Urmia University

Forest Research and Development

Vol. 11, Issue 1, 2025, 109-132

Research Paper

Evaluation of the accuracy of climatic data from the WorldClim and Chelsa databases in three northern provinces of Iran

Aref Hesabi[1], Seyed Jalil Alavi[*,2] and Omid Esmailzadeh[3]

1- Ph.D. Student of Forest Management, Faculty of Natural Resources and marine science, Tarbiat Modares University, Nur, Mazandaran, I. R. Iran. (aref.hesabi@modares.ac.ir)
2,* (Corresponding author) Associate Professor, Department of Forest Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Nour, I. R. Iran. (j.alavi@modares.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Forest Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Nour, I. R. Iran. (oesmailzadeh@modares.ac.ir)

Received: 20 October 2024 Accepted: 16 January 2025

Extended Abstract

Background and Objective: Environmental and climatic data are essential inputs for modeling species distribution and creating habitat suitability maps for both plant and animal species. Given the pivotal role of climate in shaping vegetation patterns at the regional scale, the use of high-resolution and accurate climate data—especially when supported by robust statistical classification—can effectively substitute for ground-based assessments of ecological constraints, thresholds, and the potential distribution of forests across broad landscapes. This study aims to evaluate the accuracy of two widely used global climate databases, WorldClim and CHELSA, by comparing their data with that from meteorological stations located within the Hyrcanian forests.

Material and Methods: Climate data were obtained from the WorldClim and CHELSA databases for the periods 1970–2000 and 1980–2010, respectively. Observational data from 38 synoptic weather stations across the provinces of Guilan, Mazandaran, and Golestan were also analyzed. To extract the values of each bioclimatic variable (Bio) at the station locations, R software was used. Of the 19 available bioclimatic variables, two—Bio1 (annual mean temperature) and Bio12 (annual precipitation)—were selected for detailed comparison with station data.

Results: The results showed that precipitation data from both databases generally aligned with observations from meteorological stations, though some discrepancies were evident. CHELSA's precipitation data, while displaying a high correlation with ground observations ($r = 0.84$), were found—based on paired t-tests—to systematically underestimate actual precipitation levels. In contrast, WorldClim's precipitation data demonstrated stronger consistency with ground-based measurements, showing a correlation coefficient of 0.85 and no statistically significant difference in the paired t-test, indicating high predictive reliability. For annual mean temperature, CHELSA outperformed WorldClim, exhibiting a stronger correlation with station data ($r = 0.91$ vs. 0.65), suggesting higher accuracy in the study area. Based on these findings, CHELSA is more suitable for temperature-related studies, while WorldClim is preferable for precipitation-focused research in the Hyrcanian forest region.

Conclusion: This study demonstrates that WorldClim and CHELSA offer reliable data for precipitation and temperature variables, respectively, and often correspond well with ground-based measurements. However, some differences stem from varying interpolation methods, spatial resolutions, and data integration approaches—particularly in regions with abrupt climatic shifts. Given the widespread accessibility of both datasets, they can serve as practical alternatives to ground observations in species distribution modeling and other environmental assessments. Their use can be especially beneficial in ecological research, natural resource management, and climate modeling in data-scarce regions. Overall, this study highlights the value of global climate databases as useful tools in areas with limited meteorological infrastructure. For future research, it is recommended to assess the accuracy and applicability of these datasets in diverse regions and to integrate them into species distribution models and climate analyses where ground data are lacking. Additionally, improving data monitoring and refining interpolation techniques may further enhance the precision and reliability of these resources. Finally, selecting the most appropriate dataset for each climatic variable—based on the specific findings of this study—can improve the quality and reliability of future research in the Hyrcanian forest region.

Keywords: annual mean temperature, climatic variables, data validation, Hyrcanian forests, Weather stations.

How to Cite This Article: Hesabi, A., Alavi, S. J., and Esmailzadeh, O. (2025). Evaluation of the accuracy of climatic data from the WorldClim and CHELSA databases in three northern provinces of Iran. Forest Research and Development, 11(1), 109-132. DOI: 10.30466/jfrd.2025.55648.1743

Copyright ©2024 Hesabi et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱۱، شماره ۱، صفحه ۱۳۲-۱۰۹، (۱۴۰۴)
DOI: https://doi.org/10.30466/jfrd.2025.55648.1743
DOR:

مقالهٔ پژوهشی

ارزیابی صحت داده‌های اقلیمی پایگاه‌های اطلاعاتی WorldClim و Chelsa در سه استان شمالی کشور

عارف حسابی[۱]، سیدجلیل علوی*[۲] و امید اسماعیل‌زاده[۳]

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (aref.hesabi@modares.ac.ir)
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (j.alavi@modares.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (oesmailzadeh@modares.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶

چکیده

مقدمه و هدف: داده‌های محیطی و اقلیمی یکی از مهم‌ترین منابع ورودی برای مدلسازی پراکنش و تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه‌های جانوری و گیاهی محسوب می‌شوند. با توجه به نقش کلیدی اقلیم در کنترل تمایز پوشش گیاهی در مقیاس منطقه‌ای، استفاده از داده‌های آب‌وهوایی دقیق و با وضوح مکانی بالا، در صورت وجود طبقه‌بندی آماری کارآمد، می‌تواند جایگزین مناسبی برای ارزیابی محدودیت‌ها، آستانه‌ها و پراکنش بالقوه جنگل‌ها در یک چشم‌انداز وسیع باشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی صحت داده‌های دو پایگاه اطلاعاتی WorldClim و Chelsa در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی واقع در محدوده جنگل‌های هیرکانی است.

مواد و روش‌ها: در این بررسی، ابتدا داده‌های اقلیمی دو پایگاه اطلاعاتی WorldClim و Chelsa به‌ترتیب برای دو بازه زمانی (۲۰۰۰-۱۹۷۰) و (۲۰۱۰-۱۹۸۰) دریافت شد. سپس، داده‌های مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک در سه استان گیلان، مازندران و گلستان، که درمجموع شامل ۳۸ ایستگاه است، تحلیل شد. برای استخراج مقادیر هر Bio در مکان‌های ایستگاه‌ها، از نرم‌افزار R استفاده شد. در این راستا، از میان ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی، Bio1 و Bio12 که به‌ترتیب نشان‌دهنده میانگین دمای سالانه و مجموع بارندگی سالانه هستند، برای مقایسه با داده‌های ایستگاه‌ها انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که داده‌های بارندگی هر دو پایگاه با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی تطابق نسبی دارند، اما تفاوت‌هایی نیز مشاهده شد. مقایسه داده‌های بارندگی Chelsa با ایستگاه‌های زمینی نشان‌دهنده الگوی پیچیده‌ای از همخوانی و تفاوت‌ها است. با وجود ضریب همبستگی بالای ۰/۸۴ که بیانگر ارتباط قوی بین داده‌های Chelsa و مشاهدات زمینی است، آزمون t زوجی نشان داد که داده‌های پایگاه Chelsa به‌طور سیستماتیک مقادیر بارش را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. نتایج مقایسه داده‌های بارندگی

WorldClim با ایستگاه‌های هواشناسی نشان‌دهنده همخوانی قابل توجهی بین این دو مجموعه داده است. ضریب همبستگی ۰/۸۵ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار در آزمون t زوجی، بیانگر ارتباط قوی و تطابق خوب داده‌های بارندگی WorldClim با مشاهدات زمینی است. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که همبستگی بین داده‌های دمای سالانه پایگاه Chelsa و ایستگاه‌ها برابر با ۰/۹۱ است، در حالی که این مقدار برای WorldClim برابر با ۰/٦٥ می‌باشد. این یافته‌ها نشان‌دهنده صحت بالاتر داده‌های دمای سالانه Chelsa نسبت به WorldClim در منطقه مورد بررسی است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پایگاه Chelsa در برآورد دمای سالانه در منطقه مورد بررسی عملکرد بسیار بهتری نسبت به WorldClim دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های مرتبط با دما در این منطقه، داده‌های پایگاه Chelsa و در پژوهش‌های مرتبط با بارندگی در این منطقه، داده‌های پایگاه WorldClim مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پایگاه‌های اطلاعاتی WorldClim و Chelsa از دقت قابل قبولی به‌ترتیب برای متغیرهای بارندگی و دما برخوردار هستند و در بسیاری از موارد تطابق خوبی با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک نشان داده‌اند. با این حال، برخی اختلافات به دلیل تفاوت در روش‌های درون‌یابی، تفکیک مکانی، و ترکیب منابع داده رخ داده که در مناطق با تغییرات ناگهانی اقلیمی برجسته‌تر است. با توجه به در دسترس بودن گسترده داده‌های WorldClim و Chelsa، این منابع می‌توانند به‌عنوان جایگزینی مناسب برای ایستگاه‌های زمینی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای و سایر تحلیل‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرند. بدین ترتیب، استفاده از داده‌های این دو پایگاه می‌تواند به‌ویژه در بررسی‌های بوم‌شناسی، مدیریت منابع طبیعی و مدل‌سازی‌های اقلیمی نقش مؤثری ایفا کند. این پژوهش، به‌طور کلی نشان می‌دهد که پایگاه‌های داده‌ای جهانی می‌توانند ابزارهای ارزشمندی برای بررسی در مناطقی با کمبود داده‌های محلی باشند. برای پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌شود که دقت و کارایی این داده‌ها در مناطق مختلف بررسی شود و از داده‌های پایگاه‌های مورد بررسی در مدلسازی‌های پراکنش گونه‌ای و تحلیل‌های اقلیمی در مناطقی که فاقد ایستگاه‌های هواشناسی هستند، استفاده شود. همچنین، پایش دقیق‌تر داده‌ها و ارتقای روش‌های درون‌یابی می‌تواند به افزایش دقت و قابلیت اعتماد این پایگاه‌ها کمک کند. در نهایت، انتخاب پایگاه داده مناسب برای هر متغیر اقلیمی با توجه به نتایج این پژوهش می‌تواند به بهبود کیفیت بررسی‌های آتی در منطقه مورد پژوهش کمک کند.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه‌های هواشناسی، جنگل‌های هیرکانی، صحت‌سنجی داده‌ها، متغیرهای اقلیمی، میانگین دمای سالانه.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۱۵۸۰۰۹۷

مقدمه

اقلیم یکی از عوامل کلیدی در تعیین پراکنش مکانی گیاهان از مقیاس‌های منطقه‌ای تا جهانی است (Newbold, 2018; Thuiller et al., 2004). این عامل، محدودیت‌هایی بر محدوده زیستی و قلمرو گونه‌ها اعمال می‌کند Pearman et al. (2008) و نقشی اساسی در شکل‌دهی توزیع آن‌ها دارد. با افزایش توجه به تأثیرات اقلیم بر گونه‌ها در مکان‌ها و زمان‌های مختلف، ضرورت کمی‌سازی این رابطه در رشته‌هایی مانند ماکرواکولوژی برجسته‌تر شده است، به‌ویژه برای پیش‌بینی واکنش گونه‌ها به تغییرات اقلیمی (Bellard et al., 2013; Nogués-Bravo et al., 2010). در این راستا، توسعه مدل‌های مطلوبیت زیستگاه HSM (Habitat Suitability Models) طی دو دهه اخیر، ابزارهای مفیدی را برای تحلیل این ارتباط‌ها و پاسخ به سؤالات مرتبط با تنوع زیستی و اقلیم فراهم آورده است (Guisan et al., 2017). این مدل‌ها، که به‌عنوان مدل‌های پراکنش گونه‌ها SDM (species distribution Models) یا مدل‌های آشیان بوم‌شناسی ENM (environmental niche model) نیز شناخته می‌شوند، ارتباط بین گونه‌های زیستی و مجموعه‌ای از متغیرهای غیرزنده (مانند اقلیم و خاک) و یا زیستی (مانند رقابت‌های بین گونه‌ها) را برآورد می‌کنند. این متغیرها به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده، حضور یا عدم حضور گونه‌ها را در زیستگاه‌های مختلف تعیین می‌کنند (Leathwick and Elith, 2009).

