

An overview of the effects of climate change on watersheds and adaptation strategies

Maryam Rezaei*

Researcher, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran

* Corresponding author: maryamm_rezaei@yahoo.com

(Received: 12 April 2024

Revised: 20 July

Accepted: 05 August 2024)

Extended Abstract

Introduction: Climate change and its consequences are significant concerns for Iran and the world, making it essential to assess vulnerability and develop adaptation strategies. Understanding the potential impact of climate change on hydrological processes at the watershed scale is crucial for watershed management decisions, as most measures to mitigate the impacts of climate change on water resources are implemented at this level. A review of research on the effects of climate change on water resources indicates that changes in global climate patterns have significantly impacted precipitation and temperature variations. These changes influence soil erosion through alterations in rainfall intensity, vegetation cover, and surface runoff production.

Materials and Methods: The research method is a review, and the tool for data collection is documents and records related to the topic. A broad search of studies in the literature was initially conducted. In the first stage, the search criteria and databases were determined, utilizing databases such as Google Scholar, Elsevier, ScienceDirect, and Springer. The search criterion was the topic of the articles, with keywords including "climate change," "hydrology," "climatic parameters," "mitigation and adaptation," "evapotranspiration," "Greenhouse gases," and "General circulation models". In the second stage, the retrieved articles were categorized and analyzed. A total of 65 articles published in the statistical period (1988 -2024) were examined and reviewed.

Results and Discussion: Increased atmospheric CO₂ concentrations due to climate change affect the water cycle, as well as the structure and distribution of plants and evapotranspiration. The main concern arising from global warming is that it disrupts the water cycle. Any changes in the rainfall regime and amount, along with variations in temperature and evaporation, affect the nutrition of groundwater. Generally, the groundwater recharge rate will increase in areas experiencing higher rainfall. Studies have shown that the temperature variable will continue to rise in response to global warming until the year 2099 across various countries. Higher temperatures generally lead to an increase in potential evaporation, primarily due to the increased water-holding capacity of the air. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the global average temperature is projected to increase by 1.4 to 5.8 °C by the year 2100, assuming a doubling of atmospheric carbon dioxide concentrations. This rise in temperature is expected to lead to several consequences, including sea level rise, changes in precipitation patterns (up to ±20%), and other alterations in local climate conditions. It is estimated that, during the 20th century, the global average sea level increased by 12-22 centimeters. This rise is primarily attributed to the melting of snow cover and mountain glaciers, both of which have declined on average in both hemispheres. Predictions of future precipitation and runoff in different countries indicate that these variables will not follow a clear trend, with increases in some months and decreases in others. Changes in rainfall regimes and amounts, combined with temperature and evaporation variations, affect groundwater recharge. Generally, areas with higher rainfall will experience an increase in groundwater recharge rates.

Conclusion: To mitigate the damages caused by climate change, several actions are essential. These include reducing desertification and deforestation, implementing sustainable forest management practices, increasing carbon storage through forest development, and restoring forests and soils. Land preservation and management, using woody plants to combat runoff and soil erosion, and reducing the frequency of floods and landslides are also crucial. Additionally, replacing new coal-fired power stations with clean and renewable energy sources, such as wind and solar power, is necessary. Agroforestry plays a vital role in providing environmental services. It helps maintain forest functions that support watershed management, reduce greenhouse gas concentrations by absorbing atmospheric CO₂ and storing it in plant biomass, and preserve biodiversity. Given its significant benefits, agroforestry is often cited as an example of a "healthy agricultural system."

Keywords: Climate Scenarios, Anthropogenic Changes, Greenhouse Gases, Water Resources.

Citation: Rezaei, M. (2025). An overview of the effects of climate change on watersheds and adaptation strategies. *Integrated Watershed Management*, 5(1), 37-58. doi: 10.22034/iwm.2024.2026335.1147

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



مروری بر اثرات تغییر اقلیم بر حوزه‌های آبخیز و راهکارهای سازگاری با آن

مریم رضائی*

محقق بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان

تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

*نویسنده مسئول: maryamm_rezaei@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۴

چکیده مبسوط

مقدمه: تغییرات اقلیمی و اثرات آن یک نگرانی مهم برای ایران و جهان است؛ بنابراین، ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به تغییرات اقلیمی و توسعه استراتژی‌های سازگاری امری ضروری است. درک تأثیرات پتانسیلی تغییرات اقلیمی بر فرایندهای هیدرولوژیک در مقیاس حوزه آبخیز برای تصمیمات مدیریتی که توسط کارشناسان آبخیزداری انجام می‌شود، بسیار حیاتی است. بیشتر اقدامات برای کاهش تأثیرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب در سطح حوزه‌های آبخیز انجام می‌شود. مروری بر نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب نشان داد که تغییر الگوی اقلیم جهانی بیشتر بر مقدار و تغییرات بارش و درجه حرارت مؤثر بوده و از طریق تغییر شدت بارندگی، پوشش گیاهی، تولید رواناب سطحی و فرسایش خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها: روش تحقیق در پژوهش حاضر، به صورت مروری و جمع‌آوری اطلاعات، اسناد و مدارک در ارتباط با موضوع است. در مرحله اول پس از تعیین معیارهای موردنظر یک جستجوی وسیع مطالعاتی در پایگاه داده‌های Elsevier, Google Scholar, Science Direct, Springer صورت گرفت. معیار جستجو، موضوع مقالات بود و کلمات کلیدی به کار رفته شامل "تغییرات اقلیمی"، "هیدرولوژی"، "پارامترهای اقلیمی"، "تخفیف و سازگاری"، "تبخیر و تعرق"، "گازهای گلخانه‌ای" و "مدل‌های گردش عمومی" بودند. در مرحله دوم بررسی مقالات، مقالات دسته بندی و تحلیل گردیدند و ۶۵ مقاله در دوره آماری (۱۹۸۸-۲۰۲۴)، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند.

نتایج و بحث: افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (CO_2) جو از طریق تغییرات اقلیمی، تأثیراتی بر بیلان آبی و تغییرات در ساختار و توزیع گیاهان و تبخیر و تعرق دارد. نگرانی اصلی ناشی از گرمایش جهانی این است که چرخه آب را تغییر می‌دهد. هرگونه تغییر در رژیم و مقدار بارندگی، همراه با تغییرات دما و تبخیر و تعرق، بر تغذیه آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. به‌طور کلی، میزان تغذیه آب زیرزمینی در مناطقی که بارندگی می‌یابد، افزایش خواهد یافت. مروری بر مطالعات نشان داد که متغیر دما، در پاسخ به گرمایش جهانی تا سال ۲۰۹۹ میلادی، در کشورهای مختلف روند افزایشی خواهد داشت و افزایش دما منجر به افزایش تبخیر پتانسیل می‌شود که مهم‌ترین دلیل آن افزایش ظرفیت نگهداری آب در هوا است. به گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیمی (IPCC)، دمای متوسط جهانی تا سال ۲۱۰۰ با دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن در جو بین ۱٫۴ تا ۵٫۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. افزایش سطح دریا، تغییر الگوی بارش (تا $\pm 20\%$) و تغییرات دیگر در شرایط آب و هوایی محلی از جمله تبعات افزایش دمای جهانی می‌باشند. تخمین زده شده است که در قرن بیستم، میانگین کلی سطح دریا در مقیاس جهانی ۲۲-۱۲ سانتی‌متر افزایش یابد. این افزایش ناشی از ذوب شدن پوشش برف و یخچال‌های کوهستانی است (هر دو به طور متوسط در هر دو نیم‌کره کاهش یافته‌اند). نتایج پیش‌بینی بارش و رواناب در کشورهای مختلف برای دوره‌های آبی نیز نشان داد که متغیرهای ذکر شده روند مشخصی نداشته و در بعضی ماه‌ها افزایش و در بعضی از ماه‌ها کاهش خواهند یافت. هرگونه تغییر در رژیم و مقدار بارندگی، همراه با تغییرات دما و تبخیر و تعرق، بر تغذیه آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد و میزان تغذیه آب زیرزمینی در مناطقی که بارندگی افزایش می‌یابد، افزایش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری: از اقدامات کاهش آسیب‌های ناشی از تغییرات اقلیمی به‌عنوان بخشی از فعالیت‌های مدیریت منابع آب و خاک می‌توان به کاهش بیابان‌زایی و تخریب جنگل، مدیریت پایدار جنگل، افزایش ذخیره کربن از طریق توسعه جنگل، بازسازی جنگل و خاک، حفظ و مدیریت اراضی، استفاده از گیاهان چوبی به‌منظور مقابله با رواناب و فرسایش خاک، کاهش در فراوانی سیلاب‌ها و زمین‌لغزش‌ها همچنین می‌توان به جایگزینی نیروگاه‌های سوخت فسیلی با منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر (بادی یا خورشیدی) اشاره نمود. آگروفارستری کمک بسیار مهمی به خدمات زیست‌محیطی از جمله حفظ عملکرد جنگل در حمایت از مدیریت آبخیزداری، کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای از طریق جذب دی‌اکسید کربن در جو و انباشته شدن آن در شکل زیتوده گیاهی و حفظ تنوع زیستی می‌کند. با توجه به اهمیت این نقش، آگروفارستری اغلب به‌عنوان نمونه‌ای از "سیستم کشاورزی سالم" استفاده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سناریوهای اقلیمی، فعالیت‌های انسانی، گازهای گلخانه‌ای، منابع آب.

استناد: رضائی، م. (۱۴۰۴). مروری بر اثرات تغییر اقلیم بر حوزه‌های آبخیز و راهکارهای سازگاری با آن. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵۸-۳۷.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

تغییر اقلیم^۱، یک چالش جدی زیست‌محیطی است و دمای سطح زمین را از اواخر قرن نوزدهم تقریباً ۰/۸۶۵ درجه سانتی‌گراد افزایش داده است و انتظار می‌رود که این روند افزایشی در طول قرن بیست‌ویکم همچنان ادامه داشته باشد. تخمین زده می‌شود که میانگین کل سطح آب دریاها بین ۱۲ تا ۲۲ سانتی‌متر افزایش یابد، این افزایش به دلیل ذوب‌شدن پوشش برف و یخچال‌های طبیعی کوهستانی (هر دو به‌طور متوسط در هر دو نیمکره کاهش یافته‌اند) ایجاد شده است (IPCC, 2007^۲). این تغییرات همچنین ممکن است باعث تغییر در الگوی بارش، افزایش سطح آب دریا و تشدید وقایع جوی شود. تغییرات در الگوهای بارش علاوه بر اینکه بر کیفیت و کمیت منابع آب تأثیر می‌گذارد (Abd Ellah, 2020)، روی سلامت بوم‌سازگان و عملکرد اکولوژیکی نیز مؤثر است (Malekmohammadi et al., 2023).

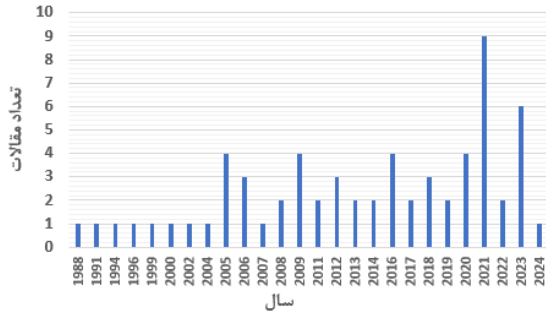
تأثیر متقابل بین تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی تأثیرات شدیدی بر اکوسیستم‌های مختلف آبی از جمله دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، اقیانوس‌ها و به‌ویژه سفره‌های زیرزمینی دارد و کیفیت، کمیت، سلامت و عملکرد آن‌ها را تغییر می‌دهند (Bekele et al., 2018). همچنین فراوانی سیل و دبی متوسط سالانه را تغییر می‌دهد و بر تبخیر و تعرق، ظرفیت نفوذپذیری خاک، فرسایش خاک و رژیم‌های جریان سطحی و زیرسطحی تأثیر می‌گذارد (Getu Engida et al., 2021).

