مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۱۱ شماره ۱ صفحه‌های ۱ تا ۱۴ (۱۴۰۵)

تغییر اقلیم و جنگل‌ها: از گرمایش جهانی تا تهدید بوم‌نظام‌های جنگلی ایران[۱،۲]

پدرام عطارد[۳]، محمود زبیری، مجید فرخنده مخدوم، جهانگیر فقهی، نغمه مبرقعی و مقداد جورغلامی[۴]

چکیده

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مهمترین چالش‌های محیط‌زیستی سده حاضر، تأثیرهای گسترده‌ای بر بوم‌نظام‌های جنگلی دارد و همزمان، تخریب جنگل‌ها نیز به تشدید آن دامن زده‌است. این بررسی به رابطه دوسویه بین تغییر اقلیم و جنگل‌ها می‌پردازد و نشان می‌دهد که افزایش گازهای گلخانه‌ای[۵] ناشی از فعالیت‌های انسانی، همراه با عامل‌های طبیعی، موجب گرمایش جهانی، تغییر الگوهای بارش، افزایش خشکسالی‌ها و آتش‌سوزی‌های جنگلی شده است. جنگل‌ها به‌عنوان مهمترین ذخیره‌گاه‌های کربن، نقش کلیدی در تعدیل اقلیم دارند، اما جنگل‌زدایی نیز سهم چشمگیری در انتشار دی‌اکسیدکربن دارد. در ایران، تغییراقلیم موجب افزایش دما، کاهش بارندگی و تشدید خشکسالی‌ها شده است، که تهدیدی جدی برای جنگل‌های کشور است. پژوهش حاضر، بر لزوم اجرای راهکارهایی برای حفاظت و احیای جنگل‌ها، مدیریت پایدار منابع آب، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و برنامه‌ریزی بوم‌شناسی تأکید دارد تا از تشدید بحران جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: زوال جنگل، گازهای گلخانه‌ای، مدیریت پایدار.

مقدمه

تغییر اقلیم به معنای دگرگونی‌ها و تغییرها در رفتار اقلیمی یک ناحیه نسبت به دوره‌های زمانی بلندمدت است (علیزاده، ۱۳۸۲). به عبارت دیگر، تغییر اقلیم به تغییر آماری معنی‌دار در میانگین شاخص‌های اقلیمی گفته می‌شود که برای دوره‌ای طولانی (اغلب دهه‌ها یا بیشتر) تداوم می‌یابد. این تغییرها می‌توانند ناشی از فرایندهای طبیعی، عامل‌های بیرونی یا تغییرهای پایدار انسانی در ترکیب جوی یا کاربری زمین‌ها باشند. تغییراقلیم موضوعی علمی یا نگرانی محیط زیستی و نظارتی نیست، بلکه به بحرانی فراگیر تبدیل شده است (Planton *et al.*, 2008). از زمان انقلاب صنعتی در

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۵

۲- بخشی از طرح «اثرات تغییر اقلیم و تحولات اجتماعی- سیاسی جهانی بر کشاورزی و منابع طبیعی ایران و راهبردهای سازگاری با آنها با نگرشی بوم‌سازگار» گروه علوم کشاورزی فرهنگستان علوم ج. ا. ایران.

۳- پست الکترونیک نویسنده مسئول: attarod@ut.ac.ir

۴- به ترتیب، استاد دانشگاه تهران (عضو وابسته)، استاد دانشگاه تهران (عضو وابسته)، استاد دانشگاه تهران (عضو وابسته)، دانشیار دانشگاه شهید بهشتی (همکار مدعو) و استاد دانشگاه تهران (همکار مدعو). اعضای شاخه جنگل و محیط زیست، گروه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، فرهنگستان علوم، ج.ا. ایران.

5. Greenhouse gases

حدود ۲۵۰ سال پیش، فعالیت‌های انسانی، مقدار فراوانی از گازهای گلخانه‌ای را به جو زمین افزوده‌اند. افزایش سطح گازهای گلخانه‌ای موجب گرمایش بیشتر شده‌است و پدیده‌ای به نام تغییراقلیم را ایجاد کرده است.

براساس گزارش ششم هیات بین‌الدولی تغییر اقلیم[1]، فعالیت‌های انسانی مهمترین عامل این روند بوده‌اند، به‌طوری‌که میانگین دمای کره زمین در فاصله سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰، حدود ۱/۱ درجه سلسیوس بالاتر از میانگین دمای دوره ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ بوده است (IPCC, 2023). این بحران رو به گسترش، جنبه‌های اقتصادی، بهداشتی-امنیتی، تولید غذایی، امنیت ملی و مانند این‌ها را زیر تأثیر قرار داده‌است. برای نمونه، تغییر الگوهای اقلیمی، تولید غذا را از راه پیش‌بینی‌ناپذیری بارش‌ها تهدید می‌کند. افزایش سطح آب دریاها، ذخیره‌های آب شیرین ساحلی را آلوده و خطر سیلاب‌های فاجعه‌بار را افزایش می‌دهد و جو گرم‌تر، گسترش آفت‌ها و بیماری‌هایی را که پیش از این به منطقه‌های گرمسیری محدود بودند، به سمت قطب‌ها آسانتر می‌کند. شاهدهای هشداردهنده‌ای وجود دارد که نشان می‌دهند نقطه‌های اوج اقلیمی و بوم‌شناسانه[2]، ممکن است از پیش، فرا رسیده یا حتی عبورکرده است و موجب تغییرهای بازگشت‌ناپذیر در بوم‌نظام‌های حیاتی و سیستم اقلیمی زمین شده‌است. برای نمونه، بررسی‌های جدید نشان می‌دهند که جنگل‌های بارانی آمازون، به دلیل ترکیبی از جنگل‌زدایی، گرمایش جهانی و خشکسالی‌های پیوسته، در حال نزدیک شدن به آستانه‌ای است که پس از آن به گرم‌دشت[3] تبدیل خواهند شد (Lovejoy & Nobre, 2018; Boulton *et al.*, 2022). همچنین، ذوب سریع یخچال‌های قطبی و کوهستانی و کاهش ذخیره‌های آب شیرین، تأثیرهای فزاینده‌ای بر جامعه‌های انسانی و بوم‌نظام‌ها دارند (IPCC, 2023).

