Advanced Environmental Sciences ***(Adv. Environ. Sci.)*** **2025, 23(2):515-532** **ISSN: 2588-6177**

Original Article

Investigating the Effect of Atmospheric Pollutants on the Photosynthesis Efficiency of Conifers Using Remote Sensing Data (Case Study: Chitgar Region)

Received: 2024.05.12
Accepted: 2024.09.16

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

[2] Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. Karaj, Iran

[3] Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

How to cite this article:
SaadatMoghadasi, A., Aghashariatmadari, Z. and Etemad, V., 2025. Investigating the Effect of Atmospheric Pollutants on the Photosynthesis Efficiency of Conifers Using Remote Sensing Data (Case Study: Chitgar Region). Adv. Environ. Sci. 23(2): 515-532.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Vegetation can be very effective in this direction and be fruitful in the direction of reducing atmospheric pollutants and sustainable development in any country. Some pollutants such as carbon monoxide, ozone can cause destructive effects on vegetation for many plants. Especially in arid and semi-arid areas, the needles are suitable for reforestation and reducing environmental pollutants.

Materials and Methods: The pollutants examined in this study are included: suspended particles in the atmosphere with a size of 2.5 microns, 10 microns, NOX, NO2, NO, CO and O3. Seasonal effects have also been considered in this research, which has been analyzed using two-way analysis of variance table and the mutual effects of pollutants in different seasons.

Results and Discussion: The effects of carbon monoxide in the spring season on the process of photosynthesis of vegetation in Chitgar Forest Park have been estimated to be negative. Since the balance must be maintained in the totality of the elements of photosynthesis, therefore, the excessive increase of carbon monoxide in the Chitgar Forest Park has negative effects on the photosynthesis of vegetation; on the other hand, these negative effects have been seen in autumn and winter. In winter, this value is higher than other seasons. One of its causes can be mentioned the temperature inversions in the region, which has more negative effects on the region's ecosystem due to the stillness of the air and the greater accumulation of this pollutant in the Forest Park Complex.

Conclusion: The highest percentage of correlation is obtained in the winter season with the amounts of ozone and carbon monoxide and the chlorophyll fluorescence of the sun. In previous studies, different combinations of forest plants and conifers and broad-leaved species have been studied and combined with pollutants such as PM2.5, PM10, or sulfur dioxide, but in this study, the discussion of two influential elements is carbon monoxide. Nitrogen oxide on the coniferous species of Chitgar forest park complex has been discussed and investigated. In addition, in the study conducted, the highest correlation percentage of sunlight chlorophyll fluorescence has been calculated on these two elements, and it was calculated in the winter season with an R^2 value of 93/16%, a P-value of 0/013, and an RMSE value of 4/7 mg/m^2. The effects of this element are also quite evident in the winter season. Among the reasons for this can be the expansion of urbanization, exposure to pollutants in the direction of the prevailing wind (west to east) from Alborz to Chitgar forest park complex, temperature inversion, lack of sufficient standard fuel for cars. Lack of careful monitoring of the technical inspections of used cars, population growth, human activities contrary to environmental principles, lack of attention to climate change and one of its effects is global warming and the subsequent increase in greenhouse gases due to the increase in activities. The low correlation percentage of two elements with chlorophyll fluorescence in the autumn season and 63/25% correlation with P-value 0/197 and RMSE 9/6 mg/m^2 have been calculated. In this season, due to the presence of drought stress, increase in temperature and increase in evaporation from the soil and plant surface, as well as the delay in the beginning of autumn rains in the country, due to the elevation of the subtropical belt (the northern limit of the Hadley cell), which according to the bulletins in the last 20 autumns of the last 14 autumns, the country's meteorological organization has started its rains with a delay, which is the proof of this claim.

Keywords: Remote sensing, Atmospheric Pollutants, Plant Photosynthetic, Solar Fluorescence

* **Corresponding Author Email Address:** zagha@ut.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2024.1398

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم محیطی نوین، ۵۳۲-۵۱۵ : (۲) ۲۳، ۱۴۰۴ شاپا: ۶۱۷۷-۲۵۸۸

مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر آلاینده های جوی بر کارایی فتوسنتز گیاهان سوزنی برگ با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: منطقه چیتگر)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۳

علیرضا سعادت مقدسی [۱]، زهرا آقاشریعتمداری [۲]* ، وحید اعتماد [۳]

[۱] گروه ابیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

[۲] گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

[۳] گروه جنگلداری و اقتصاد دانشکده منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، نام شهر کرج، کشور ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: آلاینده‌هایی نظیر مونواکسید کربن و ازن می‌توانند اثرات مخربی را بر بسیاری از پوشش‌های‌گیاهی ایجاد کنند. در این پژوهش سعی شده است تا اثرات آلاینده‌های مهم زیست محیطی از جمله اکسیدنیتروژن، ازن و مونواکسیدکربن بر روی گونه‌های سوزنی‌برگ مجموعه پارک جنگلی چیتگر با پایش تغییرات مقدار فلورسانس کلروفیل خورشید (SIF) مورد بررسی قرار گیرد. آلاینده‌ها به طور کلی به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم بندی می‌شوند که مونو اکسید کربن و دی اکسید کربن جزء آلاینده‌های ثانویه هستند.

مواد و روش‌ها: آلاینده‌های مورد بررسی در این مطالعه شامل: ذرات معلق جو با اندازه ۲.۵ میکرون، ۱۰ میکرون، NOX، NO2، NO، COو O3 هستند .اثرات فصلی نیز در این تحقیق در نظر گرفته شده است که با استفاده از جدول تحلیل واریانس دوطرفه و اثرات متقابل آلاینده‌ها در فصول مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

نتایج و بحث: تحلیل همبستگی آلاینده ها و مقادیر SIF نشان می‌دهد که افزایش بیش از حد منواکسید کربن در فصل پاییز و به دنبال آن فصل زمستان موجب کاهش مقدار فلورسانس کلروفیل خورشید و به تبع آن کاهش فتوسنتز پوشش گیاهی سوزنی برگان مورد مطالعه می‌شود (همبستگی منفی، R^2=-۶۳/۲۵). در فصل زمستان بالاترین درصد همبستگی آلاینده‌ها با فلورسانس کلروفیل خورشید، 93/16 درصد همبستگی با مقدار P-value= ۰/۰۱۳ و مقدار RMSE، 7/4 میلی‌گرم بر مترمربع محاسبه شده است. در فصل پاییز اثر مثبت اکسید نیتروژن مشاهده می‌شود که نشان دهنده اهمیت این عنصر در فرآیندهای شیمیایی گیاهان (فتوسنتز گیاه) از جمله سوزنی‌برگان است. در واقع از دست دادن کلروفیل ناشی از تاثیر مخرب آلاینده‌ها منجر به کاهش جذب نور، کاهش مقدار جذب خالص، کاهش اثر بخشی جریان پتاسیم و حجم سلولهای نگهبان روزنه خواهد شد. اثرات مونوکسید کربن در فصل بهار بر فرآیند فتوسنتز پوشش گیاهی در پارک جنگلی چیتگر منفی برآورد شده است .از آنجایی که باید تعادل در مجموع عناصر فتوسنتز حفظ شود، بنابراین افزایش بیش از حد مونوکسید کربن در پارک جنگلی چیتگر اثرات منفی بر فتوسنتز پوشش گیاهی دارد؛ از سوی دیگر، این اثرات منفی در پاییز و زمستان نیز دیده شده است .در زمستان این مقدار بیشتر از سایر فصول است .از جمله علل آن می‌توان به وارونگی دما در منطقه اشاره کرد که به دلیل سکون هوا و تجمع بیشتر این آلاینده در مجموعه پارک جنگلی، اثرات منفی بیشتری بر اکوسیستم منطقه دارد.

نتیجه گیری: تغییر اقلیم و یکی از جلوه‌های آن گرمایش جهانی، گسترش شهرنشینی، افزایش برخی از آلاینده‌های ثانویه مثل مونو اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن افزایش دما و رشد جمعیت موضوعاتی است که در آینده نه چندان دور می‌تواند خسارت به فتوسنتزگیاهان در اثر افزایش آلاینده‌های مخربی چون ازن و مونواکسید کربن را تشدید کند. حتی برخی از گونه‌های سوزنی برگان که مقاومت خوبی به شرایط تنش زا دارند نیز از این مسئله در امان نخواهند بود. با توجه به وزش باد غالب در منطقه (غرب به شرق) و حرکت آن به سمت مجموعه پارک جنگلی چیتگر و افزایش غلظت آلاینده‌هایی چون ازن و منواکسید کربن، این آلاینده‌ها از طریق روزنه‌ها وارد برگ شده ضمن تخریب ساختمان برگ، بر روی فرآیند فتوسنتز گیاه نیز اثرات زیان باری را وارد خواهد نمود. عوامل جانبی دیگری نیز تشدید کننده این مسئله هستند خصوصا در فصول پاییز و زمستان این مورد نمود بیشتری خواهد داشت که سبب تجمع بیشتر ازن و مونواکسید کربن در محیط پیرامونی برگ و گیاه خواهد شد. از جمله آن‌ها می‌توان به رشد و گسترش شهرنشینی، افزایش فعالیت های کشاورزی با مصرف بی رویه سوخت‌ها و آلایندهای زیست محیطی، تنش خشکی خصوصا در مناطق خشک و نیمه خشک، تاخیر در آغاز بارش‌های پاییزه، تغییر اقلیم و تجمع بیش از اندازه گازهای گلخانه‌ی و به تبع آن افزایش دما، رشد جمعیت و مواردی از این قبیل اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، آلاینده جوی، فتوسنتز پوشش گیاهی، فلورسانس تابش خورشید

استناد به این مقاله:
سعادت‌مقدسی، ع.، آقاشریعتمداری، ز. و اعتماد، و. ۱۴۰۴. بررسی تأثیر آلاینده‌های جوی بر کارایی فتوسنتز گیاهان سوزنی‌برگ با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: منطقه چیتگر). فصلنامه علوم محیطی نوین. ۲۳(۲): ۵۱۵-۵۳۲.