حوزه آبخیز یک واحد هیدرولوژیکی برای فعالیت‌های مدیریت منابع آب است که باید با رویکرد و تلاش مناسب مدیریت شود (Ikhlas & Ramadan, 2023). فرسایش خاک در مقیاس حوضه، یکی از دلایل اصلی تخریب زمین و هدررفت خاک، ناشی از تغییرات آب‌وهوایی است؛ بنابراین مدیریت مؤثر حوزه آبخیز برای حفظ و پایداری منابع آب به‌ویژه در مناطق با

احتمال خشکسالی و منابع آب محدود، برای بهبود جریان رودخانه، حاصلخیزی خاک، حفظ منابع آب‌و خاک و معیشت برای آبخیزنشینان به‌منظور مقابله و کاهش اثرات منفی حاصل از پدیده تغییر اقلیم ضروری است. بررسی اثرات تغییرات اقلیمی در حوزه‌های آبخیز برای درک اثرات آن بر هیدرولوژی، بوم‌شناسی و منابع آب بسیار ضروری است. اهدافی که پژوهش حاضر دنبال می‌کند شامل بررسی این مطلب است که چگونه تغییرات اقلیمی الگوهای بارش، دما، مقادیر تبخیر و تعرق، پوشش گیاهی، تغییرات ذخیره، تغذیه آب‌های زیرزمینی و الگوهای رواناب را تغییر می‌دهد. همچنین شناسایی و ارائه راهبردهای مؤثر سازگاری برای کاهش تأثیرات تغییرات اقلیمی در حوزه‌های آبخیز مختلف است.

مواد و روش‌ها

مقاله حاضر بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر فرآیند هیدرولوژی و پارامترهای هواشناسی حوزه‌های آبخیز مختلف در دنیا را نشان می‌دهد. مسائل اصلی مورد ارزیابی در پژوهش حاضر شامل اثر تغییرات اقلیمی بر تبخیر و تعرق، تغییرات در بارش، ترکیب و ویژگی‌های پوشش گیاهی، ویژگی‌های جریان رودخانه و تغییرات در ذخیره و تغذیه سفره آب زیرزمینی بسته به نتایج تحقیقات و مطالعات موردی مدل‌سازی اقلیم و هیدرولوژی در حوزه‌های آبخیز مختلف است. با توجه به اهداف موردنظر در این پژوهش و ماهیت مروری این مقاله، سعی گردید که در ابتدا جستجوی وسیع مطالعاتی در منابع صورت گیرد. روش تحقیق، به‌صورت مروری و ابزار جمع‌آوری اطلاعات، اسناد و مدارک در ارتباط با موضوع است. در مرحله اول، معیارهای جستجو و پایگاه داده‌ها تعیین شدند و از پایگاه داده‌های (Elsevier, GoogleScholar) و (Springer و ScienceDirect) استفاده شد. معیار



شکل ۲- تعداد مقالات مروری بر اساس سال انتشار در پژوهش حاضر

Figure 2- Number of reviewed papers by publication year in the current research

معرفی مدل‌های تغییر اقلیم

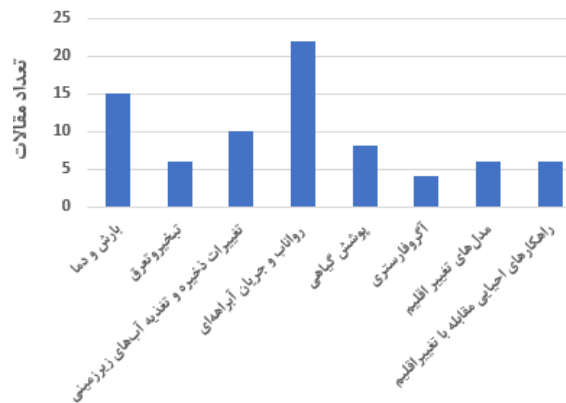
در طی دهه‌های اخیر مدل‌های گردش عمومی (GCM) ^۳ بسیاری در کشورهای مختلف دنیا توسعه یافته و این مدل‌ها در قالب پروژه جهانی CMIP ^۴ با یک چارچوب مشترک جهت ارتقاء دانش تغییر اقلیم و نیز ارتقاء عملکرد مدل‌های اقلیمی ارائه شده‌اند (Ahmadian & Montaseri, 2022). به طوری که در سال‌های اخیر نسل جدیدی از مدل‌های اقلیمی به نام مدل‌های زمین ^۵ جهت کاهش عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی پیشین (CMIP3) در قالب پروژه جهانی CMIP5 و CMIP6 توسعه یافته یا در حال توسعه است (Breshears *et al.*, 2005). فهرست تعدادی از مدل‌های CMIP5 در جدول شماره ۱، ارائه شده است (Tesfaye *et al.*, 2023).

جدول ۱- فهرست مدل‌های CMIP5 (Tesfaye *et al.*, 2023)

Table 1- List of CMIP5 models (Tesfaye *et al.*, 2023)

ردیف	مدل	کشور	قدرت تفکیک	ردیف	مدل	کشور	قدرت تفکیک
۱	ACCESS1.0	استرالیا	۱/۲۵°×۱/۹°	۱۹	GFDL-ESM2M	آمریکا	۲°×۲/۵°
۲	ACCESS1.3	چین	۱/۲۵°×۱/۹°	۲۰	GISS-E2-H	آمریکا	۲°×۲/۵°
۳	BCC-CSM1.1	چین	۲/۸°×۲/۸°	۲۱	GISS-E2-R	آمریکا	۲°×۲/۵°
۴	BCC-CSM1.1(m)	کانادا	۱/۱۲°×۱/۱۲°	۲۲	HadCM3	انگلستان	۲/۵°×۳/۷۵°
۵	BNU-ESM	کانادا	۲/۸°×۲/۸°	۲۳	HadGEM2-AO	انگلستان	۱/۲۵°×۱/۹°
۶	CanCM4	آمریکا	۲/۸°×۲/۸°	۲۴	HadGEM2-CC	انگلستان	۱/۲۵°×۱/۹°

جستجو، موضوع مقالات بود و کلمات کلیدی بکار رفته شامل "تغییرات اقلیمی"، "هیدرولوژی" و "پارامترهای اقلیمی" و "تعدیل و سازگاری"، "تبخیر و تعرق"، "گازهای گلخانه‌ای" و "مدل‌های گردش عمومی" بودند. در مرحله دوم بررسی مقالات، مقالات جستجو و دسته‌بندی شدند و از میان مقالات موجود، در نهایت ۶۵ مقاله در دوره آماری (۱۹۸۸-۲۰۲۴)، با موضوعاتی شامل اثر تغییر اقلیم بر رواناب و جریان رودخانه‌ای، بارش، دما، تبخیر و تعرق، تغییرات ذخیره و تغذیه آب‌های زیرزمینی، آگروفرستری، مدل‌های تغییر اقلیم، راهکارهای احیایی مقابله با تغییر اقلیم و پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز مختلف که باهدف پژوهش حاضر همخوانی داشتند، انتخاب و مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۱- طبقه‌بندی مقالات مروری بر اساس موضوع مورد استفاده در پژوهش حاضر

Figure 1- Classification of reviewed papers by topic in the current research

							رضائی
۱/۲۵°×۱/۹°	انگلستان	HadGEM2-ES	۲۵	۲/۸°×۲/۸°	آمریکا	CanESM2	۷
۱/۵°×۱/۲°	روسیه	INMCM4	۲۶	۰/۹۴°×۱/۲۵°	آمریکا	CCSM4	۸
۱/۹°×۳/۷۵°	فرانسه	IPSL-CM5A-LR	۲۷	۰/۹۴°×۱/۲۵°	آمریکا	CESM1(BGC)	۹
۱/۲۵°×۲/۵°	فرانسه	IPSL-CM5A-MR	۲۸	۰/۹۴°×۱/۲۵°	آمریکا	CESM1(CAM5)	۱۰
۱/۹°×۳/۷۵°	فرانسه	IPSL-CM5B-LR	۲۹	۰/۷۵°×۰/۷۵°	ایتالیا	CMCC-CM	۱۱
۲/۸°×۲/۸°	ژاپن	MIROC5	۳۰	۱/۹°×۱/۹°	ایتالیا	CMCC-CMS	۱۲
۲/۸°×۲/۸°	ژاپن	MIROC-ESM	۳۱	۱/۴°×۱/۴°	فرانسه	CNRM-CM5	۱۳
۱/۴°×۱/۴°	ژاپن	MIROC-ESM-CHEM	۳۲	۱/۹°×۱/۹°	استرالیا	CSIRO-Mk3.6.0	۱۴
۱/۹°×۱/۹°	آلمان	MPI-ESM-LR	۳۳	۱/۱°×۱/۱°	چندگانه	EC-EARTH	۱۵
۱/۹°×۱/۹°	آلمان	MPI-ESM-MR	۳۴	۲/۸°×۲/۸°	چین	FGOALS-g2	۱۶
۱/۱°×۱/۱°	ژاپن	MRI-CGCM3	۳۵	۲°×۲/۵°	آمریکا	GFDL-CM3	۱۷
۱/۹°×۲/۵°	نروژ	NorESM1-M	۳۶	۲°×۲/۵°	آمریکا	GFDL-ESM2G	۱۸

شبیه‌سازی وقایع حدی و الگوهای روند آن‌ها نسبت به مدل‌های CMIP5 دارند (Chen et al., 2020).

در جدول ۲، نیز فهرستی از تعدادی از مدل‌های CMIP6 به نقل از (Almazroui et al., 2020)، ارائه شده است. مدل‌های CMIP6 بهبود کلی در

جدول ۲- فهرست مدل‌های CMIP6 (Almazroui et al., 2020)

Table 2- List of CMIP6 models (Almazroui et al., 2020)

قدرت تفکیک	کشور	مدل	ردیف	قدرت تفکیک	کشور	مدل	ردیف
۱/۳°×۰/۹°	چین	FIO-ESM-2-0	۱۴	۱/۹°×۱/۲°	استرالیا	ACCESS-ESM1-5	۱
۱/۳°×۱°	آمریکا	GFDL-ESM4	۱۵	۱/۱°×۱/۱°	چین	BCC-CSM2-MR.3	۲
۲°×۱/۵°	روسیه	INM-CM4-8	۱۶	۱/۱°×۱/۱°	چین	CAMS-CSM1-0	۳
۲°×۱/۵°	روسیه	INM-CM5-0	۱۷	۲/۸°×۲/۸°	کانادا	CanESM5	۴
۲/۵°×۱/۳°	فرانسه	IPSL-CM6A-LR	۱۸	۱/۳°×۰/۹°	آمریکا	CESM2	۵
۱/۴°×۱/۴°	ژاپن	MIROC6	۱۹	۱/۳°×۰/۹°	آمریکا	CESM2-WACCM	۶
۲/۸°×۲/۸°	ژاپن	MIROC-ES2L	۲۰	۱/۴°×۱/۴°	فرانسه	CNRM-CM6-1	۷
۰/۹°×۰/۹°	آلمان	MPI-ESM1-2-HR	۲۱	۰/۵°×۰/۵°	فرانسه	CNRM-CM6-1-HR	۸
۱/۹°×۱/۹°	آلمان	MPI-ESM1-2-LR	۲۲	۱/۴°×۱/۴°	فرانسه	CNRM-ESM2-1	۹
۱/۱°×۱/۱°	ژاپن	MRI-ESM2-0	۲۳	۰/۷°×۰/۷°	اروپا	EC-Earth3	۱۰
۱/۹°×۱/۹°	چین	NESM3	۲۴	۰/۷°×۰/۷°	اروپا	EC-Earth3-Veg	۱۱
۲/۵°×۱/۹°	نروژ	NorESM2-LM	۲۵	۱/۳°×۱°	چین	FGOALS-f3-L	۱۲
۱/۹°×۱/۳°	انگلستان	UKESM1-0-LL	۲۶	۲°×۲/۳°	چین	FGOALS-g3	۱۳

نتایج و بحث

- اثر تغییر اقلیم بر رواناب و جریان رودخانه‌ای در حوزه‌های آبخیز مختلف

آبخیز مانند پوشش موجود در دریاچه و زمین‌شناسی کنترل می‌شوند؛ بنابراین اهمیت نسبی تغییرات اقلیمی بسته به منطقه متفاوت است و به حساسیت فعلی رژیم هیدرولوژیکی به تغییرات دما و بارش منطقه بستگی دارد.