داده‌های اقلیمی با وضوح بالا برای بسیاری از کاربردها در علوم محیطی و بوم‌شناختی ضروری هستند. در حالی که بسیاری از بررسی‌ها در این زمینه‌ها با وضوح مکانی حدود یک کیلومترمربع انجام می‌شوند، تحلیل‌های جدید اقلیمی جهانی بیشتر تغییرات اقلیمی را در وضوح‌های مکانی ۰/۲۵ تا یک درجه (حدود ۲۵ تا ۱۰۰ کیلومتر در خط استوا) نشان می‌دهند. شکاف بین این مقیاس‌های مکانی را می‌توان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای یا روش‌های درون‌یابی مبتنی بر داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی پر کرد (Karger et al., 2017). یکی از منابع ورودی مهم برای مدلسازی پراکنش و تهیه نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه، داده‌های محیطی و اقلیمی هستند که از نظر مکانی با گونه‌ها یا توده‌های درختی جنگلی مرتبط هستند (Abdollahnejad et al., 2017). همچنین، برای مدلسازی در مقیاس‌های بزرگ مانند مدل‌های پوشش گیاهی زیست‌اقلیمی، داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی جمع‌آوری و درون‌یابی می‌شوند (Berry et al., 2002; Heikkinen et al., 2006).

از آنجا که اقلیم عامل اصلی کنترل‌کننده تمایز پوشش گیاهی در مقیاس منطقه‌ای است، داده‌های اقلیمی دقیق و با وضوح بالا، در صورت وجود طبقه‌بندی آماری مؤثر، می‌توانند به‌عنوان جایگزینی مناسب برای ارزیابی محدودیت‌ها، آستانه‌ها و پراکنش بالقوه جنگل‌ها در یک چشم‌انداز وسیع درنظر گرفته شوند (Naseri Karimvand et al., 2016; Lin et al., 2020). بارندگی و دما دو متغیر کلیدی در علوم محیطی هستند که در بخش‌های مختلفی مانند مدلسازی بوم‌شناختی و سایر مدل‌های مرتبط با علوم طبیعی کاربرد گسترده‌ای دارند (Tavosi et al., 2022). بنابراین، صحت این متغیرها تأثیر زیادی بر خروجی‌ها و نتایج نهایی دارد. اندازه‌گیری‌های معمول بارندگی در ایستگاه‌های نقطه‌ای، به‌ویژه در مناطقی با تراکم کم ایستگاه‌های باران‌سنجی و زمین‌های با توپوگرافی پیچیده، نمی‌توانند نمایش واقع‌بینانه‌ای از توزیع مکانی بارندگی ارائه دهند (Duan et al., 2012; Keikhosravi Kiany et al., 2020). دو منبع مهم برای

تهیه داده‌های اقلیمی، پایگاه‌های جهانی WorldClim و Chelsa (Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas) هستند. هر دو پایگاه داده نقش مهمی در پژوهش‌های اقلیمی، مدلسازی بوم‌شناختی و بررسی‌های زیست‌محیطی ایفا می‌کنند.

در ارتباط با داده‌های WorldClim و Chelsa، بررسی‌های متعددی در سطح جهانی انجام شده است. Wango et al. (2018) در پژوهشی به ارزیابی دقت متغیرهای زیست‌اقلیمی WorldClim در منطقه جنوب کنیا پرداختند و نتایج حاکی از آن بود که این متغیرها قادر به نمایش مناسب تغییرات محلی آب و هوا می‌باشند. درپژوهشی دیگر، Patiño et al. (2023) دقت داده‌های اقلیمی Chelsa را در پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی در نواحی کوهستانی مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که داده‌های مذکور توانایی بالایی در بازنمایی تغییرات اقلیمی محلی دارند. Pauca-Tanco et al. (2023) نیز در پژوهشی به مقایسه دقت داده‌های اقلیمی WorldClim و Chelsa در مدلسازی پراکنش گونه‌های جانوری پرداختند. یافته‌های این بررسی حاکی از دقت بالای هر دو مجموعه داده بود، اگرچه در برخی مناطق، داده‌های Chelsa عملکرد بهتری را نشان دادند. در پژوهش اخیر، Rodríguez-Rey et al (2024) تأثیر منابع مختلف داده‌های اقلیمی را بر الگوریتم‌های مدلسازی پراکنش گونه‌ها با استفاده از سه پایگاه داده WorldClim، Chelsa و Merraclim ارزیابی نمودند. نتایج این بررسی نشان داد که در شرایط عدم دسترسی به داده‌های منطقه‌ای، استفاده از داده‌های Chelsa می‌تواند نتایج رضایت‌بخشی را در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای ارائه دهد. همچنین، Amiri et al. (2020) در پژوهشی به مقایسه متغیرهای زیست‌اقلیمی مشتق شده از تصاویر ماهواره‌ای با متغیرهای حاصل از داده‌های زمینی در استان اصفهان پرداختند و نتایج بر اهمیت متغیرهای زیست‌اقلیمی مبتنی بر سنجش از دور در تولید اطلاعات به‌روزتر تأکید داشت.

به‌طور کلی، مرور پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که امروزه استفاده از پایگاه‌های جهانی داده و تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پراکنش نامنظم مکانی و زمانی داده‌های زمینی و کمبود داده در برخی مناطق، رو به گسترش است. پایگاه‌های جهانی داده مانند WorldClim و Chelsa با برخورداری از قدرت تفکیک بالای مکانی و زمانی، داده‌های رایگان را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهند. با این حال، تاکنون پژوهشی در خصوص ارزیابی صحت داده‌های این دو پایگاه اطلاعاتی و مقایسه آن با داده‌های زمینی در استان‌های شمالی ایران انجام نشده است. با توجه به اهمیت صحت داده‌ها در نتایج تحلیل‌ها، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی دقت داده‌های اقلیمی پایگاه‌های اطلاعاتی WorldClim و Chelsa در سه استان شمالی کشور در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی واقع در محدوده جنگل‌های هیرکانی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در این پژوهش، جنگل‌های ناحیه رویشی هیرکانی یا خزری می‌باشد. این جنگل‌ها همانند نواری سبز، حاشیه جنوبی دریای خزر و دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز را از آستارا تا گلیداغی با طولی تقریبی ۸۰۰ کیلومتر و عرضی بین ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر پوشش می‌دهند. جنگل‌های هیرکانی در محدوده عرض جغرافیایی ۳۶ تا ۳۸ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ تا ۵۶ درجه شرقی قرار گرفته‌اند (شکل ۱) (Moghbel Esfahani et al., 2023). پراکنش ارتفاعی این جنگل‌ها از سطح دریا آغاز شده و تا ارتفاع ۲۵۰۰

متری ادامه می‌یابد. میانگین بارش سالانه در این منطقه بین ۵۳۰ میلی‌متر در شرق تا ۱۳۵۰ میلی‌متر در غرب متغیر است (Moradi, 2021). تنوع توپوگرافی و حضور پوشش گیاهی از ارتفاع نزدیک به سطح دریا تا حدود ۲۸۰۰ متر، به همراه تنوع اقلیمی در طول گستره این ناحیه رویشی، منجر به شکل‌گیری یکی از مهم‌ترین ذخیره‌گاه‌های ژنتیکی زیست‌کره با تعداد قابل‌توجهی گونه‌های انحصاری شده است که قدمت برخی از آنها به دوران سوم زمین‌شناسی بازمی‌گردد (Yousefzadeh et al., 2010). این ویژگی‌های منحصر به فرد، جنگل‌های هیرکانی را به‌عنوان یکی از با ارزش‌ترین بوم‌سازگان‌های جنگلی در سطح ملی و بین‌المللی مطرح ساخته است.

شکل ۱- محدوده مورد بررسی

Figure 1- The study area

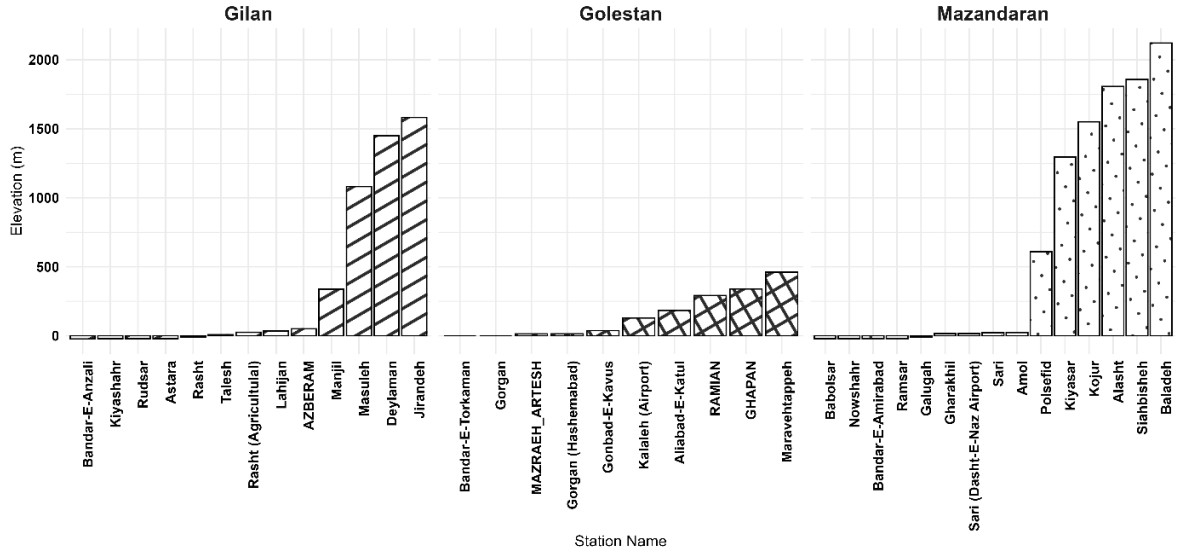
معرفی ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی

برای انجام این پژوهش، از ۳۸ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در سه استان شمالی کشور استفاده شد. نام و مشخصات ارتفاعی هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل ۲ ارائه شده است. این ایستگاه‌ها با پراکنش مناسب در سطح منطقه، امکان بررسی دقیق شاخص‌های اقلیمی را فراهم می‌آورند.

