تغییر اقلیم و تاثیر آن بر جوامع گیاهی

زهرا شهبانی[1*] و ساناز فضلعلی[2]

۱- دکتری گیاهان زینتی دانشگاه شیراز و پژوهشگر مرکز تحقیقات، آموزش و مشاوره فضای سبز شهرداری منطقه ۵ تهران.

Zahrashahbani@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد جغرافیای شهری و مسئول مرکز تحقیقات، آموزش و مشاوره فضای سبز شهرداری منطقه ۵ تهران.

Sanazfzli@gmail.com

چکیده

امروزه در دوره گرمایش جهانی زندگی می‌کنیم که عامل اصلی تغییر اقلیم است و دلیل اصلی آن فعالیتهای انسانی است. انتشار آلاینده‌ها، افزایش دما، تغییر بارش، افزایش سطح آب دریا، سیل، بادهای شدید، تکرار وقایع ناگهانی، کاهش لایه ازن، کاهش تنوع زیستی، خشکی و تغییر پوشش گیاهی همه از اثرات منفی تغییر اقلیم است. با افزایش دما، انتظار می‌رود گونه‌های سازش یافته به اقلیم‌های گرمتر در مقایسه با گونه‌های سازش یافته به شرایط خنک‌تر، رو به افزایش روند. اگر این فرایند ادامه یابد، منجر به تغییر کلی در پراکنش گیاهان در عرضهای جغرافیایی بالاتر خواهد شد. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌تواند سبب تغییراتی در رشد گیاهان شود و اگر ادامه یابد سبب تغییرات چشمگیر در پراکنش پوشش گیاهی می‌شود. همه گونه‌ها به افزایش دی اکسید کربن بطور مشابه پاسخ نمی‌دهند. گیاهان با هدایت بالای انتشار دی اکسید کربن رشد بیشتری نسبت به گیاهان دارای هدایت پایین‌تر دی اکسید کربن، دارند. از آنجا که بسیاری از علفهای هرز دارای هدایت بالا هستند، در پاسخ به افزایش دی اکسید کربن نسبت به گونه‌های مطلوب با هدایت کمتر، رشد بیشتری خواهند داشت. این رشد متفاوت سبب تغییر در روابط رقابتی گونه‌های یک جامعه می‌شود. از آنجا که رشد گیاهان ممکن است با افزایش دی اکسید کربن افزایش یابد، کیفیت مواد غذایی برخی بافتهای گیاه می‌تواند به علت افزایش کربن و کاهش نسبی نیتروژن کاهش یابد، بنابراین آفات گیاهی ممکن است یا برگ بیشتری مصرف کنند یا رفتار تغذیه‌ای خود را برای بقا، تغییر دهند. پاسخ گیاهان یکساله و چند ساله به افزایش دی اکسید کربن با توجه به رفتار، مقدار و سرعت پاسخ متفاوت است. افزایش دی اکسید کربن اتمسفر ممکن است فقر مواد غذایی خاک را با تجمع مواد معدنی در گیاهان بزرگتر، افزایش دهد. اگر تغییر کربن تهدیدی برای آینده باشد، افزایش جنگل کاری می‌تواند راه حل مفیدی باشد.

واژه‌های کلیدی

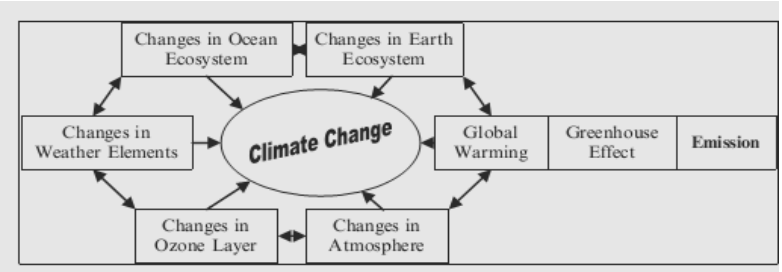
اثر گلخانه‌ای، پوشش گیاهی، تغییر اقلیم، دی اکسید کربن، گرمایش جهانی.