تغییر اقلیم می‌تواند رژیم جریان و بیلان رسوبی حوزه‌های آبخیز را تغییر دهد (Erol & Randhir, 2012). رژیم جریان رودخانه‌ای در درجه اول توسط الگوهای فصلی دما و بارش و همچنین ویژگی‌های حوزه

اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم تأثیر مهمی بر انواع حوزه‌های آبخیز خواهد داشت، به‌عنوان مثال، افزایش

شده و تعداد رویدادهای طوفانی منجر به افزایش فراوانی و حجم جریان سیلابی در فصول بارانی خواهد شد. فصول گرم‌تر، خشک‌تر پیش‌بینی شده و همچنین نگرانی‌هایی را در مورد افزایش احتمالی تعداد و بزرگی روزهای کم جریان ایجاد می‌کند (Loukas *et al.*, 2002). در تحقیقاتی (Kundzewicz *et al.*, 2005) و

شده و تعداد رویدادهای طوفانی منجر به افزایش فراوانی و حجم جریان سیلابی در فصول بارانی خواهد شد. فصول گرم‌تر، خشک‌تر پیش‌بینی شده و همچنین نگرانی‌هایی را در مورد افزایش احتمالی تعداد و بزرگی روزهای کم جریان ایجاد می‌کند (Loukas *et al.*, 2002). در تحقیقاتی (Kundzewicz *et al.*, 2005) و

جدول ۳- بیشینه جریان رودخانه‌ای سالانه برای ۱۹۵ ایستگاه هیدرومتری در سراسر جهان مرتبط با تغییرات اقلیمی

(Kundzewicz *et al.*, 2005)

Table 3 - Annual maximum stream flow for 195 global stream Gauging stations and climate change (Kundzewicz *et al.*, 2005)

منطقه	تعداد ایستگاه‌ها	تعداد مناطق دارای روند افزایشی	تعداد مناطق بدون روند	تعداد مناطق دارای روند کاهشی
آفریقا	۴	۱	۱	۲
آسیا	۸	۰	۵	۳
آمریکای شمالی	۳	۰	۳	۰
آمریکای جنوبی	۷۰	۱۴	۴۴	۱۲
استرالیا	۴۰	۱	۳۴	۵
اروپا	۷۰	۱۱	۵۰	۹
جمع کل	۱۹۵	۲۷ (۱۴ درصد)	۱۳۷ (۷۰ درصد)	۳۱ (۱۶ درصد)

آسیا، به دلیل بارش‌های شدیدتر مونسون شناسایی می‌کند. در مقابل، برخی ایستگاه‌های آسیای مرکزی و شمالی روندهای کاهشی را گزارش می‌کنند که احتمالاً به تغییرات الگوهای بارش و افزایش برداشت آب برای کشاورزی و صنعت مرتبط است. ایستگاه‌های آفریقایی الگوهای متنوعی را نشان می‌دهند، با افزایش AMF در برخی مناطق مانند شرق آفریقا که به وقایع بارش شدیدتر مرتبط است. باین‌حال، سایر مناطق، به‌ویژه در ساحل و جنوب آفریقا، روندهای کاهشی را تجربه می‌کنند که تغییرات در الگوهای بارش و افزایش مقدار تبخیر و تعرق را منعکس می‌کند. در آمریکای جنوبی افزایش AMF در حوضه آمازون به دلیل بارش بیشتر رخ می‌دهد، در حالی که مناطق آندین افزایش و کاهش‌های مختلطی را نشان می‌دهند که تحت تأثیر ذوب یخچال‌ها و تغییرات دینامیک بارش است.

نتایج جدول (۳)، نشان داد که در آمریکای شمالی، روندهای افزایشی قابل توجهی در AMF در مناطق شمالی و شرقی مشاهده می‌شود. این تغییرات به افزایش بارش و ذوب برف به دلیل افزایش دما مرتبط است. در مقابل، برخی مناطق در غرب، کاهش روندها را نشان می‌دهند که احتمالاً به دوره‌های طولانی خشکسالی و کاهش ذخایر برف مرتبط است. ایستگاه‌های اروپایی الگوی ناهمگونی نشان دادند، با افزایش‌های قابل توجه در AMF در شمال و مرکز اروپا که با بارش‌های بیشتر زمستانی و وقایع جوی شدیدتر مرتبط است. جنوب اروپا ترکیبی از روندهای ثابت و کاهشی را نشان می‌دهد که احتمالاً به کاهش بارش و افزایش میزان تبخیر و تعرق مرتبط است. در آسیا، مطالعه افزایش‌های قابل توجهی در AMF در مناطق تحت تأثیر مونسون، به‌ویژه در جنوب و جنوب شرق

تحقیقات متعددی در رابطه با اثرات تغییرات اقلیمی بر رواناب و جریان رودخانه‌ای صورت گرفته است؛ که جدول (۴)، برخی از این تحقیقات را به اختصار ارائه می‌دهد.

همچنین در استرالیا و اقیانوسیه، افزایش در AMF در مناطق شمالی مشاهده می‌شود که با فعالیت بیشتر طوفان‌های گرمسیری و بارش‌ها مرتبط است. مناطق جنوبی، اما روندهای کاهشی را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده دوره‌های طولانی خشکسالی و کاهش جریان‌های سطحی است.

جدول ۴- مطالعات مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب و جریان رودخانه‌ای

Table 4 - Modeling studies on the impacts of climate change on runoff and streamflow

نتایج	منطقه مورد مطالعه	نام محققین
- افزایش میزان رواناب در پاییز و زمستان و کاهش آن در بهار و تابستان در حوزه آبخیز کمبل بالایی ^۷ ، - افزایش سهم جریان ذوب برف در تولید رواناب در زمستان و کاهش آن در بهار در حوزه آبخیز ایلکیلوات ^۸ ، - افزایش حدود ۳/۵ درجه سانتی‌گراد در دمای میانگین سالانه در حوزه آبخیز کمبل بالایی و ۴/۱ درجه سانتی‌گراد برای حوزه آبخیز ایلکیلوات - کاهش ده درصدی در تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه در حوزه آبخیز کمبل بالایی و یک درصدی برای حوزه آبخیز ایلکیلوات	بریتیش کلمبیا در کانادا	Loukas <i>et al.</i> , 2002
- نوسانات قابل توجه سطح دریاچه و جریان رودخانه به دلیل نوسانات بارندگی - عدم وجود نشانه واضح از چگونگی تأثیر تغییرات اقلیمی بر جریان رودخانه نیل به دلیل عدم قطعیت در الگوهای بارش و تأثیر ساختارهای پیچیده مدیریت آب	حوضه نیل در مصر	Conway, 2005
- افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۱/۵ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد و افزایش میانگین بارش ماهانه و سالانه به ترتیب به میزان ۲۹ و ۹/۴ درصد تا پایان قرن بیست و یکم - امکان کاهش حجم میانگین سالانه ورودی به دریاچه زیوای تا ۱۹/۴۷ درصد برای سناریو A2a و B2a ۲۷/۴۳ درصد برای B2a	حوزه آبخیز دریاچه زیوای	Abraham <i>et al.</i> , 2006
- کاهش رواناب سالانه بر اساس مدل‌های GFDL2.3 UK89 و CCCM به ترتیب تا ۱۸/۲ و ۱۲/۶ درصد - افزایش ده درصدی در تبخیر و تعرق سالانه	حوضه دریاچه تانا در اتیوپی	Tareegn & Tadege, 2006
- کاهش رواناب در حوزه‌های آبخیز آفریقای جنوبی - افزایش بیست درصدی در فراوانی خشکسالی‌ها و تحت تأثیر قرار گرفتن مناطق شمالی و جنوبی آفریقا به خشکسالی‌های شدیدتر و طولانی‌تر - شناسایی یک منطقه ناپایدار بحرانی بین سنگال و سودان	کشورهای آفریقای	De Wit & Stankiewicz, 2006
- کاهش معنی‌داری در جریان رودخانه‌ای در کشورهای جنوب آفریقا بر اساس تجزیه و تحلیل پنج مدل آب‌وهوایی (CSIRO2 ^۹ ، HadCM3 ^{۱۰} ، ECHAM.CGCM2 ^{۱۱} و PCM ^{۱۲})	کشورهای آفریقای	Bates <i>et al.</i> , 2008
- در صورت تغییر چهار درجه سانتی‌گرادی دما، کاهش رواناب فصلی و سالانه به ترتیب ۳/۳ و ۴ درصد خواهد بود.	اتیوپی	Abdo <i>et al.</i> , 2009