* **Corresponding Author Email Address:** zagha@ut.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2024.1398

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

جامعه جهانی نیازمند مشارکت همگانی برای کاهش آلاینده‌های زیست محیطی است (Heydari *et al*., 2013). پوشش گیاهی می‌تواند در این راستا کارائی بسزایی داشته باشد و در جهت کاهش آلاینده‌های جوی و نیز توسعه پایدار در هر کشوری مثمر ثمر واقع گردد. پاسخگویی مناسب به نیاز روحی و جسمی بشر از ضروریات زندگی شهری است و بشر امروز با درک جایگاه فضای سبز و پوشش گیاهی می‌بایست در حفظ و احیاء هر چه بیشتر آن بکوشد چراکه آلوده شدن اتمسفر و محیط پیرامون گیاه علاوه بر تاثیر سوء بر روی انسان در فرآیند فتوسنتز پوشش‌گیاهی نیز اثرات مخربی را به همراه خواهد داشت (Mehdizadeh, *et al*., 2012).

سیر مطالعاتی با هدف شناسایی تاثیر آلاینده‌های جوی بر روی انواع گونه‌های سوزنی‌برگ از دیرباز ادامه‌دارد (Mikhailova, *et al*.,2017). Mikhailova, *et al*. (2017)پژوهشی را در رابطه با اثرات عناصری همچون منیزیم، آهن، نیتروژن و کلسیم بر تغییرات رنگدانه‌های گونه سوزنی‌برگ اسکاتلندی با نام *Pinus sylvestries* L. در یک منطقه صنعتی در شرق سیبری انجام دادند. نتایج نشان داد برخی عناصر ازجمله منگنز، فسفات و پتاس تحت آلودگی تکنوژنیک اثر معکوس داشته‌اند. اختلال در مجموع رنگدانه‌های سوزنی‌برگان ناشی از وجود آلودگی درجو سبب کاهش در مقدار کلروفیل a شده است و در پی آن سطح کارتنوئیدها در مقدار پس زمینه را نیز تحت الشعاع خود قرار داده و سبب کاهش مقدار آن خواهد شد.

Fedorchak (2020) برخی از گونه‌های سوزنی‌برگ در منطقه‌ای صنعتی در اوکراین با پوشش‌گیاهی استپی را مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان دادند که مقادیر کلروفیل a ,b در یک منطقه صنعتی بزرگ تحت تاثیر آلاینده‌های مختلف کاهشی بوده‌اند، حال‌آن‌که مقادیر کارتنوئیدها افزایشی بوده است. همچنین شواهد نشان می‌دهد، کاهش در مقادیر کلروفیل a بیشتر از مقدار کلروفیل b بوده است که نقش بیشتری در فرآیند فتوسنتزی دارد.

جنگل‌های سوزنی‌برگ و مخصوصا برخی گونه‌های آن از جمله *Pinus halepensis* Mill. مقاومت بسیار خوبی به تنش‌های خشکی دارند و به همین دلیل برای احیاء جنگل‌کاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک مناسب است. لذا با توجه پوشش‌جنگلی اندک در کل کشور و همچنین ویژگی خاص فوق الذکر در خصوص سوزنی برگان، انجام طرح‌های تحقیقاتی سازگاری با گونه‌های درختی در کشوری چون ایران اهمیت بیشتری می‌یابد. این مسئله به‌ویژه در سواحل دریای خزر و پوشش‌جنگلی موجود در آن که بخش زیادی از آن شامل سوزنی برگان می‌باشد از اهمیت خاصی برخوردار است (Hemati, *et al.*, 2019). یکی از نقاط قوت سوزنی‌برگان نسبت به پهن‌برگان کیفیت بهتر چوب و کاربرد بیشتر آن‌ها در مصارف صنعتی می‌باشد. ارزیابی گیاهان از نظر مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی می‌تواند در پیدا کردن محصولات فیبری مناسب بسیار موثر باشد، خصوصیات مورفولوژیکی نظیر طول و پهنای الیاف در گونه‌های سوزنی برگ بهتر از نوع پهن‌برگان است و به طورمثال در صنعت کاغذسازی مورد توجه بیشتری می‌باشند (Kamrei, *et al*., 2016).

امروزه زیرساخت سبز با استفاده از پوشش‌گیاهی یکی از مهم‌ترین مسائل برای بهبود کیفیت هوا خصوصا در مقیاس محلی است و نقش سوزنی‌برگان در این زمینه بی‌بدیل است. با استفاده از مشارکت عمومی و سامانه‌های پشتیبان تصمیم می‌توان به این مهم دست یافت (Barwise, *et al.,* 2021). وجود عناصر و گازهای مختلف هریک تاثیر متفاوتی بر فرآیند رشد و توسعه گیاهی دارد. به‌عنوان مثال نیتروژن در افزایش زیست توده بالای سطح زمین و همچنین افزایش رشد ریشه و اندام‌های هوائی گیاهان از اهمیت بالایی برخوردار است تاجایی

که مطالعات بسیاری در مناطق خشک با تمرکز بر تاثیر همزمان وجود برخی از گازها مانند CO_2 و افزایش آن به همراه عنصر نیتروژن در اندازه گیری زیست توده گیاهی انجام گرفته است. براساس سناریوی تغییر اقلیم RCP8.5 تا سال ۲۱۰۰ در مناطق خشک و نیمه خشک نیتروزن آزاد روند کاهشی دارد و می تواند اثر منفی بر افزایش زیست توده گیاهان در این مناطق بگذارد (Li *et al.*, 2023). علاوه‌براین نه تنها مناطق خشک و نیمه خشک، بلکه تالاب ها و چمن زارها نیز از آثار زیانبار تجزیه کربن و نیتروژن در طی دو دهه گذشته در امان نبوده اند و با توجه به تغییراقلیم و وقوع گرمایش جهانی، به شدت از میزان دو عنصر ذکر شده در محیط پیرامونی آن‌ها نیز کاسته شده است. از بین دو عنصر ذکر شده تجزیه کربن در چمنزارها و تالاب ها حائز اهمیت بالایی بوده است (Fang.Q, *et al* .,2018).

فعالیت های انسانی نیز میتوانند در اکوسیستم جنگلی اختلال وارد نمایند و آن‌ها را چه در مقیاس محلی و چه در مقیاس جهانی تحت الشعاع خود قرار دهند. امروزه سلامت جنگلها بسیار مهم هستند چرا که به‌عنوان شریان حیاتی زندگی بشر محسوب می‌شوند و با توجه به فعالیت‌های انسانی مواد سمی بسیار زیادی وارد محیط جنگل‌ها می‌شود و اثر مخربی را بر اکوسیستم آن وارد می‌سازد (Lausch.A, *et al*., 2016). پایش تغییرات پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از ابزار بسیار کاربردی در این زمینه استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای است (Almalki R, *et al*.,2022). استفاده از داده‌های سنجش از دور برای ارزیابی تغییرات زیستگاه‌ها و اکوسیستم‌های جنگلی از جمله در ماهواره Landsat از اهمیت زیادی برخوردار است. استفاده از داده های راداری سنتز روزنه تا طیف بندی و تشخیص نور و تبادل عناصر موجود در آن می تواند از مهمترین یافته های این ماهواره باشد. همچنین رصد تغییرات اقلیمی و کمک به طرح و برنامه ریزی برای مدیریت آینده محیط زیست از دیگر مزایای استفاده از سنجش از دور است (Nagendra. H, *et al*., 2013). (Kefauver, *et al*., 2013) با استفاده از تکنولوژی سنجش ازدور اثرات ازن بر روی سوزنی برگان را در کالیفرنیا (ایالات متحده) و کاتالونیا (اسپانیا) مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. استفاده از شاخص آسیب رسان ازن در گونه *Pinus ponderosa* و *Pinus jeffreyin* در امریکا نشان می‌دهد ازن تروپوسفری تخریب بسیار شدیدی بر ساختار برگ و روزنه‌های آن دارد. میزان سازگاری در گونه *Pinus uncinutg* در اسپانیا با ظهور علائمی چون لکه های کلروتیک و نکروزه، قدرت نگهداری و مقاومت سوزنی برگان، طول سوزن و عمق تاج مورد بررسی واقع شد.

چگونگی جذب دی اکسید کربن در طی روز نیز یکی از مواردی است که درگیاهان دارای اهمیت است و تبادل اکوسیستم خالص را تحت الشعاع خود قرار می‌دهد. مدل-های تجربی نشان داده‌اند که با کاهش رطوبت سطحی در اکوسیستم، جذب خالص دی اکسید کربن در بازه زمانی صبح تا ۱۱ درصد کاهش می‌یابد، به‌علاوه انتقال آلودگی هوا به طور مثال از دره تا بخش مرکزی به غلظت بالاتر ذرات آئروسل، اضمحلال نور، و پخش نور در مدت عصر نسبت به صبح بستگی دارد که این مقدار نسبت به صبح بالاتر است و همچنین طبق بررسی‌های انجام شده پراکنش تابش در عصر نسبت به صبح ۲۴ درصد بالاتر است. تجمع هواویزها جذب خالص CO_2 توسط جنگل‌ها را تا میزان ۸ درصد افزایش می‌دهد که ناشی از تغییرات تابش مستقیم و پراکنده است (Mission L, *et al*., 2005).