۱. گرمایش جهانی و رابطه آن با تغییر اقلیم

گرمایش جهانی، عامل اصلی تغییر اقلیم است که دلیل اصلی آن فعالیتهای انسانی است. دلیل تغییر اقلیم اثر گلخانه‌ای است که در اتمسفر پایینی رخ می‌دهد. آگاهی در مورد اثر گلخانه‌ای و گرمایش جهانی و ارتباط آنها با تغییر اقلیم برای درک اثرات تغییر اقلیم روی زی توده سبز و برنامه ریزی برای کاهش آن لازم می‌باشد. اقلیم میانگین رفتار آب و هوای بخش بزرگی از زمین در طول یک دوره زمانی می‌باشد. بر خلاف آب و هوا که میانگین دما، بارش و رطوبت یک زمان خاص در یک محل خاص است، اقلیم دارای ابعاد زمانی و مکانی است که شامل انواع وقایع آب و هوا، دوره زمانی، شدت و ماهیت دینامیک آن است. تغییر اقلیم اثرات زیانباری روی محیط دارد. انتشار آلاینده‌ها، افزایش دما، تغییر بارش، افزایش سطح آب دریا، سیل، بادهای شدید، تکرار وقایع ناگهانی، کاهش لایه ازن، کاهش تنوع زیستی، خشکی و تغییر پوشش گیاهی همه از اثرات منفی آن می‌باشند. در واقع تغییر اقلیم یک مفهوم چتری دارد. اولین بار در سال ۱۹۷۹ در اولین کنفرانس اقلیمی جهانی، شواهد علمی نشان داد که بشر اقلیم را تغییر داده است. از آن زمان به بعد پیامدهای خطرناک تغییر اقلیم تا سال ۱۹۸۸ که IPCC تشکیل شد، مشخص نشد [1].

۱،۱. مفهوم چتری (سایبان) تغییر اقلیم

رابطه‌ای میان اثر گلخانه‌ای، گرمایش جهانی و تغییر اقلیم وجود دارد. تغییرات دمایی یا وقایع آب و هوایی به علت اثر گلخانه‌ای و انتشار گازهایی است که سبب ایجاد یک لایه ضخیم در تروپوسفر می‌شوند. گرمایش جهانی حاصل اثرات نیروهای تابشی یک لایه ضخیم گازهای گلخانه‌ای است که امواج گرمایی بلند را گرفته و به زمین منعکس می‌کند و نتیجه آن افزایش تدریجی دمای زمین است. به علت تغییر دما، دینامیک سایر عناصر آب و هوایی نیز تغییر می‌کند که همراه سایر وقایع آب و هوایی، یک جزء ضروری تغییر اقلیم است. اثرات تغییر اقلیم می‌تواند چندگانه، دوگانه یا تجمعی باشد. به طوری که عامل اصلی تغییر اقلیم یعنی انتشار حتی اگر متوقف شود، اثرات آن در طولانی مدت در ابعاد مختلف ادامه خواهد داشت. بنابراین انتشار می‌تواند بصورت مستقیم و غیرمستقیم روی رشد گیاه اثرگذار باشد [2].



شکل ۱- مفهوم چتری تغییر اقلیم

این شکل نشان می‌دهد که انتشار بطور مستقیم به چتر تغییر اقلیم مرتبط نیست، هرچند که دلیل اولیه تغییر اقلیم بوده که از طریق گرمایش جهانی اثر می‌گذارد. یکی از مهمترین اجزا دی اکسید کربن است که بطور مستقیم به رشد رویشی نیز مربوط می‌شود. وقتی غلظت دی اکسید کربن در اتمسفر افزایش می‌یابد، ماهیت و مقیاس این فعالیت‌های فیزیولوژیکی ممکن است تغییر کند و این تغییر روی رشد گیاهان اثر گذار است. اثر غیرمستقیم تغییر اقلیم روی رشد زی توده ممکن است نتیجه تغییرات مربوطه در تنوع اقلیمی باشد که بوسیله تغییرات مشاهده شده در تغییر اقلیم در شکل بالا نشان داده شده است [2].

۲،۱. اثر گلخانه‌ای

در سال ۱۹۸۶ شیمیدان سوئدی Svante Arrhenius فرضیه اثر گلخانه‌ای را مطرح کرد. او بیان کرد که اگر میزان دی اکسید کربن در اتمسفر زمین به دو برابر مقدار کنونی افزایش یابد میانگین دما می‌تواند حدود ۶-۴ درجه سلسیوس افزایش یابد [3]. دی اکسید کربن، اکسید نیتروژن، متان، ازن، کلروفلوروکربن و بخار آب گازهای گلخانه‌ای اصلی بوده که عامل گرمایش جهانی هستند. صرفنظر از