معرفی پایگاه اطلاعاتی WorldClim

پایگاه اطلاعاتی WorldClim یکی از منابع ارزشمند داده‌های اقلیمی در مقیاس جهانی است. نسخه ۲/۱ این پایگاه، دوره زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ را پوشش می‌دهد و شامل داده‌های ماهانه آب‌وهوایی برای کمینه، میانگین و بیشینه دما، بارندگی، تابش خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار آب است. مقدار وضوح تصاویر این پایگاه یک کیلومتر یا ۳۰ قوس بر ثانیه (30 arc/second) می‌باشد. علاوه بر این، WorldClim، ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی را ارائه می‌کند که از مقادیر ماهانه دما و بارندگی

مشتق شده‌اند و به‌طور گسترده در مدلسازی پراکنش گونه‌ها و تحقیقات بوم‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند (جدول ۱) (Ahmadi et al., 2019). برخی از متغیرهای زیست‌اقلیمی کلیدی در WorldClim عبارتند از میانگین دمای سالانه، فصلی‌بودن دما و شاخص‌های مرتبط با بارندگی.



شکل ۲- ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی سه استان شمالی کشور(در محور افقی نام هر ایستگاه و در محور عمودی ارتفاع از سطح دریا هر ایستگاه آورده شده است)

Figure 2- Synoptic meteorological stations of the three northern provinces of the country (station names on the horizontal axis and station elevation above sea level on the vertical axis).

معرفی پایگاه اطلاعاتی Chelsa

پایگاه اطلاعاتی Chelsa نیز یکی دیگر از منابع با ارزش داده‌های زیست‌اقلیمی محسوب می‌شود. متغیرهای زیست اقلیمی در Chelsa از میانگین، بیشینه و کمینه دمای ماهانه و همچنین مقادیر میانگین بارندگی محاسبه می‌شوند. این متغیرها، روندهای سالانه، فصلی و عوامل محیطی شدید مرتبط با مدلسازی پراکنش گونه‌ها و کاربردهای بوم‌شناسی را در بر می‌گیرند. همانند پایگاه WorldClim مقدار وضوح تصاویر این پایگاه نیز یک کیلومتر یا ۳۰ قوس بر ثانیه (30 arc/second) می‌باشد. برخی از متغیرهای زیست- اقلیمی ویژه Chelsa شامل میانگین دمای هوای سالانه، محدوده دما، مقدار بارندگی و سایر موارد هستند. علاوه بر این، Chelsa-bioclim پیش‌بینی‌کننده‌های جدیدی را در ارتباط با آب و هوای جهانی، از جمله رطوبت نسبی، سرعت باد و سایر مشخصه‌ها، از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ ارائه می‌دهد (جدول ۱).

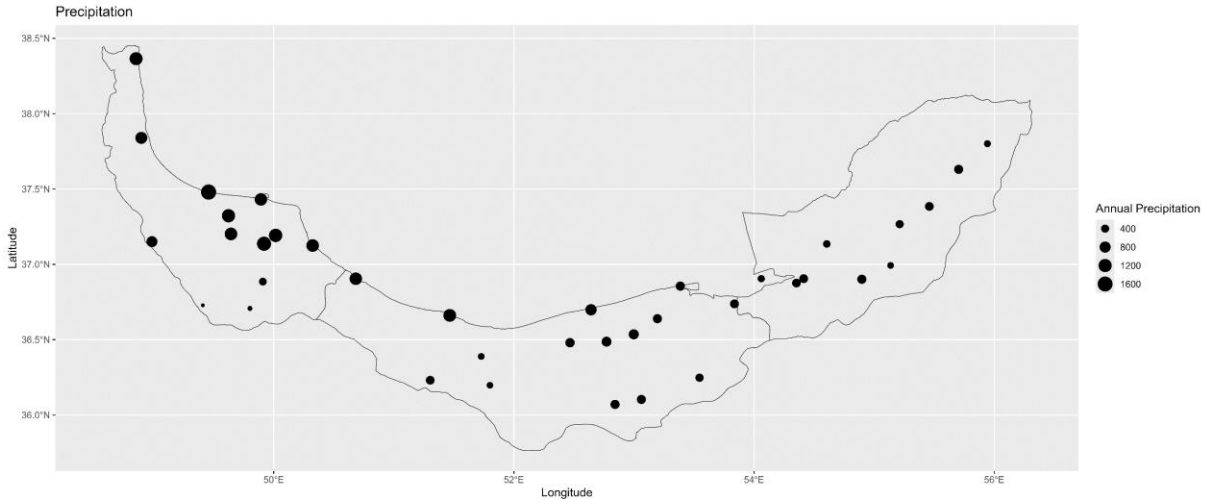
پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک

در شکل ۳ و ٤ پراکنش ایستگاه‌ها در سه استان شمالی و همچنین مقدار دما و بارندگی هر ایستگاه ارائه شده است.

جدول ۱- معرفی متغیرهای زیست‌اقلیمی پایگاه جهانی WorldClim (نام هر متغیر و توضیحات هرکدام از متغیرها در جدول آورده شده است)

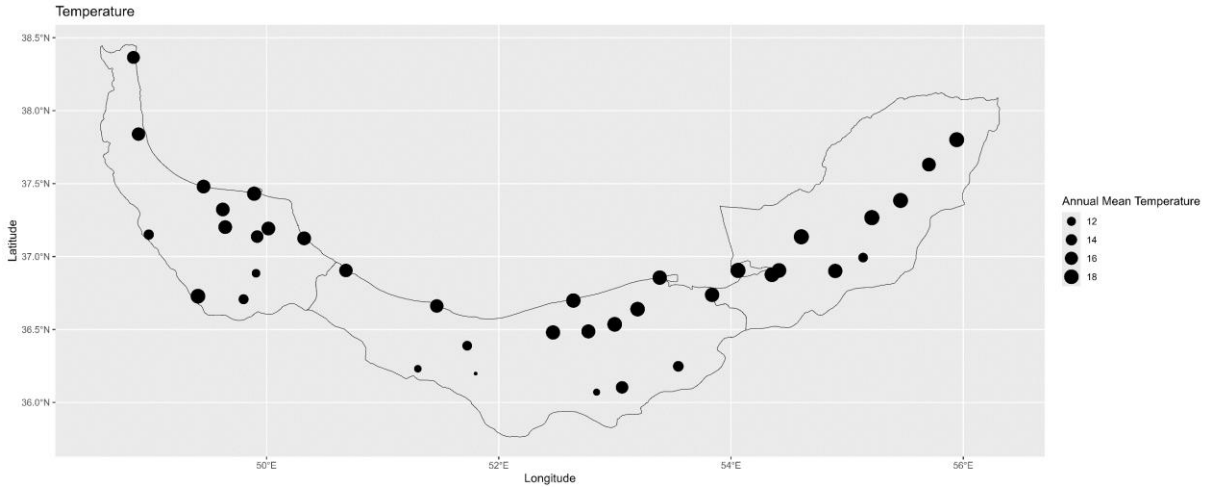
Table 1. Description of the bioclimatic variables from the global WorldClim database (the name and explanation of each variable are provided in the table)

نام اختصاری Abbreviated name	متغیر زیست اقلیمی Bioclimatic variable	نام اختصاری Abbreviated name	متغیر زیست اقلیمی Bioclimatic variable
Bio1	میانگین دمای سالانه Annual Mean Temperature	Bio11	میانگین دما در سردترین فصل Mean Temperature of Coldest Quarter
Bio2	میانگین دامنه دمای روزانه Mean Diurnal Range	Bio12	مجموع بارندگی سالانه Annual Precipitation
Bio3	هم دمایی Isothermality	Bio13	بارندگی در مرطوب‌ترین ماه Precipitation of Wettest Month
Bio4	تغییرات فصلی دما Temperature Seasonality	Bio14	بارندگی در خشک‌ترین ماه Precipitation of Driest Month
Bio5	حداکثر دما در گرمترین ماه Max Temperature of Warmest Month	Bio15	تغییرات بارندگی فصلی Precipitation Seasonality
Bio6	حداقل دما در سردترین ماه Min Temperature of Coldest Month	Bio16	بارندگی در مرطوب‌ترین فصل Precipitation of Wettest Quarter
Bio7	تغییرات دمای سالانه Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)	Bio17	بارندگی در خشک‌ترین فصل Precipitation of Driest Quarter
Bio8	میانگین دما در مرطوب‌ترین فصل Mean Temperature of Wettest Quarter	Bio18	بارندگی در گرم‌ترین فصل Precipitation of Warmest Quarter
Bio9	میانگین دما در خشک‌ترین فصل Mean Temperature of Driest Quarter	Bio19	بارندگی در سردترین فصل Precipitation of Coldest Quarter
Bio10	میانگین دما در گرم‌ترین فصل Mean Temperature of Warmest Quarter		



شکل ۳- پراکنش بارندگی در ایستگاه‌های سینوپتیک در سه استان شمالی (دوایر بزرگ‌تر مقدار بارش بیشتر را نشان می دهند)

Figure 3- Schematic of synoptic station distribution in three northern provinces (larger circles indicate higher rainfall)



شکل ٤- پراکنش دما در ایستگاه‌های سینوپتیک در سه استان شمالی (دوایر بزرگ‌تر مقدار دمای بیشتر را نشان می دهند)

Figure 4- Synoptic station distribution in three northern provinces (larger circles indicate higher temperatures)

در این پژوهش، از میان ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی موجود، دو متغیر کلیدی bio1 (میانگین دمای سالانه) و bio12 (مقدار بارندگی سالانه) برای مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک انتخاب و تحلیل شدند. این متغیرها به دلیل اهمیت ویژه در تحلیل‌های اقلیمی و زیست‌محیطی، به‌عنوان شاخص‌های کلیدی برای ارزیابی پراکنش اقلیم و تنوع زیستی مورد استفاده قرار گرفتند. انتخاب این متغیرها بر اساس بررسی‌های پیشین و نتایج مشابه انجام‌شده در این حوزه علمی انجام شده است تا دقت و جامعیت تحلیل‌ها تضمین شود.

برای اعتبارسنجی داده‌های اقلیمی، از اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک سه استان گیلان، مازندران و گلستان استفاده شد که درمجموع شامل ۳۸ ایستگاه است (شکل ۲). برای افزایش دقت تحلیل و جلوگیری از اریب احتمالی در نتایج، داده‌های این ایستگاه‌ها متناسب با بازه زمانی هر یک از پایگاه‌های اطلاعاتی انتخاب شدند. به دلیل تفاوت در بازه‌های زمانی داده‌ها

و قدمت بیشتر داده‌های WorldClim، تعداد ۱۸ ایستگاه سینوپتیک برای مقایسه با داده‌های این پایگاه و تعداد ۳۸ ایستگاه برای مقایسه با داده‌های پایگاه Chelsa انتخاب شدند.

