

تغییرات دمایی ناشی از تغییر اقلیم در ایستگاه سراب و اثرات آن بر منابع آبی رودخانه‌های اطراف

میلاد مرادزاده^{۱*}، یعقوب دین‌پژوه^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

Miladmoradzadeh1997@gmail.com

۲- استاد مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

dinpashoh@yahoo.com

چکیده

یکی از چالش‌های جدی قرن بیست و یکم، تغییرات اقلیمی و اثرات آن بر منابع آبی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تغییرات دمایی ناشی از تغییر اقلیم در شهرستان سراب و تحلیل اثرات آن بر منابع آبی منطقه صورت گرفته است. داده‌های اقلیمی شامل اطلاعات دمای روزانه ایستگاه سراب در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۳ جمع‌آوری شده و پس از اعتبارسنجی، برای پیش‌بینی در نرم‌افزار LARS-WG به کار گرفته شد. این نرم‌افزار داده‌های مصنوعی را برای سه سناریوی اقلیمی SSP1-2.6، SSP1-4.5 و SSP1-8.5 تولید کرد. تحلیل‌ها نشان دادند که میانگین دمای سالانه در تمامی سناریوها در آینده افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش دما مربوط به سناریوی SSP1-8.5 است که در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ نسبت به بازه پایه (۱۹۸۶-۲۰۲۳) افزایش ۲/۷ درجه سانتی‌گرادی نشان داد. این افزایش دما می‌تواند منجر به کاهش جریان آب رودخانه‌ها، افزایش تبخیر و کاهش منابع آبی منطقه شود. همچنین، کاهش جریان آب در تحلیل‌های تاریخی دبی رودخانه تاجیار نیز مشاهده شد که علاوه بر تغییر اقلیم، به دلایل انسانی نظیر بهره‌برداری بی‌رویه و تغییر کاربری اراضی مربوط بوده است. این پژوهش بر اهمیت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، پایش مستمر تغییرات اقلیمی و مدیریت بهینه منابع آبی تأکید دارد. یافته‌ها می‌توانند به‌عنوان مرجعی برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و تدوین سیاست‌های سازگار با تغییر اقلیم در مناطق مشابه استفاده شوند. در عین حال، ضرورت پژوهش‌های بیشتر در زمینه اثرات اقلیمی بر سایر ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی منطقه نیز توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، منابع آبی، سراب، LARS-WG، دبی رودخانه، سناریوهای اقلیمی

۱- مقدمه

تغییر اقلیم^۱ به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی قرن ۲۱ شناخته شده است که تأثیرات گسترده‌ای بر منابع طبیعی، به‌ویژه منابع آبی، دارد. افزایش دما و تغییر الگوهای بارندگی ناشی از فعالیت‌های انسانی و تغییرات ساختاری در سیستم‌های اقلیمی، به طور مستقیم و غیرمستقیم بر مدیریت منابع آبی تأثیر می‌گذارد [1]. در این راستا، مطالعات مختلف نشان داده‌اند که مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند حوزه آبخیز سراب، به‌طور خاص تحت فشار شدید قرار گرفته‌اند [2]. افزایش دمای متوسط سالانه در این مناطق، منجر به کاهش بارندگی، افزایش تبخیر و ترانسپیراسیون^۲، و در نهایت کمبود آب شده است [3] و [4]. همچنین، مطالعه انجام‌شده توسط [1] نشان داد که تغییرات دمایی و بارندگی در حوزه کشف‌رود به طور قابل توجهی تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفته است و این پدیده می‌تواند الگوها و الگوریتم‌های آب‌وهوایی را به شدت تغییر دهد.

¹ Climate Change

² Transpiration

علاوه بر این، [2] در مطالعه‌ای که اثرات تغییر اقلیم بر دما و تبخیر از مخازن آزاد در اصفهان را بررسی کردند، نشان دادند که افزایش دما به طور مستقیم با افزایش نرخ تبخیر همراه است. این موضوع نشان می‌دهد که منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل تبخیر بالا، در برابر تغییرات دمایی بسیار حساس هستند.