گرمایش جهانی، برخی گازها مانند دی اکسیدکربن، آب و ازن اثر مستقیم روی رشد رویشی با تاثیر روی فعالیت‌های فیزیولوژیکی و برخی دیگر مانند کلروفلوروکربن‌ها روی لایه ازن موثر بوده که نتیجه آن بقای کمتر زی توده رویشی است. در طول قرن بعد، اثر گلخانه‌ای سبب افزایش میانگین دمای جهان تا حدود ۰/۳ درجه سلسیوس در هر دهه می‌شود. اگر این اتفاق رخ دهد نتیجه این تغییرات در گردش و فشار جزئی گازها در اتمسفر ممکن است بطور معکوس روی فرایندهای فیزیولوژیکی و مورفولویکی طبیعی گیاهان اثر گذارد [4]. برخی گازها مانند فلوروکلروکربن در گذشته قبل از صنعتی شدن وجود نداشتند که برای ازن بسیار مضر بوده و با کاهش ضخامت لایه استراتوسفر باعث عبور اشعه فرابنفش خورشید از سوراخهای ازن و پارگی لایه ازن می‌شوند. این خطر در نواحی قطبی نسبت به نواحی استوایی بیشتر است. در میان گازهای شناخته شده دی اکسید کربن کمترین تاثیر را دارد. نیتروژن اکساید حدود ۳۵۰ برابر و کلروفلوروکربن ۲۷۵۰۰-۱۵۰۰۰ برابر از دی اکسید کربن موثرترند. دی اکسید کربن فراوان‌ترین گاز گلخانه‌ای در اتمسفر می‌باشد [5]. جنگل زدایی در آمازن به تنهایی حدود یک بیلیون تن دی اکسید کربن سالانه تولید می‌کند. جنگل زدایی گازهای گلخانه‌ای دیگری مانند متان و نیتروز اکسید را نیز انتشار می‌دهد. برخی محققین باور دارند که متان ۱۰ برابر بیش از کربن به عنوان گاز گلخانه‌ای مهم بوده و سالانه ۱/۲٪ در اتمسفر افزایش می‌یابد [2]. متان دومین گاز گلخانه‌ای با فراوانی زیاد است. متان شش برابر بیش از دی اکسیدکربن روی تغییر اقلیم اثر دارد. بنابراین انتشار متان مهمتر از دی اکسیدکربن است. جانوران یک منبع مهم متان هستند. برای مثال موریانه‌هایی که به فراوانی در جنگلها هستند میکروارگانیزمهایی در شکم خود دارند که باعث انتشار متان می‌شود. متان از نواحی باتلاقی و لجنزاری نیز انتشار می‌یابد. انتشار کل جهانی متان حاصل معدن کاری، موتور وسایل نقلیه، فضولات جانوران، کشتزارهای برنج، آتش سوزی زی توده، موریانه‌ها و باتلاق‌هاست [5].

۳،۱. اثرات تغییر اقلیم روی زندگی گیاه

اثر تغییر اقلیم روی زندگی گیاهان به علت تغییر دما، بارش، الگوهای اقلیمی مانند چرخه‌های مواد غذایی، فعالیت‌های میکروبی و نیز فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان، متفاوت است. تغییر بارش ممکن است رژیم‌های رطوبتی را تغییر دهد. فرسایش خاک، شوری، اسیدی شدن و سایر عوامل فیزیکی و شیمیایی ممکن است تحت تاثیر قرار گیرد. تمام این عوامل ارتباط نزدیکی با رشد رویشی دارند. برای مثال افزایش دمای جهانی تا ۳ درجه سلسیوس تا سال ۲۰۳۰ می‌تواند سبب افزایش سطح آب دریا تا حدود ۰/۸ تا ۱/۸ متر تا قرن آینده شود که بطور عمده به علت انبساط دمایی آب و ذوب شدن ورقه‌های یخی می‌باشد. افزایش یک متری سطح آب دریا می‌تواند یک سوم زمین‌های کشاورزی جهان را یا بطور مستقیم از طریق سیل یا از طریق نفوذ آب شور و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به خطر اندازد. پیامد اثر گلخانه‌ای روی رشد زی توده می‌تواند به دلیل کاهش کشاورزی به علت از دست دادن زمین‌های کشاورزی در اثر سیل و شوری و به خشکی حاصل از افزایش دما و نیز افزایش سرعت انقراض گونه‌ها باشد زیرا زیستگاه‌ها سریعتر از توانایی سازگار شدن بسیاری گونه‌ها، تغییر می‌کنند. تغییر ممکن است پیامد مستقیم یا غیرمستقیم گازهای گلخانه‌ای باشد. با تغییر مستقیم متوجه می‌شویم که گازهای گلخانه ای در رشد زی توده اثر دارند و با تغییر غیرمستقیم درمی‌یابیم که گازها چیزهای دیگری، مانند دما یا جمعیت میکروبی که بر روی رشد زی توده اثر دارند، تغییر می‌دهند. هر دو اثر مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند همزمان رخ دهد. اثرات مورد اول بطور عمده در پاسخ فرد به فرد و بر اساس رفتار در شرایط افزایش دی اکسید کربن است در حالی‌که اثرات مورد دوم، پاسخ اکوسیستم به افزایش دی اکسیدکربن است. در هر دو مورد برخی تغییرات اولیه هستند که به نسبت تشخیص آن‌ها آسانتر می‌باشند و برخی ثانویه هستند و برای توضیح بسیار پیچیده‌اند. چنین تغییراتی ممکن است تغییر در ترکیب نسبی گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر را افزایش داده و میزان اثر گلخانه‌ای را تغییر دهند. پاسخ کلی رشد با توجه به اقلیم و نوع پوشش گیاهی مانند گیاهان بومی جنگل‌ها، چمنزارها، بیابان و غیره متفاوت است [2].