7- Upper Campbell

8- Illecillewaet catchment

9- CSIRO2: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, version 2

10- HadCM3: Hadley Centre Coupled Model version 3

11- CGCM2: Coupled General Circulation Model, version 2

12- PCM: Parallel Climate Model

- افزایش هم‌زمان دو درجه سانتی‌گراد دما با کاهش ۱۰ درصد بارش موجب کاهش رواناب فصلی و سالانه ۱۷/۷ درصد خواهد شد.	
- کاهش حجم رواناب در فصل بارانی به‌طور تقریبی ۱۱/۶ و ۱۰/۱ درصد برای سناریوهای A2 و B2 برای دهه ۲۰۸۰	
- افزایش جریان سالانه نیل تا میزان حدود ۱/۵ درصد - کاهش میزان بارش به میزان پنج درصد در زیر حوزه مندایا ^{۱۳}	Soliman <i>et al.</i> , 2009 مصر
- میزان جریان متوسط سالانه در حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی افزایش خواهد یافت و بیشترین افزایش در بهار و تابستان رخ می‌دهد. - افزایش تبخیر و تعرق به میزان ۱۵ درصد تا پایان قرن بیست و یکم	Erol & Randhir, 2012 آمریکای شمالی
- کاهش سالانه در جریان رودخانه گبا به میزان ۲۳/۱، ۳۵/۸ و ۵۰/۲ درصد برای سناریو اقلیمی A2 و به میزان ۲۶/۱، ۳۶/۶ و ۴۲/۷ درصد برای سناریو اقلیمی B2 در دهه‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰	Goitom <i>et al.</i> , 2012 اتیوپی
- کاهش میانگین جریان رودخانه‌ای سالانه در حوضه آبریز گبیه، حدود ۱/۳ تا ۳/۵ درصد - مدل ECHAM5 در هر دو سناریو A2 و B1 کاهش جریان را برای تمام ماه‌ها به جز ماه اوت پیش‌بینی کرده است. در ماه اوت، جریان به ترتیب ۳/۸ و ۴/۵ درصد در دوره (۲۰۴۱-۲۰۷۰)، برای سناریوهای A2 و B1 افزایش می‌یابد.	Demissie <i>et al.</i> , 2013 اتیوپی
- متوسط رواناب سالانه بلندمدت در سه دوره آتی در حوزه آبخیز آیدوگموش در استان آذربایجان شرقی نسبت به دوره پایه، کاهش می‌یابد. کاهش حجم کل رواناب نسبت به دوره پایه به جریان‌های متوسط و زیاد مرتبط می‌شود و در جریان‌های کم، حجم کل رواناب سه دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) نسبت به دوره پایه، به ترتیب به میزان ۴۷، ۴۱ و ۱۴ درصد افزایش می‌یابد.	Ashofteh & Bozorg Hadad, 2014 ایران
- کاهش به ترتیب ۳۲/۶۲ و ۳۲/۴۰ درصدی دبی سناریوی A2 و B2 در دوره (۲۰۴۰-۲۰۱۱) در حوضه آبریز قره‌سو نسبت به دوره پایه - در سناریوی A2 بیشترین رواناب در فروردین ماه (۲۷/۴۲ لیتر بر ثانیه) و کمترین میزان رواناب در مردادماه (۶/۲۴ لیتر بر ثانیه) رخ خواهد داد و ۳۳ درصد رواناب رودخانه نسبت به دوره پایه، کاهش خواهد داشت.	Malmir <i>et al.</i> , 2016 ایران
- بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه زرينه‌رود طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۵ با استفاده از میانگین نتایج ۱۴ مدل AOGCM - افزایش رواناب در ورودی سد زرينه‌رود در ماه‌های بهمن و اسفند و افزایش آبدهی در حوضه میانی در پائیز و زمستان و کاهش ۲۸ و ۱۶ درصدی رواناب به ترتیب در محل‌های ورودی به سد زرينه‌رود و حوضه میانی	Mansouri <i>et al.</i> , 2016 ایران
- حجم رواناب خروجی هر یک از زیر حوزه‌ها در حوزه آبریز تویسرکان همدان کاهش خواهد یافت به‌طوری‌که از ۴۰/۵ میلیون مترمکعب در دوره پایه به ۳۴/۹ و ۳۵/۸ میلیون مترمکعب در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) تحت سناریوهای A1B و B1 خواهد رسید.	Poormohammadi <i>et al.</i> , 2017 ایران
در استان خوزستان ۸۳ درصد تغییرات دبی خروجی توسط بارش، خشکسالی و دمای حداکثر تحت تأثیر قرار گرفته است و در محدوده حوضه در خارج استان، ۸۲ درصد تغییرات دبی، ناشی از به ترتیب بارش، دمای حداکثر و خشکسالی است.	Saeedifar <i>et al.</i> , 2021 ایران
پیش‌بینی افزایش جریان رودخانه‌ای در حوزه آبخیز مکانگ در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۹۳ به میزان ۱۰/۵ تا ۲۳/۲ درصد و کاهش جریان آب در فصل خشک به دلیل افزایش دما	Li & Fang, 2021 جنوب شرقی آسیا
کاهش جریان رودخانه‌ای از ۳۴ تا ۶۰ درصد تا پایان قرن ۲۱ و احتمال کاهش آب زیرزمینی از ۷۴ تا ۹۲ درصد در بدترین سناریو - کاهش اجزای سطحی و زیرزمینی در مطلوب‌ترین سناریوها به ترتیب ۳۹- و ۲۹- درصد	Sanchez-Gomez <i>et al.</i> , 2023 اسپانیا

- اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما

تعدادی از پژوهش‌هایی که در رابطه با اثرات تغییرات اقلیمی بر متغیرهای اقلیمی بارش و دما صورت گرفته در جدول (۵)، ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که فزایش دما باعث ذوب یخچال‌ها و یخ‌های قطبی شده و به تبع آن، سطح دریاها افزایش یافته است که تهدیدی برای مناطق ساحلی محسوب می‌شود.

الگوهای بارش جهانی نیز در حال تغییر هستند و این تغییرات بسته به منطقه متفاوت است. برخی مناطق مرطوب شاهد افزایش بارش‌های سنگین و سیلاب‌ها هستند که می‌تواند به خسارات گسترده‌ای منجر شود. مناطق خشک و نیمه‌خشک، نظیر مدیترانه و خاورمیانه، کاهش بارش را تجربه می‌کنند که به افزایش خشکسالی و کمبود آب منجر شده است.

جدول ۵- مطالعات مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دما

Table 5 - Modeling studies on the impacts of climate change on precipitation and temperature

نام محققین	منطقه مورد مطالعه	نتایج
Babaeian <i>et al.</i> , 2009	ایران	- خروجی‌های مدل گردش عمومی ECHO-G با سناریوی A1 برای دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ را ریزمقیاس نموده و نتایج آن بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور بررسی کردند. نتایج کلی برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹، حاکی از کاهش نه درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه‌های بارش سنگین و خیلی سنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد بود که بیشترین افزایش دما مربوط به ماه‌های سرد سال است.
Malmir <i>et al.</i> , 2016	ایران	- افزایش ۱/۶ درجه‌ای دما و کاهش ۱/۷۷ و ۱/۱ درصدی بارش به ترتیب سناریوی A2 و B2 در حوزه آبریز قره‌سو در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه
Mansouri <i>et al.</i> , 2016	ایران	- افزایش متوسط درجه حرارت کمینه و بیشینه در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۵ - کاهش متوسط بارندگی ماهانه در فصل بهار و افزایش آن در فصل‌های تابستان و پاییز - تغییر شکل بارش زمستانی از برف به باران به دلیل افزایش دما
Heidari & Khazaei, 2018	ایران	- افزایش مقدار بارش حداکثر سالانه کرمانشاه با تداوم‌های یک تا پنج روز - تغییر توزیع فصلی وقوع بارش‌های حداکثر و ماهانه - افزایش بارش‌های حداکثر روزانه با دوره بازگشت دو سال در دوره آینده ۲۰۹۴-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه ۱۹۹۲-۱۹۶۳ برای سناریوهای انتشار مختلف بین ۶ تا ۱۵ درصد
Mortazavifar <i>et al.</i> , 2019	ایران	- کاهش بارش متوسط سالانه در هر دو ایستگاه بابلسر و قراخیل و افزایش دمای متوسط سالانه به طوری که در دوره ۲۱۰۰-۲۰۶۹ تحت سناریو (RCP 8.5) بدبینانه، در ایستگاه بابلسر و قراخیل، بارش متوسط سالانه به ترتیب به میزان ۵۱/۰۷ و ۳۴/۷ درصد بیشترین کاهش و دمای متوسط سالانه به ترتیب به میزان ۴۴/۳ و ۸۶/۳ درجه سانتی‌گراد بیشترین افزایش را نسبت به دوره پایه نشان داده است.
Ibay-Yupa <i>et al.</i> , 2021	حوزه آبریز گووا یاس در اکوادور	- افزایش دما به میزان دو درجه سانتی‌گراد و بارش شش درصد در دوره (۲۰۷۹-۲۰۵۰) - افزایش میانگین بارندگی ماهانه بین ۰/۳ تا ۱۴ درصد بین نوامبر و جولای و کاهش بین ۰/۳ تا ۱۰ درصد بین آگوست و اکتبر
Mboka <i>et al.</i> , 2021	اسپانیا	- افزایش دماهای بیشینه و کمینه در نیمه قرن ۲۱، از تمام سناریوهای انتشار (A2، A1B و B1) بین ۱/۵ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد بسته به سناریوهای مختلف و برای انتهای قرن در سناریوهای (A2، A1B و B1) به ترتیب برای دمای بیشینه ۳/۷۵، ۳/۳ و ۲/۱ درجه سانتی‌گراد و برای دمای کمینه ۳/۱، ۲/۷۵ و ۱/۷۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت.
Zareian, 2022	ایران	- افزایش دمای سالانه یزد و کاهش بارندگی سالانه در تمامی سناریوهای انتشار - دمای سالانه این منطقه در ایستگاه‌های مختلف بین ۰/۲ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش نیز بین ۲/۹ تا ۱۳/۷ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین بیشترین میزان افزایش دما و کاهش بارندگی در این منطقه، به ترتیب در فصول بهار و فصل پاییز رخ خواهند داد.

- اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق

در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی در رابطه با اثرات تغییرات اقلیمی و توسعه شهری بر تبخیر و تعرق صورت گرفته است که تعدادی از آن‌ها به‌اختصار در جدول (۶)، ارائه شده است. مروری بر مقالات نشان داد که تغییرات در تبخیر و تعرق به‌عنوان شاخصی مهم برای ارزیابی اثرات تغییر

اقلیم بر منابع آب و اکوسیستم‌ها مورد توجه قرار گرفته است. افزایش دما به‌طور مستقیم باعث افزایش پتانسیل تبخیر و تعرق شده است، چراکه تبخیر آب از سطوح آزاد و تعرق از گیاهان تحت تأثیر دما قرار دارد. همچنین، تغییرات در الگوهای بارش نیز می‌تواند منجر به تغییر در رطوبت خاک و در نتیجه تأثیر بر میزان تبخیر و تعرق شود.

جدول ۶- مطالعات مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق

Table 6 - Modeling Studies on the Impacts of Climate Change on Evapotranspiration

نام محققین	منطقه مورد مطالعه	نتایج
Pike <i>et al.</i> , 2008	انگلستان	- تا دهه ۲۰۸۰، تقاضای تبخیری جوی تحت سناریوی B1 حدود هشت درصد و تحت سناریوی A2، ۱۵-۲۰ درصد افزایش خواهد یافت و بر بیلان آبی حوضه‌ها تأثیر خواهد گذاشت.
Belay, 2011	حوضه نیل مصر	- افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در دو دوره زمانی آینده در تمام حوضه‌ها برای دوره زمانی اول: ۲۰۳۱-۲۰۴۰ به ترتیب برای بلس ۱۰/۶۶، سچی ۶/۸۶، آنگر ۳/۵۶ و نشی ۳/۵۴ درصد مشاهده گردید. برای دوره زمانی بعدی: ۲۰۹۱-۲۱۰۰ افزایش‌های بیشتری در تمام حوضه‌ها به‌ویژه برای بلس ۲۰/۶۹ درصد و سچی ۲۴/۰۴ درصد مشاهده شد.
Wang <i>et al.</i> , 2012	در ۱۳۰۰ ایستگاه در دنیا	- برای سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۸ نشان داد که تقاضای تبخیری جوی در بیشتر نواحی خشک و نیمه‌خشک، افزایش یافته است که نشان‌دهنده کاهش دسترسی به آب در این مناطق است و تأثیراتی بر بقا و رشد گیاهان از طریق تغییرات در میزان دسترسی به آب می‌گذارد.
Yaghoobzadeh <i>et al.</i> , 2017	ایران	- استفاده از مدل‌های ECHAM5OM، HADCM3 و CGCM3T47 تحت سناریوهای انتشار (A2)، (B1) و (A1B) در دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ در مزارع دشت نیشابور در هر سه سناریوی انتشار، مقادیر تبخیر-تعرق روزانه در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره ۲۰۳۹-۲۰۲۰ افزایش بیشتری خواهد یافت. در بین محصولات مورد تحقیق، گندم با حدود ۱۲ درصد تغییر نسبت به ذرت با ۳ درصد تغییر، بیشترین تغییر تبخیر-تعرق را در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه در طی رشد نشان خواهد داد.
Eltarabily <i>et al.</i> , 2023	آبخوان دلتای نیل در مصر	- در دلتای نیل، تبخیر و تعرق به ترتیب برای سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ به ترتیب ۱۱/۲، ۱۵ و ۱۹ درصد افزایش خواهد یافت. تغذیه آبخوان نیز برای سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ به ترتیب ۱۹/۷۴، ۲۷/۱۶ و ۳۶/۸۴ درصد کاهش خواهد یافت.
Karimi <i>et al.</i> , 2024	ایران	- میزان تبخیر و تعرق مرجع برای دوره پایه و دوره‌های آبی (۲۰۲۳-۲۰۴۸)، (۲۰۴۹-۲۰۷۴) و (۲۰۷۵-۲۰۹۰)، با استفاده از روش هارگریوز ^{۱۴} محاسبه گردید. نتایج حاصل نشان داد که مقدار متوسط تبخیر و تعرق مرجع در تمامی دوره‌ها نسبت به دوره پایه مشاهداتی افزایش می‌یابد. مقدار تبخیر و تعرق مرجع در آینده نزدیک بین ۴/۶۹ تا ۴/۸۲، آینده میانی بین ۴/۷ تا ۴/۹۴ و آینده دور بین ۴/۷۲ تا ۵/۰۴ (میلی‌متر در روز) متغیر خواهد بود.