بی‌تردید، این تغییرهای اقلیمی می‌توانند به صورت ذاتی بر بوم‌نظام‌های جنگلی تأثیر بگذارند. تغییر شدید اقلیم یکی از دلیل‌های جنگل‌زدایی است که می‌تواند موجب بیابان‌زایی شود، در حالی که همین جنگل‌زدایی نیز به نوبه خود یکی از عامل‌های محرک تغییر اقلیم است. افزایش دما و خشکسالی، تأثیرهای منفی بر تنوع گونه‌ها و همچنین کالاها و خدمت‌های بوم‌نظامی برای بشریت دارد (Gnacadja & Lesch, 2009). حدود ده هزار سال پیش، جنگل‌های جهان مساحتی در حدود شش میلیارد هکتار را پوشش می‌دادند که به تقریب ۴۵٪ از کل سطح خشکی‌های زمین بود. با این حال، از آن دوره به بعد، پوشش جنگلی به‌تدریج کاهش یافت و تا سال ۲۰۲۰، تنها حدود ۳۱/۲٪ از مساحت خشکی‌های جهان را جنگل‌ها تشکیل می‌دهند (FAO & UNEP, 2020). گسترش کشاورزی و تغییر کاربری زمین‌ها همچنان یکی از عامل‌های اصلی جنگل‌زدایی در منطقه‌های گرمسیری است (Curtis *et al.*, 2018; Pendrill *et al.*, 2019). براساس گزارش ارزیابی منابع جنگلی جهانی (FRA, 2020)، نرخ سالانه جنگل‌زدایی در دهه گذشته به‌طور میانگین ۰/۱٪ (معادل ۴/۷ میلیون هکتار جنگل‌زدایی خالص سالانه) بوده است (FAO, 2022). همچنین، در طول دو دهه گذشته، جنگل‌زدایی در جنگل‌های معتدل کاهش یافته‌است، در حالی که در منطقه‌های گرمسیری، به‌ویژه در آمازون و جنوب شرق آسیا، همچنان با سرعت زیادی ادامه دارد (WWF, 2021; Tyukavina *et al.*, 2022). در سطح جهانی، مشخص شده است که انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل‌ها، حدود یک‌پنجم از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد. در پژوهش حاضر، رابطه پیچیده بین تغییراقلیم و بوم‌نظام‌های جنگلی بررسی می‌شود. هدف اصلی، درک بهتر چرخه‌های تشدیدکننده‌ای است که در آن تغییر اقلیم به تخریب جنگل‌ها می‌انجامد و این تخریب خود به تغییرهای اقلیمی بیشتر دامن می‌زند.

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2. Climate and ecological tipping points 3. Savanna

تغییر اقلیم و عامل‌های پدیدآورنده آن

تغییرهای اقلیمی یکی از چالش‌های عمده سده حاضر است که از سال‌های آخر سده نوزدهم تاکنون با افزایش میانگین دمای جهانی همراه بوده است. این پدیده بیشتر زیر تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و توسعه صنعتی تشدید شده و پیامدهای گسترده‌ای همچون ذوب یخ‌های قطبی، افزایش سطح دریاها، تشدید بلاهای طبیعی (مانند موج‌های گرمایی، سیل‌ها و خشکسالی‌ها) و تهدید تنوع زیستی را به دنبال داشته است. اگرچه عامل‌های طبیعی مانند تغییر در تابش خورشیدی و فعالیت‌های آتشفشانی نیز در نوسان‌های اقلیمی نقش دارند، بررسی‌های جدید (UNDP, 2019; NASA, 2020; IPCC, 2021) تأثیر غالب فعالیت‌های انسانی را تأیید می‌کنند. با این حال، بحث‌های علمی درباره سهم دقیق هر یک از این عامل‌ها ادامه دارد. درک این سازوکارها برای طراحی راهکارهای اثرگذار کاهش و سازگاری با تغییرهای اقلیمی ضروری است.

الف- عامل‌های طبیعی اثرگذار بر تغییر اقلیم

تابش خورشیدی به عنوان نیروی محرکه اصلی سیستم اقلیمی زمین، نقش تعیین‌کننده‌ای در اقلیم دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که تغییرهای دوره‌ای در فعالیت‌های خورشیدی (مانند چرخه‌های ۱۱ساله لکه‌های خورشیدی)، می‌توانند بر الگوهای اقلیمی تأثیر بگذارند. هرچند این اثر در مقایسه با تأثیر گازهای گلخانه‌ای انسانی کمتر است (Lean, 2017; IPCC, 2021). اثر گلخانه‌ای طبیعی که توسط گازهایی مانند دی‌اکسیدکربن، متان و بخار آب ایجاد می‌شود، برای حفظ دمای زیست روی زمین ضروری است و بدون آن، میانگین دمای زمین به منفی ۱۸ درجه سلسیوس می‌رسید (NASA, 2020). تغییرهای مداری زمین به نام چرخه‌های میلانکوویچ[1]، شامل نوسان‌های مرکز مداری (۱۰۰ هزار ساله)، زاویه محور (۴۱ هزار ساله) و پیشروی محوری (۲۶ هزار ساله)، الگوهای توزیع تابش خورشید را تغییر می‌دهند و با دوره‌های یخبندان در ارتباط هستند (Ruddiman, 2014). فعالیت‌های آتشفشانی بزرگ نیز از راه انتشار ذره‌های شناور و گازهای گوگردی به استراتوسفر[2]، می‌توانند اثر خنک‌کنندگی موقتی بر اقلیم جهانی داشته باشند (Robock, 2000). نوسان‌های طبیعی سیستم‌های اقیانوسی-جوی مانند ال‌نینو-نوسان جنوبی[3] و نوسان اطلس شمالی[4] الگوهای اقلیمی را زیر تأثیر قرار می‌دهند (Trenberth, 2018). برخی از بررسی‌ها به ارتباط احتمالی بین تغییرهای میدان مغناطیسی زمین و اقلیم اشاره کرده‌اند، هرچند سازوکار این رابطه نیاز به بررسی بیشتری دارد (Courtillot *et al.*, 2006). در حالی که این عامل‌های طبیعی همواره در تغییرهای اقلیمی نقش داشته‌اند، یافته‌های علمی نشان می‌دهند که تغییرهای سریع اقلیمی سده اخیر، بیشتر ناشی از فعالیت‌های انسانی بوده است (IPCC, 2021).

ب- عامل‌های انسانی اثرگذار بر تغییر اقلیم

تغییرهای اقلیمی تا حدود زیادی ناشی از فعالیت‌های انسانی است (Sagan & Chyba, 1997; IPCC, 2007). مهمترین نگرانی در این عامل‌های انسان‌ساز، افزایش سطح دی‌اکسیدکربن ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی است. دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای، گرما را در جو زمین به دام می‌اندازند و موجب گرم‌شدن زمین می‌شوند. پس از دی‌اکسیدکربن، ذره‌های شناور (مواد ذره‌ای در جو) و فرایندهای صنعتی مانند تولید سیمان، از جمله عامل‌های مهم دیگری هستند که توسط فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شوند و بر اقلیم تأثیر می‌گذارند. عامل‌های دیگر، از جمله استفاده

1. Milankovitch 2. Stratosphere 3. El Niño–southern oscillation 4. North Atlantic oscillation

از زمین، تخریب لایه ازن، دامداری صنعتی و جنگل‌زدایی نیز، هم به طور جداگانه و هم در ارتباط با عامل‌های دیگر، در تأثیرگذاری بر اقلیم، اقلیم محلی و معیارهای متغیرهای اقلیمی، مورد توجه هستند. برای نمونه، جنگل‌زدایی به کاهش جذب دی‌اکسیدکربن از جو می‌انجامد و دامپروری صنعتی، مقدار زیادی گاز متان تولید می‌کند که یکی از گازهای گلخانه‌ای است (Zhong, 2016).