۴،۱. اثر افزایش دی اکسید کربن روی پوشش گیاهی

غلظت دی اکسید کربن در اتمسفر زیاد شده و اگر این افزایش ادامه یابد ممکن است تغییرات جهانی مهمی را از طریق افزایش دمای جهانی با تغییرات بعدی در دیگر متغیرهای اقلیمی و نیز تغییر در پوشش گیاهی زمین با تاثیر بر فتوسنتز و کارایی استفاده از آب، ایجاد کند. این تغییرات ممکن است، به نوبه خود، منجر به تغییرات دیگری در کره زمین شود که آن را تغییرات غیرمستقیم می‌نامیم. تغییرات غیرمستقیم در اقلیم و پوشش گیاهی ممکن است اثرات جهانی و منطقه‌ای مانند تغییر در سطح دریا، در دسترس بودن آب، الگوی

جغرافیایی کشاورزی، جنگل‌ها و شیلات را بدنبال داشته باشد. همه این تغییرات ممکن است با یکدیگر برهم کنش داشته، در نتیجه بر میزان تاثیر فردی هر یک از این تغییرات مؤثر باشند. برای مثال تغییر ذخایر آبی، دما و بارش هر یک به رشد زی توده مربوط است در حالی که خود بهم وابسته‌اند. پاسخهای پوشش گیاهی به افزایش غلظت دی اکسیدکربن ممکن است با اثر تغییر اقلیم روی پوشش گیاهی و برعکس تغییر کند که این اثرات هم افزایی دارند. تغییر در پوشش گیاهی ممکن است بدلیل اثر تغییر اقلیم بر تغییر سرعت تبخیر-تعرق از سطح گیاهان و تبخیر رطوبت خاک باشد. این مقدار دی اکسید کربن اتمسفر ممکن است با تغییر دی اکسیدکربن ناشی از پوشش گیاهی تحت تاثیر قرار گیرد. گیاهان در حال رشد، دی اکسید کربن را جذب می‌کنند (محل مصرف) و گیاهان در حال پوسیدگی آن را رها می‌کنند (منبع). این اثرات بهم وابسته نشان می‌دهد برای پیش بینی میزان اثرات مستقیم دی اکسید کربن روی زی توده، کل سیستم باید مورد آزمایش قرار گیرد. افزایش دی اکسید کربن اتمسفری احتمالا برای گیاهان سودمند است، زیرا سبب افزایش فتوسنتز و کاهش تعرق می‌شود. کاهش تعرق مرتبط با افزایش دی اکسید کربن به علت کاهش اندازه روزنه‌هاست که سبب کاهش از دست دادن آب از طریق تعرق می‌شود. این اثر حداقل مقداری از اثرات افزایش خشکی را که ممکن است در برخی نواحی به علت تغییر اقلیم حاصل از افزایش دی اکسید کربن رخ دهد، جبران می‌کند. این جنبه‌های افزایش غلظت دی اکسید کربن در اتمسفر ممکن است توسط دو عامل پاسخ‌های مختلف گونه‌های گیاهی به دی اکسید کربن و تغییر اقلیم مرتبط با افزایش دی اکسید کربن، برعکس شود، کاهش یابد، حذف شود یا افزایش یابد. انتظار می‌رود برخی از گیاهان بیش از سایر گیاهان از اثرات مستقیم دی اکسید کربن سود برند. در برخی سیستمهای کشاورزی گیاهان نامطلوب اقتصادی می‌توانند بیش از گیاهان مطلوب سود برند [6]. در جنگل‌ها در مقیاس زمانی طولانی که تک درختان با یکدیگر رقابت می‌کنند ممکن است منجر به دامنه‌ای از تغییرات شود. تنش