای میانه با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک یکی از این موارد است (YuT,etal., 2022). یکی از مهمترین مواردی که بایستی در این پژوهش‌ها مد نظر قرارگیرد انتخاب نماینده شایسته و مناسب برای فلورسانس کلروفیل خورشید است (Benjamin,etal.,2022) تکنولوژی سنجش از دور در این‌خصوص می‌تواند راهگشا باشد و با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های سنجنده‌هایی چون سنتینل ۲ و با استفاده از یک شاخص مناسب مانند MTCI یا Meris terrestrial chlorophyll index می‌توان به این مهم دست یافت.

در این راستا مدل‌های مختلفی ارائه شده و با توجه به مقادیر روزانه و فصلی فتوسنتز مقدار فلروسانس کلروفیل خورشید و همچنین تولید ناخالص اولیه با استفاده از مدل GPP-SIF محاسبه شده‌است (Shimada,etal.,2022)، در نهایت عملکرد فرآیند فتوسنتز پوشش سوزنی‌برگان در انواع آب و هوای مختلف نیز برآورد می‌شود و حتی زیست‌توده بالای سطح آن‌ها نیز برآورد می‌شود. همچنین می‌توان با استفاده از انجام آزمون همبستگی، میزان همبستگی دو مولفه مذکور (رطوبت‌خاک و فشاربخار آب) را با فلورسانس کلروفیل خورشید و در نهایت با عملکرد فرآیند فتوسنتزی پوشش‌گیاهان من جمله سوزنی‌برگان مقایسه‌کرد که با توجه به نوع اقلیم اثرات آنها نیز متفاوت خواهد بود به طور مثال در یک اقلیم خشک و نیمه‌خشک رطوبت‌خاک به عنوان یک عامل محدودکننده محسوب می‌شود و ممکن است با یک منطقه با اقلیم مرطوب اثرات آن بر فلورسانس تفاوت چشمگیری را از خود نشان دهد. حتی می‌توان بررسی ارتباط غیرخطی فتوسنتز کانوپی را در گیاهان همیشه سبز از جمله سوزنی‌برگان در مناطق معتدل در فصل پاییز مورد بررسی قرار داد (Kim,etal.,2021).

کاربردهای متفاوت SIF می تواند حتی در برآورد رویدادهای حدی اقلیمی که تواتر آنها زودتر اتفاق می افتد نیز موثر باشد که در این راستا موج‌های گرمائی گسترده و گسترش خشکسالی در اروپا در سال ۲۰۱۸ نیز تاثیرات عمده بر روی چرخه کربن زمینی داشته که در نهایت بر روی فرآیند فتوسنتز پوشش گیاهی تاثیر بسزایی دارد (Wang,et al.,2020). همچنین می‌توان مولفه‌های دیگری نیز با توجه به تحقیقات انجام شده مد نظر قرار داد. با در نظر گرفتن SIF و Light Use Efficiency (LUE) و Photosynthetic Active (PAR) Radiation به ترتیب کارائی مصرف نور و تشعشع فعال فتوسنتزی درمقیاس برگ و کانوپی با یک مدل GPP-SIF جهت دقت در برآورد مقادیر فتوسنتزی انجام شده تمرکز کرد و نتایج قابل قبولی را کسب کرد. طیف فعال در گیاهان مختلف متفاوت و معمولا برای فلروسانس مادون قرمز ۷۶۰ نانومتر برآورد شده است(Zhang,etal., 2022).

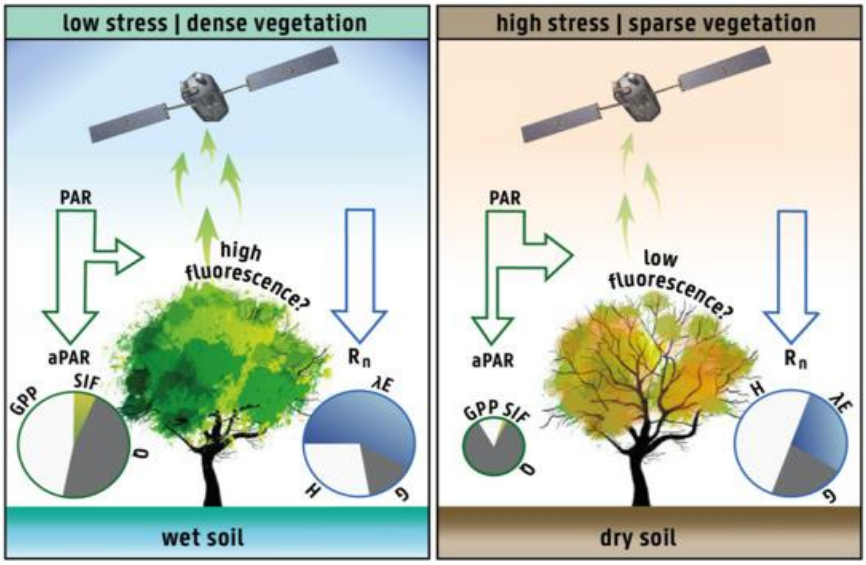
توجه به این مسئله نیز ضروری است که در صورت مدلسازی بایستی دقت نظر در مدلسازی پژوهش وجود داشته باشد، تشعشع فعال فتوسنتزی بر عملکرد کارائی مصرف فتوسنتز نوری و فلورسانس کلروفیل با استفاده از مدل (PAM) یکی از این موارد است. در شرایط بدون تنش کارائی مصرف فتوسنتزی نوری با افرایش تشعشع فعال فتوسنتزی کاهش خواهدیافت. تطابق دقیقی بین (LUE) مخفف Light Use Efficiency کارائی مصرف نور (PAR) معادل Photosynthetic Absorbed Radiation در مقیاس برگ و کانوپی با یکدیگر در خلال آزمایش دیده مدنظر قرارگرفت، و مدل مورد نظر دقت خوبی برای برآورد SIF-GPP داشته است (Cao.j,etal.,2021, Xinjie,etal.,2021) و (Vander Tol,C.,2014).

در این مطالعه مقایسه اثر تفکیکی فشاربخار آب و رطوبت‌خاک با استفاده از مقدار فلروسانس کلروفیل و تکنولوژی سنجش از دور در دو اقلیم متفاوت با پوشش‌گیاهی یکسان مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت، اگرچه دو منطقه دارای پوشش‌گیاهی سوزنی‌برگ مشابه می‌باشند، اما به دلیل اقلیم متفاوت نتایج قابل توجهی را در پی‌خواهد داشت. پیش‌بینی می‌شود عملکرد فتوسنتزی سوزنی‌برگان در منطقه‌ی با اقلیم مرطوب به دلیل بالابودن مقدار رطوبت‌خاک و فشاربخار آب بیشتر از عملکرد فتوسنتزی سوزنی‌برگان در منطقه‌ی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک باشد. خشکسالی و دوره‌های خشکی سبب کاهش رطوبت خاک و همچنین کمبود فشار بخار آب در مناطق خشک و نیمه خشک خواهد شد که در نهایت در فرآیند جذب کربن و فتوسنتز گیاهان این مناطق اثر گذار هستند.

همچنین اثر بخشی فلروسانس کلروفیل خورشید در شرایط تنش خشکسالی نسبت به سایر شاخص‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. خشک‌سالی به عنوان یک عامل محدودکننده می‌تواند زیان بزرگی به عملکرد محصول وارد کند. در نتیجه با تکنولوژی‌های جدید و خصوصا سنجش از دور می‌توان ارزیابی‌های دقیقی برای برآورد شرایط تنش زا در گیاه انجام داد. با استفاده از شاخص VIS (Vegetation Index) و تصاویر ماهواره برای پایش پوشش‌گیاهی و تنش خشک‌سالی با استفاده از (SIF) در گونه‌های متنوع اقدامات موثری را انجام داد. آزمایش نشان داد که با توجه به در نظر گرفتن سه اصل حساسیت، دقت و نیرومندی عملکرد فلورسانس کلروفیل خورشید در اوائل مرحله خشک‌سالی و تنش خشکی در مقیاس منطقه‌ای و ایالتی در کمربند مزرعه ذرت در امریکا مثمرثمر واقع شده است (Liu,etal.,2018). همچنین این مورد در کانوپی گندم با استفاده از شاخص (NDVI) جهت پایش خشک‌سالی مزراع گندم انجام شده است فلورسانس کلروفیل خورشید بسیار نزدیک‌تر به فتوسنتز گیاهی است و بنابراین هدف تحقیق مورد نظر اثر آن بر روی خشک‌سالی و رشد پوشش‌گیاهی می‌باشد. در نتیجه، تفاوت جزئی بین فلورسانس کلروفیل در شاخص نرمال شده پوشش‌گیاهی و تنوع پوشش‌گیاهی در واکنش به پدیده خشک‌سالی به شکل گسترده هنوز کشف نشده است. در این تحقیق اندازه گیری زمینی شاخص‌های فلروسانس و پوشش گیاهی در ۷۶۰ نانومتر در چهار پلات گندم با شدت‌های متفاوت خشکسالی مدنظر قرار گرفته است. میانگین فلورسانس در نتایج کاهش معنی‌داری در خشکسالی شدید نشان می‌دهند حال انکه شاخص نرمال شده پوشش گیاهی این تغییرات را نشان نمی‌دهد (Liu,etal.,2021) در شرایط تنش فلورسانس کمینه و بیشینه تعادل ندارد و با توجه به ظرفیت پذیری فتوسنتز که توسط فلورسانس مشخص می‌شود و نوع تنش متفاوت خواهد بود.

کاهش فلورسانس کمینه با توجه به نوع تنش و مقلومت گیاهان متفاوت است(شریفانی و همکاران ۱۴۰۰). زمانی که مراکز واکنش کاملا باز بوده و شدت نور در حد ایجاد اشباع نوری باشد، بخش زیادی از انرژی نورانی به مصرف فعالیت‌های فتوشیمیایی می‌رسد. و در نهایت فقط بخش جزئی از آن به صورت فلورسانس منعکس می‌شود. در مقابل وقتی که تابش نور اشباع ادامه داشته باشد کلیه ملکول‌های اولین دریافت کننده الکترون یعنی کوئینون حداقل به صورت کوتاه مدت به حالت احیاء درآمده و به علت ادامه واکنش‌های شیمیایی مرکز فتوسیستم ۲ بسته شده و به میزان زیادی فلورسانس افزایش خواهد داشت. که به آن فلورسانس بیشینه اطلاق می‌گردد. کارائی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ نشان دهنده ظرفیت جذب انرژی القایی توسط برگ می‌باشد. در بیشتر مواقع بعنوان پیامد تاثیرات عوامل نامساعد محیطی مانند خشکی و شوری کاهش پیدا می‌کند.

بنابراین تنش خشکی از طریق اثرات نامطلوبی که بر تثبیت کربن می‌گذارد باعث کاهش ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون شده در نتیجه سیستم به فلورسانس حداکثر رسیده که نتیجه آن کاهش در مقدار فلورسانس است که بدین ترتیب در SIF نیز تاثیر گذاشته و به همان نسبت ظرفیت فتوسنتزی پوشش‌گیاهی را تحت الشعاع خود قرار خواهد داد. (شکل ۱) بنابراین کارائی فتوسیستم ۲ تحت تنش‌خشکی کاهش پیدا خواهد کرد (فهیمی خویردی و همکاران ۱۳۹۵).



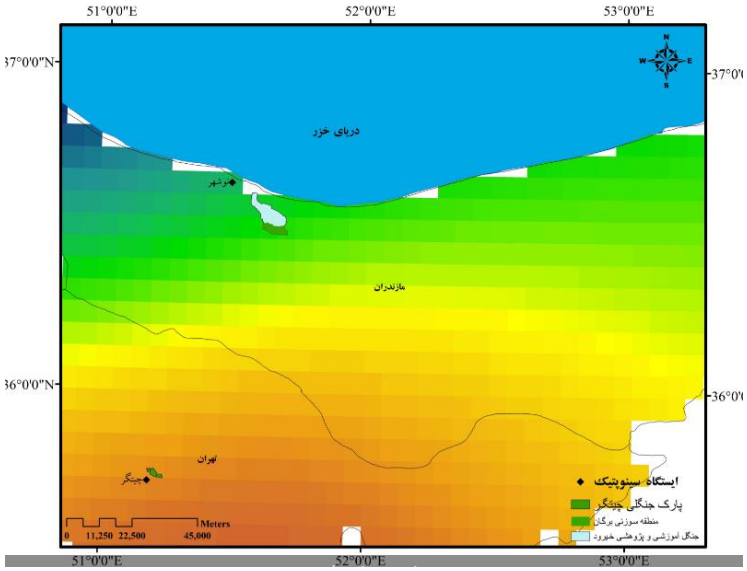
شکل ۱: اثرات تنش بر روی فلورسانس کلروفیل

مطالعات دراین زمینه همچنان ادامه دارد و با توجه به تغییر اقلیم، سناریوهای گزارش ششم هیئت بین الدول تغییر اقلیم نیز در آزمایشات جدید بایستی لحاظ گردد چرا که یکی از جلوه‌های آن گرمایش‌جهانی اثر مستقیم بر فرآیند تنفس و فتوسنتز پوشش‌گیاهی جنگلی دارد. مطالعات انجام شده که در گزارش ششم نیز بیان شده است، نشان می‌دهد که جنگلهای عرض‌های شمالی بیشترین تاثیر را از این مسئله داشته اند و با ادامه این روند گسترش زیست بوم‌ها به سمت این مناطق سوق پیدا خواهد کرد و اثرات تنش در اثر رخداد رویدادهای حدی بر روی فرآیند فتوسنتز و عوامل دخیل بر آن غیر قابل اجتناب است.