- تغییرات ذخیره و تغذیه آب‌های زیرزمینی

نگرانی اصلی ناشی از گرمایش جهانی این است که چرخه آب را تغییر می‌دهد (IPPC, 2007). هرگونه

تغییر در رژیم و مقدار بارندگی، همراه با تغییرات دما و تبخیر و تعرق، بر تغذیه آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد.

آب‌های زیرزمینی، جریان پایه در فصل‌های خشک کاهش می‌یابد که منجر به کاهش تغذیه یا ذخیره آب زیرزمینی می‌شود (Stewart *et al.*, 2004).

اثر تغییرات آب‌وهوا بر گیاهان نیز بر تغذیه آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد؛ با افزایش فراوانی و شدت سیل‌ها، تغذیه آب زیرزمینی ممکن است افزایش یابد، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارش‌های شدید و سیل‌ها منابع اصلی تغذیه آب زیرزمینی هستند (Kundzewicz *et al.*, 2005).

Wang و همکاران (۲۰۲۱)، روابط رگرسیونی بین بارندگی و مقادیر تغذیه آب زیرزمینی برای ۱۰ منطقه ارزیابی کردند. تخمین تغییرات آب‌وهوا نشان می‌دهد که تغییرات آب‌وهوا می‌تواند تغذیه آب زیرزمینی را به میزان ۳۲/۶ درصد افزایش یا ۲۸/۹ درصد در تایوان کاهش دهد.

Hughes و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی، تأثیر آینده تغییرات اقلیمی را بر منابع آب زیرزمینی بررسی کردند. تغییرات در تغذیه فصلی و ماهانه برای دوره‌های زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ برای حوضه‌های رودخانه‌ای انگلیس و ولز مدل‌سازی شد. سری زمانی ماهانه نشان می‌دهد که به‌طور کلی یک‌روند ثابت افزایشی در تغذیه در زمستان، کاهش تغذیه در تابستان و الگوی مختلط در پاییز و بهار وجود دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش باران زمستانی عامل اصلی افزایش تغذیه است.

– اثرات تغییر اقلیمی بر پوشش گیاهی

اثرات اقلیمی بر گیاهان می‌تواند پیامدهای کوتاه‌مدت و بلندمدتی بر زیتوده، سلامت درختان و ترکیب گونه‌ها داشته باشد. افزایش فراوانی وقوع تغییرات اقلیمی ممکن است باعث تسریع در جایگزینی گونه‌های حساس درختی شود.

مفهوم برگاب^{۱۶} برای میزان بارشی استفاده می‌شود که توسط سطح گیاه نگهداری یا جذب‌شده و سپس به‌طور مستقیم به جو تبخیر می‌شود (Soliman *et al.*,)

به‌طور کلی، میزان تغذیه آب زیرزمینی در مناطقی که بارندگی افزایش می‌یابد، افزایش خواهد یافت.

تغذیه آب زیرزمینی همچنین در مناطقی که یخبندان‌ها آب می‌شوند، افزایش می‌یابد (Kitabata *et al.*, 2006).

بررسی تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر آب زیرزمینی دشوار است زیرا برای توسعه مدل‌های کمی نیاز به اطلاعات زیرسطحی بسیار دقیق است. تغییرات در جریان رودخانه‌ای نیز در مکان‌هایی که آب سطحی منبع اصلی تغذیه است، بر تغذیه آب زیرزمینی تأثیر خواهد داشت. بسته به اندازه و عمق آبخوان، هر تغییری در هیدرولوژی آب زیرزمینی ناشی از تغییرات اقلیمی احتمالاً با سرعت کمتری نسبت به تغییرات آب سطحی رخ خواهد داد (Burn *et al.*, 2008). تحقیقات در دره اوکاناگان^{۱۵} (بریتیش) نشان می‌دهد که تغذیه مستقیم (عمودی) در امتداد کف دره به‌طور عمده توسط بارش‌های منطقه‌ای (برای مثال، بارش‌های جبهه‌ای) و نه بارش‌های محلی انجام می‌شود (Toews *et al.*, 2009).

به‌طور کلی، تغییرات در تغذیه آبخوان نه‌تنها عملکرد یا دبی آبخوان را تغییر می‌دهد، بلکه شبکه جریان آب زیرزمینی را نیز تغییر می‌دهد. پیش‌بینی‌های GCMs نشان داد کاهش باران و در نتیجه کاهش تغذیه آب زیرزمینی رخ خواهد داد. ترکیب کاهش باران و افزایش تبخیر در بخش‌هایی از منطقه مدیترانه‌ای به کاهش سطح آب در دریاچه‌ها و آب زیرزمینی منجر شده است (IPPC, 2007). نتایج بررسی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های GCM ECHAM4 و HadCM3 با سناریوهای انتشار A2 و B2، نشان داد تغذیه آب‌های زیرزمینی بیش از ۷۰ درصد برای جنوب غرب آفریقا و شمال شرق برزیل کاهش یافت. تغذیه آب زیرزمینی تأثیر مستقیمی بر جریان پایه رودخانه‌ها دارد؛ به‌طوری‌که هنگام کاهش سطح آب زیرزمینی و عمق

نیز رخ دهد (Breshears *et al.*, 2005). Evangelista و همکاران (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ای، تغییرات بلندمدتی را که در ترکیب، ساختار و بوم‌شناسی پوشش گیاهی کوهستانی که در ۴۲ سال گذشته در پارک ملی ایتالیا رخ داده است را بررسی نمودند. از داده‌های گیاهی تاریخی و جمع‌آوری‌شده برای کشف اینکه کدام ویژگی‌های اکولوژیکی و ساختاری در مقابله با تغییرات آب و هوایی موفق‌تر بوده‌اند، استفاده گردید و تغییرات پوشش گیاهی در کوهستان ماجلا^{۱۷} در سال‌های ۱۹۷۲ و ۲۰۱۴ تحلیل شد. تغییرات در شاخص‌های زیست‌محیطی و ساختاری با تجزیه و تحلیل واریانس چندمتغیره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش قابل‌توجهی در گونه‌های گیاهی گرمادوست و مزونیتروفیل و افزایش در فراوانی همی‌کریپتوفیت‌ها رخ داده است. تغییرات مشاهده‌شده در ترکیب فلورستیک، شامل فرآیند گرمادوستی و تغییر به سمت پوشش گیاهی با نیاز بیشتر به مواد مغذی بود.

Sun و همکاران (۲۰۲۱)، اثرات تغییر اقلیمی را روی غنای گونه‌ای در چین بررسی و بیان کردند که رشد گیاهان تحت تأثیر عوامل اقلیمی مانند دما، بارش، غلظت دی‌اکسید کربن و غیره قرار می‌گیرد. نتایج پژوهش نشان داد که شکل‌های مختلف گیاهی حساسیت‌های متفاوتی نسبت به تغییرات اقلیمی نشان می‌دهند. گونه‌های علفی نسبت به گونه‌های چوبی سریع‌تر به تغییرات آب و هوایی واکنش نشان می‌دهند. از سوی دیگر، غنای گونه‌ای در سامانه‌های حوضه‌ای کوهستانی و مناطق کویری تلکه‌مکان^{۱۸} نسبت به چمن‌زارها و استپ‌ها نسبت به تغییرات اقلیمی حساس‌تر بود.

-راهکارهای احیایی

با توجه به روند افزایشی تغییرات اقلیمی، سازگاری به‌عنوان یکی از راهکارهای اساسی برای کاهش

دقیق‌ترین برآوردها از میزان برگاب از مطالعاتی حاصل‌شده‌اند که تلفات بارش را برای رویدادهای بارشی در مقیاس زمانی دقیقه تا ساعت اندازه‌گیری کرده‌اند. تغییرات گیاهی (از پوشش چمن‌زار به باغ) می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر مقادیر برگاب و درنهایت بر تغذیه آب زیرزمینی داشته باشد (Le Maitre *et al.*, 1999).

تغییر در پوشش گیاهی حوزه‌ی آبخیز به‌عنوان یک نتیجه مستقیم یا غیرمستقیم از تغییرات اقلیمی ممکن است بر بیلان آبی حوزه آبخیز تأثیر بگذارد. گیاهان از طریق برگاب و حذف آب از منطقه ریشه در نتیجه تعرق و تبخیر از سطح خاک بر بیلان آبی تأثیر دارند. همان‌گونه که ذکر شد در اثر تغییرات اقلیمی، ترکیب گیاهی نیز واکنش نشان می‌دهد و به همین ترتیب میزان برگاب و تبخیر و تعرق تغییر خواهند کرد. این تغییرات باعث تغییر فرآیندهای تجمع و ذوب برف، بیلان آبی، تغذیه آب زیرزمینی و درنهایت جریان رودخانه می‌شود (IPCC, 2007).

افزایش دما با فرض دسترسی به آب خاک، باعث افزایش تعرق گیاهان می‌شود. طبق گفته (Pike *et al.*, 2008)، تبخیر و تعرق از یک جنگل صنوبر در انگلیس می‌تواند با افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد به‌اندازه ۶ درصد و با افزایش چهار درجه سانتی‌گراد به‌اندازه ۱۰ درصد افزایش یابد؛ بنابراین، با توجه به تغییرات اقلیمی، مقدار زیتوده گیاهی در یک سایت و ویژگی‌های فیزیولوژیکی پوشش گیاهی تغییر کرده و تأثیر مهمی بر بیلان آب در آینده خواهد داشت. تغییر در پوشش گیاهی حوزه آبخیز به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم ممکن است بر بیلان آب حوضه تأثیر بگذارد.

همچنین تغییرات اقلیمی می‌توانند بر بهره‌وری جنگل و ترکیب گونه‌ها تأثیر بگذارند (Barber *et al.*, 2000). همچنین تغییرات ممکن است به شکل نابودی جنگل‌ها، نفوذ به مناطق کوهستانی و گسترش مراتع

راهکارهای اصلاحی دیگری به نقل از (Diaz, 1996) و Mollaie و همکاران (۲۰۱۸)، در جدول‌های ۸ و ۹ ارائه شده است. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) در مراتع (جدول ۸) شامل حفظ یا افزایش ترسیب کربن از طریق مدیریت خاک (Ojima *et al.*, 1994)، کاهش تولید متان با تغییر شیوه مدیریت حیوانات (Cicerone & Oremland, 1988) و استفاده از شیوه‌های کشاورزی پایدار است (Mosier *et al.*, 1991).