مواد غذایی ممکن است ارزیابی پاسخ‌های مختلف را پیچیده‌تر کند. در جنگل‌هایی که خاک جنگل بطور مستقیم با کاربرد کود کنترل نمی‌شود اثر مستقیم افزایش دی اکسید کربن ممکن است محدود شود و از گونه‌ای به گونه دیگر با ناتوانی در جذب مواد غذایی ضروری متفاوت باشد. گرچه افزایش دی اکسید کربن احتمالا از یک ناحیه به ناحیه دیگر به نسبت ثابت است، تغییر اقلیمی مربوط به آن از نظر مکانی غیریکنواخت بوده و شامل اثرات تلفیقی (مثبت یا منفی) متغیرهای بی‌شماری است. برای مثال در مورد گیاهان آبزی افزایش دی اکسیدکربن ممکن است از طریق افزایش فتوسنتز سودمند باشد [7] اما اثر تعرق بنظر می‌رسد نسبت به گونه‌های گیاهی خاکزی از اهمیت کمتری برخوردار باشد. بنابراین جزئیات پاسخ‌های گونه‌های گیاهی مختلف و اثر تغییر اقلیم روی جنگل، کشاورزی یا سیستم‌های آبی خیلی مشخص نیست. زمان پاسخگویی نیز نامشخص است. درختان طولانی عمر نشان می‌دهند که جنگل‌ها ممکن است یک قرن یا بیشتر طول بکشد تا به تغییر اقلیم پاسخ دهند. پاسخ‌های رشدی ممکن است بطور جزئی با افزایش دی اکسید کربن اتمسفر و اثرات اقلیمی برهمکنش نشان دهند. جنگل‌ها یک جزء مهم چرخه کربن جهانی هستند و اثرات تلفیقی جهانی افزایش دی اکسید کربن اتمسفر ممکن است به تغییر در مقدار کربن ذخیره شده در جنگل‌های جهان منجر شود. اگر تنها اثرات رویشی مستقیم در نظر گرفته شود، سبب افزایش کربن ذخیره‌ای در جنگل‌ها می‌شود، گرچه این اثر شاید با افزایش تنفس کاهش یابد. پراکنش جغرافیایی و زمان فصلی تغییر اقلیم ناشی از افزایش دی اکسید کربن نیز روی این بودجه کربنی اثر می‌گذارد. بنابراین حتی جهت تغییرات آینده در کربن ذخیره‌ای کل در جنگل‌های جهان، مشخص نمی‌باشد. اگر آب یا مواد غذایی برای رشد محدود شود سپس افزایش دی اکسید کربن اثر جزئی روی رشد دارد. تغذیه دی اکسیدکربن ممکن است تنش آبی و دیگر انواع تنش را کاهش دهد. بنابراین انتظار می‌رود درختانی که در تنش خشکی هستند به افزایش غلظت دی اکسید کربن بیش از درختان بدون تنش، پاسخ دهند [2].

۵،۱. فرایندهای فیزیولوژیکی مربوط به افزایش دی اکسید کربن

روشن نیست که تا چه حد پاسخ رشد بلند مدت درختان به افزایش دی اکسید کربن می‌تواند از مطالعات کوتاه مدت دانهال‌ها استنباط شود. مطالعات اثر دی اکسید کربن اتمسفر بر رشد گیاهان با افزیش کوتاه مدت دی اکسید کربن انجام شده است. ممکن است وقتی مدت زمان تماس گیاه با دی اکسیدکربن زیاد شود، افزایش سرعت رشد نسبی در پاسخ به افزایش دی اکسید کربن ثابت نباشد [8]. تغذیه با دی اکسید کربن نیاز گیاه به مواد معدنی را افزایش می‌دهد. کاهش مواد غذایی می‌تواند منجر به کاهش سرعت رشد نسبی با