مواد و روش‌ها

روش کار

دو منطقه پارک جنگلی چیتگر و بخشی از جنگل‌های هیرکانی نوشهر مازندران برای انجام پژوهش مورد نظر انتخاب شده‌اند و اثر دو مولفه فشاربخار و رطوبت‌خاک بر پوشش سوزنی‌برگی دو منطقه با دو اقلیم متفاوت در سال ۱۴۰۲ مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. پیش بینی می‌شود علی رغم مشابه بودن پوشش‌گیاهی دو منطقه با توجه به تنوع آب و هوایی دو منطقه یکی خشک و نیمه‌خشک (چیتگر تهران) و دیگری نوشهر مازندران (بسیار مرطوب نوع الف) نتایج متفاوتی حاصل گردد.

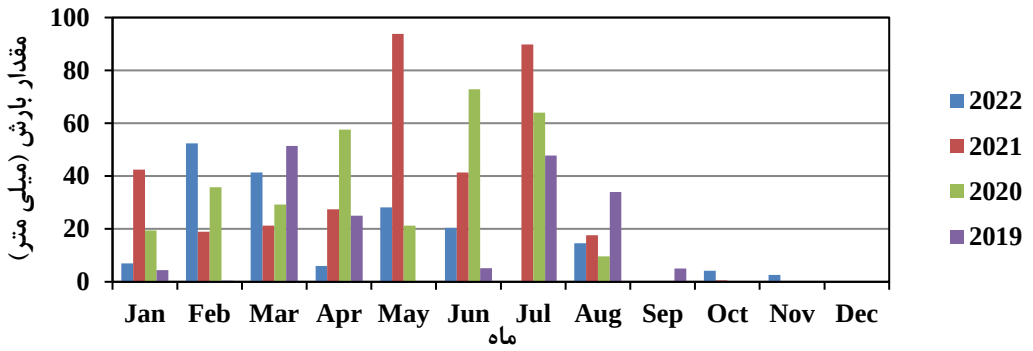


شکل ۲: موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه نسبت به ایستگاه سینوپتیک

پارک جنگلی چیتگر یکی از مهمترین پارک‌های کلان شهر تهران با وسعتی معادل ۸۱۴ هکتار می باشد که به لحاظ جغرافیایی در شمال غرب تهران، حاشیه شمالی اتوبان تهران –کرج به فاصله ۱۵ کیلومتر تهران و ۱۸ کیلومتری کرج و در حد فاصل عوارضی اتوبان و موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع (پیکان شهر) قرار دارد، ارتفاع از سطح‌دریا منطقه در حدود ۱۳۰۵/۲ متر برآورد شده است. همچنین جنگل‌های هیرکانی در منطقه خیرود نوشهر مازندران در ۷ کیلومتری شرق نوشهر با حد ارتفاع ۵۰ الی ۲۴۰۰ متر از سطح‌دریا پوشش‌گیاهی متنوعی را درخود جای داده است و اثر عوامل محیطی نظیر ارتفاع از سطح دریا، جهت دامنه و عرض جغرافیایی می‌تواند بر دو مولفه مورد بررسی تاثیر بسزایی داشته باشد.

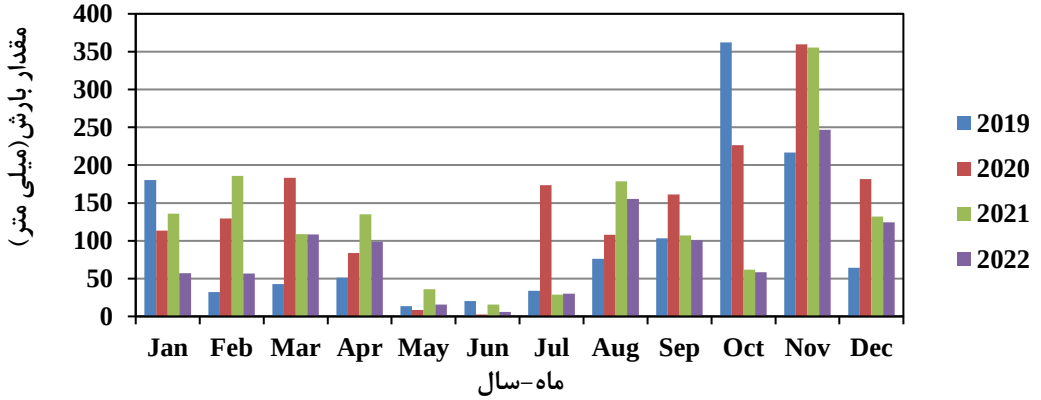
آب و هوای مناطق

منطقه خیرود نوشهر در استان مازندران بر طبق طبقه‌بندی اقلیمی کوپن وگایگر در سال ۱۸۸۴ میلادی در رده آب و هوای بسیار مرطوب نوع الف قرار می‌گیرد به طوری که میانگین ۱۰ ساله دما در این منطقه بین ۱۶/۹ الی ۱۷/۸ درجه سلسیوس در نوسان بوده است و میانگین ۱۰ ساله بارش در منطقه مذکور در بازه‌زمانی ۲۰۱۲ الی ۲۰۲۱، ۱۱۳۸ میلی‌متر تخمین زده می‌شود. باید اشاره شود که با توجه به نوع آب و هوای منطقه نوشهر در تمام طول سال بارندگی رخ می‌دهد اما از ماه‌های پربارش می‌توان به سپتامبر و اکتبر و همچنین از ماه‌های کم بارش دسامبر و ژانویه اشاره کرد. منطقه پارک جنگلی چیتگر واقع در استان تهران که برطبق طبقه‌بندی کوپن و گایگر در رده آب و هوای خشک و نیمه‌خشک قرار می‌گیرد، میانگین ۱۰ ساله دما در این منطقه بین ۱۷/۳ الی ۱۹/۱ درجه سلسیوس در نوسان بوده است و میانگین ۱۰ ساله بارش در منطقه مذکور ۲۵۳/۲ میلیمتر محاسبه شده است. با توجه به اینکه رژیم بارندگی مدیترانه‌ای است فصل خشک منطبق بر ماه آخر فصل بهار و فصل تابستان می باشد، بارش موثر منطقه معمولا از آبان ماه شروع می‌شود. هر چند با تغییر اقلیم و اثرات نامطلوب آن این روند دست کم طی یک دهه اخیر دچار بی‌نظمی‌های گوناگونی شده است.

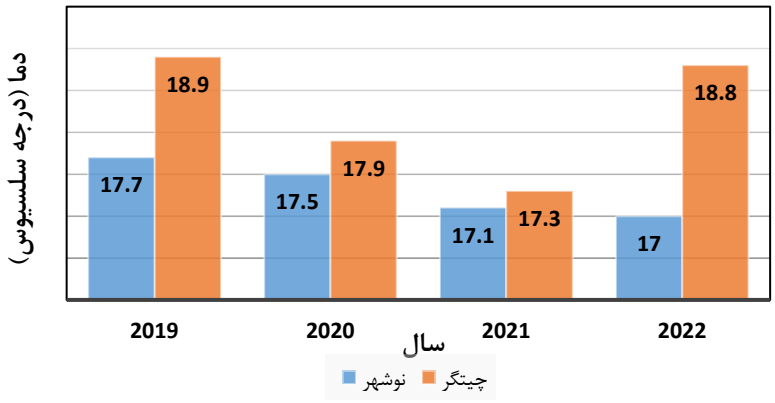


شکل۳: مجموع بارش ماهانه ایستگاه چیتگر(میلی‌متر)

در دوره آماری مورد مطالعه مجموع بارش ماهانه دو منطقه در اشکال ۳و۴ به تصویر کشیده شده است. به دلیل وقوع پدیده النینیو در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ ترسالی در کشور رخ داده است (سالنامه مرکز ملی اقلیم و خشکسالی و مدیریت بحران در بازه زمانی ذکر شده) و به تبع آن دو منطقه مذکور نیز از این مسئله بهره برده‌اند و نسبت به نرمال بلندمدت میزان بارش بیشتری در طی سال کسب کرده‌اند.



شکل٤: مجموع بارش ماهانه ایستگاه نوشهر(میلی‌متر)

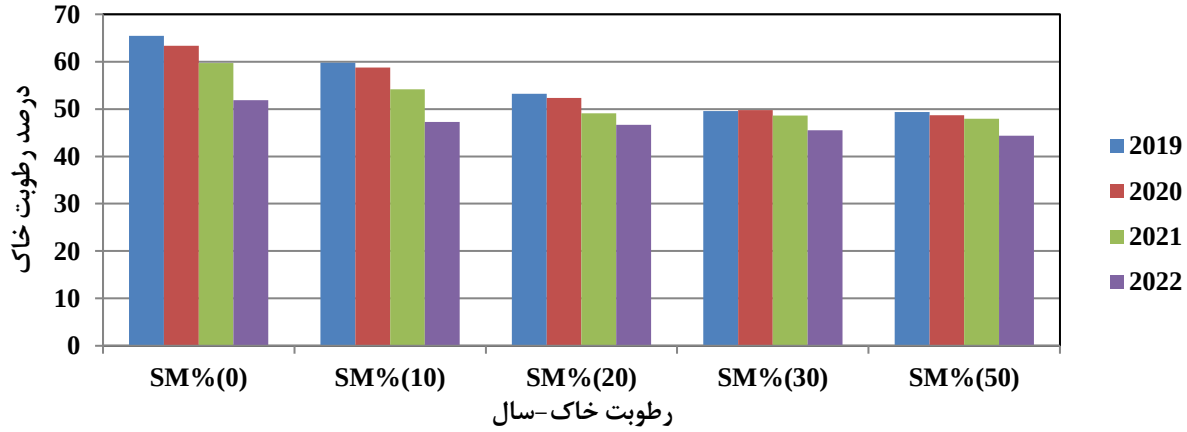


شکل۵: میانگین دمای سالیانه ایستگاه نوشهر و چیتگر

با توجه به اقلیم متفاوت دو منطقه، ایستگاه چیتگر دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و به تبع آن میانگین سالیانه دمای بیشتری نسبت به ایستگاه نوشهر دارد (شکل ۵)، علت این مسئله وجود رطوبت بالا و فشاربخار بیشتر در ایستگاه نوشهر است که سبب تعدیل درجه حرارت خواهد شد و به دنبال آن برروی میانگین سالیانه دما ایستگاه نوشهر تاثیر بسزایی دارد.

بافت خاک

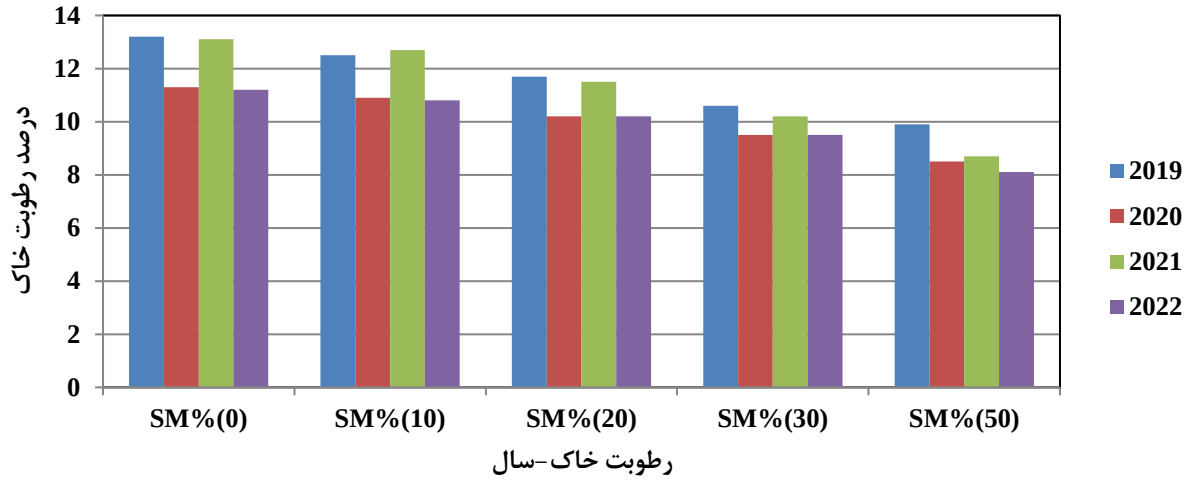
خاک منطقه چیتگر با رژیم حرارتی گرم از رسوبات سنگ‌های البرز تشکیل می‌شود. جنس سنگ و سنگ ریزه‌ها اغلب آهکی است. با توجه به میزان بارندگی و بالابودن تعداد ماه‌های خشک سال امکان شستشوی املاح کم بوده و افق‌های کلسیم و گچ نیز تشکیل گردیده است. میزان پستی و بلندی خاک منطقه زیاد می‌باشد. در بعضی از قسمتها نیز به علت رسوبات رودخانه‌ای و تراس‌های رودخانه‌ها و بستر آبراه‌های اراضی دارای پستی و بلندی کم می‌باشند. متوسطPH منطقه بین ۷/۵ الی ۸ در نوسان است (کیانی، ۱۳۹۴). خاک جنگل‌های نوشهر (بخشی از جنگل‌های منطقه مازندران) از خاک‌های حاصلخیز منطقه شمال کشور محسوب می‌شود. طبق رده‌بندی جهانی خاک‌ها توسط وزرات کشاورزی ایالات متحده که در کشور ما نیز به عنوان مرجع شناخته می‌شود ۱۲ رده بندی جهانی خاک وجود دارد که ۶ رده آن در ایران شناسایی شده است و دو رده به نام‌های مالی سولها و آلفی سولها از رده‌های مطلوب و حاصلخیز برای بخش کشاورزی هستند که تنها در باریکه ای از نوار شمالی کاسپین وجود دارند. البته طی سالیان اخیر با جنگل زدایی در این مناطق PH منطقه به طور متوسط بین ۵/۵ الی ۵/۸ در نوسان بوده و خاک منطقه را نیز تحت الشعاع قرار داده و تا حدودی حاصلخیزی سالیان گذشته خود را از دست داده است.