یکی از عوامل بسیار مهم که در مطالعات پوشش گیاهی می‌بایست مورد توجه ویژه قرار بگیرد تغییر اقلیم و افزایش دمای هوا می‌باشد. با توجه به گزارش هیئت بین الدول تغییر اقلیم (گزارش ششم) گرمایش جهانی بر فرآیند تنفس و فتوسنتز پوشش‌گیاهی جنگلی اثر مستقیم دارد. مطالعات

انجام شده که در گزارش ششم نیز بیان شده است، نشان می‌دهد که جنگل‌های عرض‌های شمالی بیشترین تاثیر را از این مسئله پذیرفته اند و با ادامه این روند گسترش زیست بوم‌ها به سمت این مناطق گرایش پیدا خواهد کرد و اثرات تنش در اثر رخداد رویدادهای حدی بر روی فرآیند فتوسنتز و عوامل دخیل بر آن غیر قابل اجتناب است و به‌ویژه اثرات آن بر روی اکوتونها و گونه های درختی نیز از مهترین نشانه های این مسئله است (Holtmeier F, *et al*., 2005).

با توجه به تاثیر انکار ناپذیر آلاینده‌ها در فصول پاییز و زمستان و همچنین تداوم فرآیند فتوسنتز در سوزنی برگان در این فصل‌ها که در مقایسه با بسیاری از گیاهان خصوصا در مناطق معتدل و نیمه خشک فرآیند فتوسنتز آنها تا اواخر فصل پاییز ادامه دارد و در طی فصل زمستان نیز علیرغم روند کاهشی به طور کامل قطع نمی‌شود، در این مطالعه درختان سوزنی‌برگ مجموعه پارک جنگلی چیتگر با هدف مطالعه تاثیر آلاینده‌ها بر روی مقادیر عددی فتوسنتز با درنظر گرفتن عامل موثر فصل به‌عنوان جامعه هدف مدنظر قرارگرفته‌است. هدف ویژه این بررسی پایش و تعیین تاثیر آلاینده‌های ثانویه محیطی ازن، مونو اکسید کربن، نیتروژن و دی‌اکسیدگوگرد بر روی ظرفیت فتوسنتزی گیاه و فلورسانس کلروفیل خورشید (SIF) سوزنی‌برگان پارک جنگلی چیتگر با درنظر گرفتن تاثیر فصل می باشد. در این راستا با ارائه جدول آنالیز واریانس دو طرفه اثرات هریک از آلاینده‌های ذکر شده بر روی فلوروسانس کلروفیل در چهار فصل سال مورد بررسی قرار گرفته است تا میزان و بزرگی تاثیر آلاینده های مذکور در فصول مختلف محاسبه شود که این مهم اهمیت مطالعه مورد نظر را نسبت به مطالعات گذشته بیشتر می‌کند Jongmin *et al*., 2021, Shimada *et al*., (2022). در این پژوهش سعی شده است که از به‌رزوترین شاخص محاسبه فتوسنتز پوشش گیاهی یعنی شاخصی که بتواند تمام شرایط محیطی، تابش و مقدار سبزینه را دقیق محاسبه نماید، استفاده شود. SIF نماینده بسیار خوبی برای این‌کار است، که با استفاده از شاخص MTCI محاسبه می‌شود.

مواد و روش ها

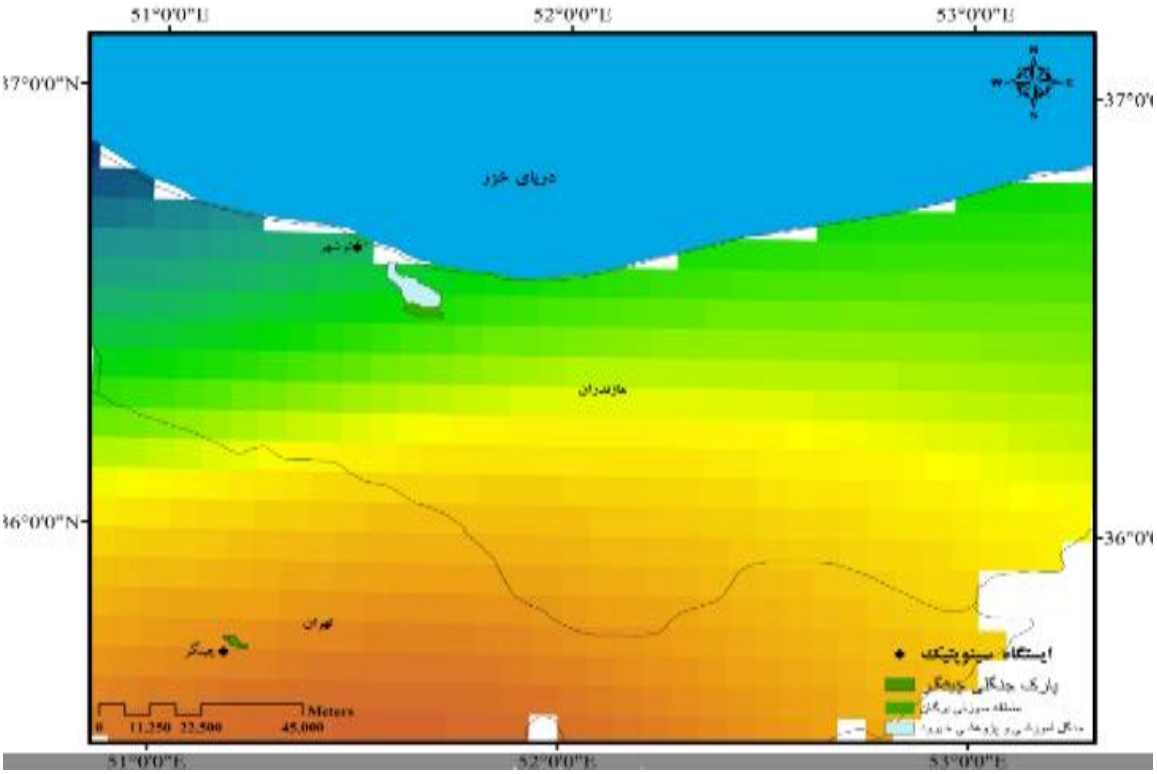
منطقه مورد مطالعه

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 قرار دارد (شکل ۱). عرض جغرافیایی منطقه ۳۵/۷۴ شمالی و طول آن ۵۱/۲۱ شرقی است و ارتفاع منطقه از سطح‌دریا ۱۳۰۵/۲ متر می باشد. در دهه ۴۰ سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور تصمیم به احداث و جنگل‌کاری در سه منطقه تهران گرفت. بنابراین در شمال، بوستان جنگلی لویزان و در شرق، بوستان جنگلی سرخه حصار و در غرب، بوستان جنگلی چیتگر احداث شدند. احداث پارک جنگلی چیتگر، که بالابردن مقدار اکسیژن هوای تهران یکی از اهداف ساخت آن بوده است، از سال ۱۳۴۲ شروع و جنگل‌کاری آن تا سال ۱۳۴۸ به طول انجامید. گونه‌های گیاهی این پارک شامل درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ همچون زبان گنجشک، درخت اقاقیا، درخت نارون، پلت، سرو خمره ای، سرو نقره ای، افرای سیاه و ارغوان می‌باشند. همچنین قسمتی از زمین‌های اطراف پارک دارای پوشش مرتعی هستند که دخالت انسانی در آن صورت نمی‌گیرد (Mahmoudabadi and Karimi, 2014). اجتماعات جانوری این پارک نیز شامل گونه هایی چون لارستان و اوریال، گونه های ایرانی کمیاب و در معرض خطر که با اقلیم این پارک سازگار هستند و همچنین حیواناتی مانند اسب، روباه، گوزن، آهو، خرگوش و انواع پرندگان می‌باشند.

محدوده مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژی قسمتی از مخروط افکنه‌های بزرگ کوه‌های مرتفع شمال تهران

ورودخانه‌های کن و وردآورد می‌باشد که در دشت تهران- ری به‌عنوان شمالی‌ترین فرونشست ایران مرکزی و با برجستگی‌های بسیار کم، پوشیده از رسوبات نسبتا جوان آبرفتی می‌باشد. در محدوده دریاچه چیتگر هفت گسل با طول۲ تا ۱۰ کیلومتر مشاهده می‌شوند که بر روی سطح زمین اثراتی گذاشته‌اند (Sayad *et al*., 2022). مطالعات پیشین زمین ساختی در راستای گسل شمال تهران، نشان دهنده برش رسوبات کواترنری است. سامانه گسل شمال تهران در کنار بلندی های البرز مرکزی و پهنه آبرفتی دامنه جنوبی قرار دارد. این سامانه در بردارنده گسل های پیشرونده متعددی مانند وردآورد، چیتگر، محمودیه، نیاوران و میلاد است که به سوی جنوب از صفحه اصلی گسل شمال تهران در مرز واحدهای سنگی ائوسن و نهشته های یخچالی پلیوکواترنری جدا شده اند (Nazari, 2006). جنس رسوبات به طور عمده از توفیت، آندزیت، آندزیت بازالت و ماسه سنگ در زمینه ای سیلتی- رسی، تشکیل شده است (Kaveh Firouz *et al*., 2011).

این پارک بر روی نهشته‌های آبرفتی حاصل فعالیت رودخانه‌ها و مسیل‌های فصلی جریان یافته از کوه‌های البرز بنا شده است و متشکل از کنگلومرای همگن یا قلوه‌سنگ، شن و ریگ بوده و فضای میان دانه‌ها را ماسه، سیلت و رس پر کرده است. و خاک‌های منطقه مورد مطالعه در دو راسته Entisols و Aridisols طبقه‌بندی می‌شوند (Mahmoudabadi and Karimi, 2014). 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 شده 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. متوسط PH خاک منطقه بین ۷/۵ الی ۸ در نوسان است.