کاهش سرعت آسیمیلاسیون یا انتقال زی توده به برگ‌ها شود. بنابراین کاهش سرعت رشد نسبی گیاهان در معرض دی اکسید کربن نسبت به شاهد ممکن است پاسخ فیزیولوژیکی مستقیم به تغذیه دی اکسید کربن یا پاسخ غیر مستقیم وابسته به افزایش نمو یا بلوغ یا تاکید روی عوامل محدود کننده دیگر باشد. در اثر افزایش دی اکسید کربن نه تنها رشد رویشی، بلکه گلدهی و تشکیل میوه در گیاهان ممکن است بطور معنی داری تغییر کند. تفاوت در گلدهی و میوه دهی ممکن است بیشتر با دما، بارش و تغییرات فصلی به علت تغییر اقلیم، تاثیر پذیرد. اگر چنین تغییرات ناگهانی در اندامهای جنسی گیاهان ایجاد شود، باروری گیاهان با بلوغ متفاوت اندامکهای نر و ماده گل‌ها، و به علت کمبود عوامل باروری تاثیر خواهد پذیرفت. در چنین محیطهایی احتمال انقراض گونه‌ها وجود دارد. رشد زی توده به علت افزایش غلظت دی اکسید کربن اتمسفری در بخشی به قابلیت سازگاری گونه با تغییرات غلظت کربن و بدنبال آن تغییر اقلیم وابسته می‌باشد. قابلیت سازگاری در میان گیاهان یکساله و چندساله بسته به سرعت تغییر اقلیم و غلظت دی اکسید کربن، ممکن است متفاوت باشد [2]. گیاهان ممکن است خودشان را به غلظتهای بالاتر دی اکسید کربن اتمسفر از طریق تغییر منفذ روزنه، سازگار کنند. اگر نسل بعد در همان غلظت یا بالاتر قادر به رشد نباشد، بعدا تغییر در باز شدن روزنه‌ای ممکن است باقی نماند و به ارث نرود. اما اگر نسل بعدی تغییرات مشابه در باز شدن روزنه داشته باشد، این بعدها نشان می‌دهد که گیاه به تغییرات سازگار شده است. اگر ۷۰ سال را به عنوان یک دوره که دو برابر شدن غلظت دی اکسید کربن رخ خواهد داد در نظر بگیریم تا این زمان گیاهان یکساله نسل‌های زیادی برای سازگاری با تغییرات خواهند داشت در حالی که چندساله‌هایی با عمر طولانی تنها یک بخشی از چرخه زندگی خود را برای سازگار شدن خواهند داشت. بنابراین در طولانی مدت، یکساله‌ها ممکن است به اکوسیستم حمله کرده و چنین حمله‌ای به احتمال خروج تدریجی چندساله‌ها را از سیستم خواهد داشت. به علاوه انتخاب طبیعی تعیین خواهد کرد کدام گیاهان برای سازگاری بهترین بوده یا برای افزایش دی اکسید کربن جهانی آینده مناسب ترند. گیاهانی با ویژگی‌های بقای بیشتر و امتیاز زایشی در رقابت با تمام گیاهان انتخاب خواهند شد و احتمال تغییر در ترکیب زی توده سبز وجود خواهد داشت [9].

۶,۱. تغییرات اخیر در فنولوژی گیاهان

خلاصه‌های تاثیر اقلیم که اخیرا چاپ شده بر اهمیت فنولوژی در نشان دادن تاثیر گرمایش اقلیمی روی جهان طبیعی، تاکید دارد. شواهدی در تغییر فنولوژی هم در گیاهان کشت شده و هم در گیاهان بومی در اروپا، شمال آمریکا و ژاپن وجود دارد. در ۶۹٪ از ۳۸۵ گونه گیاهی زود گلدهی مشخص شده است. دما شاید مهمترین فاکتور این تغییرات باشد، ارزیابی اولیه نشان می‌دهد که در ۸۳٪ از ۳۸۵ گونه رابطه معنی‌داری با میانگین دمای هوای ماهانه دارند [10]. کاملترین ارزیابی تاریخ تشکیل برگ در اروپا روی درختانی بود که در طول ۳۰ سال رشد کرده بودند. از ۶۱۶ سری بهار، تسریع تشکیل برگ با میانگین ۶ روز در طول ۳۰ سال، آشکار بود. در شمال شرق اسپانیا در سال ۲۰۰۲ تسریع تشکیل برگ در ۲۴ گونه از ۲۵ گونه مورد آزمایش، با تسریع ۲۰ روز در طول ۴۸ سال دیده شد. برای وقایع پاییز داده‌های کمتری در دسترس است اما تشکیل میوه تسریع شده و رنگ گیری و خزان برگ به احتمال با افزایش دما به تاخیر افتاده است [11]. تمایل به زود میوه دهی در ۲۷ گونه در شمال شرقی اسپانیا در دوره ۲۰۰۰-۱۹۵۲ با میانگین ۸ روز و یک گرایش به سمت خزان دیرتر با میانگین تاخیر ۱۳ روزه وجود داشت. از این خلاصه تغییرات گزارش شده واضح است که یک پیشرفت قابل توجه در تاریخ تشکیل برگ، گلدهی و میوه دهی گیاهان و یک تاخیر در خزان برگها در نیم قرن گذشته، وجود داشته است [12]. پیامد این موضوع افزایش طول فصل رشد است که نه تنها روی گونه‌های بومی بلکه روی گونه‌های جنگلی و کشاورزی اثر دارد [14][13]. گزارشات موجود از نظر مکان و گونه همگن و یکنواخت نیست. این موضوع نگران کننده‌تر است. در یک موقعیت پاسخهای گسترده‌ای به گرمایش اقلیم وجود دارد، برخی کاملا مشخص و برخی قابل چشم پوشی و برخی حتی متفاوت از چیزی است که قابل انتظار است. پژوهشگرانی سال ۲۰۰۲ گزارش کردند که گونه‌های یکساله بیش از گونه‌های چندساله و گونه‌هایی که با حشرات گرده افشانی می‌شوند بیش از گونه‌هایی که با باد گرده افشانی می‌شوند و آنهایی که در مرکز دامنه پراکنشی هستند بیشتر از گونه‌هایی که در لبه دامنه هستند، پاسخ می‌دهند [10].