شکل٦: نمودار میانگین سالیانه درصد رطوبت خاک عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر (نوشهر)

در منطقه نوشهر در استان مازندران به دلیل اینکه اقلیم منطقه بر طبق طبقه‌بندی اقلیمی کوپن و گایگر از رده بسیار مرطوب نوع الف است، درصد رطوبت خاک بسیار بالا است که در شکل ۶ نیز به تصویر کشیده شده است. همین امر سبب می شود گسترش عمق ریشه موثر پوشش‌گیاهی سوزنی‌برگ در عمق سطحی‌تر نسبت به منطقه چیتگر با توجه به نوع اقلیم گسترش یابد زیرا ریشه‌های گیاه

دسترسی کافی برای جذب رطوبت و انتقال آن از ریشه به برگ جهت انجام فرآیند فتوسنتز را دارند بنابراین رشد طولی آنها تا عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متر رخ خواهد داد و پس از آن تاثیر کمتری با افزایش مقدار فلورسانس کلروفیل دارند یعنی اینکه با افزایش رطوبت‌خاک مقدار فلروسانس کلروفیل کمتر شده که در نهایت در عملکرد عددی مقادیر فتوسنتز پوشش‌گیاهی سوزنی‌برگ تاثیر به سزایی دارد. علت این امر آن است که در عمق مذکور خاک از رطوبت اشباع است و ریشه گیاه مقدار آب و مواد غذایی خود را از عمق مذکور دریافت میکند و ریشه موثر گیاه نیاز به پیشروی بیشتر جهت جذب آب و مواد غذایی ندارد، وچه بسا بیش بود رطوبت حتی می‌تواند اثر معکوس بر فرآیند فتوسنتز گیاه داشته باشد.



شکل۷: نمودار میانگین سالانه درصد رطوبت‌خاک عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر(چیتگر)

منطقه چیتگر در استان تهران براساس سیستم طبقه‌بندی اقلیمی‌کوپن و گایگر دارای اقلیم منطقه خشک و نیمه‌خشک است و به تبع آن رطوبت‌خاک به عنوان یک عامل محدودکننده محسوب می‌شود (شکل۷). بنابراین گسترش عمق ریشه موثر پوشش‌گیاهی سوزنی-برگان نسبت به منطقه نوشهر در عمق بیشتری صورت می‌گیرد زیرا ریشه‌های گیاه دسترسی کافی برای جذب رطوبت و انتقال آن از ریشه به برگ جهت انجام فرآیند فتوسنتز را ندارند، در نتیجه رشد طولی آنها تا عمق۵۰-۳۰سانتی‌متر رخ خواهد داد و همبستگی بیشتری با افزایش مقدار فلروسانس کلروفیل خورشید دارند یعنی با کاهش رطوبت‌خاک مقدار فلروسانس کاهش می‌یابد و بالعکس قضیه نیز صادق است.

جدول۱: جزییات میانگین ماهانه و میانگین سالیانه فشاربخار برحسب میلی‌بار

ردیف	نوشهر				چیتگر			
ماه/سال	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۰
January	۱۰/۵۹	۹/۱۵	۱۱/۹۴	۱۱/۴۴	۴/۲۷	۴/۱۱	۴/۸۲	۴/۲۹
February	۷/۳۹	۹/۸۸	۹/۵۸	۹/۳۶	۴/۱۷	۴/۱۸	۴/۵۸	۴/۱۸
March	۱۰/۶۷	۱۱/۵۶	۱۰/۹۶	۱۰/۴۶	۵/۹۸	۵/۰۹	۵/۵۲	۵/۱۹
April	۱۲/۹۶	۱۲/۵۵	۱۳/۲۱	۱۳/۱۱	۷/۴۲	۷/۲۴	۶/۴۶	۶
May	۱۹/۱	۱۸/۱۴	۱۹/۶۱	۱۹/۲۴	۷/۲۴	۹/۴۷	۷/۸۷	۶/۸۹
June	۲۳/۴۴	۲۲/۷۷	۲۵/۱۵	۲۴/۹۶	۷/۰۲	۸/۸۶	۸/۲۶	۷/۸۸
July	۲۸	۳۰	۲۶/۳۶	۲۵/۵۴	۸/۶۳	۷/۷	۹/۲۳	۸/۱۵
August	۲۷/۸	۲۶/۸	۲۴/۹	۲۳/۸۷	۸/۲۴	۹/۶	۹/۲۲	۸/۷۴
September	۲۴/۹۱	۲۳/۷	۲۲/۲۶	۲۲	۷/۱	۷/۴۸	۸/۳۱	۸
October	۱۷/۱	۱۶/۹۲	۱۹	۱۸/۶۷	۵/۹۳	۸/۸	۸/۱	۸/۲۴
November	۱۴/۳۱	۱۳/۴	۱۱/۳۲	۱۱/۱۲	۵/۱۱	۷/۸	۶/۵۵	۶/۲۵
December	۱۰/۴	۱۱/۶	۱۰/۶۵	۱۰/۲۵	۴/۳۱	۵/۷۲	۵/۹۵	۵/۶۴
میانگین سالانه	۱۷/۲۲	۱۷/۲	۱۷/۰۷	۱۶/۶۶	۶/۲۵	۷/۱۳	۷/۰۵	۶/۶۲

داده‌های مورد نیاز برای انجام پژوهش شامل فشاربخار در دو ایستگاه مدنظر از سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است (جدول

۱). همچنین مقدار داده‌های کلروفیل پوشش‌گیاهی دو منطقه مورد نظر از طریق برنامه‌نویسی در محیط گوگل ارث انجین و به روش جیامتری از سنجنده سنتیل ۲ دریافت شده است. برنامه نویسی طوری انجام شده است که تصاویر ابر و همچنین بخار آب و ذرات آئروسل حذف گردد که دقت داده‌های استخراج شده بیشتر گردد و درصد خطا کاهش یابد. مقیاس استفاده شده T39RTQ بوده است که تا ۳۹ الی ۴۵ درصد، که درصد بالایی است اثرات شرایط مذکور را حذف کند و وضوح داده‌ها را نمایان‌تر کند. سنتیل ۲ در سال ۲۰۱۵ میلادی به فضا پرتاب شده است و دارای نوع a و b می باشد که نوع b آن در سال ۲۰۱۷ به فضا پرتاب شده است. این ماهواره دارای ۱۳ باند است که اندازه‌های آن ۱۰ و۲۰ و۶۰ متری می‌باشد. باند اصلی که همان باند RGB است شامل باندهای B2 رنگ‌آبی B3 رنگ‌سبز و B4 رنگ‌قرمز می‌باشد. با توجه به اینکه داده‌های کلروفیل مرتبط با پوشش‌گیاهی مورد نیاز می‌باشد، بهترین شاخص برای بدست آوردن داده‌های آن، شاخص MTCI (Meris Terrestrial Chlorophyll Index) می‌باشد که برای برآورد محتوای پوشش‌گیاهی از ۲۰۱۷ بر روی ماهواره مذکور مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص مذکور دارای دو مشخصه است: اول اینکه براحتی قابل محاسبه است و در مرتبه دوم حساسیت بالایی به مقدار کلروفیل(سبزینه دارد) (Dash,etal.,2007). داده‌های آن به تدریج از سال ۲۰۱۹ میلادی پس از صحت سنجی و اعتبار سنجی در اختیار عموم جهت استفاده در کارهای تحقیقاتی در دسترس قرار گرفته است. به دلیل اینکه مشابه این پژوهش با شاخص‌های دیگر از قبیل EVI (Enhanced vegetation Index) و VI (Vegetation Index) و سایر شاخص های شناسایی پوشش‌گیاهی انجام شده است از شاخص نامبرده که به روزترین شاخص است و درجه حساسیت بالایی به تعیین ظرفیت فتوسنتزی دارد و شرایط تغییر اقلیم و سناریوهای اقلیمی نیز با توجه به رخداد رویدادهای فرین و حدی لحاظ شده است از آن استفاده شده است و با استفاده از سنجنده سنتیل ۲ که در ادامه در جدول ۲ مشخصات و باندهای حرارتی آن توضیح داده شده است اندازه گیری شده است. لازم به توضیح است که طیف باندی قابل پوشش توسط این شاخص ۴۴۰ الی ۲۱۹۰ نانومتر است که در واقع طیف فعال فتوسنتزی دامنه ۴۴۰ الی ۸۴۰ آن برای پژوهش به کار رفته است. به همین دلیل داده‌های مقدار فشاربخار آب و رطوبت‌خاک منطقه طی بازه زمانی ۴ سال اخیر در نظر گرفته شده است و برای بررسی‌های دقیق‌تر اثرات دو مولفه مذکور با مقدار فلروسانس به صورت مقیاس ماهانه نیز مورد تجریه و تحلیل قرار گرفته اند. باند B6 وB5 سنتیل ۲ حداکثر برآورد را با اشعه مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک برای محتوای کلروفیل پوشش‌گیاهی دارد. شایان ذکر است فرمول شاخص به قرار ذیل است:

رابطه (۱)

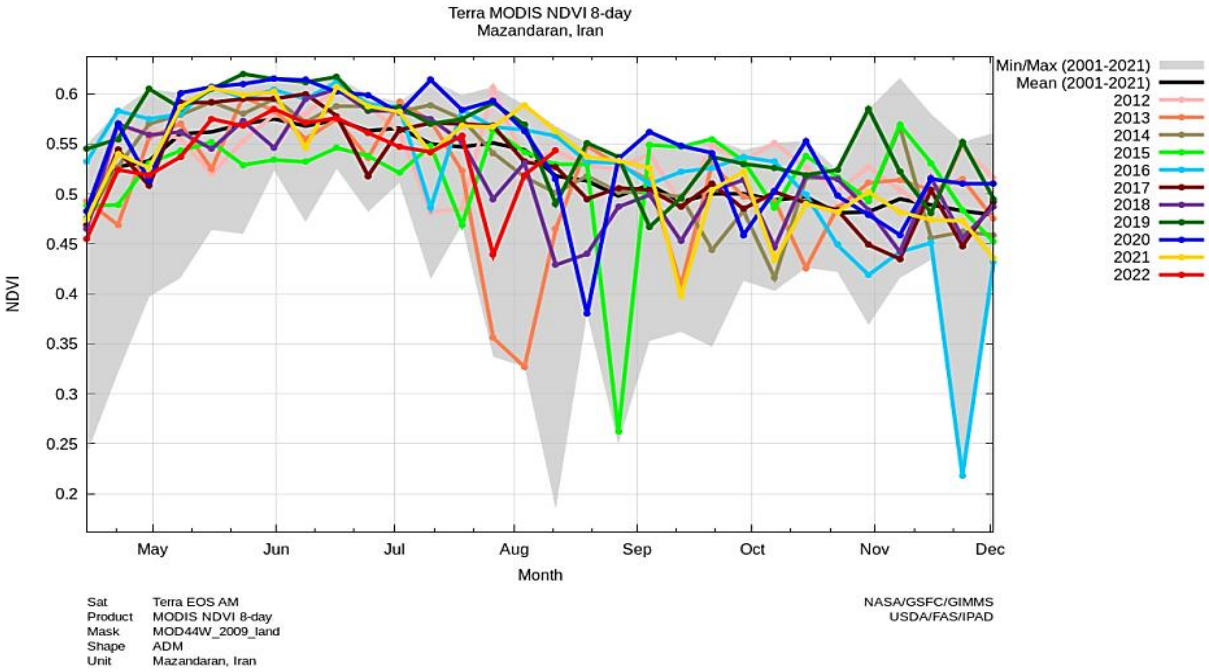
$$\mathrm{MTCI} = \frac{R_{\mathrm{Band10}} - R_{\mathrm{Band9}}}{R_{\mathrm{Band9}} - R_{\mathrm{Band8}}} = \frac{R_{753.75} - R_{708.75}}{R_{708.75} - R_{681.25}},$$