تغییر اقلیم در ایران

ایران نیز مانند دیگر کشورهای جهان به شدت با تغییر اقلیم و اثرهای آن در ارتباط است. در حقیقت، تغییر اقلیم بحثی فرامرزی است که محدود به یک یا چند کشور نیست و گریبانگیر تمام جهان است. تغییرهایی که در اثر گرم‌شدن زمین و تغییر اقلیم در منطقه‌های مختلف جهان در حال بروز است و یا در آینده بروز خواهد کرد، ایران را نیز در برخواهد گرفت (اکبری و صیاد، ۱۴۰۰). داده‌های هواشناسی ثبت شده در ۱۱۰ ایستگاه هواشناسی همدیدی در کشور نشان می‌دهند تغییر اقلیم به طور چشمگیری در ایران رخ داده است، به طوری که در مجموع، ۵۰٪ روندهای دما، بارش و سرعت باد در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶، افزایش یا کاهش معنی‌داری داشته‌اند (Attarod *et al.*, 2023b). افزون بر این، افزایش دمای کشور در این فاصله زمانی، حدود ۱/۳ درجه سلسیوس است (Attarod *et al.*, 2023b). با توجه به پژوهش‌های انجام شده در ایران، از آغاز بروز پدیده گرمایش جهانی، دما رو به افزایش است و بارش نیز با وجود تغییرپذیری زمانی و مکانی زیاد، کاهش یافته است (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲). مهمترین تأثیر پدیده تغییر اقلیم، افزایش فرین‌ها (رخدادهای حدی) است. به این صورت که یا بازه زمانی و مکانی الگوهای اقلیمی تغییر کرده است یا رخداد آن‌ها بیشتر یا کمتر از میانگین بوده است (صفرراد و همکاران، ۱۳۹۴). در حال حاضر، دماهای فرین گرم رو به افزایش و دماهای فرین سرد رو به کاهش است و بسامد بارش‌های فرین نیز رو به افزایش است (دارند، ۱۳۹۴). بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران نشان می‌دهند که نمایه‌های حدی چون روزهای یخبندان، روزهای یخی، روزهای سرد، شب‌های سرد و دامنه تغییرهای شبانه‌روزی دما در اغلب جاهای ایران دارای روندی منفی است و نمایه‌هایی چون روزهای تابستانی، روزهای گرم و شب‌های گرم درکشور، روندی افزایشی نشان می‌دهند. به طور کلی، روند نمایه‌ها، جدا از موردهای استثنایی، همسو با آخرین یافته‌های هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم و بررسی‌های جهانی دیگر است (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸). تغییر در مقدار و الگوی بارندگی، پدیده دیگری است که در اثر تغییر اقلیم ایجاد شده است. این تغییرها بیشتر به دلیل تغییر در مقدار آب موجود در جو رخ داده است. شدت بارندگی نیز در اثر تغییر اقلیم دچار نوسان‌های شدیدی شده است، به‌طوری که بروز بارش‌های با شدت زیاد در منطقه‌های خشک روند رو به رشد دارد. بروز سیل‌های نادر و شدید در کنار خشکسالی‌های متعدد، گویای اثرهای مخرب تغییر اقلیم بر وضعیت اقلیمی جهان است (Wang *et al.*, 2012). بررسی‌ها نشان می‌دهند که میانگین دمای کمینه ایران بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۵ افزایش خواهد داشت (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). در بررسی روشن و همکاران (۱۳۹۱) برای دوره‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰، افزایش بارش و دما و طولانی‌تر شدن فصل رشد و نمو گیاهان، افزایش تبخیر و تعرق، کاهش بارش جامد، افزایش بارش‌های همرفتی و در پایان، افزایش پتانسیل سیلاب در ایران پیش‌بینی شده است.

پدیده‌های حدی مانند خشکسالی بیش از دیگر پدیده‌ها زیر تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند. خشکسالی به‌عنوان بی‌تعادلی طبیعی، اما موقتی موجودی آب است که با بروز پیوسته بارندگی‌های کمتر از میانگین، فراوانی، تداوم و شدت

نامعین و رخدادهای پیش‌بینی‌ناپذیر همراه است و موجب کاهش موجودی منابع آب و کاهش پایداری بوم‌نظام‌ها می‌شود (Pereira *et al.*, 2002). پژوهش‌های دیرینه اقلیم‌شناسی نشان داده‌اند که ایران در گذشته، دوره‌های خشکسالی طولانی‌مدت (از جمله یک دوره ۳۰۰ ساله) را تجربه کرده است (شیخ بگلو اسلام، ۱۳۹۷). این یافته‌ها با بررسی‌های جدید بر پایه حلقه‌های سالیانه درختان ارس در زاگرس (۱۸۰۲ تا ۲۰۲۲) تأیید می‌شود (Beiranvand *et al.*, 2024). در این بررسی، نه تنها خشکسالی‌های شدید تاریخی (مانند سال‌های ۱۸۳۲، ۱۸۶۷ و ۱۸۷۶) شناسایی شده‌اند، بلکه نشان می‌دهند که این رویدادها با الگوهای اقلیمی جهانی مانند ال‌نینو-نوسان جنوبی در ارتباط بوده‌اند. یافته‌های هر دو پژوهش نشانگر این است که تغییر اقلیمی کنونی می‌تواند احتمال تکرار چنین دوره‌های خشکسالی طولانی و شدیدی را افزایش دهد. از جمله عارضه‌های خشکسالی، بروز پدیده گردوغبار در سرزمین‌های بیابانی ایران است. این پدیده در منطقه‌هایی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک شدیدتر است (Keyantash, 2002). بررسی‌های اخیر نشانگر تشدید چشمگیر خشکسالی در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک ایران است که اثرهای مخربی بر بخش کشاورزی آن‌ها داشته است (خورانی و جمالی، ۱۳۹۵). قابل بیان است که افزایش دما به عنوان یکی از کلیدی‌ترین عامل‌های اثرگذار بر حیات گیاهی، می‌تواند رشد و توسعه گیاهان را به شدت زیر تأثیر قرار دهد (Luo, 2007). این پیامدهای تغییر اقلیم به ویژه در منطقه‌های زیست‌اقلیمی حساسی مانند ناحیه‌های کوهستانی زاگرس، البرز، آذربایجان و خراسان شمالی که از اقلیمی معتدل سرد و چهارفصلی برخوردارند، نمود بیشتری داشته است. پژوهش‌های اخیر در ناحیه رویشی زاگرس نشان می‌دهند که پدیده‌های بوم‌شناسانه مانند زوال بلوط را نمی‌توان تنها به تغییرهای الگوی بارش نسبت داد، بلکه ترکیب عامل‌های اقلیمی گوناگون از جمله افزایش دما و کاهش رطوبت خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در این روند دارند (Attarod *et al.*, 2023a; Attarod *et al.*, 2023b; Attarod *et al.*, 2025). این یافته‌ها با بررسی‌های دیگری که آسیب‌پذیری جنگل‌های ایران را بررسی کرده‌اند، همخوانی دارد. براساس این بررسی‌ها، سهم آسیب‌پذیری ناشی از تغییراقلیم در جنگل‌های زاگرس و شمال کشور به ترتیب با ۵۳ و ۳۱/۷٪ است (Karim *et al.*, 2020). به‌طور ویژه، جنگل‌های زاگرس به‌عنوان یکی از مهمترین بوم‌نظام‌های کشور با چالش‌های متعددی از جمله افزایش دما، کاهش بارندگی و تشدید خشکسالی روبه‌رو شده‌اند. این تغییرها نه تنها بر پوشش گیاهی این منطقه‌ها تأثیر گذاشته، بلکه زندگی جامعه‌های محلی و گوناگونی زیستی را نیز به خطر انداخته اند (عطارد و همکاران، ۱۴۰۰). برای نمونه در ایلام به‌عنوان یکی از کانون‌های اصلی بروز پدیده زوال جنگل در دهه‌های اخیر، سالانه به‌طور میانگین، ۲۷ دوره خشک ثبت می‌شود که به جز شمار محدودی دوره خشک بلندتر از ۳۰ روز (حدود ۴٪ دوره‌ها)، دیگر دوره‌های خشک، کوتاه‌تر از ۳۰ روز هستند و پژوهش‌ها نشان داده‌اند که روند افزایش شمار این دوره‌های خشک بلندتر از ۳۰ روز، در ۳۵ سال اخیر معنی‌دار بوده است (میرزایی و همکاران، ۱۴۰۴). براساس بررسی‌ها، عامل‌های اقلیمی کلیدی مانند افزایش دما و تغییرهای الگوی بارش، پیامدهای زیادی بر پویایی آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس دارند (بیگی حیدرلو و کرامت میرشکارلو، ۱۴۰۳). افزایش دما موجب سرعت بیشتر تبخیر و تعرق، خشک شدن پوشش گیاهی و ایجاد شرایط مساعد برای آتش‌سوزی و گسترش آتش می‌شود (Živanović *et al.*, 2002). پیامدهای آتش‌سوزی‌های جنگلی ناشی از تغییر اقلیم بسیار فراتر از تخریب بوم‌شناسی است و به بافت جامعه‌های انسانی که ارتباط نزدیکی با این جنگل‌ها دارند، آسیب می‌رساند (Trenberth, 2018). تغییراقلیم موجب تغییر در پراکنش و مرز گونه‌ها می‌شود و تغییرهای اقلیمی در آینده ممکن است موجب انقراض جمعیت گونه‌های گیاهی و جانوری، تغییرهای پدیده‌شناسی و برهمکنش‌های تغذیه‌ای، تغییرهای محدوده پراکنش، مهاجرت، آشفتگی‌های