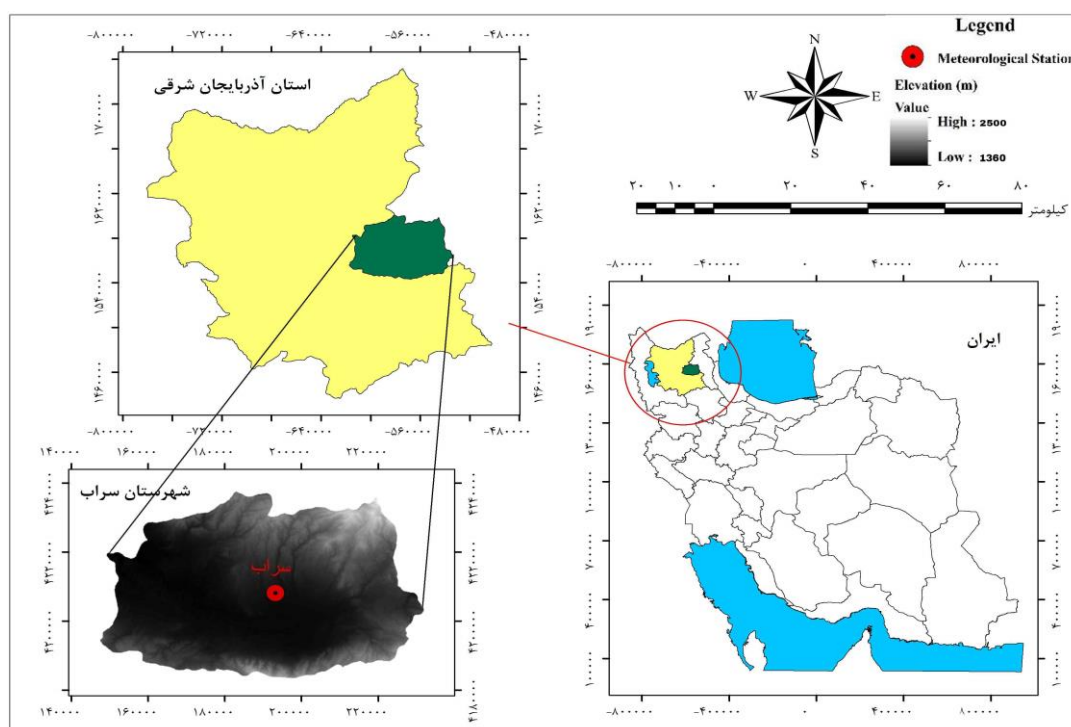
بررسی‌های انجام‌شده در مقیاس محلی نیز نشان می‌دهد که تغییرات دمایی می‌تواند تأثیرات عمیقی بر روی متغیرهای دمایی و بارشی داشته باشد. به عنوان مثال، [3] در مطالعه‌ای که اثرات تغییر اقلیم بر دمای بیشینه و کمینه منطقه کاشمر را بررسی کردند، نشان دادند که افزایش دمای متوسط سالانه در این منطقه به طور قابل توجهی افزایش یافته است. این افزایش دما می‌تواند منجر به کاهش منابع آبی و افزایش تنش‌های آبی شود [5] و [6].

[7] نیز در مطالعه‌ای که تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر حوضه آیدوغموش در آذربایجان شرقی را بررسی کردند، نشان دادند که افزایش دما می‌تواند منجر به کاهش دبی‌های حداکثر و تغییر الگوهای جریان رودخانه‌ها شود. این موضوع نشان می‌دهد که تغییرات دمایی می‌توانند به طور مستقیم بر سیستم‌های هیدرولوژیکی تأثیر بگذارند [8] و [9].

هدف از انجام این پژوهش، بررسی تغییرات دمایی ناشی از تغییر اقلیم در ایستگاه سراب و ارزیابی اثرات آن بر منابع آبی است. با استفاده از داده‌های دمایی و بارندگی طی سال‌های گذشته و بهره‌گیری از مدل‌های پیش‌بینی، سعی شده است تا سناریوهای آینده‌ای برای تغییرات دمایی و اثرات آن بر منابع آبی ارائه شود.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، شهرستان سراب واقع در استان آذربایجان شرقی است. این شهرستان با توجه به موقعیت جغرافیایی خود، دارای تنوع آب‌وهوا است که از عوامل مؤثر بر تغییرات دمایی و بارندگی در منطقه است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، شهرستان سراب، استان آذربایجان شرقی

دوره زمانی مورد بررسی در این مطالعه، بازه سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۳ شامل ۳۸ سال داده‌های هواشناسی است. متوسط دمای میانگین سالانه در این بازه زمانی معادل ۹/۰۱ درجه سانتیگراد محاسبه شده است. داده‌های مورد نیاز این پژوهش شامل داده‌های دمای روزانه ایستگاه هواشناسی سراب بوده که از سازمان هواشناسی تبریز به صورت مقیاس روزانه دریافت شد.

۲-۱- کنترل کیفی داده‌ها

قبل از هرگونه تحلیل، داده‌های اقلیمی مورد بررسی دقیق قرار گرفت تا از صحت و کیفیت آنها اطمینان حاصل شود. داده‌های ناقص موجود در سری‌های زمانی هواشناسی و هیدرولوژیکی شناسایی و با استفاده از روش‌های آماری مناسب تکمیل شدند [10].