جدول ۲. مشخصات کامل باندهای حرارتی سنجنده سنتیل ۲

Sentinel -2abands	Central wavelength nanometer	Spatial resolution(M)
Band1- Coastal aerosol	443	60
Band2-Blue	490	10
Band3-Green	560	10
Band 4-Red	665	10
Band 5-Vegatation RED EDGE	705	20
Band6-Vegetation RED EDGE	740	20
Band7-Vegetation RED EDGE	783	20
Band8-Near Infrared	842	10
Band 8A-Vegetation RED EDGE	865	20
Band 9 Water vapor	945	60
Band10-short wave infrared-cirrus	1375	60
Band11-short wave infrared	1610	20
Band 12-short wave infrared	2190	20

باید اشاره کرد کاربردهای دیگری از جمله پایش برگ‌های پیرگیاهان، تنش آبی و کمبود مواد غذایی را نیز شامل می‌شود اما برای طبقه‌بندی اراضی مناسب نیست. همچنین برای تشخیص پوشش‌گیاهی دو منطقه از شاخص (NDVI) شاخص تعدیل‌کننده پوشش‌گیاهی و آنومالی دو منطقه، با ترسیم نمودار با استفاده از سنجنده MODIS و مقدار شاخص با میانگین ۸ روزه محاسبه و برآورد شده است. نکته جالب توجه افزایش پوشش‌گیاهی منطقه چیتگر تهران در بین سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۰۲۲ علیرغم خشک‌سالی‌های شدید دهه اخیر و کاهش پوشش‌گیاهی در منطقه جنگل‌های هیرکانی نوشهر مازندران بوده است که بیش از پیش توجه و اهمیت ویژه و برنامه ریزی‌های

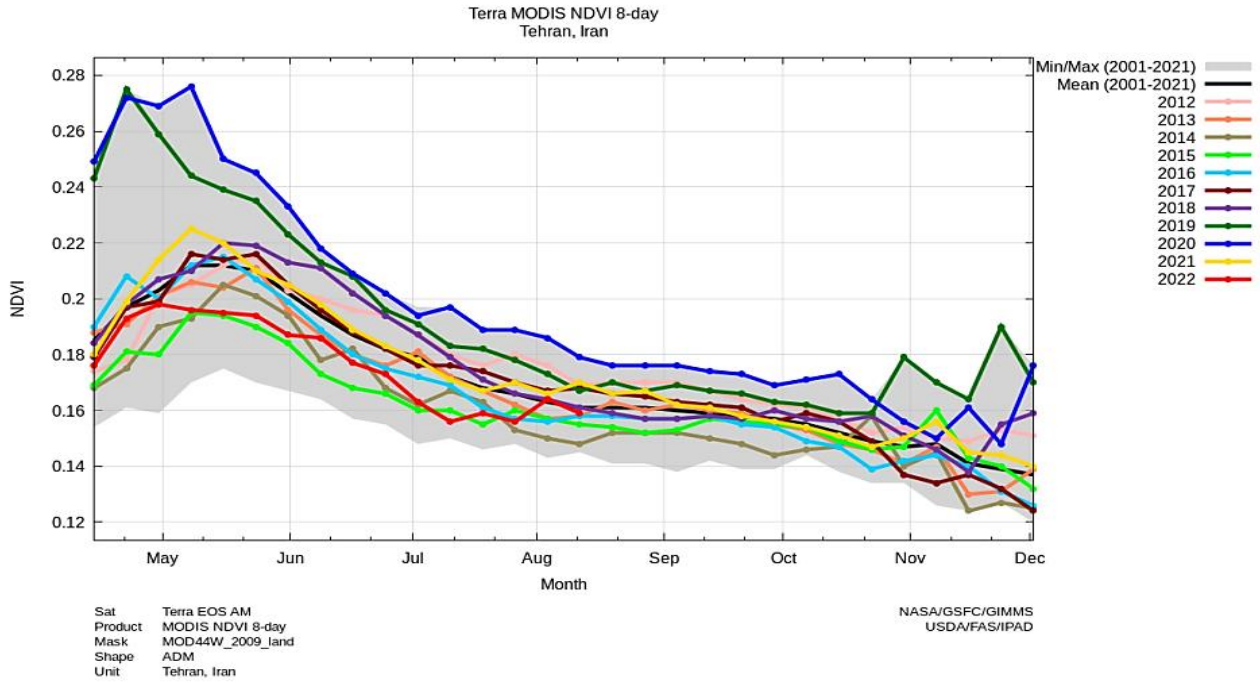
اصولی‌تر را برای حفظ این میراث بزرگ برای ما پر اهمیت‌تر می‌کند.



شکل ۸: درصد پوشش‌گیاهی منطقه نوشهر مازندران طی بازه زمانی (۲۰۱۲ الی ۲۰۲۱) توسط شاخص NDVI

نمودار در سه بخش تهیه شده است که بخش اول به رنگ خاکستری، حداقل و حداکثر مقدار پوشش‌گیاهی منطقه در بازه‌زمانی ۲۰۰۱ الی ۲۰۲۱ به تصویر کشیده شده است و بیشترین افت در مقدار پوشش‌گیاهی در منطقه مرتبط با اگوست ۲۰۱۳ با مقدار ۰/۳۳ بوده است و بیشترین افزایش مرتبط با ژولای ۲۰۲۰ و به میزان ۰/۶۲ محاسبه شده است. خط مشکی میانگین کلی در بازه زمانی ذکر شده است که به طور کلی روند نزولی را داشته است. همچنین در بخش سوم به طور مورد به مورد مقدار پوشش‌گیاهی در هر سال توسط شاخص محاسبه شده است که با رنگ‌های مختلف در نمودار به تصویر کشیده شده است. شایان ذکر است نحوه محاسبه مقدار پوشش‌گیاهی به شکل میانگین‌های ۸ روزه توسط سنجنده مورد نظر بوده است. سنجنده مادیس به دلیل دارا بودن باندهای حرارتی از جمله سنجنده‌های پرکاربرد در محاسبات بیلان انرژی می‌باشد. سنجنده مادیس مستقر بر روی ماهواره‌های آکوا و تراست. این ماهواره در ساعت ۱۰:۳۰ و ۱۳:۳۰ به وقت محلی از ایران عبور می‌کند. داده‌های مادیس در ۳۶ باند طیفی تولید می‌شوند. این سنجنده در دو باند طیفی تصاویری با توان تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر برداشت می‌کند. این سنجنده از سال ۱۹۹۹ میلادی تا به امروز تصاویر با ارزشی از سطح زمین را ارائه می‌کند (محتشمی، ۱۴۰۱).

درخصوص پارک جنگلی چیتگر نیز افت قابل ملاحظه پوشش‌گیاهی منطقه دربازه‌زمانی ذکر شده به طور میانگین به چشم می‌خورد، (شکل ۹) تنها در سال ۲۰۲۰ افزایش پوشش‌گیاهی مشاهده می‌شود و درمجموع روند نزولی وضعیت پوشش‌گیاهی در نمودار برآورد شده است. لازم به یادآوری است که این مسئله در آنومالی منطقه نیز به وضوح قابل مشاهده است. در بین سال‌های ۲۰۱۹ الی ۲۰۲۱ افزایش درصد پوشش‌گیاهی به چشم می‌خورد. نمودار همانند منطقه نوشهر از سه بخش تشکیل شده است: بخش اول رنگ خاکستری که حداقل و حداکثر پوشش‌گیاهی در بازه زمانی ذکر شده را بررسی کرده، در بخش دوم به رنگ مشکی میانگین پوشش‌گیاهی منطقه به تصویر کشیده شده است و در بخش پایانی با رنگ‌های مختلف مورد به مورد در بازه‌زمانی انتخاب شده پوشش‌گیاهی منطقه محاسبه شده است.



شکل ۹: درصد پوشش‌گیاهی منطقه چیتگر استان تهران طی بازه زمانی (۲۰۱۲ الی ۲۰۲۱) توسط شاخص NDVI

آنالیز داده‌ها

استاندارد سازی داده‌ها

داده‌های موردنظر در این پژوهش استانداردسازی شده و سپس رگرسیون و ضریب همبستگی آن محاسبه شد. ابتدا با استفاده از نرم افزار Minitab و تابع Auto-correlation function خود همبستگی مانده‌ها برطرف گردید و پس از آن تحلیل داده‌ها به صورت فصلی انجام گرفت و اثر فصلی مولفه‌ها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل واقع شد.

معیارهای ارزیابی خطا

برای تعیین کارائی و مقایسه نتایج از سنجه‌های آماری استفاده می‌شود. در این مطالعه برای آنالیزهای آماری از سنجه‌های P-value، R^2، و همچنین آزمون همبستگی پیرسون حاصل از نرم افزار Minitab استفاده شده‌است. همچنین برای برآورد خطا سنجه RMSE نیز محاسبه شده است.

ضریب تبیین (R^2)

این ضریب ابزار آماری برای تعیین نوع و درجه یک رابطه متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین همبستگی دو متغیر است. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین یک تا منفی یک است و در صورت وجود عدم رابطه بین دو متغیر برابر صفر است.

به عبارت دیگر مناسب‌بودن یک برازش بیانی از کیفیت یک همبستگی است که با تحلیل رگرسیون بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده تعیین می‌شود. ضریب تبیین (R^2) شاخص بسیار خوبی از چگونگی برازش یک مدل است که می‌توان آن را با استفاده از رابطه (۲) محاسبه نمود:

$$R^2 = 1 - \frac{RMSE^2}{\sigma^2} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در این رابطه σ انحراف معیار استاندار می‌باشد. R^2 می‌تواند مقادیر بین صفر و یک را اختیارکند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده بهتر بودن نتایج برازش است.

RMSE

علی رغم دقت در جمع‌آوری داده‌ها اما در هر پژوهشی مقدار حقیقی خطا را نمی‌توان تعیین نمود، اما بررسی‌ها نشان می‌دهد خطاهای

تصادفی از قوانین آماری تبعیت می‌کنند. خطاهای سیستماتیک و تصادفی جزء لاینفک اندازه‌گیری‌ها بوده و در داده‌های اندازه‌گیری شده پنهان می‌باشند. این خطاها را می‌توان با روش‌های مختلف تعیین و آشکار نمود، اما امکان حذف کامل آنها وجود ندارد، برای تعیین میزان کارائی پژوهش‌ها از سنجه‌های آماری متعددی استفاده می‌شود، یکی از رایج‌ترین سنجه‌های آماری معروف ریشه دوم متوسط مربعات خطا (RMSE) است که برای مجموع داده‌ای N به صورت زیر تعریف می شود:

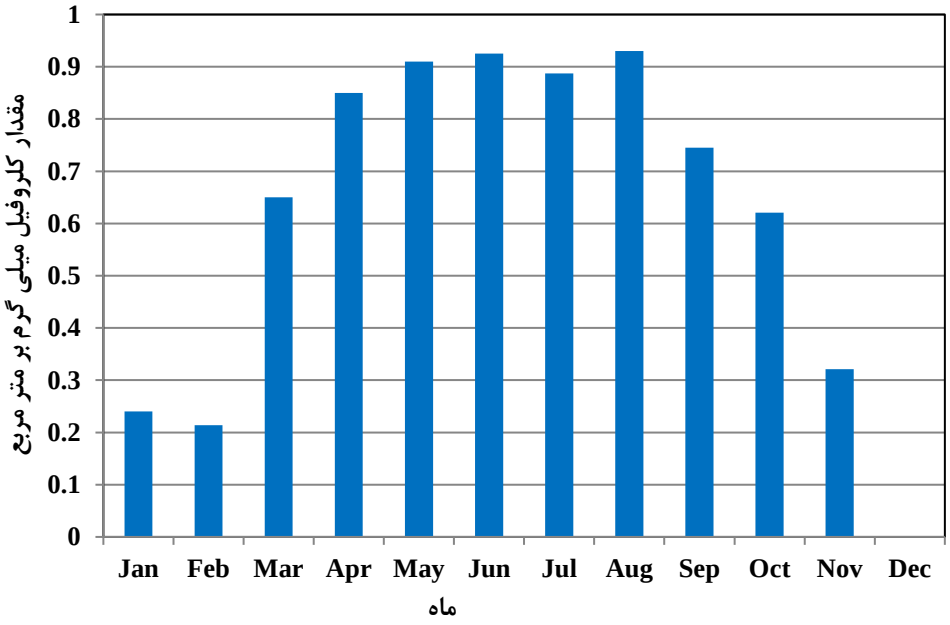
(رابطه ۳)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2}$$

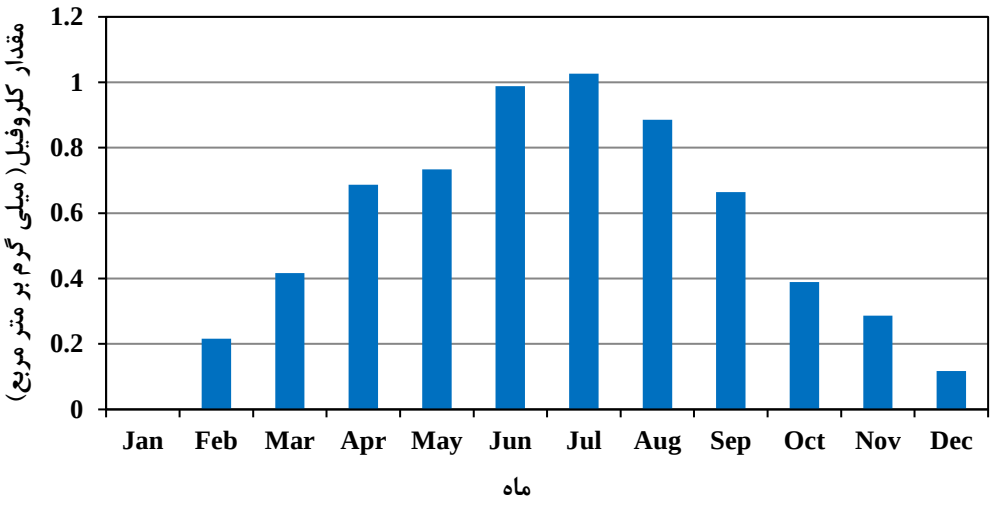
که در آن yi سری زمانی مشاهدات واقعی وŷi سری زمانی مشاهدات اندازه‌گیری شده است و n تعداد داده‌هاست.