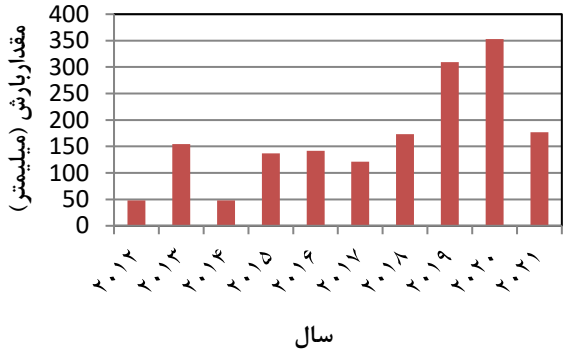


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نسبت به ایستگاه سینوپتیک

Fig. 1- Geographical location of the study area relative to the synoptic station

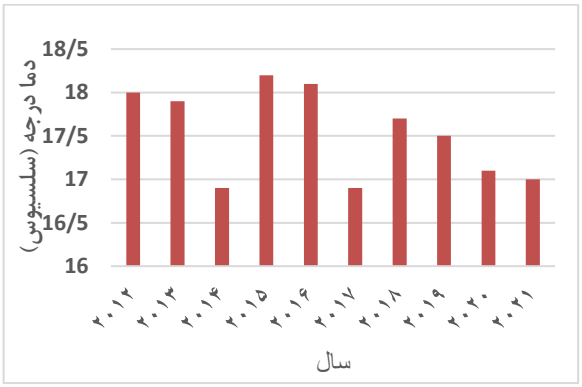
آب و هوای منطقه

منطقه مورد مطالعه برطبق طبقه‌بندی (1884) Köppen-Geiger در رده آب و هوای خشک و نیمه-خشک قرار می‌گیرد و میانگین ۱۰ ساله بارش آن ۲۵۳/۲ میلی‌متر می باشد (شکل ۲). میانگین سالانه دما در دوره ده ساله مورد مطالعه در منطقه بین ۱۷/۳ الی ۱۹/۱ درجه سلسیوس در نوسان بوده است (شکل ۳). با توجه به اینکه رژیم بارندگی مدیترانه‌ای است فصل خشک منطبق بر ماه آخر فصل بهار و فصل تابستان می باشد و بارندگی منطقه معمولا از آبان ماه شروع می‌شود. رژیم رطوبتی منطقه، اریدیک و رژیم حرارتی منطقه ترمیک می‌باشد.



شکل ۲- میانگین بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک چیتگر در بازه زمانی ۲۰۱۲ الی ۲۰۲۱

Fig. 2- Average annual rainfall of Chitgar synoptic station in the period from 2012 to 2021



شکل ۳- میانگین دما سالانه ایستگاه سینوپتیک چیتگر در بازه زمانی ۲۰۱۲ الی ۲۰۲۱

Fig. 3- Average annual temperature of Chitgar synoptic station in the period from 2012 to 2021

گونه گیاهی غالب منطقه

گونه غالب سوزنی‌برگ در مجموعه پارک جنگلی چیتگر، کاج تهران (*Pinus brutia* var. *eldarica*) است (شکل ۴) که مساحتی درحدود ۳۶۶/۵۲ هکتار (۴۵ درصد از کل پارک) را به خود اختصاص داده است. این گونه به شرایط نسبتا سخت محیط به لحاظ خشکی و خاک های فقیر گونه بردبار محسوب می‌شود. به همین دلیل مسئولین پارک در سال‌های قبل از ۱۳۶۸ به تصور اینکه پهن‌برگان در اثر کمبود آب زودتر از کاج تهران از بین می‌روند، در برنامه‌های آبیاری خود سهم آب مورد نیاز کاج را به پهن‌برگان اختصاص داده‌اند. در نتیجه کاج‌ها در قسمت عمده منطقه از آبیاری محروم شده و این امر موجب کاهش رشد و نیز ریزش و کوتاه شدن سوزن‌های آن گردیده است. بررسی‌های نشان می‌دهد درختان کاج ۳۰ تا ۵۰ درصد از سوزنهای خود را از دست داده‌اند و در بسیاری از نواحی طول برگهای سوزنی به ۱/۳تا ۱/۵ طول معمولی رسیده است.

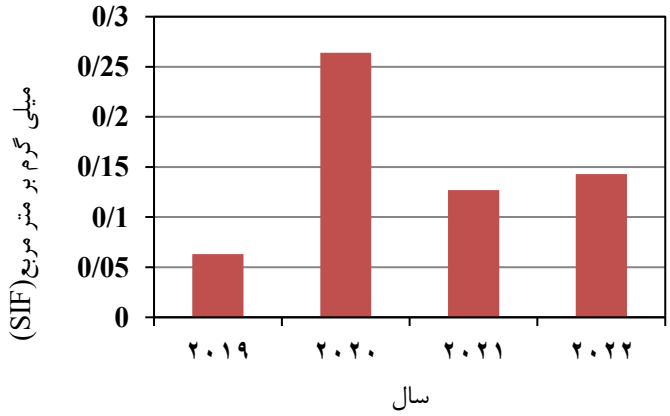
شکل 4- واریته‌ی *Pinus brutia* var. *eldarica* منطقه پارک جنگلی چیتگر

Fig. 4- Pinus Eldarica species of Chitgar Forest Park area

داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد نیاز برای انجام پژوهش از ایستگاه سنجش آلودگی چیتگر واقع در شهرداری منطقه ۲۲ و در بازه زمانی ۲۰۲۳ الی ۲۰۱۹ جمع آوری شده است. آلاینده‌های مورد بررسی در این مطالعه شامل ذرات معلق در جو با اندازه ۲/۵ میکرون، ۱۰ میکرون، SO_2، NOX، NO_2، NO، CO و O_3 می‌باشند. با توجه به اهمیت مجموع پارک جنگلی چیتگر و صنایع مستقر در پیرامون آن به وِیژه در غرب پارک، اثرات آلاینده‌های فوق الذکر بر روی پوشش‌گیاهی منطقه بسیار حائز اهمیت است.

همچنین داده های فلورسانس کلروفیل خورشید با استفاده از سنجنده سنتیل ۲ دریافت شده است که به شکل میانگین سالانه در تحلیل‌ها مدنظر قرار گرفته است (شکل ۵). تعیین ظرفیت فتوسنتزی با استفاده از این مورد با درنظر گرفتن تنش-ها و سایر عوامل دخیل در چرخه فتوسنتز گیاه می‌تواند نتایج قابل قبول‌تری را به همراه داشته باشد. فلورسانس کلروفیل خورشید در سوزنی‌برگان نقش تعیین‌کننده‌ای درفتوسنتز پوشش‌گیاهی دارد و اختلال درروند فلورسانس کلروفیل می-تواند در کاهش مقادیر عددی فتوسنتز تاثیر بسزایی داشته باشد. لازم به توضیح است که داده‌های مقدار فلورسانس کلروفیل بیشتر از این موجود نمی‌باشد، زیرا با توجه به جدیدترین محاسبات انجام شده توسط سنجنده سنتیل ۲ از سال ۲۰۱۷ میلادی اندازه گیری شده است و پس از صحت‌سنجی و اعتبارسنجی از سال ۲۰۱۹ در اختیار عموم قرار گرفته است.



شکل 5- میانگین سالانه مقدار فلورسانس کلروفیل مجموع پارک جنگلی چیتگر در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۲۲

Fig. 5- Annual average amount of total chlorophyll fluorescence of Chitgar Forest Park in the period of 2019-2022

چگونگی محاسبه SIF و دریافت داده از سنجنده سنتیل ۲

داده‌های فلوورسانس کلروفیل از سنجنده سنتیل ۲ دریافت شده است. 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 و داده¬های آن به تدریج از سال ۲۰۱۹ میلادی پس از صحت سنجی و اعتبار سنجی جهت استفاده در کارهای تحقیقاتی در اختیار عموم قرار گرفته 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 رنگ-آبی، B3 رنگ‌سبز و B4 رنگ‌قرمز می‌باشد. بهترین شاخص برای بدست آوردن داده‌های کلروفیل پوشش-گیاهی، شاخص (Meris Terrestrial Chlorophyll Index) MTCI می‌باشد که برای برآورد محتوای پوشش-گیاهی از ۲۰۱۷ بر روی ماهواره مذکور مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص مذکور دارای دو مشخصه است: اول اینکه به‌راحتی قابل محاسبه است و در مرتبه دوم حساسیت بالایی به مقدار کلروفیل یا سبزینه دارد (Dash.J, *et al*.,2007).