آسیب‌ها و افزایش تاب‌آوری جوامع و اکوسیستم‌ها در برابر این تغییرات مطرح می‌شود. سازگاری شامل اقدامات و استراتژی‌هایی است که به منظور کاهش آسیب‌پذیری و استفاده بهینه از فرصت‌های ناشی از تغییرات اقلیمی اتخاذ می‌شود. Tarolli و همکاران (۲۰۲۳)، در پژوهشی تاب‌آوری حوزه آبخیز در برابر تغییرات آب و هوایی از دامنه‌ها تا رودخانه‌ها و سواحل را مورد بررسی قرار دادند. بلایای طبیعی ناشی از تغییرات اقلیمی و راهکارهای احیایی و مقابله با آن در جدول ۷، ارائه شده است. همچنین

جدول ۷- چارچوب مفهومی نشان‌دهنده بحران‌های مرتبط با سناریوهای تغییر اقلیمی و اقدامات احتمالی کاهش خطر در سه منطقه مورد بحث (Tarolli *et al.*, 2023)

Table 5 - Conceptual Framework Illustrating the Criticalities Linked to Climate Change Scenarios and Possible Risk Mitigation Measures in the Three Discussed Macro-Regions (Tarolli *et al.*, 2023)

مکان	بلایای طبیعی	راهکارهای احیایی و مقابله با تغییرات اقلیمی
دامنه‌ها	- بهمن - ریزش سنگ - فرسایش خاک، لغزش و جریان واریزه - سیلاب‌های ناگهانی - خشکسالی‌های ناگهانی - تندبادها	- پایش فرآیندهای هیدروژئومورفولوژیکی - نقشه‌برداری از مناطق آسیب‌پذیر - استفاده از سامانه‌های هشدار به موقع - زیرساخت‌ها (تأسیسات ذخیره آب) - استفاده از راهکارهای مبتنی بر طبیعت که سلامت خاک را بهبود می‌بخشد، باعث افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب و فرسایش خاک و کاهش هدایت رسوب می‌شود.
رودخانه‌ها	- سیلاب‌های ناشی از دریاچه یخبندان - سیلاب‌ها - خشکسالی‌ها	- نظارت بر دینامیک و هدایت رسوب - نقشه‌برداری از مناطق آسیب‌پذیر - استفاده از سامانه‌های هشدار به موقع - زیرساخت‌ها (سدهای اصلاحی) - استفاده از راهکارهای مبتنی بر طبیعت برای گسترش مناطق مستعد سیل، بهبود پیوستگی طولی و حذف خاک‌ریزهای غیرضروری
سواحل	- افزایش سطح آب دریا - نفوذ آب شور - سیلاب ساحلی و فرسایش	- پلتفرم‌های نظارتی برای رویدادهای شدید آب و هوایی (خشکسالی و سیل) - زیرساخت‌ها (سیل بندها، گوره‌ها) - استفاده از سامانه‌های هشدار به موقع - استفاده از راهکارهای مبتنی بر طبیعت، احیای مجدد تالاب‌ها، افزایش کربن آلی در خاک

جدول ۸- عملیات بهبود شرایط یا سلامت مرتع و کاهش گازهای گلخانه‌ای در مراتع (Diaz, 1996)
Table 8 - Practices to Improve Rangeland Condition or Health and Reduce Greenhouse Gas Emissions on Rangelands (Diaz, 1996)

نوع عملیات	کربن	متان	نسبت فایده به هزینه بیوفیزیکی	نسبت فایده به هزینه اجتماعی/فرهنگی	نسبت فایده به هزینه اقتصادی	توجهات عمومی
کاهش تعداد و تغییر در ترکیب حیوانات	افزایش مخزن کربن به دلیل افزایش پوشش گیاهی و رشد بهتر ریشه‌ها	کاهش تولید متان حیوانات	افزایش پوشش گیاهی، افزایش مواد آلی خاک و بهبود بهره‌وری	بستگی به کشور و ارزش حیوانات در آن به عنوان منبع اجتماعی دارد.	به ارزش دامی برای منطقه‌ای تولید مواد غذایی نیاز دارد.	به تغییرات در سیاست‌های ملی و/یا منطقه‌ای تولید مواد غذایی نیاز دارد.
تغییر در پراکنش حیوانات با قرار دادن نمک یا مکمل‌های غذایی	افزایش جذب کربن به دلیل افزایش پوشش گیاهی	مکمل‌های خوراکی ممکن است تولید متان را کاهش دهند	در مراتعی که دارای میزان کم نیتروژن و فسفر، بسیار مفید است	در کشورهایی که حیوانات به جای گله، چرای گسترده‌ای دارند، مناسب است.	هزینه و توزیع نمک و مکمل‌ها	دارای اثر مثبت؛ برای سامانه‌های گله‌داری قابل اعمال نیست.
افزایش گونه‌های بومی و سازگار	افزایش مخزن کربن به دلیل وجود پوشش گیاهی	اگر کیفیت رژیم غذایی افزایش یابد، ممکن است کاهش متان اتفاق بیفتد.	در حفظ گونه‌های بومی برای حفاظت از ژن مفید است.	مردم محلی برای دارو و سایر کالاهای مرتبط با سلامت به گونه‌های بومی متکی هستند.	بستگی به ارزش دام و محصولات دامی و داروهای گیاهی دارد.	گونه‌های بومی و سازگار در طولانی‌مدت زنده می‌مانند.
هالوفیت‌ها (گونه‌های مقاوم به شوری)	افزایش مخزن کربن و بهره‌وری	هیچ اثر شناخته‌شده‌ای وجود ندارد	افزایش پوشش گیاهی و بهره‌وری	افزایش تولید علوفه برای دام و حیات وحش	هزینه کاشت و نگهداری با آبیاری	زمین‌های بی‌استفاده را به تولید می‌رساند
اعمال آتش با دستورالعمل بهره‌وری	افزایش مخزن کربن و بهره‌وری و طولانی‌مدت بر روی انواع مراتع مناسب است.	کاهش احتمالی متان در واحد محصول با افزایش کیفیت رژیم غذایی	آتش در سامانه‌های سازگار می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری و حفظ چرخه مواد مغذی شود.	استفاده از آتش می‌تواند بخشی از سیستم اجتماعی باشد و از دانش بومی استفاده می‌کند	دارای خطر تهدید آتش‌سوزی و نابودی منابع انسانی	افزایش کوتاه‌مدت CO2 به اتمسفر؛ مزایای بلندمدت در سامانه‌های سازگار

اجرای سامانه‌های آگروفارستری	افزایش مخزن کربن و بهره‌وری و در طولانی‌مدت	کاهش احتمالی متان در واحد محصول با افزایش کیفیت رژیم غذایی	افزایش پوشش گیاهی، تنوع و بهره‌وری	تغییر در چمن / ترکیب علوفه برای دام و حیات‌وحش	هزینه کاشت و نگهداری	افزایش ذخیره کربن در درختان افزایش تنوع و بهره‌وری در صورت استفاده از گونه‌های سازگار
توسعه پروژه‌های آبخیزداری در مقیاس بزرگ	افزایش مخزن کربن و بهره‌وری	کاهش متان با افزایش کیفیت رژیم غذایی	تأمین آب منظم برای انسان و حیوانات	پتانسیل برای بهبود تولید مواد غذایی هم از نباتات و هم از حیوانات	هزینه: ساخت سدها و غیره فایده: استفاده از انرژی و نیروی آب جهت تولید برق‌آبی	پتانسیل افزایش جمعیت انسان و حیوان به دلیل افزایش دسترسی به آب

-سامانه آگروفارستری

دانش بومی افراد محلی منبع اطلاعاتی خوبی برای سامانه‌های آمایشی است که آن‌ها توسعه داده‌اند. به این دلیل اشکال مختلفی از تلفیق تولیدمثل دام، جنگل و زراعت و یا هر سه سامانه‌های آگروفارستری به حساب می‌آیند (Karimi et al., 2019). استفاده از روش‌ها و برنامه‌های مدیریتی مناسب در جهت کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و در راستای افزایش بهره‌وری اراضی کشاورزی امری ضروری به شمار می‌آید. در این راستا، استفاده از سامانه‌های آگروفارستری به‌عنوان، یکی از روش‌های مؤثر در برنامه‌های زراعی می‌تواند منبع مؤثری را برای استفاده بهینه از اراضی کشاورزی فراهم آورد (Sodaiezadeh & Jebali, 2020). به‌طورکلی، عمده سامانه‌های آگروفارستری موجود در کشور در منطقه غرب و در حاشیه جنگل‌های زاگرس مشاهده می‌گردد، زیرا جنگل تراشی و تخریب جنگل در حاشیه روستاها به‌وفور دیده می‌شود و مردم حاشیه‌نشین

در کشاورزی آگروفارستری به مفهوم کشت توأم درخت چوبده و محصولات زراعی است (Ataei Giglu et al., 2011). جنگل‌های زاگرس مطابق تعریف¹⁹ FAO، جزء جنگل‌های باز محسوب می‌شوند، یعنی ترکیبی از جنگل و مرتع با حداقل یک درصد پوشش درختی و لایه پیوسته‌ای از علف در کف جنگل بوده در نتیجه به‌واسطه فاصله‌ای که درختان از یکدیگر دارند. در این قبیل جنگل‌ها نور به خاک کف جنگل می‌رسد و به خاطر شرایط مساعد اقلیمی، پوشش علفی مناسبی در کف آن رشد می‌کند. به‌واسطه این ویژگی‌ها هزاران سال است که بشر در این جنگل‌ها، دامداری کرده است و امروزه یکی از قطب‌های تولید گوشت در کشور به حساب می‌آید. متناسب با این خصوصیات ساختارهای انسانی خاص مثل عشایر کوچ‌رو و جوامع روستایی نیز توسعه‌یافته و در این گذر تجاری برای استفاده بهینه از جنگل و مرتع به‌دست‌آمده است.

مدیریت توسعه پایدار در این مناطق باشد تا از این راه کشاورزان قادر شوند طبق اصل تولید مستمر، به حداکثر تولید نائل شوند و رویکرد افزایش درآمد با هدف حفظ جنگل‌ها صورت گیرد (Goudarzian et al., 2013).

وابستگی شدیدی به این جنگل‌ها دارند. جنگل‌های زاگرس در حدود ۱۲ درصد از جنگل‌های کشور را شامل می‌شوند و دارای شرایطی خشک و نیمه‌خشک هستند که بیانگر شرایط ویژه این جنگل‌ها است و اهمیت مطالعات را در این نواحی آشکار می‌سازد. به همین علت اگر وفارستری می‌تواند به‌عنوان راهکاری در

جدول ۹- راهبردهای سازگاری کشاورزان با تغییر اقلیم (Mollaie et al., 2018)
Table 9 - Farmers' Adaptation Strategies to Climate Change (Mollaie et al., 2018)

طبقات اصلی	زیر طبقات
اقتصادی و مالی	قیمت‌گذاری بانک، حمایت‌های بانکی و دولتی، ایجاد امنیت شغلی
آموزشی و ترویجی	استفاده از مطالعات و فناوری‌های نو، آموزش، ترویج و انتقال یافته‌ها، ایجاد فرهنگ مصرف پایدار، ارتقا درک کشاورزان از تغییر اقلیم
مدیریتی	توسعه روش‌های نوین آبیاری، افزایش بهره‌وری منابع آب، توسعه فعالیت‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری، مدیریت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، مدیریت تبخیر، مدیریت مصرف بهینه آب، مدیریت مرتع، نظارت دولتی، بهره‌گیری از دانش بومی و پتانسیل‌های محلی
نهادی و زیرساختی	سیاست‌گذاری و الزامات قانونی، تدوین سیاست‌های تشویقی و تنبیهی، اصلاح، احیا و توسعه زیرساخت‌ها، توسعه روش‌های پیش‌آگاهی و بهره‌گیری از پتانسیل‌های محلی، همکاری و هم‌افزایی سازمانی
فنی و زراعی	مدیریت به‌زراعی، تغییر الگوی کشت مناسب، مدیریت تغذیه، مدیریت آفات و بیماری‌ها، ارتقا ضریب مکانیزاسیون، افزایش ظرفیت نگهداری آب