بحث و نتایج

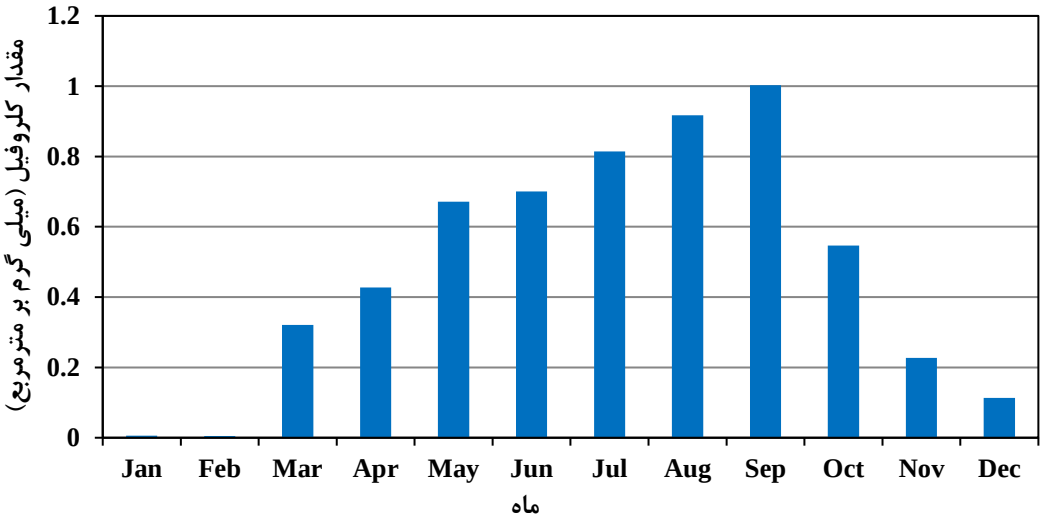
اصلی‌ترین فرایند تولید مواد درگیاهان توسط فتوسنتز انجام می‌شود که در آن SIF نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. انتخاب نماینده‌ی قوی در این راستا جهت محاسبه درست مقدار فلروسانس از موضوعات چالش برانگیز بوده است (Dechant,B.,2022). فلورسانس کلروفیل توسط سه اصل توزیع نور در برگها، تبدیل نور با ساطع شدن فلورسانس و انتشار فلورسانس ازطریق کانوپی گیاه برآورد می‌شود. تغییرات فصلی SIF می‌بایستی مستقل از فشارسطحی یا دما باشد زیرا تنش‌های زنده و غیرزنده (راد و همکاران، ۱۳۹۹) ، با توجه به ساختار کانوپی وابسته به این مسئله است و در مقیاس فصلی و روزانه نیز متفاوت است و نتایج تغییرات فصلی از تغییرات فیزیولوژیکی نشات می‌گیرد. داده‌های سنجش از دور نشانه خوبی برای فعالیت فتوسنتزی است. ودراین پژوهش داده‌های ماهواره‌ای SIF ارتباط قوی مولفه ظرفیت فتوسنتزی را با استفاده از دو منطقه فوق و پوشش سوزن‌برگی دو ناحیه نشان می‌دهد. شایان توجه است که در مقیاس کوتاه تنوع در ظرفیت فتوسنتزی کم و در مقیاس ماهانه و فصلی درسری زمانی زیادتر خواهد بود که در مقیاس فتوسنتزی توسط آنزیم RUBISCO تعیین می‌شود (Yu,.etal.,2022). همچنین توجه به مقادیر روزانه و فصلی تولید ناخالص اولیه یا (GPP) با توجه به نوع گیاه جهت محاسبه دقیق‌تر مقدار فلروسانس نیز از مهمترین موارد می‌باشد که بایستی مد نظر قرار گیرد (Zhaoying, .etal. 2022). شایان ذکر است با توجه به مدلسازی و سرعت کربوکسیلاسیون نیز می توان برای برخی محصولات زراعی از جمله ذرت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با توجه به مقدار تولید ناخالص اولیه و با استفاده از روش کوواریانس پیچه‌ی (اندازه‌گیری شار بخار آب) با استفاده از فلروسانس کلروفیل محاسبات را انجام داد که توجه به یک شاخص پوشش گیاهی مناسب من جمله (NDVI) حائز اهمیت می‌باشد (Liu,.etal.,2018).



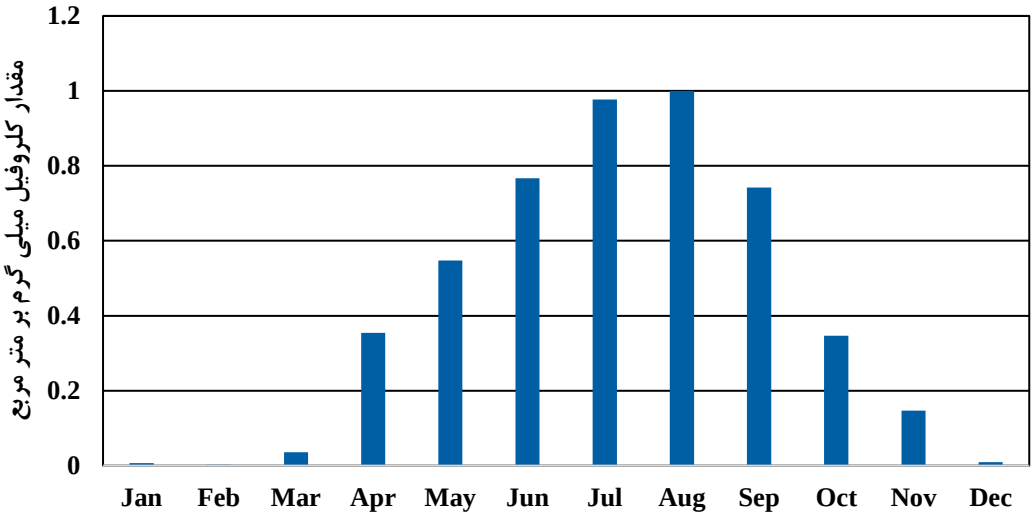
شکل ۱۰: نمودار ماهانه مقدار فلورسانس کلروفیل سوزنی‌برگان نوشهر (SIF) (۲۰۱۹)



شکل ۱۱: نمودار ماهانه مقدار فلورسانس کلروفیل سوزنی‌برگان نوشهر(SIF) (۲۰۲۰)



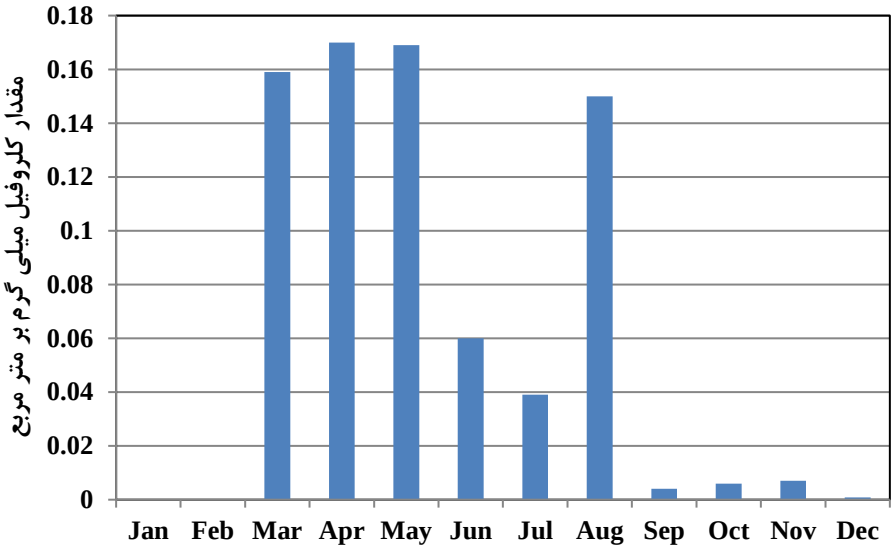
شکل ۱۲: نمودار ماهانه مقدار فلورسانس کلروفیل سوزنی‌برگان نوشهر(SIF) (۲۰۲۱)



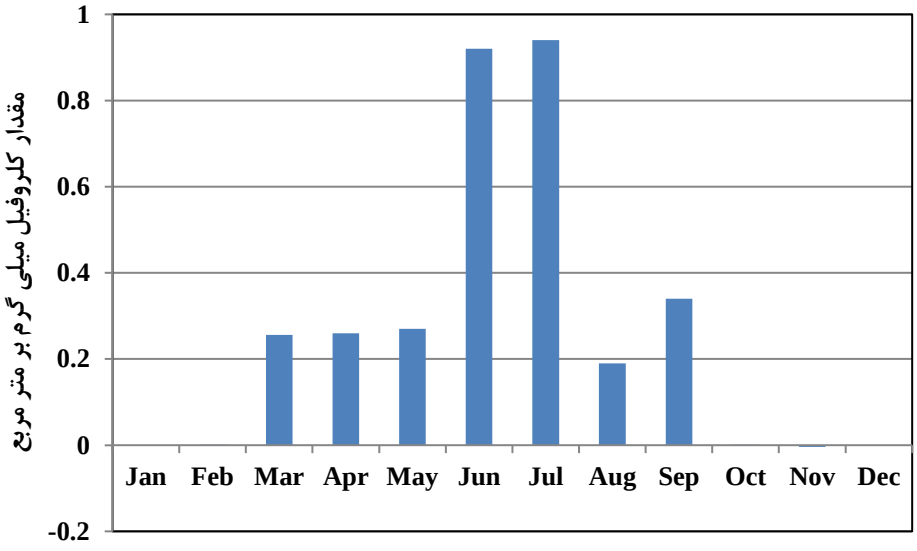
شکل ۱۳: نمودار ماهانه مقدار فلورسانس کلروفیل سوزنی‌برگان نوشهر(SIF) (۲۰۲۲)

با توجه به محاسبات انجام شده مقدار فشاربخار و رطوبت‌خاک در منطقه نوشهر بیشتر از منطقه چیتگر است. علت این امر اقلیم این منطقه است که بر طبق طبقه‌بندی کوپن و گایگر از نوع آب و هوای بسیار مرطوب نوع الف محسوب می‌شود. در واقع در تابستان گنجایش بخار پذیری جو بیشتر است و به تبع آن مقدار فشاربخار آب بالاتر است و بالعکس مقدار رطوبت‌نسبی اتمسفر پایین و در زمستان عکس قضیه صادق است، گنجایش بخار پذیری جو پایین و رطوبت‌نسبی بالا، بنابراین مقدار فشاربخار آب هم کمتر است. درنهایت افزایش دو مولفه سبب افزایش مقدار فلورسانس کلروفیل خورشید می‌شود و در نتیجه عملکرد فتوسنتزی پوشش‌گیاهی این ناحیه افزایش می‌یابد و زیست توده بالای‌سطح نیز به تبع آن افزایش خواهد یافت. در نتیجه مقدار فلورسانس کلروفیل نیز در بهار و تابستان با توجه به اوج فعالیت پوشش‌گیاهی بیشتر از فصول پاییز و زمستان خواهد بود که در نمودار مقدار فلورسانس شکل (۱۳-۱۰) به تصویر کشیده شده است.