مشخصات و باندهای حرارتی سنجنده در جدول ۱ آمده است. لازم به توضیح است که طیف باندی قابل پوشش توسط این شاخص ۴۴۰ الی ۲۱۹۰ نانومتر است که در واقع طیف فعال فتوسنتزی یعنی دامنه ۴۴۰ الی ۸۴۰ نانومتر آن در این تحقیق به کار رفته است. به‌منظور همپوشانی بازه زمانی داده‌ها، 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. فرمول شاخص در رابطه ۱ ارائه شده است:

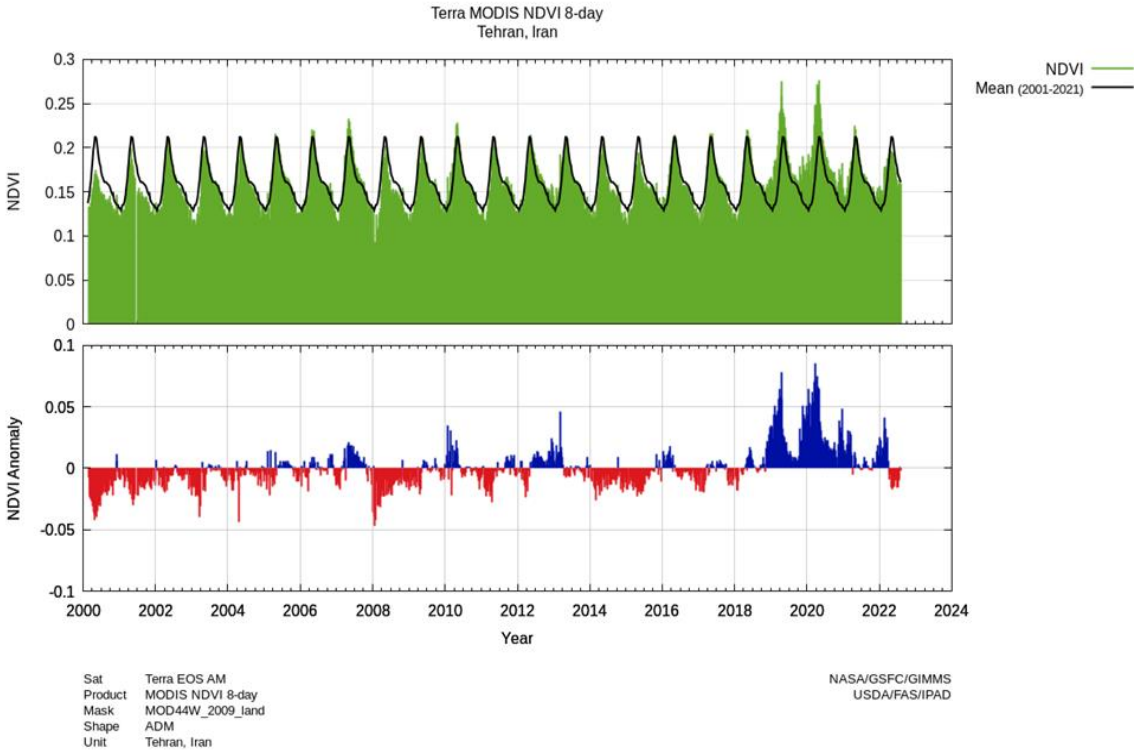
$$\mathrm{MTCI}=\frac{R_{\mathrm{Band10}}-R_{\mathrm{Band9}}}{R_{\mathrm{Band9}}-R_{\mathrm{Band8}}}=\frac{R_{753.75}-R_{708.75}}{R_{708.75}-R_{681.25}}, \qquad (۱)$$

جدول ۱- مشخصات کامل سنجنده سنتیل ۲

Table 1. Full characteristics of Sentinle-2

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

همچنین بررسی وضعیت آنومالی پوشش‌گیاهی مجموع پارک جنگلی چیتگر با استفاده از سنجنده مادیس و میانگین گیری ۸ روزه انجام شده است. سنجنده مادیس به دلیل دارا بودن باند های حرارتی از جمله سنجنده های پرکاربرد در محاسبات بیلان انرژی می‌باشد. سنجنده مادیس مستقر بر روی ماهواره‌های آکوا و ترا است. 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 و از سال ۱۹۹۹ میلادی تا به امروز تصاویر با ارزشی از سطح زمین را ارائه کرده‌است.



شکل 6- آنومالی پوشش‌گیاهی مجموع پارک جنگلی چیتگر

Fig. 6- Vegetation anomaly of Chitgar Forest Park

در شکل ۶ آنومالی پوشش‌گیاهی مجموعه پارک جنگلی چیتگر نشان داده شده است. شاخص تعدیل شده پوشش گیاهی یا (NDVI) دربازه زمانی ذکر شده با محاسبه میانگین ۸ روزه برآورد شده است. در بازه زمانی اوایل سال ۲۰۱۹ الی اوایل سال ۲۰۲۲ میلادی پوشش‌گیاهی منطقه افزایش چشمگیری داشته است که عدد شاخص طی این مدت ۰/۸۸ الی ۰/۹۲ بر روی نمودار ثبت شده است. یکی از دلایل آن وقوع پدیده النینو دربازه زمانی ذکر شده است. در سایر زمان‌ها افت پوشش‌گیاهی به چشم می‌خورد. خط سبز وضعیت پوشش‌گیاهی منطقه را نشان می‌دهد و خط مشکی میانگین کلی منطقه طی بازه زمانی ذکر شده را به تصویر کشیده است. شایان ذکر است یکی از دلایل افت پوشش‌گیاهی می‌تواند تاثیر آلاینده‌های جوی بر روی سطح‌برگ سوزنی‌برگان و ایجاد اختلال در فرآیند فتوسنتز پوشش‌گیاهی باشد و همین امر سبب کاهش سطح سبز آن شده است. که تعیین درصد دقیق آن نیز مستلزم تحقیقات بیشتر است.

معیارهای ارزیابی خطا

از سنجه‌های آماری به‌منظور تعیین کارائی و مقایسه نتایج استفاده می‌شود. در این مطالعه برای تحلیل‌های آماری از

سنجه‌های P-value، R^2، و همچنین جدول آنالیز واریانس دوطرفه (ANOVA 2-way) استفاده شده است. همچنین برای برآورد خطا سنجه RMSE نیز محاسبه شده است. ضمنا از تحلیل واریانس با مقادیر تکراری نیز در ۴ فصل سال استفاده شده است تا مشخص گردد که اثرات آلاینده‌ها در فصول مختلف با توجه به وجود پارامترهای مختلف و اثر متقابل جو و لایه مرزی گیاه به چه ترتیبی خواهد بود و کدام آلاینده یا آلاینده‌ها تاثیر بیشتری در فصل یا فصل‌ها داشته‌اند.

ضریب تبیین (R^2)

ضریب R^2 ابزار آماری تعیین نوع و درجه رابطه متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین همبستگی دو متغیر است. این ضریب شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. و مقدار آن بین یک تا منفی یک تغییر می‌کند 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 (۱) محاسبه نمود:

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

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

علی‌رغم دقت در جمع‌آوری داده‌ها اما در هر پژوهشی مقدار حقیقی خطا را نمی‌توان تعیین نمود. 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 محتلف تعیین و آشکار نمود، اما امکان حذف کامل آنها وجود ندارد، یکی از رایج‌ترین سنجه‌های خطای متداول ریشه دوم متوسط مربعات خطا (RMSE) است که برای مجموع داده‌ای N به صورت زیر تعریف می شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2} \qquad (۳)$$

که در آن y_i سری زمانی مشاهدات واقعی و $\hat{y}_i$ سری زمانی مشاهدات اندازه‌گیری شده است و n تعداد داده‌هاست.

آنالیز واریانس دو طرفه

آنالیز واریانس دوطرفه از طریق مقایسه میانگین متغیر وابسته در گروه‌های آن عامل انجام می‌شود. آنالیز واریانس دوطرفه تفاوت‌های میانگین بین گروه‌هایی را که در بین دو متغیر مستقل (عامل) تقسیم شده‌اند مقایسه می‌کند. هدف اولیه از آنالیز واریانس دوطرفه فهمیدن آن است که آیا اثر متقابل بین دو متغیر مستقل بر روی متغیر وابسته معنی‌دار است یا خیر. برای انجام آنالیز واریانس دوطرفه، داده‌ها باید دارای شش شرط (پذیره) زیر باشند. البته در داده‌های واقعی ممکن است تعدادی از این پذیره‌ها برقرار نباشند، که در این صورت راه‌حل‌هایی برای آن وجود دارد. ابتدا شش شرط لازم است که به طور خلاصه در ذیل بیان می‌گردد.:

۱. متغیر وابسته باید پیوسته باشد.

۲. دو متغیر مستقل باید شامل دو یا تعدادی بیشتر از سطوح (گروه) باشند.

۳. داده پرت وجود نداشته باشد.

۴.متغیر وابسته باید به طور تقریبی دارای توزیع نرمال باشد. البته آنالیز واریانس دوطرفه نسبت به عدم برقراری شرط نرمال بودن، کاملاً استوار است. این یعنی پذیره‌ی نرمال بودن می‌تواند تا حدودی نقض شود

۵. نتایج به_دست‌آمده معتبر باشد.

۶. برای ترکیبات مختلف از گروه‌های دو متغیر مستقل باید همگنی واریانس وجود داشته باشد.

در ادامه اثر متقابل آلاینده‌های جوی بر روی فلورسانس کلروفیل با استفاده از آنالیز واریانس دوطرفه انجام گرفته است.