داده‌های ناقص در دو دسته هواشناسی و هیدرولوژیکی شناسایی و با استفاده از روش‌های زیر تکمیل شدند: داده‌های ناقص برای سری‌های زمانی هواشناسی در مقیاس ماهانه از میانگین حسابی داده‌های ماه قبل و بعد بازسازی شدند. برای این منظور سه ایستگاه همسایه در نظر گرفته شد. ایستگاهی که بیشترین ضریب همبستگی را با ایستگاهی که بیشترین همبستگی را با ایستگاه داده گمشده داشت برای بازسازی انتخاب گردید.

داده‌های ناقص برای سری‌های زمانی هیدرولوژیکی (رواناب رودخانه‌ها) با بهره‌گرفتن از روش رگرسیون خطی ساده با رابطه زیر بازسازی شد:

$$y = a + bx \quad (1)$$

که در آن a عرض از مبدا و b شیب خط می‌باشد. در این روش سری داده‌های همسایه با x و سری داده‌های ایستگاه حاوی داده گمشده با y نشان داده شد. برای پیدا کردن a و b دو سری در کنار هم در دو ستون متمایز در صفحه گسترده اکسل درج گردید. آنگاه داده‌های ثبت شده برای هر دو ایستگاه (به جز داده‌های گمشده) در نظر گرفته شدند. ابتدا مقدار b به شرح زیر به دست آمد.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

که در آن $\bar{x}$ و $\bar{y}$ به ترتیب میانگین داده‌های ایستگاه همسایه و ایستگاه حاوی داده گمشده هستند. در این رابطه n تعداد داده‌ها و عرض از مبدا است. آنگاه مقدار عرض از مبدا یا a از رابطه زیر به دست آمد.

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3)$$

پس از کنترل کیفی داده‌ها، یک دوره زمانی کامل ۳۸ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۳) برای تحلیل انتخاب شد. این دوره به دلیل طولانی بودن و پوشش لازم داده‌ای، مناسب برای شناسایی الگوهای تغییرات دمایی و بارندگی در منطقه محسوب می‌شود. این ایستگاه هواشناسی سینوپتیک روی رودخانه‌ای در نزدیک‌ترین نقطه به این ایستگاه شامل ایستگاه هیدرومتری تاجیار روی اسبقران، در منطقه انتخاب شد. که از جهت جغرافیایی، بازه زمانی در دسترس، و اهمیت داده‌های آن در تحلیل اقلیمی و هیدرولوژیکی انتخاب شد. همچنین داده‌های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه منتخب از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی جمع‌آوری گردید.

۲-۲- تولید داده‌های مصنوعی

برای پیش‌بینی سناریوهای آینده و تحلیل تغییرات دمایی در دو دوره آتی، از نرم‌افزار LARS-WG³ استفاده شد. این نرم‌افزار قادر است با استفاده از داده‌های هواشناسی واقعی، داده‌های مصنوعی را برای دوره‌های آتی تولید کند. در این مطالعه، داده‌های روزانه دوره تاریخی (۱۹۸۶-۲۰۲۳) به عنوان ورودی نرم‌افزار LARS-WG استفاده شد و داده‌های مصنوعی برای دو دوره آتی زیر تولید شد:

³ Long Ashton Research Station Weather Generator (LARS-WG)

۱. دوره اول (۲۰۲۱-۲۰۴۰)

۲. دوره دوم (۲۰۴۱-۲۰۶۰)

این داده‌های مصنوعی به منظور تحلیل تغییرات دمایی و بارندگی در شرایط آینده و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آبی شهرستان سراب در سه سناریوی زیر تولید و مورد استفاده قرار گرفت:

الف - SSP1-2.6

ب - SSP1-4.5

ج - SSP1-8.5

۳-۲- مدل سازی اقلیمی

نرم افزار LARS-WG برای تولید داده‌های مصنوعی اقلیمی در دو دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰) و تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP1-4.5 و SSP1-8.5 به کار گرفته شد. ورودی‌های این مدل شامل داده‌های تاریخی دما و بارندگی بودند. شبیه‌سازی‌ها برای تعیین تغییرات دما و تأثیرات آن بر منابع آبی انجام شد.

۴-۲- تجهیزات و ابزارهای تکمیلی

برای تحلیل داده‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد. همچنین، موقعیت‌های جغرافیایی منطقه با استفاده از GIS⁴ بررسی و نقشه‌های مربوطه تهیه شد.