در این پژوهش، برای ارزیابی مقدار توافق بین داده‌های اقلیمی پایگاه‌های WorldClim و Chelsa با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، از ضریب همبستگی توافقی Concordance Correlation Coefficient (CCC) استفاده شد. این ضریب که توسط Lawrence and Lin (1989)معرفی شده است، معیاری جامع برای ارزیابی مقدار تطابق بین دو روش اندازه‌گیری ارائه می‌دهد. ضریب همبستگی توافقی برخلاف ضریب همبستگی پیرسون که تنها قدرت رابطه خطی را می‌سنجد، همزمان دقت و صحت اندازه‌گیری‌ها را نیز مورد ارزیابی قرار می‌دهد. مقدار این ضریب بین ۱- تا ۱+ متغیر است، که در آن مقادیر نزدیک به ۱+ نشان‌دهنده توافق مثبت بالا و وجود رابطه خطی قوی با اریبی اندک بین دو مجموعه داده است. مقادیر نزدیک به ۱- بیانگر توافق منفی بالا است، در حالی که مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده عدم توافق یا رابطه خطی بسیار ضعیف بین مجموعه‌های داده است.

برای محاسبه CCC از بسته SimplyAgree در محیط R استفاده شد که علاوه بر محاسبه ضریب، فاصله اطمینان ۹۵ درصد را نیز ارائه می‌دهد (Caldwell, 2022). این فاصله اطمینان امکان ارزیابی عدم قطعیت در برآورد مقدار توافق را فراهم می‌آورد. همچنین، برای تکمیل تحلیل‌ها و درک بهتر الگوی توافق بین داده‌ها، نتایج CCC در کنار سایر روش‌های آماری مانند ضریب همبستگی پیرسون، آزمون t زوجی و تحلیل Bland-Altman مورد بررسی قرار گرفت. این رویکرد چندجانبه امکان ارزیابی جامع‌تر قابلیت اطمینان پایگاه‌های داده اقلیمی را فراهم می‌آورد.

تحلیل Bland-Altman، که به‌عنوان نمودار تفاوت–میانگین نیز شناخته می‌شود، روشی آماری برای ارزیابی توافق بین دو روش اندازه‌گیری است که توسط Bland and Altman (1986) معرفی شد. این روش با محاسبه میانگین اختلاف (اریبی) بین دو روش اندازه‌گیری و حدود توافق ۹۵ درصد (mean bias ± 1.96 SD)، امکان ارزیابی سیستماتیک تفاوت‌ها را فراهم می‌آورد. در این تحلیل، میانگین اختلاف نشان‌دهنده اریبی سیستماتیک بین دو روش است، در حالی که حدود توافق، محدوده‌ای را مشخص می‌کند که انتظار می‌رود ۹۵ درصد از تفاوت‌های بین دو روش اندازه‌گیری در آن قرار گیرند. فاصله اطمینان برای میانگین اختلاف و حدود توافق نیز محاسبه می‌شود تا عدم قطعیت در برآورد این شاخص‌ها مشخص شود.

تمامی پردازش‌ها، تحلیل‌ها و مصورسازی داده‌ها در زبان برنامه‌نویسی R و با استفاده از بسته‌های SimplyAgree، terra Hijmans (2024)، ggplot2 Wickham (2016) و flexsdm Velazco et al. (2022) انجام شد (R Core Team 2024).

نتایج

برای بررسی جامع و دقیق‌تر پراکنش داده‌ها و مقایسه مقادیر میان ایستگاه‌های زمینی و داده‌های دو پایگاه اطلاعاتی WorldClim و Chelsa ، شاخص‌های آمار توصیفی برای داده‌ها محاسبه شد (جدول ۲). در این جدول، مقادیر میانگین، میانه، کمترین و بیشترین مقدار، انحراف معیار و خطای استاندارد برای هر متغیر اقلیمی (بارندگی سالانه و دمای سالانه) در هر پایگاه و ایستگاه‌های زمینی ارائه شده است.

جدول ۲- آمار توصیفی داده‌های ثبت شده و مقایسه دو به دو داده ایستگاه‌های زمینی با هر پایگاه (واحد بارندگی سالانه میلی‌متر و دمای سالانه درجه سانتی‌گراد می‌باشد)

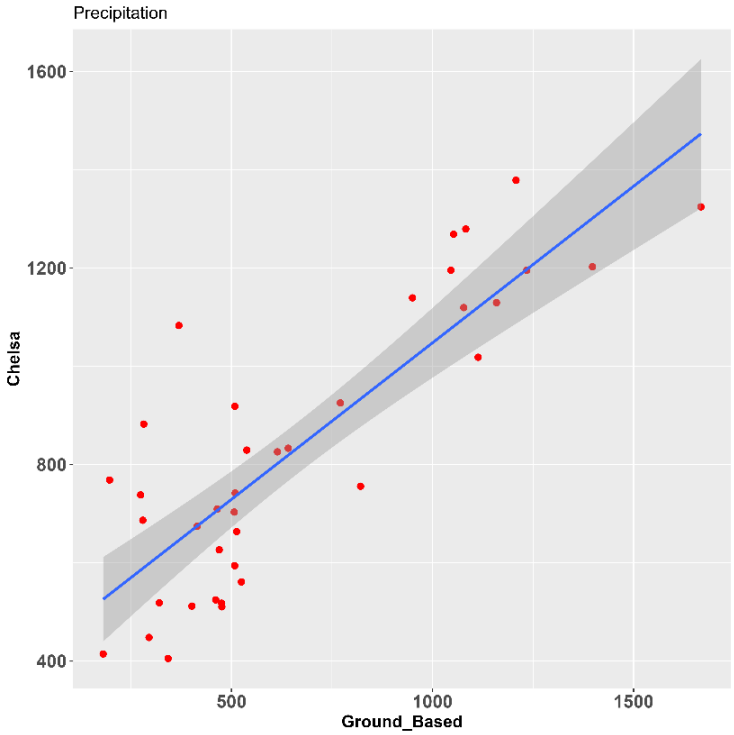
Table 2- Descriptive statistics of the recorded data and two-by-two comparison of ground station data with each base (unit of annual precipitation is mm and annual temperature is Celsius)

	میانگین average	میانه Median	کمترین minimum	بیشترین maximum	انحراف معیار standard deviation	خطای استاندارد standard error
بارندگی ایستگاه زمینی (38) Ground Station Precipitation (38)	661.7	508.7	180.8	1667.7	374.7	60.8
بارندگی Chelsa Chelsa precipitation	832.1	762.1	405.1	1378.7	285.8	46.3
بارندگی ایستگاه زمینی (18) Ground station precipitation (18)	682.8	500.9	154.5	1638.1	445.5	105
بارندگی WorldClim WorldClim Precipitation	698	625	296	1209	337.6	79.6
دمای ایستگاه زمینی (38) Ground station temperature (38)	15	16.4	5.3	19.6	3.9	0.63
دمای Chelsa Chelsa temperature	15.3	16.7	7.1	18.4	3.2	0.53
دمای ایستگاه زمینی (18) Ground station temperature (18)	13.4	16.08	4.4	19.7	4.97	1.8
دمای WorldClim WorldClim temperature	15.9	16.1	10.5	18	1.8	0.4

مقایسه داده‌های بارندگی (Chelsa)

نتایج مقایسه داده‌های بارندگی Chelsa با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی نشان‌دهنده الگوی پیچیده‌ای از همخوانی و تفاوت‌ها است. در شکل ۵، ابر نقاط داده‌های بارندگی ثبت‌شده توسط ایستگاه‌های زمینی با داده‌های Chelsa به همراه خط رگرسیونی برازش داده شده، نمایش داده شده است. هرچه مقدار بارندگی ایستگاه ها و داده‌های Chelsa به خط برازش داده شده نزدیک‌تر باشد، تفاوت اندکی بین مقدار بارش بین دو دسته داده وجود دارد و همبستگی بالایی بین دو مجموعه داده وجود دارد. ضریب همبستگی ۰/۸٤ بیانگر ارتباط قوی بین داده‌های Chelsa و مشاهدات زمینی است. با این حال، آزمون t زوجی با p-value بسیار کوچک (۰/۰۰۰۰۱۱۸) نشان‌دهنده وجود یک اریبی سیستماتیک معنی‌دار با میانگین اختلاف ۱۷۰/٤۱- میلی‌متر است که نشان می‌دهد داده‌های پایگاه Chelsa به‌طور سیستماتیک مقادیر بارش را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند (جدول ۳). ضریب همبستگی توافقی ۰/۷۱ با فاصله اطمینان ۹۵ درصد (۰/۵۵ تا ۰/۸۲) نشان‌دهنده توافق نسبتاً خوب اما نه

عالی است. تحلیل Bland-Altman با حدود توافق گسترده بین ۵۷۷/۵۰- تا ۲۳۶/۶۷ میلی‌متر، تغییرپذیری قابل‌توجهی را در استان‌های مختلف نشان می دهد، که ممکن است به دلیل وجود مناطقی با توپوگرافی پیچیده باشد. همچنین انحرافات بیشتری که مشاهده می‌شود نشان‌دهنده چالش‌های موجود در برآورد دقیق بارندگی در منطقه مورد بررسی است.



شکل ۵- مقایسه داده بارندگی Chelsa با ایستگاه‌ها

Figure 5. Comparison of Chelsa precipitation data with stations

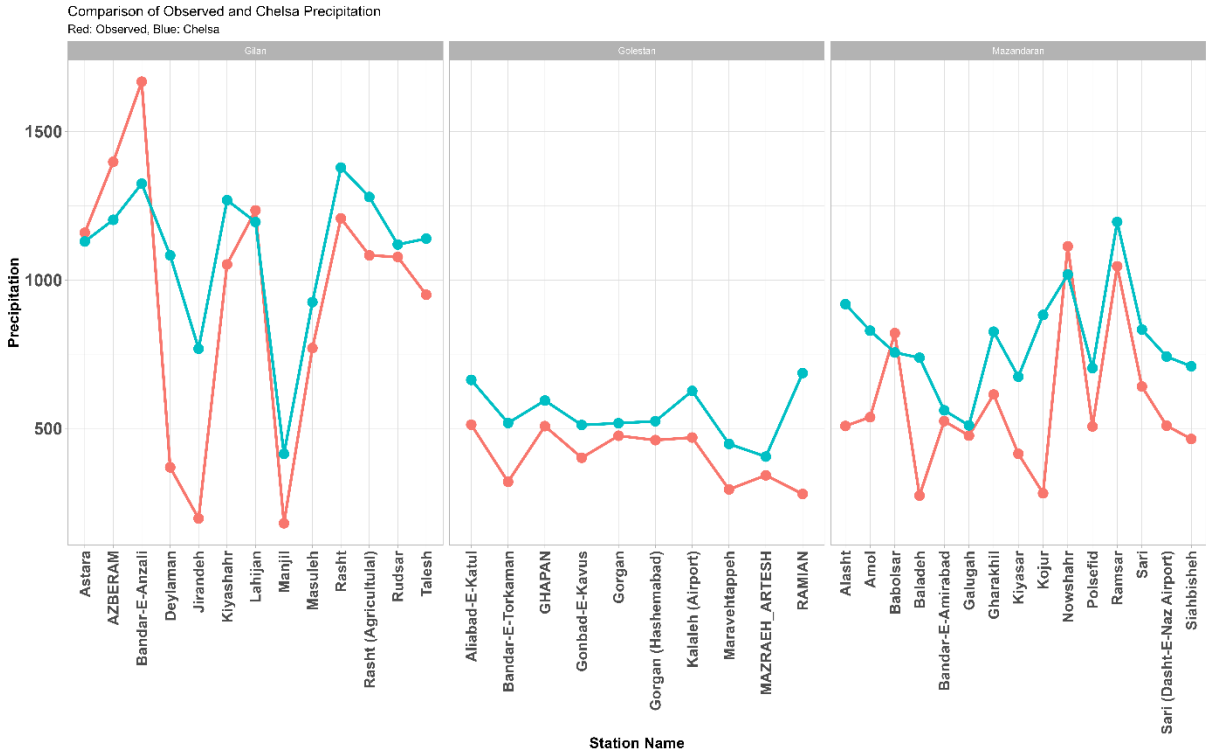
جدول ۳- نتایج آزمون t جفتی

Table 3. Result of Paired t Test

بارندگی سالانه Chelsa Annual_Precipitation_Chelsa	میانگین Mean	فاصله اطمینان ۹۵ درصد 95 percent confidence interval		T مقدار t	درجه آزادی df	مقدار P *p*-value
		کمترین مقدار Lower	بیشترین مقدار Upper			
آزمون t جفتی Paired t Test	-170.4124	-238.6814	-102.1434	-5.0578	37	0.0000118