نتیجه‌گیری کلی

اثرات تغییرات اقلیمی می‌تواند در حوزه‌های آبخیز به دلیل اقلیم محلی و ویژگی‌های حوضه که وابسته به فرآیندها و پاسخ‌های خاص حوضه به تغییرات است، به دلیل تفاوت در ویژگی‌های ژئوفیزیکی حوضه‌ها متفاوت باشد. مدل‌سازی اثرات تغییرات اقلیمی بر هیدرولوژی در مقیاس محلی و ملی ضروری است تا تخمین‌های قابل‌اعتمادی از تأثیرات تغییرات اقلیمی بر هیدرولوژی به دست آید. آب به‌عنوان یک عنصر حیاتی برای وجود زندگی و فرآیندهای کلی سیاره ضروری است و در معرض تأثیرات تغییرات اقلیمی قرار دارد؛ بنابراین توسعه و آزمایش مدل‌های احتمالاتی منطقه‌ای و توسعه استراتژی‌های سازگاری مبتنی بر علم برای

پاسخ و کاهش خطرات برای سامانه‌های انسانی و طبیعی ناشی از تغییرات در چرخه آب از طریق توسعه گزینه‌های مناسب در مقیاس حوضه، از اهمیت بسیاری برخوردار است. تغییرات پیش‌بینی‌شده در اقلیم تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی بر محیط طبیعی و همچنین بر جوامع انسانی خواهد داشت و ممکن است تغییرات اساسی در شرایط آبی مانند افزایش سطح دریا، تغییر در الگوی بارش، تغییر در ویژگی‌های جریان رودخانه، تغذیه و دسترسی به آب زیرزمینی، تغییر در ترکیب گیاهی که بر فرآیند تعرق تأثیر می‌گذارد و تغییرات در فرآیند تبخیر و تعرق ایجاد کند. مروری بر مقالات در پژوهش حاضر نشان داد با توجه به کاهش بارش کشور و

چرای مفرط و زودرس، تقویت باور عمومی تغییر اقلیم، توسعه روش‌های آبیاری نوین، اصلاح روش‌های کاشت، کشت گیاهان دارویی، اصلاح زیرساخت‌ها برای کاهش سیل مانند ساخت چاه‌های نفوذی، حوضچه‌های نگهدارنده و منافذ زیستی و همچنین می‌توان به جایگزینی توسعه جدید نیروگاه‌های سوخت فسیلی با منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر (بادی یا خورشیدی) اشاره نمود. بنابراین، سازگاری و کاهش تغییرات آب و هوایی باید به‌طور سامانمند و یکپارچه با مشارکت دولت، بخش خصوصی و سازمان‌های مردم‌نهاد انجام شود. زمینه‌های زیر را می‌توان برای تحقیقات ضروری در آینده توصیه کرد.

(۱) ادامه تلاش‌ها برای بهبود درک، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی، به‌ویژه در مقیاس منطقه‌ای، از جمله نیروهای محرک انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر کاربری زمین، تغییرات دما، بارش، رطوبت خاک، رواناب، آب‌های زیرزمینی، تبخیر و تعرق، منجمد دائمی، پوشش یخ و برف و تغییر سطح دریا.

(۲) بهبود توصیف منابع مهم عدم قطعیت، از جمله بازخوردها و آستانه‌های احتمالی در سیستم آب و هوایی مرتبط با تغییرات ابرها، یخ‌های زمین و دریا، ذرات ریز در جو، گازهای گلخانه‌ای، استفاده از زمین و پوشش زمین، سناریوهای انتشار و دینامیک اقیانوس.

(۳) توسعه شاخص‌هایی که امکان گزارش به‌موقع و افزایش درک عمومی از تغییرات اقلیمی را فراهم می‌کند و امکان پیش‌بینی و نسبت دادن به تغییرات، از جمله تغییرات ناگهانی و رویدادهای حدی را در زمینه تغییر اقلیم فراهم می‌کند.

(۴) درک پیشرفته از فعل‌وانفعالات تغییرات اقلیمی و تنوع طبیعی در مقیاس‌های زمانی متعدد، از جمله تغییرات فصلی تا دهه‌ای و در نظر گرفتن نوسانات آب و هوایی از جمله نوسان جنوبی ال‌نینو، نوسان ده‌ساله اقیانوس آرام، نوسانات اقیانوس اطلس شمالی و رویدادهای شدید مانند طوفان، خشکسالی و سیل (Adamo et al., 2021).

همچنین افزایش آستانه بارش‌های حدی، به نظر می‌رسد در دهه‌های آینده بارش‌ها به شکل سنگین و سیل‌آسا باشد و به دلیل افزایش دما از میزان بارش‌های جامد نیز کاسته شود. همچنین افزایش دما منجر به کاهش تعداد روزهای یخبندان و رطوبت خاک می‌شود. عوامل افزایش دما و کاهش بارندگی در جهت کاهش رواناب عمل می‌کنند. در نتیجه کاهش بارش و تغییر الگوی زمانی آن در دوره‌های آینده، بر رژیم جریان و رودخانه و زمان دبی پیک نیز تأثیرگذار خواهد بود.

به دلیل عدم درک کافی از جو و مکانیزم چرخه هیدرولوژیک و ارتباط ذاتی بین آن‌ها، تحقیقات صورت گرفته فعلی در زمینه تغییر اقلیم دارای مشکلاتی مانند وجود عدم قطعیت در پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی است. این نوع عدم قطعیت عمدتاً از عدم قطعیت سناریوهای انتشار، مدل‌های GCM و فن ریزمقیاس نمایی و پارامترهای فیزیکی و غیره ناشی می‌شود. در اکثر مدل‌های گردش عمومی جو فرض می‌کنند که پوشش گیاهی و خاک در سطح یکنواخت است که باعث می‌شود دقت شبیه‌سازی بالا نباشد.

بر همین اساس، تحقیقات در زمینه تأثیر تغییرات اقلیمی بر هیدرولوژی و منابع آب به قدرت تفکیک مکانی و زمانی بیشتری در سناریوهای اقلیمی، مدل هیدرولوژیکی کاملاً توزیعی و بهبود صحت مدل هیدرولوژیکی نیاز دارد و افزایش تحقیقات بیشتری را در مورد رویدادهای حدی هیدرولوژیکی، کیفیت آب و محیط‌زیست آب و آسیب‌پذیری سیستم منابع آب تحت شرایط تغییرات اقلیمی می‌طلبد.

از اقدامات کاهش آسیب‌های ناشی از تغییرات اقلیمی به‌عنوان بخشی از فعالیت‌های مدیریت منابع آب و خاک می‌توان به کاهش بیابان‌زایی و تخریب جنگل، مدیریت پایدار جنگل، افزایش ذخیره کربن از طریق توسعه جنگل، بازسازی جنگل و خاک، حفظ و مدیریت اراضی، استفاده از گیاهان چوبی به‌منظور مقابله با رواناب و فرسایش خاک، کاهش در فراوانی سیلاب‌ها و زمین‌لغزش‌ها، تغییر و توسعه الگوی کشت، کنترل

References

- Abraham, L. Z., Roehrig, J., & Chekol, D. A. (2006). *Climate change impact on Lake Ziway watershed water availability, Ethiopia*. Institute for Technology in the Tropics, University of Applied Science: Cologne, Germany.
- Abd Ellah, R. G. (2020). Water resources in Egypt and their challenges, Lake Nasser case study. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.03.001>
- Abdo, K. S., Fiseha, B. M., Rientjes, T. H. M., Gieske, A. S. M., & Haile, A. T. (2009). Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana basin, Ethiopia. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(26), 3661-3669. <https://doi.org/10.1002/hyp.7363>
- Adamo, N., Al-Ansari, N., & Sissakian, V. (2021). Review of climate change impacts on human environment: past, present and future projections. *Engineering*, 13(11), 605-630. <https://doi.org/10.4236/eng.2021.1311044>
- Ahmadian, M., & Montaseri, M. (2022). Evaluating Global Climate Models and Ranking them for Hydrological Simulation. *Water & Soil Science (Agricultural Science)*, 31(4), 69-84. <https://doi.org/10.22034/WS.2021.12255> (In Persian)
- Almazroui, M., Saeed, S., Saeed, F., Islam, M.N., & Ismail, M. (2020). Projections of precipitation and temperature over the South Asia countries in CMPI6. *Earth Systems and Environment*, 4, 297-320. <https://doi.org/10.1007/s40333-023-0050-3>
- Ashofteh, P.S., & Bozorg Hadad, O. (2014). A New Probabilistic Approach for Evaluation of the Effects of Climate Change on Water Resources. *Water Resources Engineering*, 6(19), 51-66. <https://doi.org/20.1001.1.20086377.1392.6.17.4.2> (In Persian)
- Ataei Giglu, I., Jalilvand, H., Pourmajidian, M.R., & Didar, R.. (2011). Agroforestry, new procedure to develop rural economy. *Journal of Sciences and Techniques in Natural resources*, 5(4), 49-61. (In Persian).
- Babaeian, E., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibei, M., Adab, H., & Malbisei, S. (2009). Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Model. *Geography and Development*, 7(16), 135152. <https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1179> (In Persian)
- Barber, V. A., Juday, G. P., & Finney, B. P. (2000). Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress. *Nature*, 405(6787), 668-673. <https://doi.org/10.1038/35015049>
- Bates, B. C., Kundzewicz, S. W., & Palutikof, J. P. 2008. Climate change and water. *Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC Secretariat.
- Bekele, A., Aticho, A., & Kissi, E. (2018). Assessment of community based watershed management practices: emphasis on technical fitness of physical structures and its effect on soil properties in Lemo district, Southern Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 7, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40068-018-0124-y>
- Breshears, D. D., Cobb, N. S., Rich, P. M., Price, K. P., Allen, C. D., Balice, R. G., ..., & Meyer, C. W. (2005). Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(42), 15144-15148. <https://doi.org/10.1073/pnas.0505734102>
- Belay, H. (2021). *Evaluation of Climate Change impacts on hydrology on selected catchments of Abbay Basin*. MSc Thesis, Addis Ababa University School of Post Graduate Studies. Pp 60-67.
- Burn, D. H., Buttle, J. M., Caissie, D., MacCulloch, G., Spence, C., & Stahl, K. (2008). The processes, patterns and impacts of low flows across Canada. *Canadian Water Resources Journal*, 33(2), 107-124. <https://doi.org/10.4296/cwrj3302107>
- Chen, H., Sun, J., Lin, W., & Xu, H. (2020). Comparison of CMIP6 and CMIP5 models in simulating climate extremes. *Sci. Bull*, 65(17), 1415-1418. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2020.05.015>
- Cicerone, R.J. & Oremland, R. (1988). Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global Biogeochemical Cycles*, 2, 299-327. <https://doi.org/10.1029/GB002i004p00299>