محیط زیستی و ناسازگاری گونه‌ها با شرایط محلی شود (Koralewski *et al.*, 2015). براساس این حقیقت، طالشی و همکاران (۱۳۹۷)، پیش‌نگری کردند که در جنگل‌های هیرکانی، گونه راش[1] به تغییرهای اقلیمی بسیار حساس است، به طوری که حتی با خفیف‌ترین گرمایش جهانی و با سناریوهای خوش‌بینانه، در سال ۲۰۷۰، حدود ۷۰٪ از رویشگاه‌های خود را از دست می‌دهد. در شش دهه گذشته، دمای هوا در ناحیه خزری بیش از یک درجه سلسیوس افزایش یافته است و براساس نظرهای کارشناسی، محدوده ارتفاعی پراکنش پوشش گیاهی، حدود ۱۰۰ متر به سمت بالا حرکت کرده است (جعفری، ۱۳۸۷). پژوهش دیگری نیز نشان می‌دهد که از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۸، دمای هوا در ناحیه رویشی هیرکانی، ۰/۷۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است (عطارد و همکاران، ۱۳۹۶). پراکنش گیاهان در هر اقلیم، به شرایط دمایی و رطوبتی آن بستگی مستقیم دارد.

اثر تغییر اقلیم بر بوم‌نظام‌های جنگلی

تغییر اقلیم به‌عنوان چالش جهانی، تأثیرهای گسترده و ژرفی بر بوم‌نظام‌های جنگلی در سراسر جهان دارد و این تأثیرها نه‌تنها در حال حاضر مشاهده می‌شوند، بلکه پیش‌بینی می‌شود در آینده‌ای نه چندان دور، به طور چشمگیری افزایش یابند (Melillo *et al.*, 2014). اهمیت این تغییرها، با توجه به تفاوت‌های منطقه‌های زیستی و جغرافیایی گوناگون و همچنین مقدار افزایش دما و تغییرهای بارندگی، متغیر است. با این حال، باور عمومی بر این است که افزایش دما و تغییر در مقدار بارش، به جابه‌جایی و تغییر مکان بوم‌نظام‌های جنگلی، پراکندگی گونه‌های درختی و درختچه‌ای، تغییر در ترکیب گونه‌های گیاهی و حتی نابودی یک گونه و جایگزینی آن با گونه‌ای جدید می‌انجامد. برای نمونه، در شمال آمریکا، تغییر اقلیم موجب انتقال و مهاجرت جنگل‌ها به عرض‌های شمالی‌تر شده است. در شرایطی که تغییراقلیم به صورت تدریجی و یکنواخت رخ دهد، شانس سازگاری بوم‌نظام‌ها با این تغییرهای تدریجی، افزایش می‌یابد، اما در سناریوهای تغییر افزایشی یا ناگهانی اقلیم، امکان سازگاری بوم‌نظام‌ها به شدت کاهش می‌یابد، به ویژه در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک که آسیب‌پذیری بیشتری دارند. به طور کلی، تأثیرهای تغییر اقلیم بر بوم‌نظام‌های جنگلی بسیار گوناگون است و شامل موردهایی می‌شود که در ادامه آورده شده‌اند.

تغییر اقلیم توانایی بوم‌نظام‌های جنگلی را برای بهبود کیفیت و تنظیم جریان آب کاهش می‌دهد (Melillo *et al.*, 2014). این کاهش توانایی، در ترکیب با سایر عامل‌های تنش‌زا، موجب می‌شود بوم‌نظام‌های جنگلی در رویارویی با رخدادهای حدی مانند آتش‌سوزی، سیل و توفان ضعیف‌تر عمل کنند (Melillo *et al.*, 2014). به دنبال تغییر اقلیم، بوم‌نظام‌های جنگلی به سرعت در حال تغییرند و گونه‌های شاخص از برخی ناحیه‌ها، به طور کامل حذف یا حتی منقرض می‌شوند (Muluneh, 2021). این پدیده به دلیل افزایش دما و تخریب زیستگاه‌ها، موجب از بین رفتن ارتباط بین گونه‌ها شده و جامعه‌های موجود را تغییر شکل می‌دهد و حتی می‌تواند به انقراض گونه‌ها بیانجامد. البته، برخی از گونه‌ها توانایی سازگاری با این تغییرها را دارند. افزون بر این، تغییر اقلیم با تغییر زمان‌بندی رخدادهای زیستی (پدیده‌شناسی[2]) مانند جوانه زدن در فصل بهار و زمستان گذرانی و همچنین تغییر زمان شروع مهاجرت گونه‌های جانوری، اثرهای شگرفی بر گونه‌ها و زیستگاه‌های جنگلی خواهند داشت. تغییر اقلیم، آسیب‌پذیری جنگل‌ها به تغییرهای بوم‌نظامی و از بین رفتن درختان را از راه آتش‌سوزی، هجوم آفت‌ها و بیماری‌های گیاهی و همچنین خشکسالی افزایش می‌دهد (Gray, 2008;

1. *Fagus orientalis* L.
2. Phenology

Vose *et al.*, 2012). استقرار نهال در جنگل و حاصلخیزی جنگل، به آب قابل دسترس در خاک وابسته است و خشکسالی‌های پیوسته ناشی از تغییر اقلیم، حاصلخیزی جنگل و ساختار آن را تغییر می‌دهد (Schulze *et al.*, 1987; Hanson & Weltzin 2000; Veron & Paruelo, 2010). مرگ درختان ناشی از خشکسالی، در حقیقت پاسخ بوم‌نظام‌های جنگلی به تغییر اقلیم و نوسان‌های اقلیمی است (Clark *et al.*, 2016).