بحث و نتایج

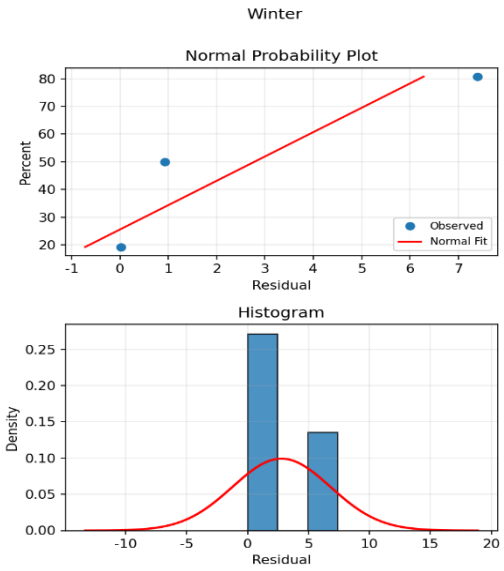
بررسی تاثیر آلودگی هوا بر مقدار فلورسانس کلروفیل در پارک جنگلی چیتگر

با توجه به اثرات آلودگی هوا در مجموع پارک جنگلی چیتگر بررسی اثرات متقابل آلاینده‌های جوی با استفاده از جدول آنالیز واریانس دو طرفه انجام شده است. همان‌طور که در جدول آنالیز واریانس دو طرفه (جدول شماره ۲) مشاهده می‌شود مقدار مونواکسیدکربن در فصل بهار بالا است از جمله دلایل آن می‌تواند وجود ترافیک بالا در منطقه باشد هم از سمت استان البرز و همچنین استان تهران که به دلیل گسترش شهرنشینی و استاندارد نبودن سوخت اتومبیل‌ها این آلاینده افزایش چشمگیری را از خود نشان می‌دهد و همچنین به دلیل گسترش جمعیت شهری و فعالیت‌های انسانی و رشد و توسعه صنعت در منطقه تجمع ذرات PM10 و PM2.5 نیز روند افزایشی را از خود نشان می‌دهد. در فصل تابستان نیز این مسئله همچنان پابرجاست و در فصل پاییز با توجه به سرد شدن هوا و تجمع بیشتر آلاینده های جوی به دلیل وارونگی هوا خصوصا در ماه‌های آبان و آذر و فعالیت فتوسنتزی کمتر پوشش‌گیاهی سوزنی برگ اثر آن بر روی فلورسانس کلروفیل منفی برآورد می‌شود و حتی ممکن است به مرور زمان خاک منطقه نیز در اثر چنین فعل و انفعالاتی آلوده گردد که به سبب آن می‌تواند انتقال آفت و بیماری را به مجموع پارک جنگلی چیتگر سرعت ببخشد. (Nagendra.H, *etal*, 2013). در فصل زمستان نیز این مسئله کاملا ادامه دار خواهد بود و حتی در مقاطعی تشدید می‌گردد. اکسید نیتروزن نیز در فصل پاییز همبستگی مثبت را با فلورسانس کلروفیل نشان می‌دهد که با توجه به وجود ضروری این عنصر در فرآیند تغذیه گیاه اگر غلظت آن در حد مناسب و مقدار ۱.۱۳ میلی‌گرم در خاک باشد برای پوشش‌گیاهی سوزنی برگ مناسب خواهد بود، بنابراین اگر غلظت آن از حد مجاز بالاتر رود به تبع آن با ترشح هورمون اسید آبسزیک اسید و با توجه به بیان ژنی سلولهای گیاه روزنه های خود را بسته تا از تجمع بیش از حد آن در گیاه جلوگیری کند و اثر سمیت را در سلولهای خود خنثی نماید.

جدول ۲- آنالیز واریانس دو طرفه فلورسانس کلروفیل با آلاینده‌های منواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، ازن، ذرات معلق ۱۰ میکرون و ۲/۵، و اوزن پارک جنگلی چیتگر

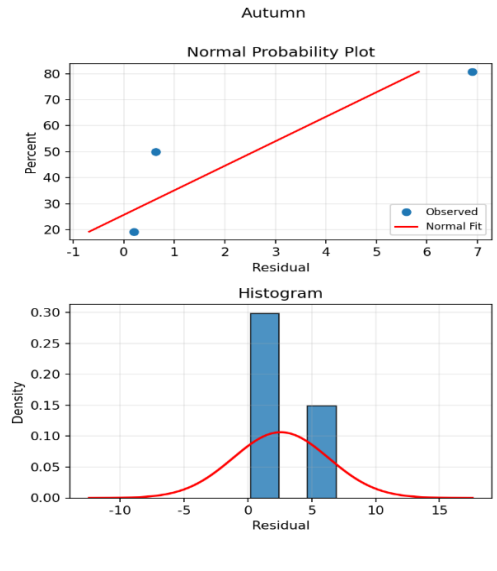
Table 2. Two-way analysis of variance of chlorophyll fluorescence with pollutants of carbon monoxide, nitrogen oxides, ozone, suspended particles of 10 and 2.5 microns, and ozone in Chitgar Forest Park.

فصل	متغیرها هم استاندارد موثر	رابطه SIF (mg-m²)	R^2 (%)	P-value	RMSE (mg-m²)
بهار	Co PM10 PM2.5	SIF= 0.916-0.456Stand Co+1.165 PM.2.5 +0.621 PM10	71.5	0.214	**6.7**
تابستان	Co PM2.5 SM	SIF=-1.548+0.376Co+0.552PM2.5	75.8	0.303	**7.3**
پاییز	NOx Co O3	SIF= 0.753+1.135 Nox-0.298 Co	63.25	0.197	**6.9**
زمستان	O3 Co	SIF = -0.822+0.00242O3-0.822CO.	93.16	0.013	**7.4**



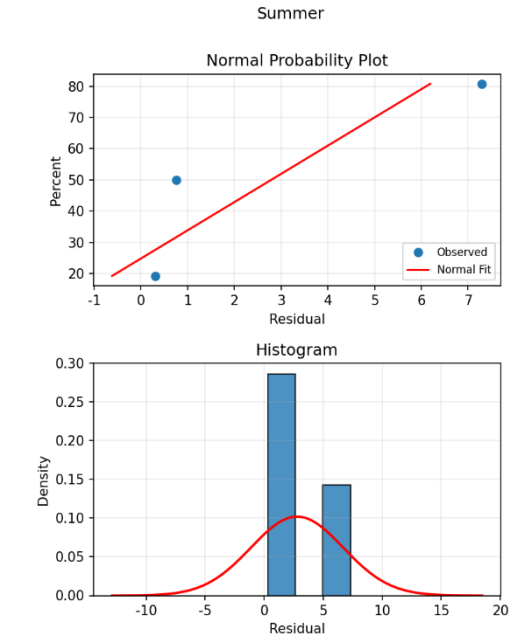
شکل ۷- توزیع نرمال و هیستوگرام آلاینده‌ها در فصل زمستان

Fig. 7- Normal distribution and histogram of pollutants in winter



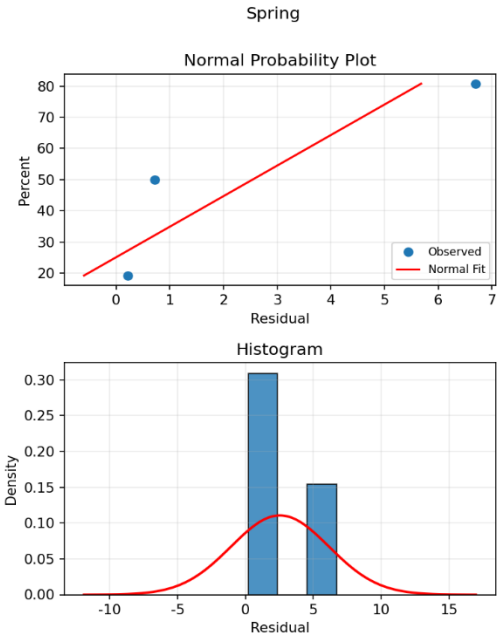
شکل۸-توزیع نرمال و هیستوگرام الایندها در فصل پاییز

Fig. 8- Normal distribution and histogram of pollutants in autumn



شکل ۹- توزیع نرمال و هیستوگرام آلاینده‌ها در فصل تابستان

Fig. 9- Normal distribution and histogram of pollutants in the summer season



شکل ۱۰- توزیع نرمال و هیستوگرام آلاینده‌ها در فصل بهار

Fig. 10- Normal distribution and histogram of pollutants in spring

در خصوص ازن نیز نتایج متفاوتی رقم خورده است. در فصل پاییز و زمستان اثر مثبت را با مقدار فلورسانس کلروفیل نشان می‌دهد در اینجا ذکر این نکته ضروری است که اوزن تروپوسفری با اوزن استراتوسفری متفاوت است که یکی از عوامل NO_2 است که تحت تاثیر فوتون‌های انرژی نورانی بیشتر در مناطق شهری رخ می‌دهد و در اثر تابش طول موج کوتاه خورشیدی دوباره تبدیل به NO و اتم اکسیژن می‌شود و با O_2 داخل جو ترکیب و اوزن تروپوسفری را

تشکیل می‌دهد. در مناطقی که مصرف سوخت‌های فسیلی بالاست اوزن تروپوسفری هم مقادیر بالایی را نشان می‌دهد و در واقع این نوع ازن مضر می‌باشد. برخلاف ازن تروپوسفری، این گاز در استراتوسفر مفید است. در استراتوسفر هیدروکربن‌ها و ترکیبات آنها می‌تواند ۱۰۰۰۰۰ ملکول ازن را تخریب کند. این فرآیند برای گیاهان و موجودات زنده مضر است و موجب می‌شود مقادیر بالای اشعه فرابنفش به سطح زمین برسد. با توجه به فعالیت انسانی و افزایش سوخت‌های فسیلی و گسترش شهرنشینی همبستگی مثبت این عنصر در فصل پاییز و زمستان امر بدیهی به نظر می‌رسد. در بررسی نمودارهای هیستوگرام و توزیع نرمال در آنالیز آماری مشاهده می‌شود که توزیع نرمال داده‌ها در فصل بهار و تابستان اشکال ۹ و ۱۰ به نسبت فصل زمستان (شکل ۷) نرمال‌تر هستند و در فصل زمستان مقداری چولگی به چپ دیده می‌شود، در واقع میانگین به سمت چپ منحنی تمایل پیدا کرده است.