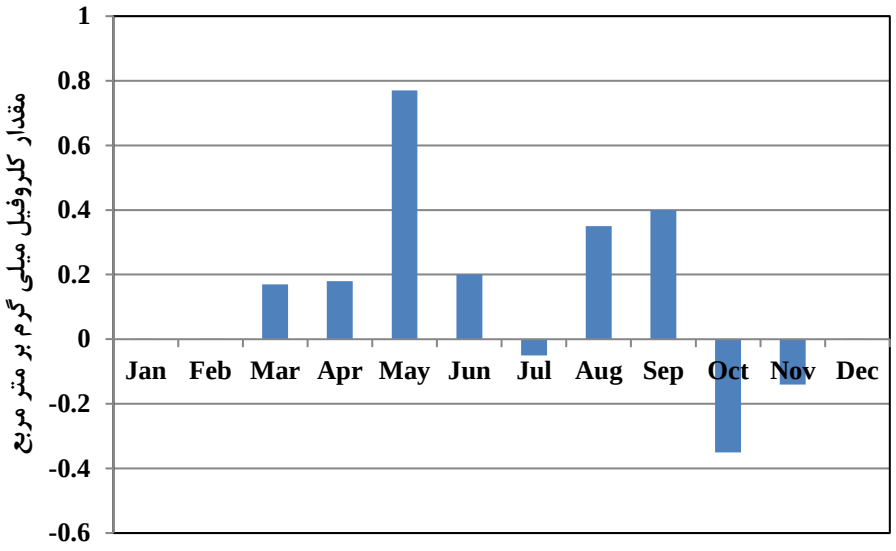
همانطور که در شکل‌های شماره ۱۷ الی ۱۴ مشخص می‌باشد مقدار فلورسانس کلروفیل خورشید در منطقه چیتگر تفاوت چشمگیری با ایستگاه نوشهر دارد علت این مسئله اقلیم منطقه است که بر طبق طبقه‌بندی کوپن و گایگر خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، بنابراین با کاهش مقدار فشاربخار آب مقادیر فلورسانس کلروفیل نیز کاهش می‌یابد. فشاربخار یک عامل محدودکننده محسوب می‌شود که بر SIF و به تبع آن بر فرآیند فتوسنتز پوشش‌گیاهی و عملکرد آن اثر چشمگیری خواهد گذاشت. در اصل کلروفیل منفی وجود ندارد و این به دلیل نویز و خطا سنجنده بوده است که رخ داده است، اما حذف نمی‌شود به دلیل اینکه در میانگین‌گیری اثر سوء بر جای خواهد گذاشت (Frankenberg. , 2015).



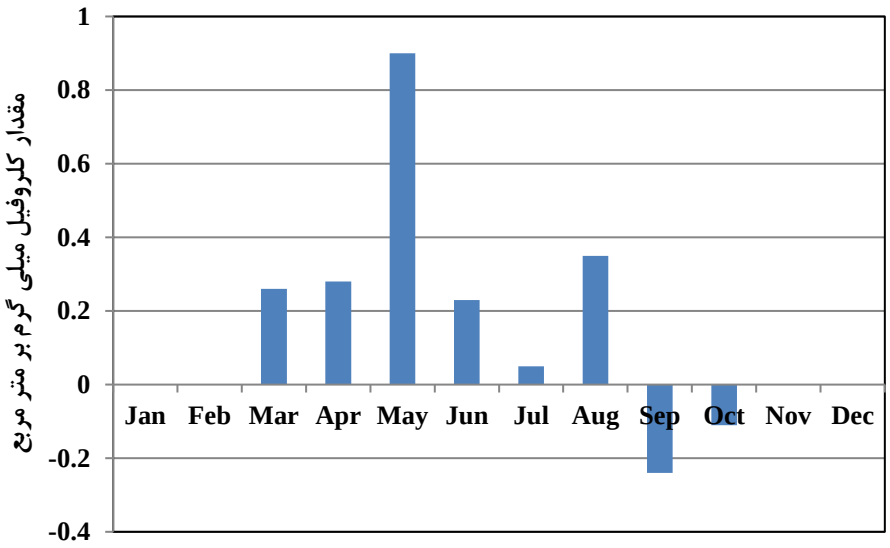
شکل ١٤: نمودار ماهانه مقدار فلورسانس کلروفیل سوزنی‌برگان چیتگر (SIF) (۲۰۱۹)



شکل۱۵: نمودار ماهانه مقدار فلورسانس کلروفیل سوزنی‌برگان چیتگر (SIF) (۲۰۲۰)



شکل۱۶: نمودار ماهانه مقدار فلورسانس کلروفیل سوزنی‌برگان چیتگر (SIF) (۲۰۲۱)

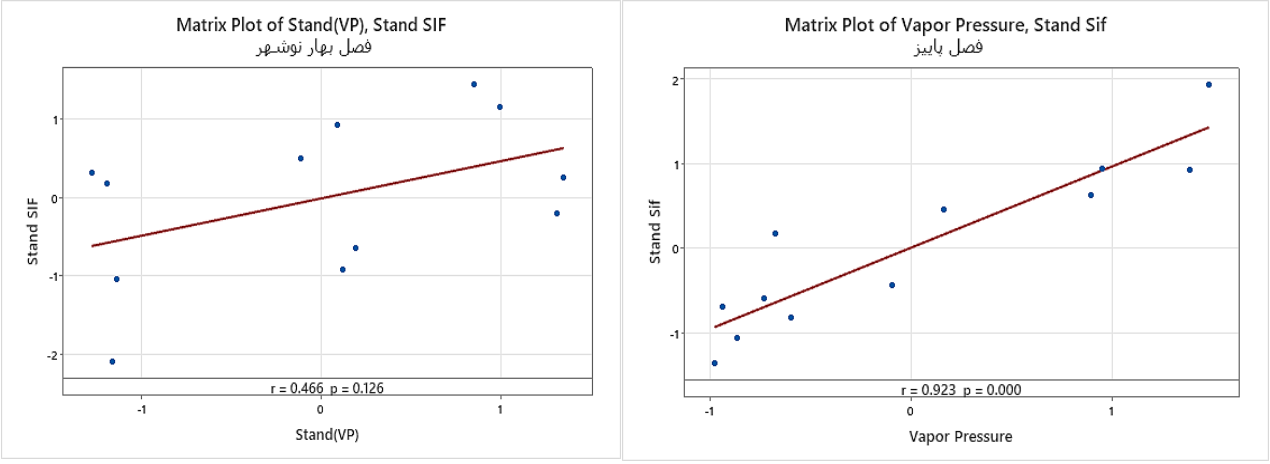


شکل۱۷: نمودار ماهانه مقدار فلورسانس کلروفیل سوزنی‌برگان چیتگر (SIF) (۲۰۲۲)

در بررسی اثرات فصلی مقدار فشاربخار آب و مجموع رطوبت‌خاک بر مقدار فلورسانس کلروفیل نتایج ذیل حاصل شده است:

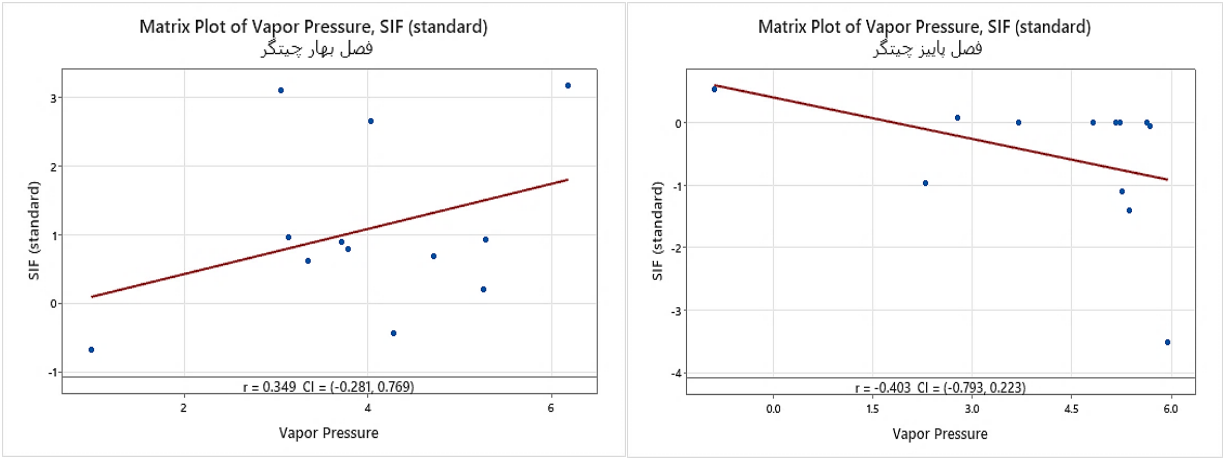
جدول۳: رابطه فلورسانس کلروفیل خورشید با فشاربخار آب در فصول مختلف نوشهر بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۱۹

ایستگاه نوشهر	R^2	P-value	RMSE (mg-m²)	Stdev
فصل پاییز	۰/۹۲	۰/۰۰۰	۷/۳	۳/۳۵
فصل زمستان	۰/۱۳	۰/۶۷۶	۶/۸	۱/۲۶
فصل بهار	۰/۴۶	۰/۱۲۶	۵/۸	۴/۸۰
فصل تابستان	۰/۰۸	۰/۸۰۵	۶/۴	۲/۴۰



شکل ۱۸: نمودار اثر فشاربخار بر مقدار (SIF) ایستگاه نوشهر در فصول پاییز و بهار

نتایج اثر فشاربخار به عنوان متغیر مستقل و کلروفیل به عنوان متغیر وابسته در منطقه نوشهر نشان می‌دهد (شکل۱۸) بالاترین مقدار همبستگی در فصل پاییز با توجه به نتیجه ضریب همبستگی پیرسون که مقدار آن ۰/۹۲ محاسبه شده، بوده است و مقدار P-value عدد ۰/۰۰۰ را نشان می‌دهد و RMSE ۷/۳ (میلی‌گرم بر مترمربع) محاسبه شده است. زیرا با افزایش بارش و همچنین افزایش رطوبت‌نسبی هوا مقدار فشاربخار نیز افزایش داشته و با توجه به فصل پربارش شمال کشور که معمولا در ماههای سپتامبر، اکتبر و نوامبر است با این مسئله همخوانی دارد. پایین‌ترین همبستگی در فصل تابستان و با مقدار R^2 ۰/۰۸ محاسبه شده است، مقدار P-value ۰/۸۰۵ و مقدار RMSE ۴/ میلی‌گرم بر مترمربع۶ محاسبه شده است. با افزایش مقدار فشاربخار مقدار فلورسانس کلروفیل خورشید افزایش یافته و تبادل روزنه‌ی درسطح‌برگ به تبع افزایش فشاربخار در لایه مرزی برگ روند صعودی خواهد داشت (Zhaoying, etal.,2022) با توجه به این مسئله افزایش تبادل بخارآب سبب افزایش فرآیند فتوسنتز خواهد شد و بالعکس چنانچه کاهش فشاربخار در اتمسفر رخ دهد به دنبال آن شاهد کاهش تبادلات روزنه‌ای به دلیل کمبود فشاربخار در ناحیه مذکور خواهیم بود و مقدار فلورسانس کلروفیل نور خورشید کمتر بوده و در نهایت بر عملکرد فرآیند فتوسنتز اثر می‌گذارد و با افزایش کمبود فشاربخار این مسئله تشدید می‌شود، البته بایستی اشاره شود که این مورد در پوشش‌گیاهی مختلف و آب و هوای متنوع متفاوت خواهد بود و روند تغییرات اثرات متفاوتی در انواع پوشش‌گیاهی خواهد داشت.



شکل ۱۹: نمودار اثر فشاربخار بر مقدار (SIF) ایستگاه چیتگر

جدول٤: رابطه فلورسانس کلروفیل خورشید با فشاربخار آب در فصول مختلف چیتگر بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۱۹

ایستگاه چیتگر	R^2	P-value	RMSE(mg-m²)	Stdev
فصل پاییز	-۰/۴۰	۰/۱۹۴	۷/۵	۱/۵۵
فصل زمستان	۰/۴۶	۰/۱۲۷	۶/۴	۱/۳۹
فصل بهار	۰/۳۴	۰/۲۶۶	۷/۳	۱/۳۷
فصل تابستان	۰/۳۶	۰/۲۴۰	۷/۸	۰/۹۷

نتایج اثر فشاربخار به عنوان متغیر مستقل و کلروفیل به عنوان متغیر وابسته در منطقه چیتگر نشان می‌دهد (شکل ۱۹) در فصول مختلف در منطقه پارک جنگلی چیتگر در بازه زمانی فوق الذکر، به جزء در فصل پاییز که مقدار R^2 ۰/۴- محاسبه شده است، که نشان دهنده همبستگی منفی مولفه در این فصل است، در سایر فصول به ترتیب ۰/۴۶ در بهار، ۰/۳۴ در تابستان و ۰/۳۶ در زمستان محاسبه شده است، که نشان دهنده همبستگی مثبت مولفه مورد نظر با مقدار SIF دارد. مقدار RMSE به ترتیب در فصل پاییز ۷/۵، در فصل زمستان ۶/۴ و در فصل بهار و تابستان به ترتیب ۷/۳ و ۷/۸ میلی گرم بر مترمربع محاسبه شده است.لازم به ذکر است در فصل پاییز با توجه به اینکه بارش‌های موثر منطقه از اواخر آبان و اوایل آذر آغاز می‌گردد به تبع آن کمبود رطوبت و فشار بخار آب در فصل ذکر شده همبستگی منفی در این فصل (پاییز) را به سبب کاهش فشاربخار آب در اتمسفر و همچنین کاهش شارتبادلی آب بین اتمسفربرگ و همچنین سطح‌برگ و ورود وخروج آب کمتر به داخل روزنه‌های گیاه کمتر انجام شده که به همان نسبت بر روی مقدار کلروفیل و در نهایت مقادیر عددی فتوسنتز اثر می‌گذارد و سبب کاهش تولید ناخالص اولیه و زیست توده بالای سطح کانوپی خواهد شد.