در پاسخ به تغییر اقلیم، زیست‌توده جنگل در کوتاه‌مدت تغییر می‌کند که به تغییر در ترکیب گونه‌های جنگل (به عنوان اثر غیرمستقیم تغییر اقلیم) و نیز ذخیره کربن زیست‌توده (به عنوان اثر مستقیم تغییر اقلیم) می‌انجامد (Zhang *et al.*, 2018). همچنین، تغییر اقلیم، رویش گونه‌های جنگلی را به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر و ارتفاع‌های بیشتر سوق می‌دهد (Theurillat & Guisan 2001; Walther *et al.*, 2002). در منطقه‌هایی از ارتفاع‌ها و عرض‌های جغرافیایی بالاتر که پیشتر به واسطه سرما، امکان رشد و نمو درختان وجود نداشت، ممکن است در آینده شرایط مناسبی برای رویش درختان فراهم شود. در مقابل، ارتفاع‌های پایین و عرض‌های جغرافیایی کم، به‌دلیل خشکسالی و کمبود آب، برای رویش درختان نامناسب خواهد بود (Cairns *et al.*, 2007; Gehrig-Fasel *et al.*, 2007). این تغییر در مرز رویش، چه در جهت عرض جغرافیایی و چه در جهت ارتفاع، موجب انقراض گونه‌های محلی خواهد شد (Allen *et al.*, 2015).

تأثیرهای مستقیم تغییر اقلیم بر بوم‌نظام‌های جنگلی شامل تغییر در فرایندهای سوخت‌وساز و رشد درختان، تغییر بارش و تغییر رطوبت خاک و نیز تغییر در حاصلخیزی جنگل به واسطه افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و نیتروژن است (جدول ۱) (McMahon *et al.*, 2010; Vose *et al.*, 2012). در مقابل، تأثیر غیرمستقیم تغییر اقلیم، شامل تغییر در رژیم‌های آشفتگی‌های طبیعی، تکرار و شدت بیشتر رخدادهای حدی، بروز آتش‌سوزی‌های گسترده، حمله گسترده آفت‌ها و بیماری‌ها، فرسایش آبی، بروز سیلاب‌ها و مرگ درختان ناشی از خشکسالی است (Gray, 2008; Vose *et al.*, 2012). همچنین، تغییر اقلیم، عملکرد بسیاری از جنگل‌های کران‌رودی را برای اثر خنک‌کنندگی آب و نیز تولید آب با کیفیت برای تفرج‌های طبیعت محور، زیر تاثیر قرار می‌دهد (جدول ۱) (Nelson *et al.*, 2013).

جدول ۱- تاثیرهای مستقیم و غیرمستقیم افزایش دی‌اکسیدکربن و تغییر اقلیم بر بوم‌نظام‌های جنگلی (Keenan, 2015).

	مستقیم	غیرمستقیم
تأثیر سریع‌تر	فتوسنتز، مصرف آب/ انتقال، گلدهی/ پدیده‌شناسی، میوه‌دهی/ زادآوری، رشد/ از بین رفتن، کیفیت/ تراکم چوب، یخبندان/ توفان سهمگین	افزایش شدت و تکرار آتش‌سوزی‌ها، تاثیر بیماری‌ها، افزایش آفت‌ها و حشره‌های بیشتر، افزایش هجوم گونه‌های مهاجم، کیفیت آب
تأثیر کندتر	تجزیه لاشبرگ، وضعیت مواد غذایی برگ، تغییرهای ژنتیکی، پراکنش درختان و ترکیب توده	ساختار و ترکیب زیستگاه، تامین چوب، فرسایش و زوال خاک، تولید چوب

روند فعلی گرم شدن کره زمین موجب ایجاد آتش‌سوزی‌های گسترده در جنگل‌ها خواهد شد که به از بین رفتن بسیاری از خدمت‌های ارزشمند آن‌ها مانند تولید چوب و ایجاد تفرجگاه‌ها و چشم‌اندازهای بدیع می‌شود (Nelson *et al.*, 2013). حتی تغییری جزیی در اقلیم نیز می‌تواند تأثیر مخربی بر بوم‌نظام‌های جنگلی داشته باشد. تغییر اقلیم، در کنار دشواری‌های اقتصادی و اجتماعی، آسیب‌پذیری جنگل‌ها را افزایش می‌دهد. توسعه شهری و روستایی بر گوناگونی

زیستی و احتمال آتش‌سوزی جنگل‌ها و از بین رفتن زیستگاه‌های حیات وحش تأثیر می‌گذارد (Tvaronavičienė, 2021). با افزایش دمای کره زمین، ظرفیت سازگاری جنگل‌ها کاهش می‌یابد. بسیاری از درختان جنگلی، عمری طولانی و ظرفیت گسترش و پراکندگی محدودی دارند (Watkiss *et al.*, 2005). جنگل‌های منطقه‌های کوهستانی، تأمین‌کننده آب برای جامعه‌های پایین‌دست هستند و تغییر اقلیم با تاثیر گذاشتن بر این عملکرد، دسترسی به آب را دچار دشواری می‌کند (Palomo *et al.*, 2017). به نظر می‌رسد تغییر اقلیم موجب افزایش حاصلخیزی جنگل در منطقه‌هایی شده است که با کمبود آب روبه‌رو نبوده‌اند (Keenan, 2015). به‌طور خلاصه، تغییر اقلیم نه تنها ساختار و عملکرد بوم‌نظام‌های جنگلی را زیر تأثیر قرار می‌دهد، بلکه بر خدمت‌ها و سودمندی‌هایی که این بوم‌نظام‌ها برای انسان و دیگر گونه‌ها فراهم می‌کنند نیز تأثیرگذار است.

نقش جنگل‌ها در تعدیل اثرهای تغییر اقلیم

جنگل‌ها به عنوان یکی از پیچیده‌ترین و حیاتی‌ترین بوم‌نظام‌های زمین، نقشی چند بعدی در تنظیم شرایط اقلیمی جهان دارند. این بوم‌نظام‌های غنی، نه تنها از راه سازوکارهای طبیعی خود به جذب و ذخیره‌سازی گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند، بلکه اثرهای مستقیم و غیرمستقیمی بر الگوهای بارشی، چرخه‌های آبی و حتی خنک‌سازی دمای محلی و جهانی دارند (IPCC, 2022). درک جامع این نقش‌ها نیازمند بررسی سازوکارهای زیستی، بوم‌شناسی و ژئوشیمیایی است که جنگل‌ها را به یکی از اثرگذارترین ابزارهای طبیعت در رویارویی با تغییرهای اقلیمی تبدیل کرده است (Bonan, 2008).

الف- کارکردهای کلیدی جنگل‌ها در تنظیم اقلیم

کربن‌گیری (ترسیب کربن) و ذخیره‌سازی بلندمدت- جنگل‌ها دی‌اکسیدکربن جو را با فتوسنتز جذب و آن را در زیست‌توده هوایی (مانند تنه، شاخه و برگ‌ها)، زیست‌توده زیرزمینی (ریشه‌ها) و همچنین در لایه‌های ژرف خاک ذخیره می‌کنند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که خاک‌های جنگلی، به ویژه در بوم‌نظام‌های باستانی مانند جنگل‌های بارانی گرمسیری، می‌توانند کربن را برای سده‌ها یا حتی هزاره‌ها در خود نگه دارند (Schlesinger, 2013). این ویژگی، جنگل‌ها را به یکی از پایدارترین مخزن‌های کربن در کره زمین تبدیل کرده است.