در شکل ۸ نیز نمودار هیستوگرام آلاینده‌ها در فصل پاییز نسبتا متقارن می‌باشد. اثرات مونواکسیدکربن در فصل بهار بر روی فرآیند فتوسنتز پوشش‌گیاهی پارک جنگلی چیتگر منفی برآورد شده است که در بالا توضیح داده شد، از آن‌جا که تعادل بایستی در مجموع عناصر فتوسنتز برقرار باشد. بنابراین افزایش بیش از حد منواکسید کربن در مجموعه پارک جنگلی چیتگر اثرات منفی بر روی فتوسنتز پوشش-گیاهی گذاشته است. همچنین این اثرات منفی در فصول پاییز و زمستان نیز دیده شده است. در فصل زمستان این مقدار بالاتر از فصول دیگر مشاهده شده است(شکل ۷). از دلایل آن می‌توان به وارونگی‌های دمایی در منطقه اشاره کرد که با توجه به سکون هوا و تجمع بیشتر این آلاینده در مجموعه پارک‌جنگلی اثرات منفی بیشتری را بر روی اکوسیستم منطقه گذاشته است. مقدار تاثیرمنفی آن تا ۰/۸۲۲- میلی گرم بر متر مربع در جو منطقه محاسبه شده است و با توجه به تبادل روزنه‌ای در سطح برگ و اتمسفر و ورود آن به گیاه تاثیر منفی آن بر فرآیند فتوسنتز دور از انتظار نیست. مقدار همبستگی بالا با مقدار آلاینده‌های ازن، در فصل‌زمستان با مقدار ۱۶/ ۹۳=R^2 ، مقدار P-value= ۰/۰۱۳ و مقدار RMSE ۷/۴ میلی‌گرم بر متر مربع برآورد شده است. مقدار اکسیدهای نیتروژن در فصل پاییز اثرات مثبت بر روی فرآیند فتوسنتز پوشش‌گیاهی مجموعه را نشان می‌دهد (R^2 =۶۳/۲۵ ، P-value = ۰/۱۹۷ و میلی‌گرم بر مترمربع ۶/۹ =RMSE).

از جمله عوامل بسیار مهم در فرآیند فتوسنتز نیتروژن است. جذب نیتروژن و اثرات متقابل آن با عناصر دیگر مثل فسفر بستگی به عواملی همچون صفات برگ، هدایت روزنه‌ای، مقدار فتوسنتز خالص و نیز تنفس دارد که بسته به نوع گونه (سوزنی‌برگ یا پهن‌برگ) متفاوت است اما اثر قابل توجه آن بر روی مقادیر فتوسنتزی و به تبع آن فلورسانس کلروفیل غیر قابل انکار است (Liao, *et al*., 2023). حتی مقاومت به شرایط بد محیطی از جمله وجود آفات و بیماریها دربین گونه‌های سوزنی‌برگ بر مقادیر استفاده از نیتروژن اثر می گذارد. به طور مثال در بین سوزنی‌برگان وقتی که جذب مقادیر نیتروژن در سطح برگ جهت خوسازگاری با شرایط بد محیطی افزایش را نشان می‌دهد، مقدار بیوماس ریشه روند کاهشی را از خود نشان می‌دهد (Liu, *et al*., 2023).

در فصل تابستان با توجه به اقلیم منطقه چیتگر (خشک و نیمه‌خشک) اثرات متقابل مقدار فلورسانس در ترکیب با مقدار آلاینده‌های مورد بررسی، منفی برآورد شده است. در شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه به دلیل کمبود رطوبت، گیاه دچار تنش خشکی شده و به تبع آن بایستی برنامه ریزی موثر برای تامین نیاز آبی گیاه داشت. با توجه به قدمت طولانی مجموعه پارک جنگلی چیتگر و نیاز به آگاهی هر چه بیشتر از ظرفیت نگهداشت رطوبت‌درخاک مجموعه و متغیرهای دیگر ازجمله رطوبت قابل دسترس‌گیاه، تبخیرتعرق، حساسیت گیاه به تنش‌های رطوبتی در هر مرحله از رشد و میزان بارش موثر و سایر عوامل تلاش کرد این مجموعه ارزشمند پابرجا بماند و اثرات سوء محیط را در

آن به حداقل رساند. هر چند با پژوهش‌های صورت گرفته کمترین میزان تبخیر و تعرق متعلق به کاج تهران است اما تداوم شرایط می‌تواند درمجموع باعث زیان‌های‌گسترده در مجموعه پارک جنگلی چیتگر شود (Asgari, *et al*., 2023). اثرات متقابل مقدار فلورسانس در دو فصل تابستان و پاییز با مقادیر آلاینده‌ها ازن و مونواکسید کربن عکس یکدیگر هستند. یکی از دلایل عمده این تقابل ناشی از گنجایش بخار پذیری جو در دو فصل تابستان و پاییز است. در فصل تابستان گنجایش بخارپذیری جو بالاست حال آن‌که مقدار رطوبت‌نسبی در اتمسفر پایین است، خصوصا با توجه به اقلیم منطقه این مورد کاملا مشهود است. اما در فصل پاییز و زمستان گنجایش بخارپذیری جو پایین است و به‌تبع آن مقدار رطوبت نسبی نیز روند افزایشی دارد بنابراین اثر متقابل مقدار فلورسانس در ترکیب با آلاینده‌ها در تابستان مثبت و در فصل پاییز منفی ارزیابی می‌شود. در همین راستا مقدار R^2 در فصل تابستان ٪ ۷۵/۸ بوده و مقادیر ۰/۳۰۳ =P-value و میلی‌گرم بر مترمربع ۷/۳= RMSE محاسبه شده است. اما در فصل پاییز مقدار ٪ ۶۳/۲۵ = R^2 ، ۰/۱۹۷ = P- value و مقدار ۶/۹ =RMSE میلی‌گرم بر مترمربع محاسبه شده است.

نتیجه گیری نهائی

بالاترین درصد همبستگی در فصل زمستان و با مقادیر ازن و مونواکسیدکربن با فلورسانس کلروفیل خورشید حاصل شده است. در مطالعات گذشته ترکیب مختلف گیاهان جنگلی و گونه های سوزنی برگ و پهن برگ مورد مطالعه قرار گرفته است و در ترکیب با آلاینده های مانند PM2.5، PM10 و یا دی اکسید گوگرد بوده است، اما در این مطالعه دو آلاینده تاثیرگذار مونواکسید کربن و اکسید نیتروژن بر روی یک گونه سوزنی برگ مجموعه پارک جنگلی چیتگر مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

و در مطالعه انجام شده بالاترین درصد همبستگی فلورسانس کلروفیل نور خورشید بر روی این دو آلاینده محاسبه شده است و که در فصل زمستان با مقدار R^2 برابر با ۹۳.۱۶ درصد و مقدار P-value= 0/013 و مقدار RMSEبرابر با 7/4 میلی گرم بر مترمربع محاسبه شده است و اثرات این عنصر نیز در فصل زمستان کاملا مشهود است. از جمله دلایل ان می‌توان به گسترش شهرنشینی، در معرض قرار گرفتن آلاینده‌ها در مسیر جهت باد غالب (غرب به شرق) از البرز به سمت مجموعه پارک جنگلی چیتگر، وارونگی دمایی، عدم وجود سوخت استاندارد کافی برای اتومبیل‌ها، عدم نظارت دقیق بر معاینات فنی خودروهای فرسوده، رشد جمعیت، فعالیت‌های انسانی مغایر با اصول زیست محیطی، عدم توجه به تغییر اقلیم و یکی از جلوه‌های آن گرمایش جهانی و در پی آن افزایش گازهای گلخانه‌ی در اثر افزایش فعالیت‌های انسانی، افزایش بیش از حد فعالیت‌های کشاورزی و عواملی از این قبیل نام برد که سبب تجمع بیش از حد دو آلاینده ذکر شده و تشدید این شرایط خواهد شد.

درصد پایین همبستگی دو آلاینده با فلورسانس کلروفیل در فصل پاییز و به میزان 63/25 درصد همبستگی با مقدار P-value برابر با 0/197 و 6/9 RMSE میلی‌گرم بر مترمربع محاسبه شده است. در این فصل با توجه به وجود تنش خشکی، افزایش دما و افزایش تبخیر از سطح خاک و نیز گیاه و همچنین تاخیر در شروع بارش‌های پاییزی کشور با توجه به بالاسوئی کمربند جنب حاره‌ی (حد شمالی سلول هادلی) که بر طبق بولتن‌های سازمان هواشناسی کشور در ۲۰ پاییز گذشته ۱۴ پاییز بارشهای آن با تاخیر آغاز شده که خود گواه این مدعاست، بنابراین مقادیر اکسید نیتروژن همبستگی مثبت و مونواکسید کربن همبستگی منفی را با مقدار فلورسانس کلروفیل خورشید نشان می‌دهد.

ذرات معلق با توجه به افزایش روز افزون فعالیتهای انسانی، رشد جمعیت، افزایش خودروها و ترافیک و خشک شدن تالاب‌ها و چشمه‌های اطراف دشت‌های مشرف به البرز و تهران و همزمان با وزش باد غالب منطقه در جو منطقه،

روند افزایشی را نشان می‌دهد. همچنین نیتروژن با برهمکنش عنصری چون فسفر و اثر عوامل متعددی از قبیل درجه حرارت، تنفس، هدایت روزنه‌ی برگ و نوع گیاه و حتی با توجه به شرایط نامناسب محیط اطراف و با توجه به وجود عامل بیماری و افت مقدار استفاده از عنصر نیتروزن متفاوت ارزیابی شده که در این خصوص در تحقیقات گذشته این مسئله دچار تردید بوده که در اینجا تائید می-شود. که این برهمکنش می‌تواند بر غلبه بر افت و بیماری مثمر ثمر باشد. به‌هرحال رابطه گیاه و محیط اطراف همواره چالش برانگیز بوده و اثر و عوامل بسیار متعددی بر روی آن تاثیر می‌گذارد. غلظت بالای آلاینده‌های جوی زیان گسترده‌ای را به سطح برگ، اندازه روزنه‌ها و در نهایت کارائی فرآیند فتوسنتز وارد می کنند. تاثیر هر آلاینده در ساختار و اندام گیاه متفاوت است. تنش اکسیداسیون باعث خواهد شد که به غشاء ممبران آسیب برسد و سلول‌های مزوفیل برگ نیز تحت الشعاع واقع شوند و در نهایت کاهش فرآیند فتوسنتز رخ دهد.