۳- نتایج

به منظور تحلیل و بررسی تغییرات دمایی و اثر آن بر منابع آبی در شهرستان سراب، جداول و نمودارهایی ارائه شده است که شامل اطلاعات دقیق مربوط به ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه، دمای میانگین هوا، و اطلاعات رودخانه مورد بررسی است. این اطلاعات به صورت زیر تشریح می‌شوند:

جدول (۱) اطلاعات پایه‌ای مربوط به ایستگاه هواشناسی سراب را نشان می‌دهد که شامل موقعیت جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی)، ارتفاع ایستگاه (متر)، و متوسط دمای میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف معیار سالانه در بازه زمانی مورد بررسی (۱۹۸۶-۲۰۲۳) است:

جدول ۱: مشخصات آماری دمای میانگین هوا در ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دوره آماری	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
سراب	۴۷° ۳۰' ۲۸.۱۹"	۳۷° ۵۶' ۶.۲۷"	۱۶۸۰	۲۰۲۳-۱۹۸۶	۹/۰۱	-۲۰/۷۰	۲۹/۱۰	۹/۵۳
	شرق	شمال						

جدول (۲) دمای میانگین سالانه در ایستگاه هواشناسی سراب برای دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۲۳) و دمای میانگین در دو دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) را برای سه سناریو اقلیمی را که از طریق نرم‌افزار مولد داده‌های اقلیمی برای تحلیل و

⁴ Geographic Information System

بررسی در این پژوهش تولید شده است را نشان می‌دهد. این اطلاعات به عنوان پایه‌ای برای مقایسه با داده‌های شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای مختلف اقلیمی استفاده شده است.

جدول ۲: تغییرات دمای میانگین (°C) ایستگاه سراب در دوره‌های آینده

دوره زمانی	سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
۱۹۸۶-۲۰۲۳	دمای میانگین در دوره پایه	-۵/۰۸	-۲/۲۹	۳/۵۱	۸/۹۱	۱۳/۳۴	۱۷/۶۹	۲۰/۵۲	۲۰/۴۶	۱۶/۵۷	۱۰/۸۰	۴/۰۷	-۱/۷۲
۲۰۲۱-۲۰۴۰	SSP1-2.6	-۴/۵۶	-۰/۷۲	۵/۸۷	۱۱/۰۲	۱۴/۳۷	۱۷/۹۳	۲۰/۷۴	۲۱/۵۲	۱۷/۲۲	۱۱/۴۳	۴/۹۸	-۰/۹۰
	SSP1-4.5	-۴/۶۷	-۰/۸۵	۵/۳۲	۱۰/۲۶	۱۳/۷۸	۱۷/۵۶	۲۰/۵۴	۲۱/۴۲	۱۷/۰۰	۱۱/۰۳	۴/۶۴	-۱/۱۶
	SSP1-8.5	-۳/۲۷	۰/۸۶	۶/۶۵	۱۱/۱۳	۱۴/۳۷	۱۸/۱۱	۲۱/۰۶	۲۱/۸۹	۱۷/۵۴	۱۱/۷۷	۵/۴۰	-۰/۳۳
۲۰۴۱-۲۰۶۰	SSP1-2.6	-۳/۲۸	۰/۵۸	۶/۶۴	۱۱/۴۳	۱۴/۶۰	۱۸/۰۸	۲۰/۹۴	۲۱/۸۹	۱۷/۶۲	۱۱/۸۶	۵/۶۳	-۰/۰۱
	SSP1-4.5	-۲/۶۱	۱/۷۸	۷/۶۷	۱۱/۶۸	۱۴/۷۶	۱۸/۵۸	۲۱/۵۲	۲۲/۳۸	۱۸/۱۴	۱۲/۳۹	۶/۰۸	۰/۴۳
	SSP1-8.5	-۱/۹۳	۲/۲۲	۸/۰۸	۱۲/۳۴	۱۵/۴۵	۱۹/۳۰	۲۲/۳۸	۲۳/۴۰	۱۸/۹۷	۱۲/۹۹	۶/۶۳	۱/۰۷

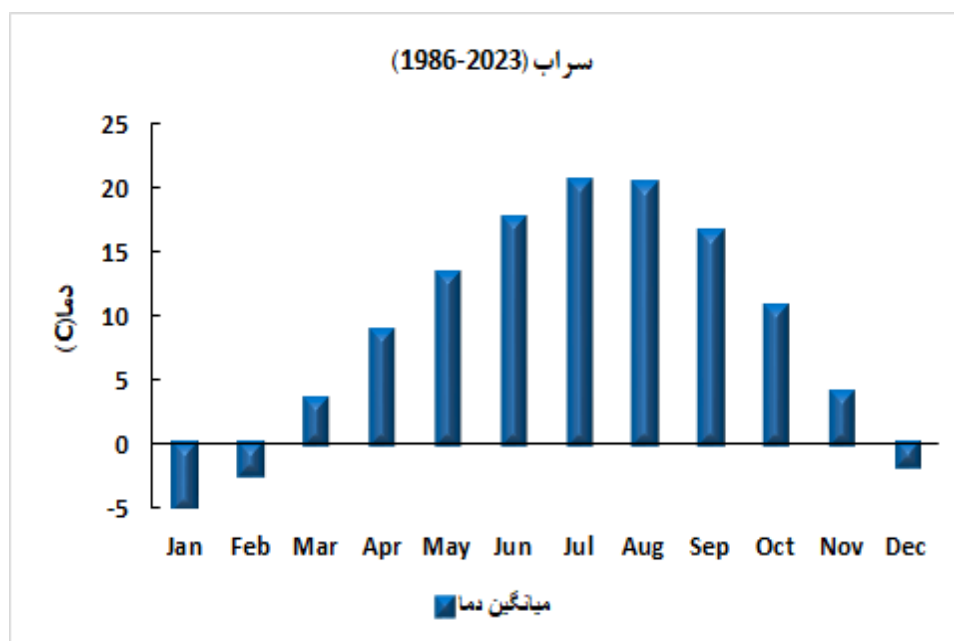
جدول (۳) اطلاعات پایه‌ای مربوط به رودخانه مورد بررسی را نشان می‌دهد. این رودخانه به دلیل جهت جغرافیایی، بازه زمانی در دسترس، و اهمیت داده‌های آن در تحلیل اقلیمی و هیدرولوژیکی انتخاب شد.