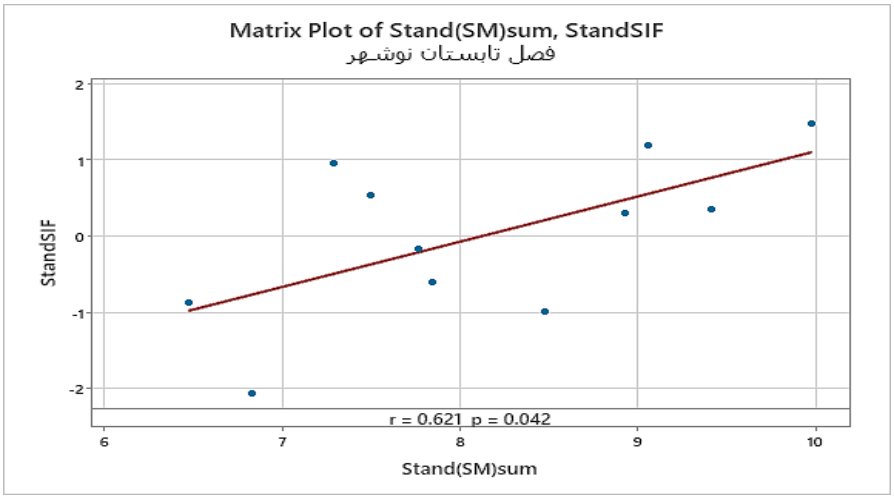
عامل رطوبت‌خاک نیز از مولفه‌های مهم و تاثیرگذار در فرآیند فتوسنتز و مقدار بیوماس بالای سطح کانوپی است. کاهش رطوبت‌خاک بر پتانسیل منفی آب‌خاک بیشتر اثر می‌گذارد که سبب انسداد آوندی می‌شود و سبب مقاومت بیشتر برای انتقال آب با آوند چوب می‌شود. ادامه روند کاهش رطوبت‌خاک منجر به هدر رفت هدایت الکترولیکی رطوبت‌خاک خواهد شد و بستن روزنه‌ها در مدت تنش آبی خاک سبب تنظیم مناسب تنفس در این مدت خواهد شد و از افرایش بیشتر هدایت الکترولیکی جلوگیری خواهد کرد چنانچه این روند در سطح خاک تشدید گردد مرگ گیاه را در پی خواهد داشت (Liu,etal.,2018).

جدول ۵: آنالیز اثرمجموع رطوبت‌خاک بر مقدار فلروسانس ایستگاه نوشهر در فصول مختلف بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۱۹

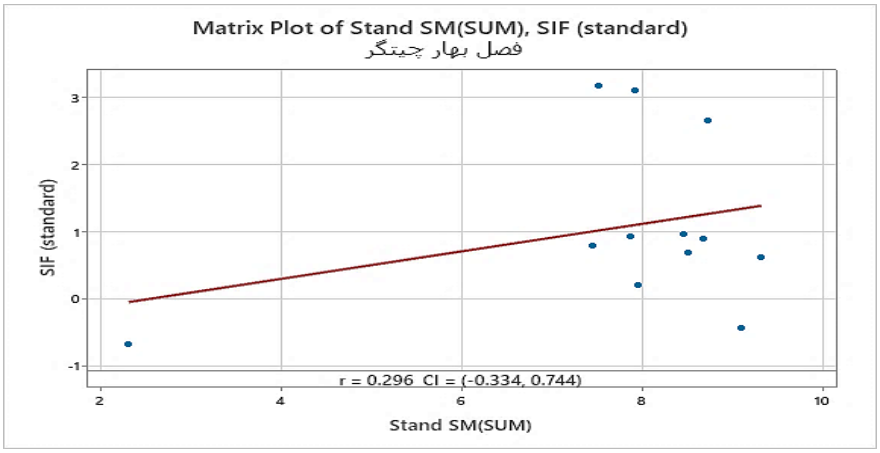
ایستگاه نوشهر	R^2	P-value	RMSE(mg-m²)	Stdev
فصل پاییز	-۰/۰۹	۰/۷۸۱	۷/۶	۲۳/۷۹
فصل زمستان	۰/۰۱	۰/۹۶۸	۷/۱	۱۵/۱۱
فصل بهار	-۰/۰۱	۰/۹۵۶	۵/۷	۱۷/۹۵
فصل تابستان	۰/۶۲۱	۰/۰۴۲	۶/۶	۲۸/۰۳

جدول ٦: آنالیز اثرمجموع رطوبت‌خاک بر مقدار فلروسانس ایستگاه چیتگر در فصول مختلف بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۱۹

ایستگاه چیتگر	R^2	P-value	RMSE(mg-m²)	Stdev
فصل پاییز	۰/۴۴	۰/۱۴۸	۷/۴	۱/۴۷
فصل زمستان	۰/۵۶	۰/۰۵۵	۶/۷	۱/۷۱
فصل بهار	۰/۲۹	۰/۳۵۰	۵/۹	۱/۱۱
فصل تابستان	۰/۱۳	۰/۶۷۲	۶/۷	۰/۳۷



شکل ۲۰: نمودار اثر مجموع رطوبت‌خاک بر مقدار (SIF) ایستگاه نوشهر بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۱۹



شکل۲۱: نمودار اثر مجموع رطوبت‌خاک بر مقدار (SIF) ایستگاه چیتگر بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۱۹

در بررسی آنالیز صورت گرفته مجموع رطوبت‌خاک بر روی مقدار فلورسانس کلروفیل خورشید در ایستگاه نوشهر، به غیر از فصل تابستان که همبستگی بالائی دیده می‌شود، در سایر فصول همبستگی معناداری مشاهده نمی‌شود، شاید یکی از علت‌های مهم آن اقلیم منطقه باشد. با توجه به طبقه‌بندی دمارتن، اقلیم این منطقه از نوع بسیار مرطوب نوع الف محسوب می‌گردد، بنابراین رطوبت‌خاک به‌عنوان عامل محدودکننده محسوب نمی‌شود. در فصل تابستان مقدار R^2 ۰/۶۲، RMSE ۶/۶ میلی‌گرم بر مترمربع و مقدار P-value ۰/۰۴۲ محاسبه شده است. در این فصل به‌دلیل تابش بیشتر نور خورشید، تبخیر بیشتر، و فعالیت بیشتر سوزنی‌برگان استفاده ریشه گیاه از مقدار رطوبت موجود در خاک بیشتر است چرا که با ایجاد تنش و ترشح هورمون اسید آبسیزیک اسید و انتقال این پیام توسط یونهای کلسیم و پتاسیم، سبب خواهد شد با بیان ژنی که رخ می‌دهد گیاه متوجه این موضوع خواهد شد که بایستی مقدار رطوبت موجود در خاک را برای استفاده در فرآیند فتوسنتز مدیریت کند، بنابراین همبستگی مثبت در این فصل دیده می‌شود هر چند با توجه به اقلیم منطقه معمولا از سطوح ۳۰-۱۰ سانتیمتری از سطح خاک جذب رطوبت را انجام می‌دهد.

در مجموع پارک جنگلی چیتگر رطوبت خاک در مجموع اعماق همبستگی مثبتی را با مقدار فلورسانس کلروفیل نشان می‌دهد. یکی از علت‌های این مسئله این است که ریشه سوزنی‌برگان منطقه در تمام اعماق گسترده شده و در واقع ریشه گیاه از تمامی اعماق مقدار آب و مواد غذایی را دریافت می‌کند. لذا ممکن است با عمق جداگانه رابطه مستقیم و قابل قبولی را نداشته باشد. اما در واقع برای مجموع پاسخگو بوده است. ریشه با توجه به ماهیت ژئوتروپیسم مثبت مجبور است برای جذب آب و مواد غذایی گسترش بیشتری را داشته باشد. ژئوتروپیسم پدیده‌ی است که گیاهان همواره از محل طوقه همراه با ریشه به سمت پایین حرکت می‌کنند.

نتیجه‌گیری

هر چند تمایز کامل اثر فشاربخار و رطوبت‌خاک از یکدیگر و اثر آنها بر مقدار SIF و در نهایت عملکرد پوشش‌گیاهی به آسانی نیست اما اثر این دو مولفه بر پوشش‌گیاهی سوزنی‌برگان در دو اقلیم متفاوت ذکر شده کاملا مشهود است. با توجه به آنالیزهای انجام شده دراقلیم منطقه چیتگر دو عامل فشاربخار و رطوبت‌خاک به عنوان عوامل محدودکننده در فتوسنتزگیاهی محسوب می‌شوند و کمبود هر یک از این موارد می‌تواند آسیب جدی بر عملکرد فتوسنتزی سوزنی‌برگان این منطقه بگذارد که در پی آن بیوماس بالای سطح و مقدار فلورسانس کلروفیل را نیز تحت الشعاع خود قرار خواهد داد. اثر هر فصل نیز با توجه به وجود تنش های زنده و غیر زنده، بر روی مقدار کلروفیل یا سبزینه تاثیر می‌گذارد و در نهایت عملکرد فتوسنتزی پوشش‌گیاهی سوزنی‌برگان را تحت الشعاع خود قرار خواهد داد.

در بررسی و آنالیز پژوهش مورد نظر خصوصا در منطقه چیتگر با توجه به مقدار R^2 تقریبا در تمامی فصول هر چهار سال رطوبت مجموع اعماق همبستگی مثبتی را با مقدار فلروسانس کلروفیل خورشید نشان می‌دهد به طور مثال در فصل پاییز و زمستان بالاترین همبستگی با مقادیر R^2 به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۵۶ محاسبه شده است و مقادیر RMSEبه ترتیب در فصل پاییز ۸/۶،۱/۷،۹/۴،۲/۵،۸/۶،۸/۲ (میلی‌گرم بر مترمربع) و در فصل زمستان ۶/۷،۳/۶،۸/۶،۳/۵،۱/۸ و ۷/۹ (میلی‌گرم بر مترمربع) محاسبه شده است. نتایج فوق نشان می‌دهد که گسترش ریشه در تمامی اعماق رخ داده و مجموع رطوبت اعماق برای بررسی تمامی فصول سال در خصوص همبستگی مثبت با مقدار فلروسانس توجیه پذیر است و مطابق با فرضیه پژوهش مورد نظر است. همچنین در برخی فصول منجمله فصول بهار و تابستان که فعالیت گیاه بیشتر و روند صعودی فرآیند فتوسنتز با توجه به محیا شدن شرایط و پارامترها مشاهده می‌شود، همبستگی با تقریبا تمامی اعماق در

پژوهش مورد نظر دیده شده است. وجود همبستگی منفی در برخی اعماق رطوبت‌خاک با مقدار فلروسانس در برخی فصول نیز به عوامل متعدد و مختلفی بستگی دارد که از مهمترین آنها می توان به وجود تنش زنده و غیر زنده از جمله تنش آبی، شوری، آفات و بیماریها اشاره کرد که هر کدام به طور مستقل می‌تواند بر روی سبزینه یا کلروفیل تاثیرگذار باشند و در نهایت مقدار فلروسانس و مقادیر عددی فتوسنتز سوزنی‌برگان دو منطقه را دچار نوسان کنند.