تنظیم چرخه آب و تأثیر بر الگوهای بارشی- جنگل‌ها با تأثیر بر فرایند تبخیر و تعرق، نقش تعیین‌کننده‌ای در چرخه آبی دارند. پوشش گیاهی جنگل‌ها موجب افزایش رطوبت جو، تشکیل ابر و بارندگی در مقیاس‌های محلی و حتی فرامنطقه‌ای می‌شوند (Ellison *et al.*, 2017). برای نمونه، جنگل‌های آمازون با تولید رطوبت فراوان نه تنها بارندگی‌های منطقه‌ای را تنظیم می‌کنند، بلکه بر الگوهای اقلیمی در نقطه‌های دوردست نیز تأثیر می‌گذارند. تخریب این جنگل‌ها می‌تواند موجب کاهش بارندگی‌ها و حتی تشدید خشکسالی‌ها در منطقه‌هایی دور از محل جنگل‌زدایی بشود (Spracklen *et al.*, 2012).

خنک‌سازی سطح زمین- جنگل‌ها افزون بر جذب دی‌اکسیدکربن، با سایه‌اندازی و افزایش رطوبت محیطی، اثر خنک‌کنندگی محلی ایجاد می‌کنند. این ویژگی به ویژه در منطقه‌های شهری که با اثر جزیره گرمایی روبه‌رو هستند، اهمیت دوچندان پیدا می‌کند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که جنگل‌های شهری می‌توانند دمای هوا را در مقایسه با منطقه‌های بدون پوشش گیاهی به طور محسوسی کاهش دهند (Nowak *et al.*, 2014).

ب- تهدیدهای پیش‌رو و پیامدهای اقلیمی

جنگل‌زدایی و انتشار کربن- با وجود نقش حیاتی جنگل‌ها در تعدیل اقلیم، فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی صنعتی، توسعه شهری و بهره‌برداری ناپایدار از منابع چوب، موجب تندتر شدن جنگل‌زدایی در بسیاری از نقطه‌های جهان شده

است. این فرایند نه تنها ظرفیت جذب کربن را کاهش می‌دهد، بلکه موجب انتشار مقدار زیادی از کربن ذخیره شده در خاک و زیست‌توده به جو می‌شود (Baccini *et al.*, 2017). برای نمونه، تخریب جنگل‌های گرمسیری به تنهایی مسئول بخش چشمگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی است (Spracklen *et al.*, 2012).

تغییر کاربری زمین‌ها و کاهش گوناگونی زیستی- تبدیل جنگل‌ها به زمین‌های کشاورزی یا منطقه‌های مسکونی، نه تنها توازن کربن را برهم می‌زند، بلکه زندگی بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری را که در تنظیم بوم‌نظام‌های طبیعی نقش دارند، تهدید می‌کند. از دست دادن این گوناگونی زیستی، می‌تواند مقاومت جنگل‌ها را در برابر تغییرهای اقلیمی کاهش داده و آن‌ها را در برابر آفت‌ها، بیماری‌ها و رخدادهای طبیعی آسیب‌پذیرتر کند (Isbell *et al.*, 2015).

پ- راهکارهای حفاظتی و سیاست‌های کلان

تقویت برنامه‌های بین‌المللی- طرح‌هایی مانند REDD+[1] (کاهش انتشار ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل‌ها) با ارائه مشوق‌های اقتصادی به کشورهای در حال توسعه، تلاش می‌کنند تا از تخریب بیشتر جنگل‌ها جلوگیری کنند. موفقیت این برنامه‌ها نیازمند مشارکت فعال دولت‌ها، بخش خصوصی و جامعه‌های محلی است (Angelsen *et al.*, 2013).

بازسازی بوم‌نظام‌های تخریب‌شده- بازسازی جنگل‌های آسیب‌دیده از راه کاشت گونه‌های بومی و مدیریت پایدار می‌تواند به بازیابی کارکردهای اقلیمی این بوم‌نظام‌ها کمک کند. برنامه‌های احیای جنگل‌های حرا در جنوب شرق آسیا نمونه‌ای موفق از این رویکرد هستند (Friess *et al.*, 2019).

پیوند دانش بومی و علوم نوین- بهره‌گیری از دانش سنتی جامعه‌های محلی در مدیریت جنگل‌ها، می‌تواند به توسعه راهکارهای پایدارتر بیانجامد. این جامعه‌ها در طول نسل‌ها، تجربه‌های ارزشمندی در زمینه حفاظت از جنگل‌ها کسب کرده‌اند که می‌تواند مکمل یافته‌های علمی نوین باشد (Berkes *et al.*, 2000).

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از جدی‌ترین چالش‌های جهانی عصر حاضر، تأثیرهای ژرف و چندجانبه‌ای بر بوم‌نظام‌های جنگلی سراسر جهان گذاشته است. این بررسی نشان می‌دهد که افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی همراه با عامل‌های طبیعی، به تغییرهای چشمگیری در الگوهای اقلیمی شده است. پیامدهای این تغییرها شامل گرمایش جهانی، تغییر رژیم‌های بارشی، افزایش فراوانی و شدت پدیده‌های حدی اقلیمی و تغییر در پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری بوده است. جنگل‌ها به عنوان ریه‌های زمین و مهمترین ذخیره‌گاه‌های کربن، نقش حیاتی در تنظیم اقلیم جهانی دارند، اما شوربختانه تخریب و جنگل‌زدایی سهم چشمگیری در تشدید تغییر اقلیم داشته است. در ایران نیز تأثیر مخرب تغییر اقلیم بر جنگل‌های زاگرس و هیرکانی مشاهده می‌شوند که شامل افزایش دمای هوا، کاهش بارندگی‌ها، تشدید خشکسالی‌ها و افزایش خطر آتش‌سوزی‌های جنگلی می‌شود. این شرایط، بقای بسیاری از گونه‌های بومی ارزشمند مانند بلوط در ناحیه رویشی زاگرس را با تهدید جدی روبه‌رو ساخته است. برای رویارویی با این چالش‌ها، اجرای راهکارهای فراگیر از جمله حفاظت و احیای جنگل‌ها، مدیریت پایدار منابع آب، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، پایش پیوسته تغییر اقلیم و برنامه‌ریزی بوم‌شناختی بر اساس آمایش سرزمین، ضروری به نظر می‌رسد. بی‌شک، توجه نکردن به این اقدام‌ها می‌تواند به تشدید بحران و بروز خسارت‌های جبران‌ناپذیر بیانجامد. بنابراین، تنها با عزمی جهانی و اقدام‌های هماهنگ و

1. Reducing emissions from deforestation and forest degradation

فوری بر پایه یافته‌های علمی، می‌توان امیدوار بود که از شدت اثرهای منفی تغییر اقلیم کاسته و به سمت آینده‌ای پایدار برای نسل‌های حاضر و آینده حرکت کرد. پژوهش حاضر بر اهمیت درک رابطه‌های پیچیده بین تغییر اقلیم و بوم‌نظام‌های جنگلی تأکید داشت و نیازمند توجه جدی‌تر به این موضوع در سیاست‌گذاری‌های کلان محیط‌زیستی را خاطر نشان می‌کند.

سپاسگزاری

مقاله حاضر از بخشی از طرح کلان فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران با عنوان «اثرات تغییر اقلیم و تحولات اجتماعی- سیاسی جهانی بر کشاورزی و منابع طبیعی ایران و راهبردهای سازگاری با آنها با نگرشی بوم‌سازگار»، استخراج شده است که به این وسیله از حمایت مالی فرهنگستان علوم تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

اکبری، مهری؛ صیاد، مهری. (۱۴۰۰). تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۳(۱)، ۳۷–۷۴.