جدول ۳: مشخصات آماری دبی جریان رودخانه مورد مطالعه

نام رودخانه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دوره آماری	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
تاجیار	سراب اسبقران	۴۷-۳۰-۰۰	۳۸-۰۲-۰۰	۱۸۳۷	۱۳۹۱-۱۳۳۲	۱/۴۷	۰/۰۰	۴۸	۲/۶۲

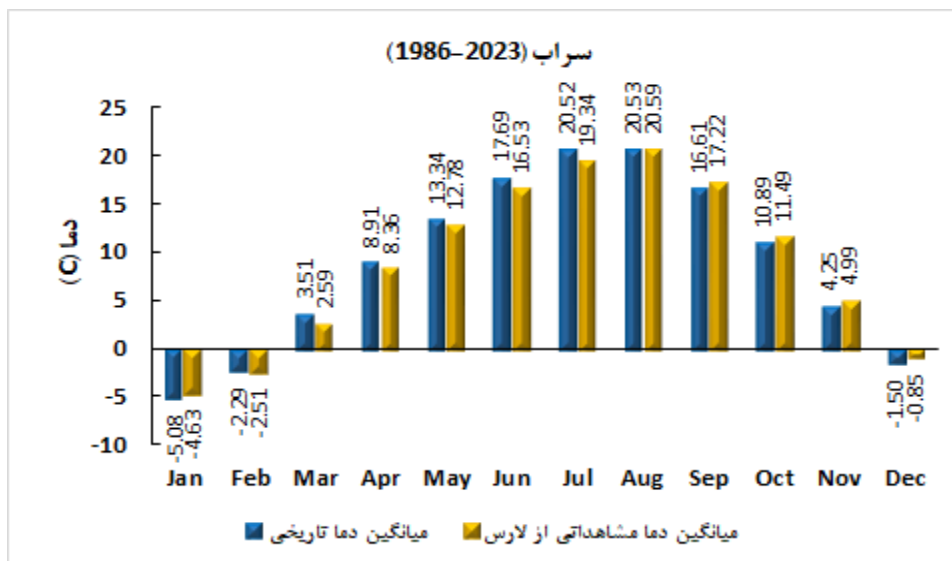
شکل (۲) نمودار میانگین دمای ماهانه شهرستان سراب طی دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۳ نشان‌دهنده الگوی دمایی یک اقلیم سرد کوهستانی است [11]. در ماه‌های زمستان (ژانویه، فوریه و دسامبر)، میانگین دما به کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد می‌رسد که نشان‌دهنده زمستان‌های سخت با احتمال یخبندان است [11]. با آغاز بهار در ماه‌های مارس و آوریل، دما به تدریج افزایش یافته و به حدود ۵ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. تابستان (ژوئن تا آگوست) با میانگین دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین دوره سال است، اما این مقادیر نشان‌دهنده تابستانی معتدل و نه بسیار گرم است [12]. در پاییز (سپتامبر و اکتبر)، دما دوباره کاهش یافته و به محدوده ۵ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد برمی‌گردد. حداکثر دما در ماه‌های جولای و آگوست با میانگین حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شده، در حالی که حداقل دما در ژانویه با میانگین کمتر از صفر درجه دیده می‌شود. این توزیع

دمایی نشان‌دهنده تنوع فصلی مشخص است که تابستان‌های ملایم و زمستان‌های بسیار سرد را به همراه دارد [11] و برای کشاورزی و برنامه‌ریزی منابع آبی منطقه، نقش مهمی ایفا می‌کند [13].