شوری از جمله در مناطق خشک و نیمه خشک یکی از مهمترین تنش‌ها است، که عوامل هواشناسی خصوصا خشکسالی در آن تاثیر بسزایی دارد با توجه به اینکه مناطق مختلف ایران با خشکسالی های شدیدی طی دو دهه گذشته مواجه بوده اند این امر سبب شده است که انباشته شدن نمک ناشی از آبیاری در محیط پیرامونی ریشه و افزایش پتانسیل آبی‌خاک از جمله آسیب‌هایی است که در اثر رخداد این مورد به ریشه این گیاهان وارد می‌شوند. ضمن اینکه بیشترین آسیب در تنش شوری به اندام‌های هوایی گیاه از جمله برگ وارد خواهد شد که نقش بسزایی در فتوسنتز ایفا می‌کند و همچنین در واقع گیاه تعیین ظرفیت فتوسنتزی خود را مطابق با شرایط آب و هوایی کاهش می‌دهد. عدم وجود رطوبت کافی در سطوح مختلف خاک و اتمسفر سبب کاهش تبادل بخارآب با لایه مرزی گیاه شده و در واقع سبب می شود که در اصطلاح گیاهشناسی مقاومت روزنه‌ی ایجاد گردد و در واقع با ترشح هورمون اسید آبسزیک اسید ریشه گیاه به برگ‌ها با استفاده از بیان ژنی هشدار می‌دهد به دلیل افزایش پتانسیل ماتریک در خاک گیاه بایستی روزنه‌های خود را ببندد و تبادل بخار آب و co2 خود را متوقف کند. نظر به اینکه آب، یکی از عناصر کلیدی فرآیند فتوسنتز گیاهان است، بنابراین گیاه فرایند فتوسنتز خود را متوقف خواهد کرد و به تبع آن ظرفیت فتوسنتزی که با فلورسانس کلروفیل مشخص می شود نیز کاهش خواهد یافت تا گیاه بتواند این شرایط را تحمل کند و چنانچه این شرایط ادامه یابد با مرگ گیاه مواجه خواهیم بود. همچنین کاشت غیربومی گونه‌ها سبب شده مقاومت گیاهان نسبت به تنش‌های دما یا شوری نیز در دو منطقه کمتر شده و سبب بروز این دسته از مشکلات شود. و در منطقه مرطوب نیز سوزنی‌برگان نسبت به برخی آفات و بیماریها از جمله شته‌های سوزنی‌برگان آسیب پذیرهستند، مانند کاج سروخمره‌ای که نسبت به این آفت حساس می‌باشد و در منطقه مرطوب مناسب برای کاشت جهت احیاء جنگل‌کاری ها نیست و توصیه نیز نمی‌شود که با خسارت به برگ‌های درونی سوزنی‌برگان سبب کاهش مقدار سبزینه (کلروفیل) خواهد شد که در نهایت در کاهش مقادیر عددی فتوسنتز سوزنی‌برگان منطقه مذکور تاثیر بسزایی دارد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

حلمی‌جدید، مهدی و آقا شریعتمداری، زهرا (۱۳۹۷). تعیین ارتفاع کاشت درخت غیربومی در جنگل‌های شمال ایران بر اساس شاخص‌های حرارتی، ۲۵ مجله تحقیقات حفاظت از آب و خاک، جلد ۱ شماره صفحه ۱۹۷.

ذبیحی، حسن؛ گلر، آریس؛ امین، زال؛ کار نائینی، گورابی و رمضانی، بهمن. (۱۳۹۵). نقشه برداری حساسیت مرکبات به تنش یخ زدگی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در رامسر، ایران. آب و هوا و اقلیم شدید، ۱۴، ۱۷-۲۳.

شریفانی، محمد مهدی؛ فرهادی، حسن؛ علیزاده، مهدی؛ حکم آبادی، حسین و علی نیای فرد، ساسان. (۱۴۰۰). ارزیابی تغییرات فلورسانس کلروفیل و مقدار زیست توده پایه پسته و هیبریدهای بین گونه ای (P. Vera × P. integerrima) به منظور به دست آوردن پایه‌های مقاوم به خشکی. میوه پژوهی، ۵(۲)، ۱۵۵-۱۷۱

راد، محمدهادی؛ دهقانی، فرهاد؛ مومن پور، علی؛ و سلطانی گردفرامرزی، ولی (۱۳۹۹). ارزیابی تحمل به شوری برخی از گونه‌های رایج در جنگل داری و ایجاد منظر. طبیعت ا یران، ۵(۲)، ۵۳-۶۲

فهیمی خویردی، فاروق و شمشیری، محمدحسین. (۱۳۹۵). مقایسه عملکرد فتوسیستم ۲ در چهار رقم پایه ای پسته اهلی با استفاده از تکنیک فلورسانس کلروفیل در شرایط تنش خشکی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۵(۱۷)، ۹۵-۱۰۸.

کیانی، الهام (۱۳۹۴). بررسی تنوع گیاهی و برخی خصوصیات خاک در پوشش زیرزمینی پارک جنگلی چیتگر، پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه تهران (به زبان فارسی).

محتشمی، سهیلا (۱۴۰۱). مدل سازی و پهنه بندی موثر بارش در مناطق پرباران با استفاده از داده‌های سنجش از دور و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و توسعه، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

REFRENCES

Cao, J., An, Q., Zhang, X., Xu, S., Si, T., & Niyogi, D. (2021). Is satellite Sun-Induced Chlorophyll Fluorescence more indicative than vegetation indices under drought condition? *Science of the Total Environment*, *792*,

148396.
Dash, J., & Curran, P. J. (2007). Evaluation of the MERIS terrestrial chlorophyll index (MTCI). Advances in Space Research, 39(1), 100-104.
Dechant, B., Ryu, Y., Badgley, G., Köhler, P., Rascher, U., Migliavacca, M., Zhang, Y., Tagliabue, G., Guan, K., & Rossini, M. (2022). NIRVP: A robust structural proxy for sun-induced chlorophyll fluorescence and photosynthesis across scales. *Remote Sensing of Environment*, *268*, 112763.
Fahimi Khoirdi, Farouq, and Shamshiri, Mohammad Hossein.(2015). Comparing the performance of photosystem II in four basic cultivars of domesticated pistachio using the chlorophyll fluorescence technique under drought stress conditions. Plant Process and Function, 5(17), 96-109. SID. https://sid.ir/paper/234187/fa (In Persian).
Frankenberg, C. (2015). Solar Induced Chlorophyll Fluorescence OCO-2 Lite Files (B7000) User Guide; California Institute of Technology. *Jet Propulsion Laboratory: Pasadena, CA, USA*, 1-10.
(Helmijadid,Mehdi and Agha Shariatmadari, Zahra(2018). Determining the planting height of non-native tree in the forest of northern Iran based on thermal Indices,25 Journal of water and soil conservation Research, Volume 1 number page 197 (In Persian).
Kiani, Elham (2015).The study of plant diversity and some soil characteristics in the understory cover of Chitgar Forest Park, Master's Thesis of Desert Area Management, University of Tehran (In Persian).
Kim, J., Ryu, Y., Dechant, B., Lee, H., Kim, H. S., Kornfeld, A., & Berry, J. A. (2021). Solar-induced chlorophyll fluorescence is non-linearly related to canopy photosynthesis in a temperate evergreen needleleaf forest during the fall transition. *Remote Sensing of Environment*, *258*.
Liu, L., Yang, X., Zhou, H., Liu, S., Zhou, L., Li, X., Yang, J., Han, X., & Wu, J. (2018). Evaluating the utility of solar-induced chlorophyll fluorescence for drought monitoring by comparison with NDVI derived from wheat canopy. *Science of the Total Environment*, *625*, 1208-1217.
Liu, X., Liu, Z., Liu, L., Lu, X., Chen, J., Du, S., & Zou, C. (2021). Modelling the influence of incident radiation on the SIF-based GPP estimation for maize. *Agricultural and Forest Meteorology*, *307*, 108522.
Mohtashmi, Soheila (2022). Effective rainfall modeling and zoning in rainy areas using remote sensing data and artificial intelligence algorithms, master's thesis of the Department of Irrigation and Development Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. (In Persian).
Rad, Dehghani, Mominpour, Soltani Gardframarzi, & Vali.(2020). Evaluation of salinity tolerance of some common species in forestry and landscape creation. Nature of Iran, 5(2), 53-62 (In Persian).
Sharifani, Farhadi, Hasan, Alizadeh, Hakemabadi, Ali Niai Fard, & Sasan. (2021). Evaluation of changes in chlorophyll fluorescence and the amount of biomass of pistachio rootstocks and interspecies hybrids (P. vera × P. integerrima) inorderto obtain drought-tolerant rootstocks.Fruit research,5(2), 155-171(In Persian).
Shimada, R., & Takahashi, K. (2022). Diurnal and seasonal variations in photosynthetic rates of dwarf pine Pinus pumila at the treeline in central Japan. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, *54*(1), 1-12.
Van der Tol, C., Berry, J., Campbell, P., & Rascher, U. (2014). Models of fluorescence and photosynthesis for interpreting measurements of solar-induced chlorophyll fluorescence. *Journal of geophysical research: Biogeosciences*, *119*(12), 2312-2327.
Wang, S., Zhang, Y., Ju, W., Porcar-Castell, A., Ye, S., Zhang, Z., Brümmer, C., Urbaniak, M., Mammarella, I., & Juszczak, R. (2020). Warmer spring alleviated the impacts of 2018 European summer heatwave and drought on vegetation photosynthesis. *Agricultural and Forest Meteorology*, *295*, 108195.
Xinjie Liu a, Zhunqiao Liu b, Liangyun Liu a, Xiaoliang Lu b, Jidai Chen a, Shanshan Du a, Chu Zou a (2021). Modelling the influence of incident radiation on the SIF-based GPP estimation for maize.
Yu, T., Jiapaer, G., Bao, A., Zheng, G., Zhang, J., Li, X., Yuan, Y., Huang, X., & Umuhoza, J. (2022). Disentangling the relative effects of soil moisture and vapor pressure deficit on photosynthesis in dryland Central Asia. *Ecological Indicators*, *137*, 108698.
Zabihi, H., Vogeler, I., Amin, Z. M., & Gourabi, B. R. (2016). Mapping the sensitivity of citrus crops to freeze stress using a geographical information system in Ramsar, Iran. *Weather and Climate Extremes*, *14*, 17-23.
Zhang, Y., Guanter, L., Joiner, J., Song, L., & Guan, K. (2018). Spatially-explicit monitoring of crop photosynthetic capacity through the use of space-based chlorophyll fluorescence data. *Remote Sensing of Environment*, *210*, 362-374.
Zhang, Z., Zhang, X., Porcar-Castell, A., Chen, J. M., Ju, W., Wu, L., Wu, Y., & Zhang, Y. (2022). Sun-induced chlorophyll fluorescence is more strongly related to photosynthesis with hemispherical than nadir measurements: Evidence from field observations and model simulations. *Remote Sensing of Environment*, *279*, 113118.

Comparing the impact of water vapor pressure deficit and soil moisture on the performance of forest plants photosynthesis using remote sensing data

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In recent years, new methods for application in various fields of science, including meteorology-agriculture, have gained special importance. Remote sensing is applied to estimate the sun's chlorophyll fluorescence. As matter of fact the climate of the earth is the sum of the interactions between its effective components and vegetation is considered one of its important and inseparable components, in the meantime, the process of photosynthesis is particular of importance.

Materials and Methods

The data required for the research, including the vapor pressure and soil moisture in the two considered stations, have been received from the National Meteorological Organization. Also, the amount of chlorophyll data of the vegetation cover of the two regions in question has been obtained through programming in Google Earth Engine and from the Sentinel 2 satellite. Considering that chlorophyll data related to vegetation is needed, the best index to obtain its data is MTCI (Meris Terrestrial Chlorophyll Index), which is used to estimate vegetation content from 2017. It has been used on the said satellite. But its data has gradually been made available to the public for use in research work since 2019.

Results and Discussion

The main process of material production in plants is carried out by photosynthesis, in which SIF plays a very important role. Choosing a strong representative in this direction to correctly calculate the amount of fluorescence has been a challenging issue. Chlorophyll fluorescence is estimated by the three principles of light distribution in leaves, light conversion by fluorescence emission and fluorescence diffusion through the plant canopy. The seasonal changes of SIF should be independent of the surface pressure or temperature because biotic and abiotic stresses are dependent on this issue according to the canopy structure and it is also different on a seasonal and daily scale and the results of seasonal changes originate from physiological changes. Remote sensing data is a good indication of photosynthetic activity. And in this research, the SIF satellite data shows a strong relationship between the photosynthetic capacity component using the above two areas and the coniferous cover of the two areas. It is worth noting that on a short scale, the variation in photosynthetic capacity is low and on a monthly and seasonal scale, it will be more in a time series that is determined by the enzyme RUBISCO in the photosynthetic scale.

Conclusion

Although it is not easy to fully distinguish the effect of vapor pressure and soil moisture from each other and their effect on the SIF value and finally the plant cover performance, but the effect of these two components on the coniferous plant cover in the two different climates mentioned above is quite evident. According to the analyzes carried out in the climate of Chitgar region, two factors, vapor pressure and soil moisture, are considered as limiting factors in plant photosynthesis, and the lack of any of these factors can seriously damage the photosynthetic performance of coniferous. Leave this area, which will then overshadow the biomass above the surface and the amount of chlorophyll fluorescence. The effect of each season, due to the presence of biotic and abiotic stresses, affects the amount of chlorophyll or vegetation, and will ultimately overshadow the photosynthetic performance of coniferous vegetation. For example, in arid and semi-arid regions, salinity stress is one of the most important stresses, the accumulation of salt caused by irrigation in the surrounding environment of the roots and the increase in water-soil potential are among the damages that are caused to the roots of these plants. . In addition, the most damage in salinity stress will be done to the aerial organs of the plant, including leaves, which play a significant role in photosynthesis.

Keywords: Soil moisture, Water vapor pressure, SIF, Remote sensing, Needles.