بیگی‌حیدرلو، هادی؛ کرامت میرشکارلو، اسما. (۱۴۰۳). درک اثرات تغییر اقلیم بر آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس شمالی ایران، شهرستان سردشت. *پژوهش و توسعه جنگل*، ۱۰(۳)، ۳۷۹–۳۹۳.

جعفری، مصطفی. (۱۳۸۷). تحقیق و تحلیل عامل‌های تغییر اقلیم طی پنجاه سال گذشته در جنگل‌های منطقه خزری. *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۱۶(۲)، ۳۱۴–۳۲۶.

دارند، محمد. (۱۳۹۴). ارزیابی و شناخت تغییر اقلیم در ایران‌زمین طی دهه‌های اخیر. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۹(۳۰)، ۱–۱۴.

روشن، غلامرضا؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ عزیزی، قاسم. (۱۳۹۱). آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌یابی مقادیر دما و بارش ایران تحت شرایط گرمایش جهانی. *جغرافیا و توسعه*، ۱۰(۲۷)، ۱۹–۳۵.

عطارد، پدرام؛ بیرانوند، سمیرا؛ عسگری، محمد؛ فنایی، نفیسه؛ هاشم‌زاده، مهدیه. (۱۴۰۰). اثرگذاری نوسانات بارندگی بر زوال جنگل‌های ناحیه رویشی زاگرس در استان‌های ایلام و لرستان. *مجله جنگل ایران*، ۱۳(۲)، ۱۴۱–۱۵۴.

عطارد، پدرام؛ خیرخواه، فهیمه؛ خلیقی‌سیگارودی، شهرام؛ صادقی، سید محمد معین؛ دولتشاهی، آوازه؛ بایرام‌زاده، ویلما. (۱۳۹۶). تحلیل روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و تبخیرتعرق در ناحیه خزری. مجله جنگل ایران، ۹(۲)، ۱۷۱–۱۸۵.

علیزاده، امین. (۱۳۸۲). *مبانی هواشناسی و تغییرات اقلیمی*. مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی. ۳۹۲ صفحه.

صفرراد، طاهر؛ عزیزی، قاسم؛ محمدی، حسین؛ فرجی‌سبکبار، حسنعلی. (۱۳۹۴). تغییرپذیری شدت پرفشار سیبری در دوره تشدید گرمایش جهانی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۴(۱۳)، ۷۷–۹۴.

طالشی، حمید؛ جلالی، سیدغلامعلی؛ علوی، سید جلیل؛ حسینی، سید حسین؛ نعیمی، بابک. (۱۳۹۷). اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی بالقوه گونه راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل‌های هیرکانی ایران. *مجله جنگل ایران*، ۱۰(۲)، ۲۵۱–۲۶۶.

محمدی، حسین؛ رنجبر، فیروز؛ مقبل، معصومه. (۱۳۹۵). اثرات گرمایش جهانی بر دمای کمینه ایران. *جغرافیا*، ۱۴(۵۱ دوره جدید)، ۳۵۱–۳۶۶.

میرزایی، سمیه؛ عطارد، پدرام؛ مصطفی‌نژادنشلی، کیمیا. (۱۴۰۴). تأثیر روندهای درازمدت بارندگی و روزهای خشک متوالی بر زوال جنگل‌های زاگرس در استان ایلام. *نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۸(۱)، ۱–۱۰.

Allen, C.D., Breshears, D.D. & McDowell, N.G. (2015) On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6: 1–55.

Angelsen, A., Brockhaus, M., Sunderlin, W. D., & Verchot, L. (Eds.). (2013). Análisis de REDD+: Retos y opciones. CIFOR.

Attarod, P., Beiranvand, S., Pypker, T.G., Bayramzadeh, V., Helali, J., Mashayekhi, Z. & Mariv, H. S. (2023a). Are precipitation characteristics and patterns impacting oak trees decline in the Zagros region of western Iran?. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 21(4), 753-765.

Attarod, P., Dezhban, A., Pypker, T.G., Khalighi Sigaroodi, S.H., Bayramzadeh, V. *et al*. (2023b). Iran's changing climate over the past 30 years, Russian Meteorology and Hydrology, 48 (1): 76-8.

Attarod, P., Zhu, H., Beiranvand, S., Pypker, T.G., Bayramzadeh, V., Mariv, H.S. & Karimi, K. (2025). Past and future climate change in the Zagros region of western Iran. *Anthropocene*, 50, 100475.

Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D. & Houghton, R.A. (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, 358(6360), 230-234.

Beiranvand, S., Bayramzadeh, V., Attarod, P., Pourtahmasi, K., Pypker, T.G., Bräuning, A. & Nadi, M. (2024). Increasing drought frequency in the central Zagros Mountains of western Iran over the past two centuries. *Journal of Arid Environments*, 224, 105240.

Berkes, F., Colding, J. & Folke, C. (2000). Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological applications*, 10(5), 1251-1262.

Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320(5882), 1444-1449.

Boulton, C.A., Lenton, T.M. & Boers, N. (2022). Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s. *Nature Climate Change*, 12(3), 271-278.

Cairns D., Lafon C., Moen J., Young A. (2007) Influences of animal activity on treeline position and pattern: implications for treeline responses to climate change. *Physical Geography* 28(5): 419–433.

Clark, J.S., Iverson L., Woodall C.W., Allen C.D., Bell D.M. *et al.* (2016) The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States. *Global Change Biology* 22, 2329–2352.

Courtillot, V., Gallet Y., Le Mouël JL., Fluteau F., Genevey A. (2006) Are there connections between the earth's magnetic field and climate? ', *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 253, Nos. 328–339, p.620.

Curtis, P.G., Slay, C. M., Harris, N.L., Tyukavina, A. & Hansen, M. C. (2018). Classifying drivers of global forest loss. *Science*, 361(6407), 1108-1111.

Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D. & Sullivan, C.A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global environmental change*, 43, 51-61.

FAO & UNEP. (2020). *The State of the World's Forests 2020: Forests, biodiversity and people*. FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. *FAO*. Retrieved from: *https://doi.org/10.4060/ca9825en*

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Food safety is everyone's business in street food vending. World Health Organization. https://apps. Who. Int/iris/handle/10665/354468. License: CC BY-NC-SA, 3.

Friess, D.A., Rogers, K., Lovelock, C.E., Krauss, K.W., Hamilton, S.E., Lee, S.Y. *et al*. (2019). The state of the world's mangrove forests: past, present, and future. *Annual Review of Environment and Resources*, 44(1), 89-115.

Gehrig-Fasel J., Guisan A. & Zimmermann N.E. (2007) Tree line shifts in the Swiss Alps: climate change or land abandonment? *Journal of Vegetation Science* 18(4): 571–582.

Gnacadja L. & Lesch A.K. (2009). Running dry? Climate change indrylands and how to cope with it. Germany: Muunchen.

Gray D.R., (2008) The relationship between climate and outbreak characteristics of the spruce budworm in Eastern Canada. *Climatic Change* 87: 361–383.

Hanson P.J. & Weltzin J.F. (2000) Drought disturbance from climate change: response of United States forests. *Science of the Total Environment* 262(3): 205–220.

IPCC. (2023) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 36 pages. (In press).

IPCC. (2022). Impacts, Adaptations, and Vulnerability

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Retrieved from: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

IPCC. (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report (Summary for Policymakers), Cambrige University Press, U.K.

Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C. & Eisenhauer, N. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*, 526(7574), 574-577.