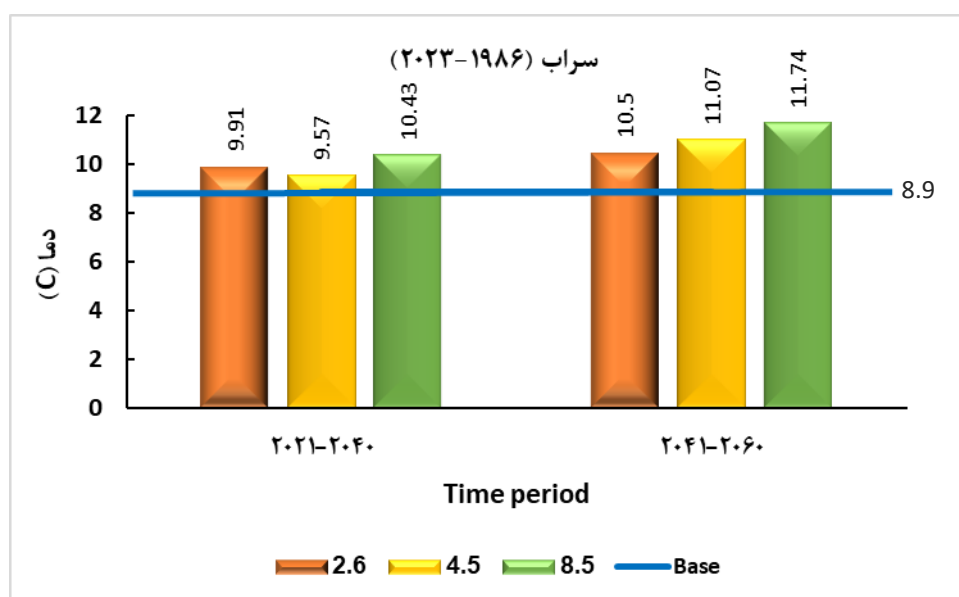
شکل ۲: نمودار میانگین دمای ماهانه داده‌های تاریخی ایستگاه سراب (۱۹۸۶-۲۰۲۳)

شکل (۳) الگوی توزیع داده‌های تاریخی (۱۹۸۶-۲۰۲۳) و داده‌های شبیه‌سازی شده با مدل LARS-WG را نشان می‌دهد. این هیستوگرام همچنین به منظور ارائه یک رویکرد کلی از شکل داده‌های تولیدی توسط نرم‌افزار داده‌های شبیه‌سازی شده ارائه شده است. هیستوگرام میانگین دمای ماهانه ایستگاه سراب (۱۹۸۶-۲۰۲۳) بیانگر مشاهده بیشترین دما در تابستان است؛ به‌طوری که در ماه جولای میانگین دمای مشاهده‌ای ۲۰/۵۲ درجه و شبیه‌سازی شده ۲۰/۵۳ درجه است. در ماه‌های ژوئن و آگوست نیز مقادیر مشابهی با حدود ۱۷/۵۹ و ۲۰/۵۳ درجه مشاهده می‌شود. کمترین دما مربوط به زمستان است، به‌طوری که در ژانویه میانگین دمای مشاهده‌ای ۵/۰۸- درجه و شبیه‌سازی شده ۴/۹۳- درجه است. در ماه‌های دیگر زمستان نیز دماهای پایین مشابهی دیده می‌شود. اختلافات جزئی بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در برخی ماه‌ها، مانند نوامبر (۴/۲۵ و ۴/۹۹ درجه)، مشاهده می‌شود، اما به‌طور کلی مدل LARS-WG توانسته با دقت بالایی میانگین دما را شبیه‌سازی کند و روند کلی تغییرات را بازتولید نماید. از ویژگی‌های بارز این هیستوگرام می‌توان به مقایسه توزیع داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده و همچنین به وجود شباهت الگوی داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی اشاره کرد.



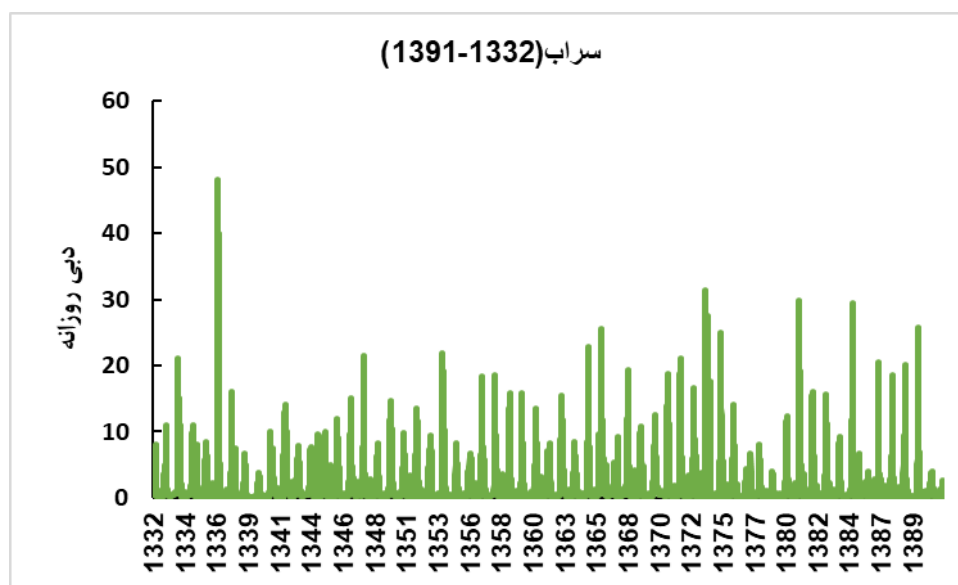
شکل ۳: هیستوگرام الگوی دما میانگین داده‌های تاریخی ایستگاه سراب (۱۹۸۶-۲۰۲۳) و شبیه سازی شده با مدل LARS-WG