در شکل ٦، مقایسه بارندگی ایستگاه‌های زمینی با داده‌های Chelsa به صورت منحنی‌های تفکیک‌شده برای هر استان (مازندران، گیلان، گلستان) ارائه داده شده است. منحنی قرمز نشان‌دهنده داده‌های ایستگاه‌های زمینی و منحنی آبی داده‌های Chelsa را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تطابق داده‌ها در استان‌های مختلف متفاوت است و برای برخی استان‌ها تفاوت‌های بارزی مشاهده می‌شود که می‌تواند

ناشی از پیچیدگی‌های توپوگرافی و تفاوت‌های اقلیمی محلی باشد.

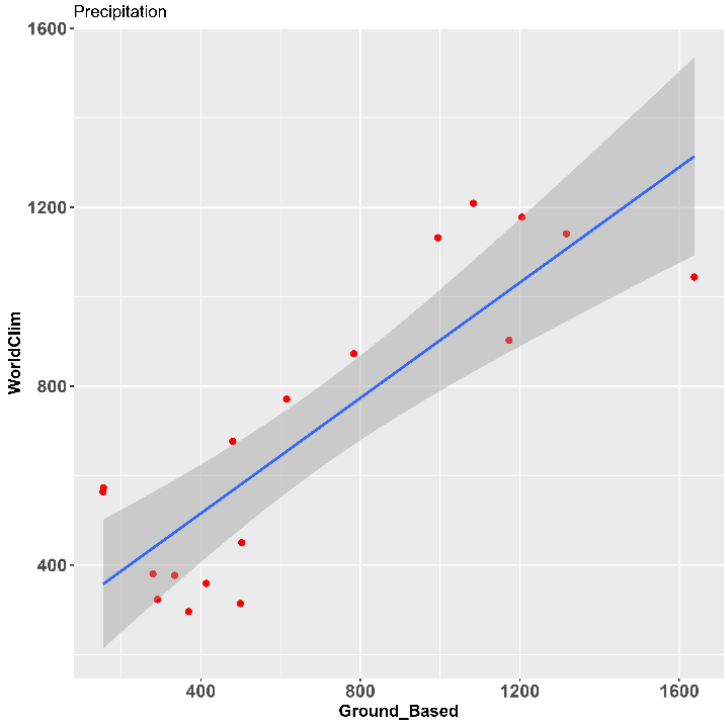


شکل ٦- منحنی مقایسه داده‌های بارش ایستگاه‌ها و Chelsa (از راست به چپ به ترتیب مازندران، گلستان و گیلان)

Figure 6. Comparison curve of the stations and Chelsa precipitation data (from right to left Mazandaran, Golestan and Guilan respectively)

مقایسه داده‌های بارندگی (WorldClim)

در شکل ۷، ابر نقاط داده‌های بارندگی ثبت‌شده توسط ایستگاه‌های زمینی با داده‌های WorldClim به همراه خط رگرسیونی برازش داده شده، ارائه شده است. نتایج مقایسه داده‌های بارندگی WorldClim با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی نشان‌دهنده همخوانی قابل-توجهی بین این دو مجموعه داده است. ضریب همبستگی ۰/۸۵ بیانگر ارتباط قوی بین داده‌های WorldClim و مشاهدات زمینی است. آزمون t زوجی با p-value برابر با ۰/۷۸۹۵ و میانگین اختلاف تنها ۱۵/۱۸- میلی‌متر، نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین دو مجموعه داده وجود ندارد (جدول ٤). ضریب همبستگی توافقی ۰/۸۲ با فاصله اطمینان ۹۵ درصد (۰/٦۲ تا ۰/۹۲) نیز تأییدکننده توافق خوب این پایگاه داده است. تحلیل Bland-Altman با حدود توافق ۹۵ درصد بین ٤۸۰/۸٦- تا ٤۵۰/٤۹ میلی‌متر، نشان‌دهنده تغییرپذیری قابل توجه در برخی نقاط است.



شکل ۷- مقایسه داده بارندگی WorldClim با ایستگاه‌ها

Figure 7. Comparison of WorldClim precipitation data with stations

جدول ٤- نتایج آزمون t جفتی

Table 4. Result of Paired t Test

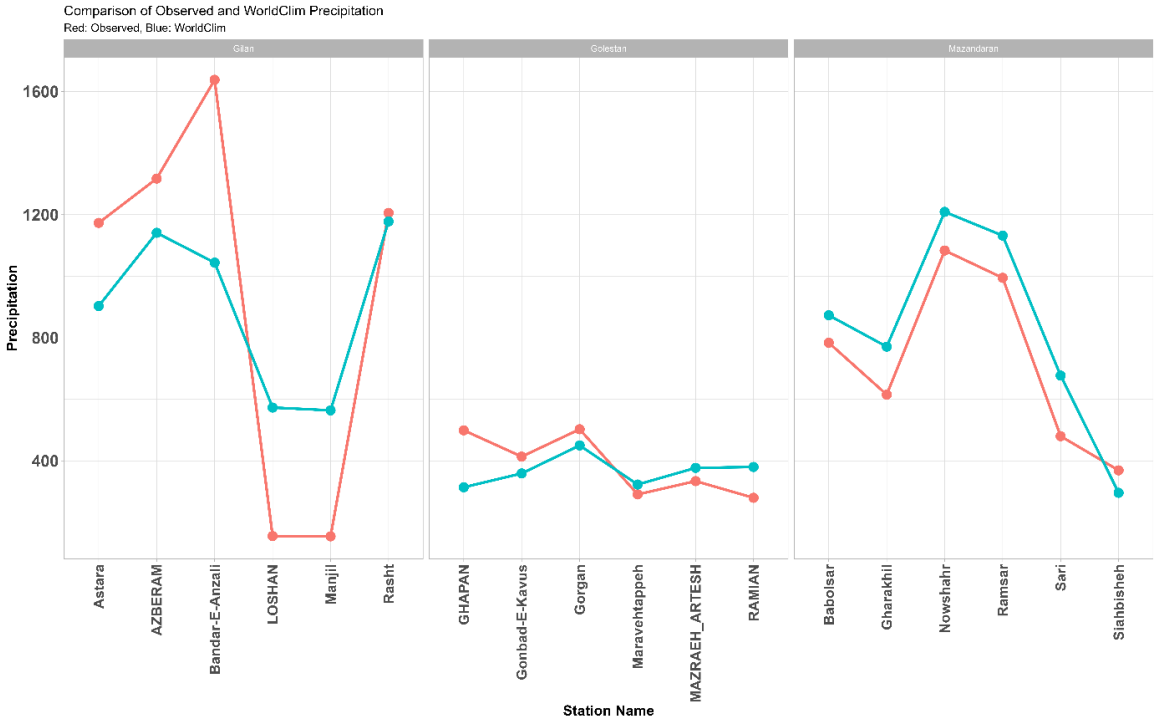
بارندگی سالانه Chelsa Annual_Precipitation_Chelsa	میانگین Mean	فاصله اطمینان ۹۵ درصد 95 percent confidence interval کمترین مقدار Lower	 بیشترین مقدار Upper	T مقدار t	درجه آزادی df	مقدار P *p*-value
آزمون t جفتی Paired t Test	-15.18545	-133.3369	102.9661	-0.27116	17	0.7895

در شکل ۸ نیز منحنی مقایسه بارندگی ایستگاه‌های زمینی با داده‌های WorldClim برای هر استان به‌صورت تفکیک‌شده ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، در استان گیلان داده‌های زمینی با برآوردهای WorldClim در برخی مواقع همخوانی ندارد، که این موضوع می‌تواند در بررسی‌های آتی نیاز به توجه ویژه‌تری داشته باشد.

مقایسه داده‌های دما (Chelsa)

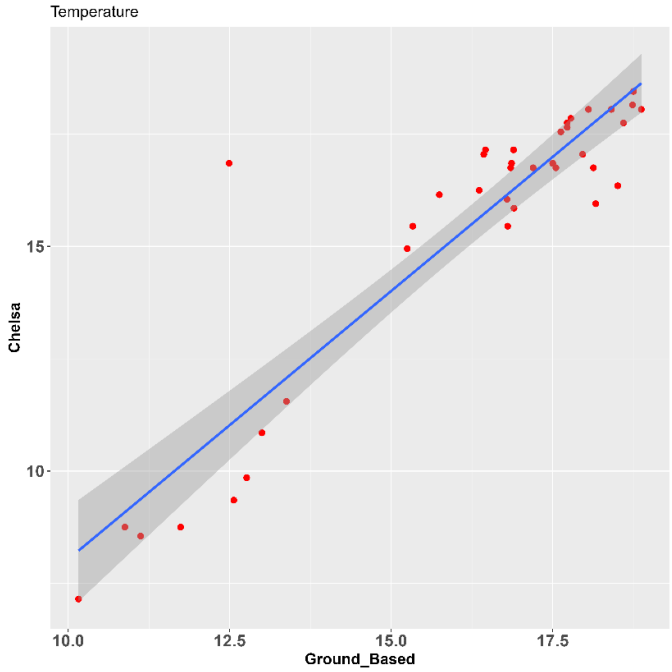
ابر نقاط داده‌های دمای ثبت‌شده توسط ایستگاه‌های زمینی با داده‌های Chelsa به همراه خط رگرسیونی برازش داده شده، در شکل ۹ ارائه شده است. تحلیل داده‌های دمایی Chelsa نشان‌دهنده عملکرد برجسته این پایگاه داده در برآورد دمای سالانه است. ضریب همبستگی بالای ۰/۹۱ بیانگر تطابق بسیار خوب با داده‌های ایستگاهی است. با این حال، نتایج آزمون t زوجی نشان‌دهنده وجود یک اریبی سیستماتیک معنی‌دار (p-value = 0.001457) با میانگین اختلاف ۰/۷۸ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۵). ضریب همبستگی توافقی ۰/۸٦ با فاصله اطمینان ۹۵ درصد (۰/۷٦ تا ۰/۹۱) نشان‌دهنده توافق قوی بین دو مجموعه

داده است. تحلیل Bland-Altman نیز با حدود توافق بین ۱/۹۶- تا ۳/۵۲ درجه سانتی‌گراد، تغییرپذیری نسبتاً کمی را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده قابلیت اطمینان بالای این پایگاه داده در برآورد دما در مناطق شمالی ایران است.