در سال¬های اخیر آلاینده¬های جوی بر روی پوشش¬گیاهی این منطقه اثر سوء بر جای گذاشته است. آلودگی ناشی از صنایع موجود در حدفاصل تهران تا کرج که از غرب کرج آغاز و تا نزدیکی مجموعه پارک جنگلی چیتگر ادامه دارد با توجه به وزش باد غالب، از غرب استان البرز به سمت منطقه چیتگر حرکت کرده و سبب خسارت به اکوسیستم منطقه چیتگر خواهد شد. یکی از مهمترین دستاوردهای تحقیق حاضر هشدار آسیب پذیری اکوسیستم جنگلی چیتگر ناشی از شرایط نامناسب زیست محیطی موجود و آلودگی هوا ناشی از همجواری با کلان شهر تهران است که می بایست در تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی و توسعه شهری به‌صورت خاص مورد توجه ویژه قرار گیرد، تا درحد امکان مانع از آسیب بیشتر به این مجموعه با ارزش زیستی شود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته هواشناسی کشاورزی دانشگاه تهران می‌باشد. بدینوسیله از حمایت‌های دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Barwise, Y., Kumar, P., Tiwari, A., Rafi-Butt, F., McNabola, A., Cole, S., ... & Wyles, K. J. (2021). The co-development of HedgeDATE, a public engagement and decision support tool for air pollution exposure mitigation by green infrastructure. Sustainable Cities and Society, 75, 103299. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103299.

CPC - Climate Weather Linkage: El Niño Southern Oscillation National Oceanic and Atmospheric Administration (.gov) https://www.cpc.ncep.noaa.gov › CWlink › MJO › Enso

Dash, J., & Curran, P. J. (2007). Evaluation of the MERIS terrestrial chlorophyll index (MTCI). Advances in Space Research, 39(1), 100-104.https://doi.org/10.1016/j.asr.2006.02.034.

Dechant, B., Ryu, Y., Badgley, G., Köhler, P., Rascher, U., Migliavacca, M., Zhang, Y., Tagliabue, G., variables. Agricultural and Forest Meteorology, 259, 196-210.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. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5364315 .

References

Ai, H., Zhang, X., & Zhou, Z. (2023). The impact of greenspace on air pollution: empirical evidence from China. Ecological Indicators, 146, 109881. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109881.

Almalki, R., Khaki, M., Saco, P. M., & Rodriguez, J. F. (2022). Monitoring and mapping vegetation cover changes in arid and semi-arid areas using remote sensing technology: a review. Remote Sensing, 14(20), 5143.https://doi.org/103390rs14205143.

Arslan Hemmati, Babakhanjani Shiraz, Babak Qadri Wangah Studying the compatibility of some of the most important conifers in the world in the intermediate zone of Islam forests,volume 17,number1, page64-72 (2010) https://doi.org/ 10494121b228 (In Persian).

Asgari, Mohammad, Jovanmiripour, Etemad, & Liaqat. (2023). Investigating the water requirement and plant factor of tree species adapted for afforestation and green space in the dry region (case study: Rabat Karim city). Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 16(6), 1112-1123https://doi.org 20.1001.1.20087942. 1401.16.6.4.1/(In Persian).

Fang, Q., Wang, G., Liu, T., Xue, B. L., & Yinglan, A. (2018). Controls of carbon flux in a semi-arid grassland ecosystem experiencing wetland loss: vegetation patterns and environmental https://doi.org/10.3390/ijerph16122149.

Fedorchak, E. (2020). Influence of Pollution on Photosynthesis Pigment Content in Needles of Picea abies and Picea pungens in Conditions of Development of Iron Ore Deposits. Ekológia (Bratislava), 39(1), 1-15. https://doi.org/10.2478/eko-2020-0001.

Holtmeier, F. K., & Broll, G. (2005). Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. Global ecology and Biogeography, 14(5), 395-410.https:// /doi.org/10.1111/j.1466-822X.2005.00168.x.

Kamarehie, B., Ghaderpoori, M., Jafari, A., Karami, M., Mohammadi, A., Azarshab, K., ... & Noorizadeh, N. (2017). Quantifichation of health effects related to SO2 and NO2 pollutants by using air quality model. Journal of Advances in Environmental Health Research, 5(1), 44-50 https://doi.org 10.22102/jaehr.2017.47757 (In Persian).

Kaveh Firouz, Amina, Nazari, Hamid, Arin, Mehran, Shafei, Alireza, Majidi, Tahira, & Shokri, Mohammad Ali. (2011). Seismic background and estimation of sedimentation rate in the young alluviums of western Tehran (Chitgar) using paleoseismological data. Scientific Quarterly of Earth Sciences, 21(84), 169-178. doi: 10.22071/gsj.2012.53978 (In Persian).

Kefauver, S. C., Peñuelas, J., & Ustin, S. (2013). Using topographic and remotely sensed variables to assess ozone injury to conifers in the Sierra Nevada (USA) and Catalonia (Spain). Remote sensing of environment, 139, 138-148. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.037.

Kiani, Elham (2015). The study of plant diversity and some soil characteristics in the understory cover of Chitgar Forest Park, Thesis of Master's Degree in Management of Desert Areas, University of Tehran https://doi.org10.22059/ijswr.2023.360135.669509/ (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. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112362.

Lausch,A., Erasmi,s., King,D.J., Magdon, P.,& Heurich,M.(2016). Understanding forest health with remote sensing -part- a review of spectreal tratits ,process and remote sensing characteristics . Remote sensing, 8(12),1029. https://doi.org/10.3390/rs8121029.

Liao, Z., Zhou, B., Zhu, J., Jia, H., & Fei, X. (2023). A critical review of methods, principles and progress for estimating the gross primary productivity of terrestrial ecosystems. Frontiers in Environmental Science, 11, 464. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1093095.

Li, H., Terrer, C., Berdugo, M., Maestre, F. T., Zhu, Z., Peñuelas, J., ... & Ye, J. S. (2023). Nitrogen addition delays the emergence of an aridity-induced threshold for plant biomass. National Science Review, 10(11), nwad242. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19738318.

Liu, Q., Song, M., Kou, L., Li, Q., & Wang, H. (2023). Contrasting effects of nitrogen and phosphorus additions on nitrogen competition between coniferous and broadleaf seedlings. Science of the Total Environment, 861, 160661. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160661.

Mahmoudabadi, Ebrahim, and Karimi Karouye, Alireza. (2014). Preparing a map of equivalent calcium carbonate and surface soil clay content using geostatistical methods (case study: Chitgar Park, Tehran). Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources (Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Sciences), 6(3), 73-85. SID. https://sid.ir/paper/189595/fa (In Persian).

Mikhailova, T. A., Afanasieva, L. V., Kalugina, O. V., Shergina, O. V., & Taranenko, E. N. (2017). Changes in nutrition and pigment complex in pine (Pinus sylvestris L.) needles under technogenic pollution in Irkutsk region, Russia. Journal Of Forest Research, 22(6), 386-392.https://doi.org/10.2478/eko-2020-0001.

Misson, L., Lunden, M., McKay, M., & Goldstein, A. H. (2005). Atmospheric aerosol light scattering and surface wetness influence the diurnal pattern of net ecosystem exchange in a semi-arid ponderosa pine plantation. Agricultural and Forest Meteorology, 129(1-2), 69-83. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.11.008.

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).

Nagendra, H., Lucas, R., Honrado, J. P., Jongman, R. H., Tarantino, C., Adamo, M., & Mairota, P. (2013). Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. Ecological Indicators, 33, 45-59.https://doi.org/10.2478/eko-2020-0001.

Nazari, H., 2006- “Analyse de la tectonique recente et active dans I’Alborz Central et la region de Tehran: Approche morphotectonique et

paleoseismologique.'' Science de la terre et de I' eat. Montpellier. https://doi.org/10.1130/G22319.1.

Ochege, F. U., Shi, H., Li, C., Ma, X., Igboeli, E. E., & Luo, G. (2021). Assessing satellite, land surface model and reanalysis evapotranspiration products in the absence of in-situ in central asia. Remote Sensing, 13(24), 5148. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.357603.669481.

Sayad, Nima, Zabihi, Hossein, and Saeeda Zarabadi, Zahrasadat. (1401). Creation of an urban place according to the ecological approaches of the landscape (case study: Shahadai Lake, Persian Gulf, Tehran). Islamic Art Studies, 19(45), 426-445. SID. https://sid.ir/paper/1053964/fa (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. https://doi.org/10.1080/15230430.2021.2022995.

Shu, Y., Liu, S., Wang, Z., Xiao, J., Shi, Y., Peng, X., ... & Li, Q. (2022). Effects of aerosols on gross primary production from ecosystems to the globe. Remote Sensing, 14(12), 2759. https://doi.org/10.3390/rs14122759.

Vafa-Arani, H., Jahani, S., Dashti, H., Heydari, J., & Moazen, S. (2014). A system dynamics modeling for urban air pollution: A case study of Tehran, Iran. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 31, 21-36 https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.05.016.(In Persian).

Yousefi, & Mohammadi. (2017). Ecological and aesthetic critique of forest parks (case study: Loizan Forest Park, District 4 of Tehran Municipality). Man and Environment, 15(4), 73-86 https://doi.org/10.30473/ee.2023.63462.2505 (In Persian).

https://srs-gis.ir › modis-imagery

https://www.cpc.ncep.noaa.gov