شکل (۴) افزایش دمای میانگین سالانه شهرستان سراب را در دوره‌های آینده تحت سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای در بازه‌های زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ نشان می‌دهد. در هر سه سناریو، دما نسبت به دوره پایه (۸.۹ درجه سانتی‌گراد) افزایش می‌یابد. در سناریوی ۲.۶، میانگین دما در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ به ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد، در سناریوی ۴.۵ به ۱۱/۰۷ درجه و در سناریوی ۸.۵ به ۱۱/۷۴ درجه می‌رسد. این نشان‌دهنده تأثیر گرمایش جهانی است [14] که در سناریوی ۸.۵ بیشترین شدت را دارد. همچنین، افزایش دما در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ نسبت به ۲۰۲۱-۲۰۴۰ بیشتر است، که نشان‌دهنده تشدید گرمایش با گذر زمان است. این نتایج بر اهمیت سیاست‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و برنامه‌ریزی مناسب برای مدیریت اثرات تغییر اقلیم تأکید دارد [15].



شکل ۴: نمودار دمای میانگین ایستگاه سراب در دوره‌های آینده تحت سناریوهای مختلف

شکل (۵) تغییرات دبی جریان رودخانه تاجیار در ایستگاه سراب اسبقران، شهرستان سراب را در بازه زمانی ۱۳۳۲ تا ۱۳۹۱ نشان می‌دهد. دبی جریان در برخی سال‌ها، به‌ویژه در دهه ۱۳۳۰، مقادیر بسیار بالایی را نشان می‌دهد که احتمالاً ناشی از بارش‌های شدید، ذوب برف‌ها یا وقوع سیلاب‌های فصلی بوده است. در طول این دوره، نوسانات شدیدی مشاهده می‌شود که می‌تواند به تغییرات اقلیمی، بارش‌های فصلی و تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبریز مرتبط باشد. در دهه ۱۳۸۰، کاهش نسبی دبی جریان دیده می‌شود که احتمالاً به دلیل کاهش بارش، افزایش دما، تبخیر و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی منطقه رخ داده است. همچنین، فعالیت‌های انسانی نظیر تغییرات کاربری اراضی، ساخت‌وسازها و برداشت آب برای کشاورزی ممکن است بر روند کاهشی دبی در سال‌های اخیر تأثیر گذاشته باشد. این تحلیل اهمیت مدیریت منابع آبی در این حوضه را برجسته می‌کند و نشان می‌دهد که برای کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی، برنامه‌ریزی مناسب ضروری است [16].



شکل ۵: نمودار وضعیت روند دبی جریان رودخانه تاجیار در ایستگاه سراب اسبقران، شهرستان سراب

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش به بررسی تغییرات دمایی ناشی از تغییر اقلیم در شهرستان سراب و تحلیل تأثیرات این تغییرات بر منابع آبی منطقه پرداخته است. استفاده از داده‌های اقلیمی ۳۸ ساله (۱۹۸۶-۲۰۲۳) و مدل‌سازی داده‌ها با نرم‌افزار LARS-WG، روند افزایشی دما در آینده را برای سه سناریوی اقلیمی مختلف نشان داد. یافته‌ها بیانگر افزایش معنادار میانگین دمای سالانه در تمامی سناریوها است که در سناریوی SSP1-8.5 بیشترین مقدار را داشته و موجب تشدید تبخیر، کاهش جریان آب رودخانه‌ها و در نهایت محدودیت دسترسی به منابع آبی می‌شود.

کاهش جریان رودخانه تاجیار که در تحلیل‌های تاریخی نیز مشاهده شد، نشانه‌ای از تأثیرات توأمان عوامل طبیعی و انسانی است. فعالیت‌هایی مانند تغییر کاربری اراضی، برداشت بیش از حد از منابع آب و افزایش دما، فشار مضاعفی بر منابع آبی منطقه وارد کرده‌اند.

این یافته‌ها اهمیت برنامه‌ریزی‌های مدیریتی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهبود بهره‌وری در مصرف آب، و استفاده از فناوری‌های پایش اقلیمی را برجسته می‌کند. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان یک ابزار راهبردی برای طراحی سیاست‌های سازگاری و مدیریت منابع در مناطق مشابه استفاده شود.