شکل ۸- منحنی مقایسه داده‌های بارش ایستگاه‌ها و WorldClim (از راست به چپ به ترتیب مازندران، گلستان و گیلان)

Figure 8 - Comparison curve of the precipitation data of the stations and WorldClim (from right to left Mazandaran, Golestan and Guilan respectively)



شکل ۹- مقایسه داده دما Chelsa با ایستگاه‌ها

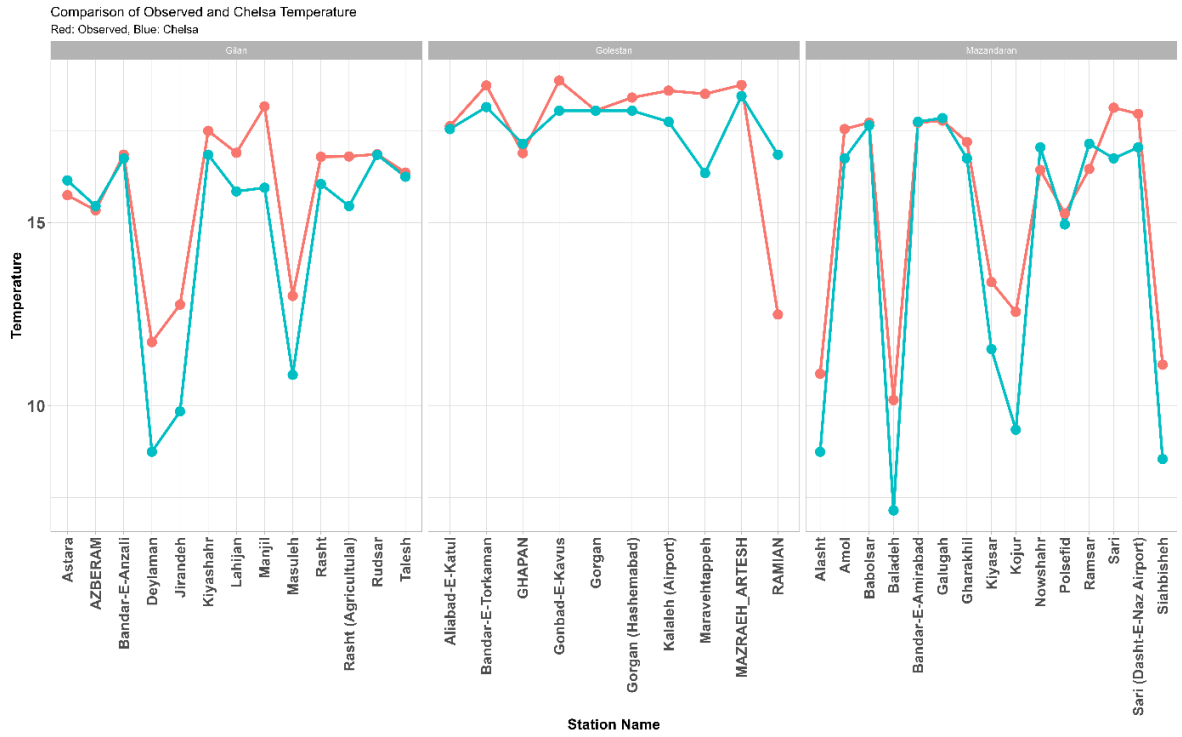
Figure 9. Comparison of Chelsa temperature data with stations

جدول ۵- نتایج آزمون t جفتی

Table 5. Result of Paired t Test

بارندگی سالانه Chelsa Annual_Precipitation_Chelsa	میانگین Mean	فاصله اطمینان ۹۵ درصد 95 percent confidence interval کمترین مقدار Lower	 بیشترین مقدار Upper	T مقدار t	درجه آزادی df	مقدار P *p*-value
آزمون t جفتی Paired t Test	0.779168	0.3202162	1.2381197	3.4399	37	0.001457

در شکل ۱۰، منحنی مقایسه دمای ایستگاه‌های زمینی با داده‌های Chelsa برای استان‌های مختلف به تفکیک ارائه شده است. منحنی‌ها نشان می‌دهند که داده‌های دما در استان‌های مختلف به‌ویژه در مازندران و گیلان به‌خوبی با یکدیگر همخوانی دارند.



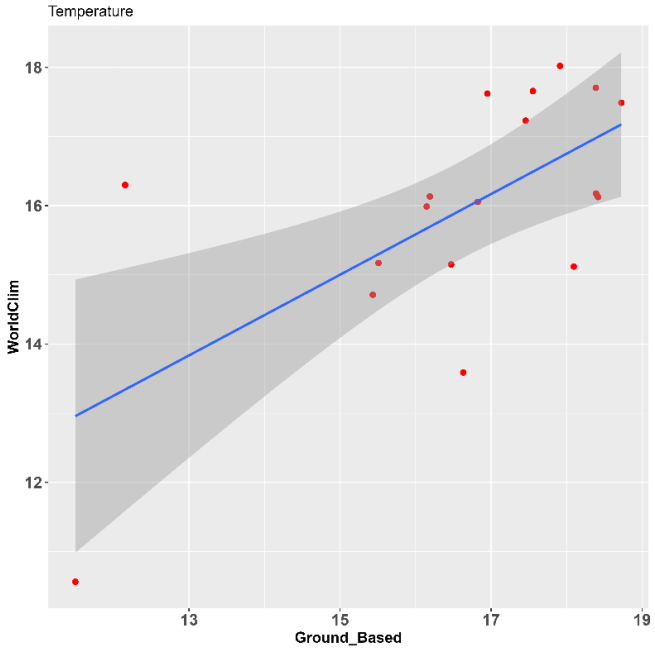
شکل ۱۰- منحنی مقایسه داده‌های دما ایستگاه‌ها و Chelsa (از راست به چپ به‌ترتیب مازندران، گلستان و گیلان)

Figure 10. Comparison curve of the temperature data of the stations and Chelsa (from right to left, Mazandaran, Golestan and Guilan, respectively)

مقایسه داده‌های دما (WorldClim)

در شکل ۱۱، ابر نقاط داده‌های دمای ثبت‌شده توسط ایستگاه‌های زمینی با داده‌های WorldClim به همراه خط رگرسیونی برازش داده شده، ارائه شده است. نتایج مقایسه داده‌های دمایی WorldClim با داده‌های ایستگاهی نشان‌دهنده عملکرد نسبتاً متوسط این پایگاه داده است. ضریب همبستگی ۰/۶۵ بیانگر وجود انحرافات قابل توجه در برخی نقاط است. آزمون t زوجی با p-value برابر با ۰/۰۹۸ نشان می‌دهد که اگرچه اریبی سیستماتیک معنی‌داری وجود ندارد، اما

میانگین اختلاف ۰/٦٦ درجه سانتی‌گراد است (جدول ٦). ضریب همبستگی توافقی ۰/٦۱ با فاصله اطمینان ۹۵ درصد (۰/۲٤ تا ۰/۸۲) نشان‌دهنده توافق متوسط و عدم قطعیت بالا در برآوردها است. تحلیل Bland-Altman با حدود توافق گسترده بین ۲/٤۹- تا ۳/۸۱ درجه سانتی‌گراد، تغییرپذیری زیادی را نسبت به داده Chelsa نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- مقایسه داده دما WorldClim با ایستگاه‌ها

Figure 11. Comparison of WorldClim temperature data with stations

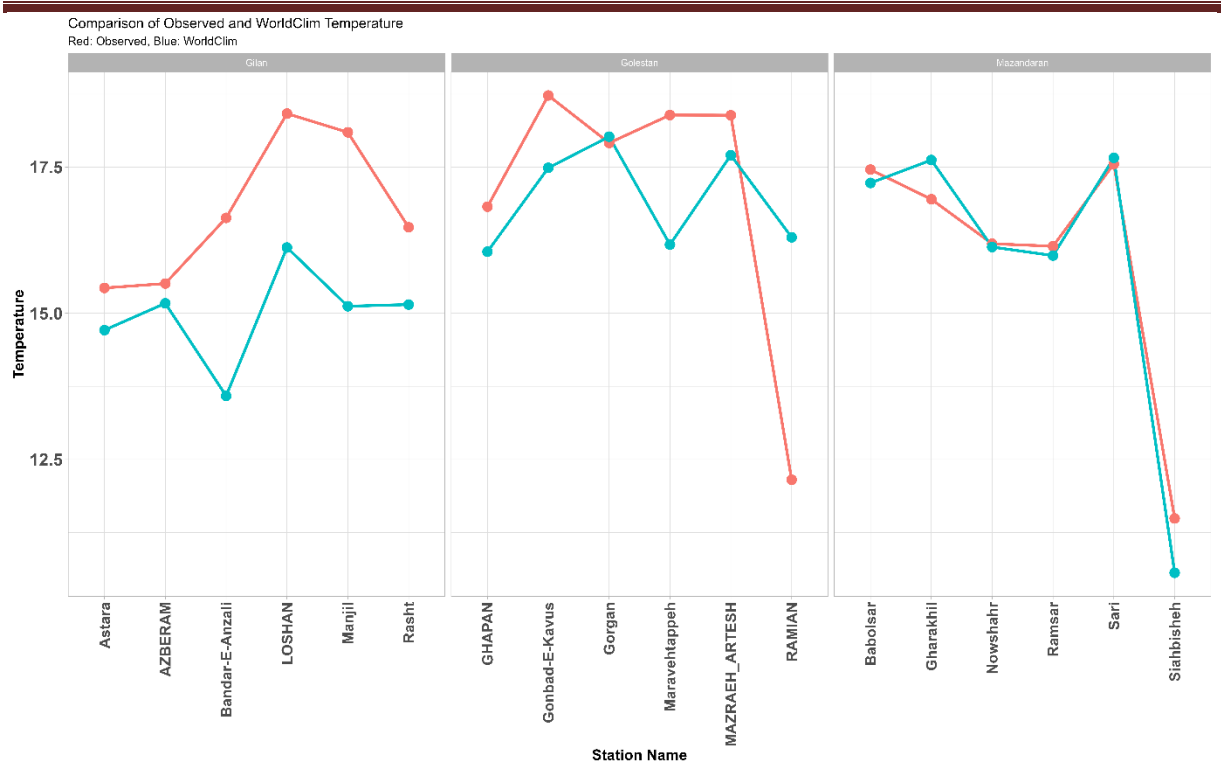
جدول ٦- نتایج آزمون t جفتی

Table 6. Result of Paired t Test

بارندگی سالانه Chelsa Annual_Precipitation_Chelsa	میانگین Mean	فاصله اطمینان ۹۵ درصد 95 percent confidence interval کمترین مقدار Lower	 بیشترین مقدار Upper	T مقدار t	درجه آزادی df	مقدار P *p*-value
آزمون t جفتی Paired t Test	0.6632137	-0.1361958	1.4626232	1.7504	17	0.09808

در شکل ۱۲ نیز مقایسه منحنی‌های دمایی WorldClim و داده‌های ایستگاه‌های زمینی برای استان‌های مختلف ارائه شده است. در این شکل نیز انحرافات بیشتری به‌ویژه در استان گلستان مشاهده می‌شود، که می‌تواند به‌دلیل تفاوت‌های اقلیمی محلی یا نقص در داده‌های ورودی WorldClim باشد.