۷,۱. تغییرات سالانه در فنولوژی گیاه نسبت به تغییرات دمایی

شروع زودتر بهار و تابستان ارتباط نزدیکی به تغییر دما دارد. پاسخ به دما از شروع وقایع بهار و تابستان بخوبی درک شده و بدنبال آن طول فصل رشد به اقلیم و آب و هوا بسیار حساس است [16][15]. در طول خفتگی درونی[1] گیاهان، نیاز به سرما یا نیاز سرمایی برای شکستن این مرحله دارند، در طول خفتگی بیرونی[2] یا استراحت، دماهای گرم منجر به شکفتن جوانه می‌شود. همانطور که نیاز سرمایی گیاهان براورده می‌شود و خفتگی شکسته می‌شود، افزایش دماهای زمستان و بهار منجر به پیشرفت مراحل بهار و تابستان خواهد شد. بنابراین افزایش دمای مشاهده شده در طول دهه اخیر به پیشرفت مراحل فنولوژیکی بهار و تابستان منجر می‌شود. شواهد بسیاری از مطالعات متعدد وجود دارد که بهار و تابستان مراحلی هستند که به مقدار بسیار زیادی تحت تاثیر دمای یک تا سه ماهه قبلی دارند، زمانی که گیاهان سرمای کافی را برای غلبه بر استراحت زمستانه خود تجربه کرده‌اند، دماهای گرمتر را برای شروع جوانه‌زنی و گلدهی نیاز دارند. دماهای بهار نقش مهمی در تعیین زمان رسیدن میوه در تابستان و پاییز و نیز طول فصل رشد، دارند. برای جلوگیری از شکست رکود خیلی زودهنگام یا تحریک خیلی دیرهنگام خفتگی در پاییز، نورگاهی یا طول روز نقش مهمی در ظهور وقایع فنولوژیکی دارد. در بسیاری مناطق خفتگی با نورگاه و سرمای کافی می‌شکند و فقط شرایط گرمتر بعدی شروع تاریخ شکوفایی جوانه و دیگر مراحل بهار را نشان می‌دهد. شواهدی وجود دارد که آب و هوای گرم در می و ژوئن رنگ‌گیری برگ را بیشتر می‌کند در حالی‌که گرمای اواخر تابستان و اوایل پاییز در آگوست و سپتامبر رنگ‌گیری برگ را به تاخیر می‌اندازد [16]. آشکارترین تغییر در مراحل فنولوژیکی مشاهده شده در طول دو تا سه دهه آخر در عرضهای جغرافیایی وسط و بالاتر شروع زودتر مراحل بهاری مختلف مانند گلدهی یا باز شدن برگ و یک فصل رشد طولانی به علت شروع زودتر بهار است. این طولانی شدن فصل رویشی ممکن است چندین پیامد مختلف داشته باشد. شروع زودتر گلدهی گیاهان حساسیت زای گرده دهنده که بر سلامت افرادی که از آن رنج می‌برند اثر گذار است. مورد دیگر برهم کنش گونه‌های گیاهی با مهره داران و بی‌مهرگان است مثلا تفاوت فنولوژی در گونه‌هایی که همزمانی مهمی بین آنها وجود دارد مانند تفاوت فنولوژی حشرات گرده افشان با گیاهان و پراکنش بذر [17].