پیشنهاداتی در این زمینه مطرح می‌شود شامل توسعه سیستم‌های پیشرفته پایش دما، بارندگی و دبی رودخانه‌ها برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت، استفاده از روش‌های آبیاری مدرن و کاهش بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی برای مقابله با کاهش دبی رودخانه‌ها، تدوین سیاست‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های پاک، انجام پژوهش‌های جامع‌تر درباره اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی، زیست‌بوم‌ها و اقتصاد منطقه.

۵- قدردانی

نویسندگان از سازمان هواشناسی کشور و اداره منابع آب استان آذربایجان شرقی به خاطر ارائه داده‌های مورد نیاز جهت انجام این پژوهش، سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

- [۱] کوهی، م. موسوی بایگی، م. فرید حسینی، ع. ثنائی نژاد، ح. جباری نوقابی، ه. ریز مقیاس نمایی آماری و ارایه سناریوهای آتی رویدادهای حدی بارش در حوضه کشف رود. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. ۱۳۹۱، (۱۲)، ۳۵-۵۳. ۲۰۱۲.
- [۲] عابدی کویابی، ج. مظاهری، ا. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دما و تبخیر از مخازن آزاد در اصفهان، دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، اصفهان، ۱۳۹۵.
- [۳] دستگردی، ع. معماریان، ه. پوررضا بیلندی، م. مکاری، م. آقاخانی افشار، ا. ح. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای بارش و دما با استفاده از سناریوهای انتشار (مطالعه موردی: منطقه اقلیمی کاشمر). ۲۰۲۳.
- [4] Smith, A. M., & Jones, L. H. Transpiration and plant water relations. *Plant Physiology*, 181(2), 485-495. 2019.
- [5] Ghahraman, B., Mohammadi, H., & Liaghat, A. M. Evaluating different strategies for managing water resources problems in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 210, 1-10. 2018.
- [6] Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A., Wang, D., & Madani, K. Climate change impacts on water resources and agriculture in Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 10(1), 10-22. 2019.
- [7] Ashofteh P, Massah Bouani A R. Impact of Climate Change on Maximum Discharges: Case Study of Aidoghmosh Basin, East Azerbaijan. *iwss*; 14 (53): 28-38. 2010.
- [8] Wagner, F. H., Keane, R. E., Loehman, R. A., & Holsinger, L. M. Effects of climate change on hydrology and water resources in the Blue Mountains, Oregon, USA. *Climate Services*, 12, 50-63. 2018.
- [9] Zuo, Q., Xu, C., Yao, Z., & Liu, J. Spatiotemporal variability of reference evapotranspiration and its contributing climatic factors in Yunnan Province, SW China, 1961–2004. *Climatic Change*, 118(3-4), 501-514. 2013.
- [۱۰] اللهویردی‌پور، و. ستاری، م. ت. مقایسه عملکرد روش کلاسیک رگرسیون خطی چندگانه و روشهای داده کاوی نوین در مدل سازی بارش سالانه مطالعه موردی شهر اهواز مدل سازی و مدیریت آب و خاک (۲۳)، ۱۲۵-۱۴۲. ۱۴۰۲.
- [۱۱] موسوی بجنوردی، ن. حسینی، م. ر. محمدی، ع. کریمی، ر. شناسایی رژیم های دمایی ایران با استفاده از روش‌های چند متغیره. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۰(۴)، ۲۰۳-۲۲۲. ۱۳۹۳.
- [۱۲] نادری، م. و عاقلی، م. بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران. مدیریت حوزه‌های آبخیز، ۱۱(۱)، ۲۵-۳۶. ۱۳۹۲.

- [۱۳] کیانی قلعه سرد، س. شهرکی، ج. اکبری، ا. و سردار شهرکی، ع. بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر مصرف آب کشاورزی و ذخایر منابع آب ایران. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۳۷)، ۱۰۹-۱۲۱. ۱۳۹۸.
- [۱۴] ساری صراف، ب. جلالی عنصودی، ط. سرافروزه، ف. اثرات گرمایش جهانی بر اقلیم شهرهای واقع در حوضه دریاچه ارومیه. فصلنامه علمی پژوهش های بوم شناسی شهری، ۶(۱۲)، ۳۳-۴۸. ۱۳۹۴.
- [۱۵] پرهیزکاری، ا. مظفری، م. م. ارزیابی اثرات انتشار گازهای گلخانه ای و تغییرات اقلیم بر عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات کشاورزی در حوزه های آبخیز استان قزوین. (پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز (علمی-پژوهشی)، ۷(۱۴)، ۱۵۱-۱۴۱. ۲۰۱۷.
- [۱۶] ریاحی، م. ر. ، سلیمانی، ک. موسوی، س. ر. بنی هاشمی، م. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر دبی رودخانه با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز لکشا نکارود). پژوهش آب ایران، ۱۱(۱)، ۳۳-۴۳. ۱۳۹۶.