این نتایج در مجموع نشان می‌دهد که هر دو پایگاه داده WorldClim و Chelsa نقاط قوت و ضعف خاص خود را دارند. WorldClim در برآورد بارش عملکرد بهتری نشان می‌دهد، در حالی که Chelsa در برآورد دما برتری دارد. این یافته‌ها می‌تواند راهنمای مناسبی برای انتخاب پایگاه داده مناسب در بررسی‌های مختلف اقلیمی و بوم‌شناسی باشد.



شکل ۱۲- منحنی مقایسه داده‌های دما ایستگاه‌ها و WorldClim (از راست به چپ به‌ترتیب مازندران، گلستان و گیلان)

Figure 12. Comparison curve of temperature data of stations and WorldClim (from right to left, Mazandaran, Golestan and Guilan respectively)

بحث

تحلیل بارندگی حاصل از پایگاه WorldClim و Chelsa

در این پژوهش، داده‌های مربوط به دو پایگاه جهانی WorldClim و Chelsa با مجموعه داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد بررسی مقایسه شدند. نتایج نشان داد که داده‌های بارندگی هر دو پایگاه با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی تطابق نسبی دارند، اما تفاوت‌هایی نیز مشاهده شد. مقایسه داده‌های بارندگی Chelsa با ایستگاه‌های زمینی نشان‌دهنده الگوی پیچیده‌ای از همخوانی و تفاوت‌ها است. با وجود ضریب همبستگی بالای ۰/۸٤ که بیانگر ارتباط قوی بین داده‌های Chelsa و مشاهدات زمینی است، آزمون t زوجی نشان داد که Chelsa به‌طور سیستماتیک مقادیر بارش را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. ضریب همبستگی توافقی ۰/۷۱ نیز نشان‌دهنده توافق نسبتاً خوب اما نه عالی است. تحلیل Bland-Altman تغییرپذیری قابل توجهی را در استان‌های مختلف نشان داد، که ممکن است به دلیل وجود مناطقی با توپوگرافی پیچیده باشد. این موضوع چالش‌های موجود در برآورد دقیق بارندگی در چنین مناطقی را نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که پایگاه Chelsa در مقادیر حدی بارندگی، همچنان با چالش‌هایی مواجه است و نتوانسته است برآورد دقیقی از این مقادیر ارائه دهد. به‌عنوان مثال، در ایستگاه‌های استان‌های مازندران و گیلان، داده‌های Chelsa دچار بیش‌برآورد بوده‌اند، در حالی که در استان گلستان این اختلاف کمتر است و انطباق بیشتری بین داده‌های پایگاه و ایستگاه‌ها وجود دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که Chelsa در مناطقی با بارندگی کمتر و نوسانات محدود، داده‌های قابل‌اعتمادتری ارائه می‌دهد.

از سوی دیگر، نتایج مقایسه داده‌های بارندگی WorldClim با ایستگاه‌های هواشناسی نشان‌دهنده همخوانی قابل توجهی بین این دو مجموعه داده است. ضریب همبستگی ۰/۸۵ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار در آزمون t زوجی، بیانگر ارتباط قوی و تطابق خوب داده‌های WorldClim با مشاهدات زمینی است. ضریب همبستگی توافقی ۰/۸۲ نیز تأییدکننده این موضوع است. با این حال، تحلیل Bland-Altman نشان‌دهنده تغییرپذیری قابل‌توجه در برخی نقاط است. داده‌های بارندگی پایگاه WorldClim نسبت به Chelsa تطابق بهتری با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های مازندران و گلستان داشته و تنها در برخی موارد بیش‌برآورد ناچیزی دیده شده است.

هر دو پایگاه، داده‌ها را با وضوح مکانی نسبتاً بالا (حدود یک کیلومتر یا ۳۰ ثانیه) ارائه می‌دهند، اما این وضوح ممکن است در برخی مناطق نتواند به‌طور دقیق تغییرات محلی را نشان دهد. Fick and Hijmans (2017) نیز به این چالش‌ها اشاره داشته و بیان کردند که تکنیک‌های درون‌یابی که داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی را با اطلاعات ماهواره‌ای ترکیب می‌کنند، می‌توانند خطاهایی را در مناطق با ایستگاه‌های هواشناسی کم ایجاد کنند. همچنین، ارائه داده‌ها به‌صورت میانگین‌های ماهانه می‌تواند یکی از دلایل اصلی اختلاف بین داده‌های این پایگاه‌ها و داده‌های واقعی ایستگاه‌های محلی باشد.

با وجود تفاوت‌های جزئی میان داده‌های این دو پایگاه و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، الگوی کلی بارندگی سالانه حاصل از این دو پایگاه، شباهت زیادی به الگوی واقعی بارندگی نشان می‌دهد و می‌توان به‌طور نسبی به داده‌های آنها اطمینان داشت، به‌ویژه در مناطقی که فاقد ایستگاه‌های هواشناسی هستند. Wango et al. (2018) در پژوهشی در جنوب کنیا نشان دادند که مقدار همبستگی بین داده‌های پایگاه WorldClim و داده‌های ایستگاه‌های محلی به میزان قابل توجه ۰/۹ می‌رسد و این پایگاه می‌تواند به‌عنوان یک منبع جایگزین معتبر در مناطق فاقد ایستگاه مورد استفاده قرار گیرد. از سوی دیگر، Bazzato et al. (2021) بیان کردند که داده‌های WorldClim در مناطقی با شرایط کوهستانی و تغییرات آب‌وهوایی شدید، ممکن است به‌طور کامل قابل اعتماد نباشد و باید با احتیاط بیشتری از آنها استفاده شود.

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پایگاه WorldClim در برآورد بارندگی در منطقه مورد بررسی عملکرد بهتری نسبت به Chelsa دارد. با این حال، هر دو پایگاه در برخی مناطق با چالش‌هایی مواجه هستند که ممکن است ناشی از محدودیت‌های وضوح مکانی و ناتوانی در نشان دادن دقیق تغییرات محلی باشد. این موضوع به‌ویژه در مناطقی با توپوگرافی پیچیده و تغییرات اقلیمی شدید، مانند برخی ایستگاه‌های استان‌های مازندران و گیلان، نمود بیشتری دارد. بنابراین، در چنین مناطقی باید با احتیاط بیشتری از داده‌های این پایگاه‌ها استفاده شود و در صورت امکان، از داده‌های ایستگاه‌های محلی برای اعتبارسنجی نتایج بهره گرفت.

تحلیل دمای سالانه حاصل از پایگاه WorldClim و Chelsa

مقایسه دماهای ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی با داده‌های دو پایگاه WorldClim و Chelsa نشان می‌دهد که مقدار همبستگی بین داده‌های هر پایگاه و ایستگاه‌های محلی تا حد زیادی متفاوت است. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که همبستگی بین داده‌های پایگاه Chelsa و ایستگاه‌ها برابر با ۰/۹۱ است، درحالی که این مقدار برای WorldClim برابر با ۰/٦٥ است. این یافته‌ها نشان‌دهنده صحت بالاتر داده‌های

دمایی Chelsa نسبت به WorldClim در منطقه مورد بررسی است.

تحلیل داده‌های دمایی Chelsa نشان‌دهنده عملکرد برجسته این پایگاه داده در برآورد دمای سالانه است. با وجود یک اریبی سیستماتیک کوچک، ضریب همبستگی توافقی ۰/۸۶ نشان‌دهنده توافق قوی بین داده‌های Chelsa و مشاهدات زمینی است. تحلیل Bland-Altman نیز تغییرپذیری نسبتاً کمی را نشان می‌دهد که بیانگر قابلیت اطمینان بالای این پایگاه داده در برآورد دما در مناطق شمالی ایران است. بررسی منحنی‌های مقایسه دمای ایستگاه‌های زمینی با داده‌های Chelsa نیز نشان می‌دهد که داده‌های دما در استان‌های مختلف به‌ویژه در مازندران و گیلان به‌خوبی با یکدیگر همخوانی دارند.

در مقابل، نتایج مقایسه داده‌های دمایی WorldClim با داده‌های ایستگاهی نشان‌دهنده عملکرد نسبتاً متوسط این پایگاه داده است. ضریب همبستگی ۰/۶۵ بیانگر وجود انحرافات قابل توجه در برخی نقاط است. اگرچه آزمون t زوجی نشان می‌دهد که اریبی سیستماتیک معنی‌داری وجود ندارد، اما ضریب همبستگی توافقی ۰/۶۱ نشان‌دهنده توافق متوسط و عدم قطعیت بالا در برآوردها است. تحلیل Bland-Altman نیز تغییرپذیری زیادی را نسبت به داده Chelsa نشان می‌دهد. بررسی منحنی‌های دمایی WorldClim و داده‌های ایستگاه‌های زمینی نیز حاکی از انحرافات بیشتر به‌ویژه در استان گلستان است.

یکی از دلایل احتمالی برای این تفاوت در عملکرد می‌تواند به نحوه و زمان‌های ثبت داده‌های دما برگردد. در ایستگاه‌های سینوپتیک، داده‌ها به‌طور روزانه و با پایش ۲۴ ساعته جمع‌آوری شده و سپس میانگین‌گیری می‌شوند، درحالی‌که پایگاه‌های WorldClim و Chelsa داده‌ها را به‌صورت ماهانه و با استفاده از روش درونیابی ثبت می‌کنند. این اختلاف در صحت، در پژوهش‌های دیگر نیز مشاهده شده است. به‌عنوان مثال، Wango et al. (2018) نیز نتایجی مشابه ارائه کردند که تأیید می‌کند تغییرات محلی دما ممکن است به‌طور دقیق توسط داده‌های درون‌یابی‌شده این پایگاه‌ها بازنمایی نشود.

در پژوهشی دیگر که در ایالت Pradesh واقع در جنوب هیمالیا انجام شد، Datta et al. (2020) به این نتیجه رسیدند که داده‌های Chelsa در مدل‌های پراکنش گونه‌ای عملکرد بهتری نسبت به WorldClim دارند. این یافته‌ها نشان دادند که با تغییر منطقه از هیمالیای غربی به هیمالیای شرقی، داده‌های Chelsa حتی عملکرد بالاتری خواهند داشت. این نتایج نشان می‌دهد که داده‌های WorldClim ممکن است در منطقه رویشی هیرکانی به‌اندازه Chelsa دقیق نباشند، اما احتمالاً در نواحی دیگر ایران، مانند مناطق دیگر با شرایط اقلیمی متفاوت، WorldClim دقت بیشتری داشته باشد.