Karim, M.H., Sardar Shahraki, A., Kiani Ghalesard, S. & Fahimi, F. (2020). Management challenges and adaptations with climate change in Iran forests. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 18(1): 81-91.

Keenan, R.J. (2015) Climate change impacts and adaptation in forest management: a review, *Annals of Forest Science* 72: 145-167.

Keyantash, J. & Dracup, J.A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1167-1180.

Koralewski, T.E., Wang, H.H., Grant, W.E. & Byram, T.D. (2015). Plants on the move: Assisted migration of forest trees in the face of climate change. *Forest Ecology and Management*, 344, 30–37.

Lean, J. (2017). Solar irradiance variability and climate. Annual Review of Astronomy and Astrophysics.

Lovejoy, T.E. & Nobre, C. (2018). Amazon tipping point. *Science advances*, 4(2), eaat2340.

Luo, Y. (2007). Terrestrial carbon–cycle feedback to climate warming. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematic. 38(1), 683-712.

McMahon, S.M., Parker, G.G. & Miller, D.R. (2010) Evidence for a recent increase in forest growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 3611–3615.

Melillo, J.M., Richmond, T.C., Gary, W. & Yohe, Eds. (2014) *Highlights of Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*. U.S. Global Change Research Program, 148 pp.

Muluneh, M.G., (2021) Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article, *Agriculture & Food Security*, 10 (36), Retrieved from: https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5

National Aeronautics and Space Administration [NASA]. (2020). Global climate change: Vital signs of the planet. *NASA*. Retrieved from: *https://climate.nasa.gov*

Nelson, E.J., Kareiva, P., Ruckelshaus, M., Arkema, K., Geller, G. *et al*. (2013) Climate change's impact on key ecosystem services and the human well-being they support in the US. *Frontiers in Ecology and Environment* 11 (9), 483-493. Retrieved from: doi:10.1890/120312

Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A. & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129.

Palomo, I. (2017) Climate Change Impacts on Ecosystem Services in High Mountain Areas: A Literature Review, *Mountain Research and Development (MRD)* 37 (2), 179-187.

Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., Kastner, T., Moran, D., Schmidt, S. & Wood, R. (2019). Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions. *Global environmental change*, 56, 1-10.

Pereira, L.S.; Cordery, I. & Iacovides, I. (2002). Coping with water scarcity, UNESCO IHP VI, Technical Documents in Hydrology, No. 58, UNESCO, Paris, 267.

Planton, S., Déqué, M., Chauvin, F., & Terray, L. (2008). Expected impacts of climate change on extreme climate events. *Comptes Rendus Geoscience*, 340(9-10), 564-574.

Robock, A. (2000). Volcanic eruptions and climate. *Reviews of Geophysics*, 38(2), 191-219.

Ruddiman, W. F. (2014). *Earth transformed*. New York: WH Freeman.

Sagan, C. & Chyba, C. (1997). The early faint sun paradox: organic shielding of ultraviolet-labile greenhouse gases', *Science*, 276, (5316), 1217–1221.

Schlesinger, W.H. (2013). An estimate of the global sink for nitrous oxide in soils. *Global change biology*, 19(10), 2929-2931.

Schulze E.D., Robichaux R.H., Grace J., Rundel P.W. & Ehleringer J.R. (1987) Plant water balance. *Bioscience* 37, 30–37.

Spracklen, D.V., Arnold, S.R. & Taylor, C.M. (2012). Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature*, 489(7415), 282-285.

Theurillat J.P., Guisan A. (2001) Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climate Change* 50(1), 77–109.

Trenberth, K.E. (2018). Climate change caused by human activities is happening and it already has major consequences. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 36(4), 463-481.

Tvaronavičienė, M. (2021) *Effects of climate change on environmental sustainability*. E3S Web of Conferences 250, 01005 (2021) TRESP. Retrieved from: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125001005

Tyukavina, A., Potapov, P., Hansen, M.C., Pickens, A.H., Stehman, S.V. *et al*. (2022). Global trends of forest loss due to fire from 2001 to 2019. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 825190.

United Nations Development Programme (UNDP). (2019). *Human Development Report 2019: Beyond income, beyond averages, beyond today—Inequalities in human development in the 21st century*. UNDP. Retrieved from: *https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2019*

Veron, S.R. & Paruelo, J.M. (2010) Desertification alters the response of vegetation to changes in precipitation. *Journal of Applied Ecology* 47,1233–1241.

Vose, J.M., Peterson, D.L. & Patel-Weynand, T. (2012) *Effects of climatic variability and change on forest ecosystems: a comprehensive science synthesis for the U.S. Forest sector*. USDA Forest Service General Technical Report, PNW-GTR-870.

Walther, G.R., Post, E. & Convey, P. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(28), 389–395.

Wang, H.J., Sun, J.Q., Chen, H.P., Zhu, Y.L., Zhang. Y. *et al*. (2012). Extreme climate in China: Facts, simulation and projection. *Meteorologische Zeitschrift*, 21(3), 279.

Watkiss, P., Downing, T., Handley, C., Butterfield, R. (2005) *The Impacts and Costs of Climate Change, AEA Technology Environment.* DG Environment Stockholm Environment Institute, Oxford, Commissioned by European Commission, Modeling support for Future Actions – Benefits and Cost of Climate Change Policies and Measures'. ENV.C.2/2004/0088.

WWF (World Wildlife Fund). (2021). *Deforestation Fronts. Drivers and Responses in a Changing World*.

Zhang T., Niinemets Ü., Sheffield J. & Lichstein J.W. (2018) Shifts in tree functional composition amplify the response of forest biomass to climate. *Nature* 556, 99-102.

Zhong, C.X. (2016). Causes of global climate change. *International Journal of Global Warming*, 10(4), 482-495.

Živanović, S., Ivanović, R., Nikolić, M., Đokić, M. & Tošić, I. (2020). Influence of air temperature and precipitation on the risk of forest fires in Serbia. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 132, 869-883.

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(1):1-14 (2026)

Climate Change and Forests: From Global Warming to a Threat Against Forest Ecosystems

Attarod, P.[1], Zobeiri, M., Farkhondeh Makhdom, M., Feghhi, J., Mobarghaee, N. and Jourgholami, M.[2]

Climate change, as one of the most critical environmental challenges of the current century, extensively impacts forest ecosystems, while forest destruction has, in turn, exacerbated this phenomenon. This study investigates the two-way relationship between climate change and forests, demonstrating that the increase in greenhouse gases from human activities, along with natural factors, has led to global warming, altered precipitation patterns, increased droughts, and forest fires. Forests, acting as the most important carbon sinks, play a key role in moderating the climate, but deforestation is a significant contributor to carbon dioxide emissions. In Iran, climate change has caused increased temperatures, reduced rainfall, intensified droughts, and a serious threat to the country's forests. This research emphasizes the need to implement solutions for the protection and restoration of forests, sustainable water resource management, reduction of greenhouse gas emissions, and ecological planning to prevent the escalation of the crisis.

Key words: Forest decline, Greenhouse gases, Sustainable management.

1. Corresponding author's Email: attarod@ut.ac.ir

2. Professor of University of Tehran (Associate Member), Professor of University of Tehran (Associate Member), Professor of University of Tehran (Associate Member), Associate Professor of Shahid Beheshti University (Invited Scholar) and Professor of University of Tehran (Invited Scholar). Members of Forestry and Environmental Sciences Branch, Agricultural and Natural Resources Group, Academy of Science, I.R. Iran, respectively.