- Conway, D. (2005). From headwater tributaries to international river: Observing and adapting to climate variability and change in the Nile basin. *Global Environmental Change*, 15(2), 99-114. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.01.003>
- Diaz, A. (1996). *Rangelands in a changing climate: impacts, adaptations, and mitigation*.
- Demissie, T. A., Saathoff, F., Sileshi, Y., & Gebissa, A. (2013). Climate change impacts on the streamflow and simulated sediment flux to Gilgel Gibe 1 hydropower reservoir–Ethiopia. *European International Journal of Science and Technology*, 2(2), 63-77. <http://10.140.5.162/handle/123456789/1411>
- De Wit, M., & Stankiewicz, J. (2006). Changes in surface water supply across Africa with predicted climate change. *Science*, 311(5769), 1917-1921. <https://doi.org/10.1126/science.11199>
- Eltarabily, M. G., Abd-Elaty, I., Elbeltagi, A., Zeleňáková, M., & Fathy, I. (2023). Investigating climate change effects on evapotranspiration and groundwater recharge of the Nile delta aquifer, Egypt. *Water*, 15(3), 572. <https://doi.org/10.3390/w15030572>
- Erol, A., & Randhir, T. O. (2012). Climatic change impacts on the ecohydrology of Mediterranean watersheds. *Climatic change*, 114, 319-341. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0406-8>
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., & Taylor, K.E. 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9, 1937-1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- Evangelista, A., Frate, L., Carranza, M. L., Attorre, F., Pelino, G., & Stanisci, A. (2016). Changes in composition, ecology and structure of high-mountain vegetation: a re-visitation study over 42 years. *AoB Plants*, 8, plw004. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plw004>
- Getu Engida, T., Nigussie, T. A., Aneseyee, A. B., & Barnabas, J. (2021). Land use/land cover change impact on hydrological process in the Upper Baro Basin, Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*. 2021, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2021/6617541>
- Goitom, H., De Smedt, F., Yohannes, T. G., Walraevens, K., Gebrehiwot, K., Bauer, H., & Deckers, J. (2012). Modeling climate change impact in the Geba Basin, Ethiopia. In International Conference on Environmental. *Biomedical and Biotechnology*, 41, 240-244.
- Goudarzian, P., Erfanfard, U., & Sadeghi, H. (2013). Detection and Classification of Available Agroforestry Systems in Fars Province (Case Study: Kazerun City). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(1), 55-70. (In Persian)
- Heidari, M., & Khazaei, M.R. (2018). Climate change impact assessment on extreme daily rainfalls in Kermanshah. *Journal Of Water and Soil Resources Conservation*, 7(2), 27-39. (In Persian)
- Hughes, A., Mansour, M., Ward, R., Kieboom, N., Allen, S., Seccombe, D. ..., & Prudhomme, C. (2021). The impact of climate change on groundwater recharge: National-scale assessment for the British mainland. *Journal of Hydrology*, 598, 126336. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126336>
- Ikhlas, N., & Ramadan, B. S. (2023). Community-based watershed management (CBWM) for climate change adaptation and mitigation: Research trends, gaps, and factors assessment. *Journal of Cleaner Production*, 140031. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140031>
- Ilbay-Yupa, M., Ilbay, F., Zubieta, R., García-Mora, M., & Chasi, P. (2021). Impacts of climate change on the precipitation and streamflow regimes in equatorial regions: Guayas river basin. *Water*, 13(21), 3138. <https://doi.org/10.3390/w13213138>
- IPCC (2007). *The physical science basis – summary for Policymakers. Contribution of WG1 to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Availableat: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>
- Karimi, H., Karami, G., & Mousavi, S. M. (2019). Investigating of characteristic and

- contexts of agroforestry system development. *Human & Environment*, 17(2), 79-90. <https://doi.org/20.1001.1.15625532.1398.17.2.6.6> (In Persian)
- Karimi, S. R., nasrolahi, A., & iranshahi, M. (2024). Investigating the effects of climate change on reference evapotranspiration based on the SSP scenarios. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(11), 1759-1777. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358697.669493> (In Persian)
- Kitabata, H., Nishizawa, K., Yoshida, Y., & Maruyama, K. (2006). Permafrost thawing in Circum-Arctic and highlands under climatic change scenario projected by community climate system model (CCSM3). *Sola*, 2, 53-56. <https://doi.org/10.2151/sola.2006-014>
- Kundzewicz, Z. W., Graczyk, D., Maurer, T., Pińskwar, I., Radziejewski, M., Svensson, C., & Szwed, M. (2005). Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow/Détection de tendance dans des séries de débit fluvial: 1. Débit maximum annuel. *Hydrological Sciences Journal*, 50(5), 810. <https://doi.org/10.1623/hysj.2005.50.5.797>
- Le Maitre, D. C., Scott, D. F., & Colvin, C. (1999). Review of information on interactions between vegetation and groundwater. *WATER SA*, 25 (2), 137-152.
- Li, C., & Fang, H. (2021). Assessment of climate change impacts on the streamflow for the Mun River in the Mekong Basin, Southeast Asia: Using SWAT model. *Catena*, 201, 105199. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105199>
- Loukas, A., Vasiliades, L., & Dalezios, N. R. (2002). Climatic impacts on the runoff generation processes in British Columbia, Canada. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(2), 211-228. <https://doi.org/10.5194/hess-6-211-2002>
- Malekmohammadi, B., Uvo, C. B., Moghadam, N. T., Noori, R., & Abolfathi, S. (2023). Environmental risk assessment of wetland ecosystems using Bayesian belief networks. *Hydrology*, 10(1), 16. <https://doi.org/10.3390/hydrology10010016>
- Malmir, M., Mohamadrezapour, O., Sharifazari, S., & Ghandehari, G.H. (2016). The effect of climate change on stream flow used Statistical downscaling of HADCM3 model and Artificial Neural Networks. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(3), 317-326. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.3201> (In Persian)
- Mansouri, B., Ahmadzadeh, H., Massah Bavani, A., morid, S., Delavar, M., & Lotfi, S. (2016). Assessment of climate change impacts on water resources in Zarrinehrud basin using SWAT model. *Water and Soil*. 28(6), 1203-1291. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.35633> (In Persian)
- Mboka, J.J.M., Kouna, S.B., Chouto, S., Djuidje, F.K., Nguy, E.B., Fotso-Kamga, G., Matsaguim, C.N., Fotso-Nguemo, T.C., Nghonda, J.P., Vondou, D.A. & Yepdo, Z.D. (2021). Simulated impact of global warming on extreme rainfall events over Cameroon during the 21st century. *Weather*, 76(10), 347-353. <https://doi.org/10.1002/wea.3867>
- Mosier, A.R., Schimel, D., Valentine, D.K. Bronson, K., & Parton, W. (1991). Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. *Nature*, 350, 330-332. <https://doi.org/10.1038/350330a0>
- Mollaie, F., Hosseini, S.M., Hejazi, S.V., & Pishbin, S. A.R. (2018). Explaining the Adaptation Strategies of Farmers to Climate Change in South Khorasan Province. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, 14(2), 83-105. <https://doi.org/20.1001.1.20081758.1400.17.0.8.2> (In Persian)
- Mortazavifar, S. M., Mobin, M. H., Mokhtari, M. H., Ekrami, M., & Rfiei Sardoi, E. (2019). Evaluation of the impact of climate change on precipitation and temperature variables based on the RCP scenarios: A case study of the east of Mazandaran Province, Iran. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 1(4), 351-364. (In Persian)
- Ojima, D.S., Galvin, K.A., & Turner, B.L. (1994). The global impact of landuse change. *Bioscience*, 44(5), 300-304. <https://doi.org/10.2307/1312379>
- Poormohammadi, S., Dastorani, M.T., Massah Bavani, A.R., Gudarzi, M., Jafari, H., & Rahimian, M.H. (2017). Effects of Climate Change on River Runoff and Compatible Solutions (CaseStudy: Tuyserkhan Basin,

- Hamedan). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 11(37), 1-12. (In Persian)
- Saeedifar, Z., Khosroshahi, M., Jalili, A., Razavizadeh, S., Dargahian, F., Zandifar, S., Lotfinasabasl, S., Gohardust, A., Teimuri, S., & Fayaz, M. (2021). Analysis of the Effect of Climatic Factors and Drought on Inflow and Outflow from the Khuzestan Plain in the Karun Basin. *Journal of Water and Sustainable Development*, 8(3), 43-54. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i3.2102.1020> (In Persian)
- Sanchez-Gomez, A., Martinez-Perez, S., Leduc, S., Sastre-Merlin, A., & Molina-Navarro, E. (2023). Streamflow components and climate change: Lessons learnt and energy implications after hydrological modeling experiences in catchments with a Mediterranean climate. *Energy Reports*, 9, 277-291. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.11.191>
- Svensson, C., Kundzewicz, Z. W., & Maurer, T. (2005) Trend detection in river flow series: 2. Flood and low-flow index series. *Hydrological Sciences Journal*, 50(5), 811–824. <https://doi.org/10.1623/hysj.2005.50.5.811>
- Sodaeizadeh, H., & Jebali, A. (2020). Monitoring Changes in Agricultural Land Area under Agroforestry Practices (A Case Study of Bagh-Baghoueyeh in Jiroft). *Land Management Journal*, 8(1), 13-26. <https://doi.org/10.22092/lmj.2020.122308> (In Persian)
- Soliman, E.S., Sayed, M.A., & Jeuland, M. (2009). Impact assessment of future climate change for the Blue Nile basin using a RCM nested in a GCM. *Nile Basin Water Engineering Scientific Magazine*, 2, 15-30.
- Pike, R.G., Spittlehouse, D.L., Bennett, K.E., Egginton, V.N., Tschaplinski, P.J., Murdock, T.Q., & Werner, A.T. (2008). Climate change and watershed hydrology: part I—recent and projected changes in British Columbia. *Streamline Watershed Management Bulletin*, 11(2), 1-8.
- Stewart, I. T., Cayan, D. R., & Dettinger, M. D. (2004). Changes in snowmelt runoff timing in western North America under abusiness as usual climate change scenario. *Climatic Change*, 62(1), 217-232. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000013702.22656.e8>
- Sun, Y., Sun, Y., Yao, S., Akram, M.A., Hu, W., Dong, L., Li, H., Wei, M., Gong, H., Xie, S. & Aqeel, M. (2021). Impact of climate change on plant species richness across drylands in China: From past to present and into the future. *Ecological Indicators*, 132, 108288. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108288>
- Tarekegn, D., & Tadege, A. (2006). *Assessing the Impact of Climate Change on the Water Resource of Lake Tana Sub-Basin Using the WATBAL Model, Ethiopia*.
- Tarolli, P., Zuecco, G., & Picco, L. (2023). Watershed resilience to climate change: From hillslopes to rivers and coasts. *Evolving Earth*, 1, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.eve.2023.100010>
- Tesfaye, E., Abate, B., Alemayehu, T., & Dile, Y. (2023). Evaluating the skills of the CMIP5 global climate models using multicriteria decision-making analysis in Ethiopia. *Heliyon*, 9(10), e20320. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20320>
- Toews, M. W., Allen, D. M., & Whitfield, P. H. (2009). Recharge sensitivity to local and regional precipitation in semiarid midlatitude regions. *Water resources research*, 45(6). <https://doi.org/10.1029/2007WR006763>
- Wang, K., Dickinson, R. E., & Liang, S. (2012). Global atmospheric evaporative demand over land from 1973 to 2008. *Journal of Climate* 25(23), 8353-8361. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00492.1>
- Wang, S. J., Lee, C. H., Yeh, C. F., Choo, Y. F., & Tseng, H. W. (2021). Evaluation of climate change impact on groundwater recharge in groundwater regions in Taiwan. *Water*. 13(9), 1153. <https://doi.org/10.3390/w13091153>
- Yaghoobzadeh, M., Ahmadi, M., Boroumandnasab, S., & Haghayeghi Moghadam, A. (2017). Impact of Climate Change on Changing Trend of Evapotranspiration during the Growth Period of Irrigated and Rainfed Field Crops by AOGCM Models. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(4), 511-523. <https://doi.org/10.22092/jwra.2017.109013> (In Persian)
- Zareian, M. (2022). Effects of Climate Change on Temperature and Precipitation in Yazd

Province Based on Combined Output of
CMIP6 Models. *Journal of Water and Soil
Science*. 26 (2):91-105.
<https://doi.org/10.47176/jwss.26.2.31501>
(In Persian)