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پایگاه Chelsa در برآورد دمای سالانه در منطقه مورد بررسی عملکرد بسیار بهتری نسبت به WorldClim دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های مرتبط با دما در این منطقه، داده‌های پایگاه Chelsa مورد استفاده قرار گیرند، چراکه این داده‌ها قابلیت اعتماد بالاتری دارند. با این حال، باید توجه داشت که این نتایج مربوط به منطقه خاصی است و ممکن است در سایر مناطق با شرایط اقلیمی متفاوت، نتایج متفاوتی حاصل شود. بنابراین، انجام بررسی‌های مشابه در سایر نقاط کشور می‌تواند به درک بهتر عملکرد این پایگاه‌های داده در شرایط مختلف کمک کند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پایگاه‌های اطلاعاتی

WorldClim و Chelsa از دقت قابل قبولی به‌ترتیب برای متغیرهای بارندگی و دما برخوردار هستند و در بسیاری از موارد تطابق خوبی با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک نشان داده‌اند. با این حال، برخی اختلافات به دلیل تفاوت در روش‌های درون‌یابی، تفکیک مکانی، و ترکیب منابع داده رخ داده که در مناطق با تغییرات ناگهانی اقلیمی برجسته‌تر است. در تحلیل متغیر بارندگی، پایگاه WorldClim عملکرد بهتری نسبت به Chelsa داشته است. با وجود همبستگی بالا، Chelsa به طور سیستماتیک مقادیر بارش را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند و تغییرپذیری قابل توجهی در استان‌های مختلف نشان می‌دهد. در مقابل، WorldClim تطابق بهتری با داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک داشته و تفاوت معنی‌داری با مشاهدات زمینی ندارد. در تحلیل متغیر دما، پایگاه Chelsa عملکرد دقیق‌تری نسبت به WorldClim داشته است. Chelsa توافق قوی با مشاهدات زمینی و تغییرپذیری کمتری نشان می‌دهد، در حالی که WorldClim انحرافات قابل توجهی در برخی نقاط و عدم قطعیت بالاتری در برآوردها دارد. این یافته‌ها برای مناطقی که از کمبود داده‌های هواشناسی محلی رنج می‌برند، اهمیت ویژه‌ای دارند. با توجه به در دسترس بودن گسترده داده‌های WorldClim و Chelsa، این منابع می‌توانند به‌عنوان جایگزینی مناسب برای ایستگاه‌های زمینی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای و سایر تحلیل‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرند. بدین ترتیب، استفاده از داده‌های این دو پایگاه می‌تواند به‌ویژه در بررسی‌های بوم‌شناسی، مدیریت منابع طبیعی و مدلسازی‌های اقلیمی نقش مؤثری ایفا کند. این پژوهش به‌طور کلی نشان می‌دهد که پایگاه‌های داده‌ای جهانی می‌توانند ابزارهای ارزشمندی برای بررسی در مناطقی با کمبود داده‌های محلی باشند. برای پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌شود که دقت و کارایی این داده‌ها در مناطق مختلف بررسی شود و از داده‌های پایگاه‌های مورد بررسی در مدلسازی‌های پراکنش گونه‌ای و تحلیل‌های اقلیمی در مناطقی که فاقد ایستگاه‌های هواشناسی هستند، استفاده شود. همچنین، پایش دقیق‌تر داده‌ها و ارتقای روش‌های درون‌یابی می‌تواند به افزایش دقت و قابلیت اعتماد این پایگاه‌ها کمک کند. در نهایت، انتخاب پایگاه داده مناسب برای هر متغیر اقلیمی با توجه به نتایج این پژوهش می‌تواند به بهبود کیفیت بررسی‌های آتی در منطقه مورد پژوهش کمک کند.

References

Abdollahnejad, A., Panagiotidis, D., Shataee Joybari, S., and Surový, P., Prediction of dominant forest tree species using quickbird and environmental data. *Forests* **2017**, *8*(2), 42.

Ahmadi, K., Hosseini, S. M., Tabari, M., & Nouri, Z. Modeling the potential habitat of English yew (Taxus baccata L.) in the Hyrcanian forests of Iran. *Forest Research and Development* **2019**, *5*(4), 513-525.

Amiri, M., Tarkesh, M., Jafari, R., Jetschke, G., Bioclimatic variables from precipitation and temperature records vs. remote sensing-based bioclimatic variables: Which side can perform better in species distribution modeling? *Ecological informatics* **2020**, *57*, 101060.

Bazzato, E., Rosati, L., Canu, S., Fiori, M., Farris, E., Marignani, M., High spatial resolution bioclimatic variables to support ecological modelling in a Mediterranean biodiversity hotspot. *Ecological Modelling* **2021**, *441*, 109354.

Bellard, C., Thuiller, W., Leroy, B., Genovesi, P., Bakkenes, M., &Courchamp, F., Will climate change promote future invasions? *Global Change Biology* **2013**, *19*(12), 3740-3748.https://doi.org/10.1111/gcb.12344.

Berry, P.M.; Dawson, T.P.; Harrison, P.A.; Pearson, R.G., Modelling potential impacts of climate change on the bioclimatic envelope of species in Britain and Ireland.

Global ecology and biogeography **2002**, 11, 453–462.

Caldwell, A. R. SimplyAgree: An R package and jamovi Module for Simplifying Agreement and Reliability Analyses. Journal of Open-Source Software, **2022**, *7*(71), 4148.

Datta, A., Schweiger, O., Kühn, I., Origin of climatic data can determine the transferability of species distribution models. *NeoBiota* **2020**, 59: 61–76.

Duan, Z., Bastiaanssen, W. G. M., & Liu, J., Monthly and annual validation of TRMM Mulitisatellite Precipitation Analysis (TMPA) products in the Caspian Sea Region for the period 1999–2003. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* **2012**, 3696-3699.

Elith J, Leathwick JR., Species Distribution Models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **2009**, *40*: 677–697.

Fick, S. E., Hijmans, R. J., WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology* **2017**, 37(12), 4302-4315.

Guisan, A., Thuiller, W., Zimmermann, N. E., Habitat suitability and distribution models: With applications in R. *Cambridge University Press* **2017**, https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=rYswDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR12&dq=Habitat+suitability+and+distribution+models:+With+applications+in+R.+&ots=IUjSmA82zO&sig=h09sZbrQ3gQWrEeNsSjVLdnWOJk#v=onepage&q&f=false

Heikkinen, R. K., Luoto, M., Araújo, M. B., Virkkala, R., Thuiller, W., Sykes, M. T., Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography* **2006**, *30*(6), 751-777.

Hijmans R. _terra: Spatial Data Analysis_. R package version 1.7-83, **2024** <https://CRAN.R-project.org/package=terra>. H. Wickham. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

J.M. Bland, D.G. Altman Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement Lancet, **1986**, pp. 307-310

Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N.E., Linder, H.P. Kessler, M., Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific data* **2017**, *4*(1), 1-20.

Keikhosravi Kiany, M.S., S.A. Masoodian, Balling Jr, R.C., Montazeri, M., Evaluation of the TRMM 3B42 product for extreme precipitation analysis over southwestern Iran. *Advances in Space Research* **2020**, *66*(9): 2094-2112.

Lawrence, I., & Lin, K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, **1989**, 255-268.

Lin, H. Y., Li, C. F., Chen, T. Y., Hsieh, C. F., Wang, G., Wang, T., Hu, J. M., Climate-based approach for modeling the distribution of montane forest vegetation in Taiwan. *Applied vegetation science* **2020**, *23*(2), 239-253.

Moghbel Esfahani, F., Alavi, S. J., Hosseini, S. M., & Tabari Kochaksarai, M. Determining the habitat suitability of Quercus castaneifolia CA Mey In order to plan restoration using species distribution modeling. *Forest Research and Development* **2023**, *9*(3), 419-436.

Moradi, G., Reviewing Richness of Woody Species in Northern Forests of Iran and Temperate Broadleaf Forests of Central Europe. *Human & Environment* **2021**, *19*(2), 75-90. (In Persian)

Naseri Karimvand, S., Poursartip, L., Moradi, M., & Soosani, J. Dynamic Effects of climate variables (temperature and precipitation) on the annual diameter growth of Iranian oak (Quercus brantti Lindl). *Forest Research and Development* **2016**, *2*(1), 63-71.

Newbold, T., Future effects of climate and land-use change on terrestrial vertebrate community diversity under different scenarios. *Proceedings of the Royal Society B* **2018**, *285*(1881), 20180792.

Nogués-Bravo, D., Ohlemüller, R., Batra, P., & Araújo, M. B., Climate predictors of late Quaternary extinctions. *International Journal of Organic Evolution* **2010**, *64*(8), 2442‑2449.

Patiño, J., Collart, F., Vanderpoorten, A., Martin-Esquivel, J. L., Naranjo-Cigala, A., Mirolo, S., Karger, D. N., Spatial resolution impacts projected plant responses to climate change on topographically complex islands. *Diversity and Distributions* **2023**, *29*(10), 1245-1262.

Pauca-Tanco, G. A., Arias-Enríquez, J. F., Quispe-Turpo, J. D. P., High-Resolution Bioclimatic Surfaces for Southern Peru: An Approach to Climate Reality for Biological Conservation. *Journal of Climate* **2023**, *11*(5), 96.

Pearman, P. B., Guisan, A., Broennimann, O., Randin, C. F., Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology & Evolution* **2008**, *23*(3), 149‑158.

R Core Team., R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. **2024**, <https://www.R-project.org/>.

Rodríguez-Rey, M., Jiménez-Valverde, A., Differing sensitivity of species distribution modelling algorithms to climate data source. *Ecological Informatics* **2024**, *79*, 102387.

Tavosi, M., Vafakhah, M., Moosavi, V., Assessing the accuracy of rainfall data from TRMM satellite in Taleghan watershed. *Journal of Watershed Management Research* **2022**, *13*(25), 11-20. (In Persian)

Thuiller, W., Araujo, M. B., Lavorel, S., Do we need land-cover data to model species distributions in Europe?. *Journal of Biogeography* **2004**, *31*(3), 353‑361.

Velazco, S.J.E., Rose, M.B., Andrade, A.F.A., Minoli, I., Franklin, J. flexsdm: An R package for supporting a comprehensive and flexible species distribution modelling workflow. Methods in Ecology and Evolution, **2022**, *13*(8) 1661-1669.

Wango, T. J., Musiega, D., Mundia, C. N., Assessing the suitability of the WorldClim dataset for ecological studies in Southern Kenya. *Journal of Geographic Information System* **2018,** *10*, 643-658.

Yosefzadeh, H., Tabari, M., Hosseinzadeh Colagar, A., Assadi, M., Sattarian, A., Zare, H. Variation in Leaf Morphology of Tilia spp. of in Hyrcanian forests. *Taxonomy and Biosystematics* **2010**, *2*(3), 11-24. (In Persian)