۸,۱. پاسخهای رشد گیاهان و تغییر ذخیره آب در یک اقلیم تغییر یافته

بارش فراوان سبب ایجاد سیلاب شده که فشار جزئی اکسیژن اطراف ریشه گیاهان را کاهش می‌دهد و معمولا به کاهش هدایت هیدرولیکی و جذب آب منجر می‌شود. بنابراین حتی وقتی آب قابل دسترس در خاک فراوان است، کمبود آب در گیاه رخ می‌دهد [18]. چنین تغییری در وضعیت آب، رشد گیاه را کاهش خواهد داد و بی نظمی‌های شیمیایی دیگر ناشی از غرقابی مانند تغییر در میزان هورمون خاک و گیاه و تجمع متابولیتهای سمی، ایجاد خواهد شد [19].

۹,۱. تغییر رویشی و خشکی:

در طولانی مدت مرگ گیاهان چوبی ممکن است به تغییر پراکنش جغرافیایی گونه‌ها منجر شود. برای مثال یک مدل شبیه سازی در پرتقال پیش بینی کرد که زی توده غالب جنگلی ممکن است از حدود ۳۰ به ۱۷٪ کاهش یابد، در حالیکه درختچه‌ها و چمنها ممکن است در شرایط تغییر اقلیمی با افزایش دو برابری غلظت دی اکسید کربن از ۲ تا ۲۴٪ افزایش یابند [20]. خشکسالی ممکن است مرز جامعه گیاهی را تغییر دهد. برای مثال در شمال مکزیک یک خشکی شدید در طول دهه ۱۹۵۰ رخ داد که سبب تغییر بین جنگل *Pinus edulis* و گیاهان چوبی *Juniperus monosperma* با بیش از ۲ کیلومتر شد. این تغییر سریع و کمتر از ۵ سال بود و با مرگ *Pinus edulis* رخ داد در حالی‌که مقاومت به خشکی *Juniperus monosperma* در فضای جدید وجود داشت. خشکی سال ۲۰۰۳ منجر به مرگ درختان گونه‌های غالب *Pinus edulis* شد. این مرگ نسبت به دهه ۱۹۵۰ شدیدتر بود زیرا در سال ۲۰۰۳ بهمراه افزایش غیرطبیعی دمای هوا بود. در شرایط کمبود آب شدید درختانی که یک ساقه تنها دارند نسبت به درختچه ها با چندین ساقه، ممکن است به کم آبی بیشتر حساس باشند [21].

---

[1] endo-dormancy
[2] exo-dormancy

۱۰،۱. خشکی و آتش سوزی

آب و هوای خشک خطر سوختن زی توده را افزایش می‌دهد، برای مثال در اثر خشکی شدید سال ۱۹۹۴ تعداد زیادی از درختان چوبی در اسپانیای مرکزی و جنوبی آسیب دید [22] و یک آتش سوزی جنگلی رخ داد که حدود ۱،۶٪ نواحی جنگلی طبیعی را سوزاند. در سومین گزارش IPCC بیان شده که بیشینه دمای بیشتر، افزایش روزهای داغ و امواج گرمایی که احتمال وقوعشان در همه نواحی زیاد است خطر آتش سوزی جنگلها را افزایش می‌دهد [23]. تغییر در اقلیم مانند افزایش شدت خشکی درختان را در تنش قرار خواهد داد و ممکن است روی پراکنش سایر موجودات اثر گذارد، برخی از آنها برای نقش اکوسیستم مانند مایکوریزا و نیز حفظ تنوع زیستی ضروری هستند. بسیاری مشاهدات نشان می‌دهد که گیاهان قرار گرفته در تنش خشکی ممکن است به حمله حشرات حساس‌تر باشند [19]، برای مثال تنش آبی نقش مهمی در رشد لارو *Phorachantha semipunctata* داشت که یک حشره آفت بود و به درختان اکالیپتوس در استرالیا حمله کرد [24].

۱۱،۱. اثرات تغییر دما و بارش روی جوامع گیاهی

اقلیم گرمتر منجر به تغییر پراکنش گونه‌ها به سمت عرضهای جغرافیایی بالاتر در مقایسه با مکانهای فعلی آنها می‌شود. با افزایش دما گونه‌های سریع رشدتر ممکن است امتیاز داشته و با افزایش ارتفاع و کاهش دسترسی به نور، جایگزین گونه‌های کند رشد شوند. در شرایطی که تغییر اقلیم ممکن است باعث کمبود آب شود فراوانی گونه‌های پر رشد، کم شده و به سمت گونه‌های متحمل‌تر به خشکی و کم رشدتر تغییر می‌یابد. در این مورد تفاوتهای زیادی بین گونه‌ها و سازگاری آنها به شرایط خاص وجود دارد [19].

۱۲،۱. رقابت

اثر رقابت در میان درختچه‌های کوهستانی در ژاپن نشان داد با افزایش دما حدود ۱/۵ تا ۲/۳ درجه سلسیوس در طول فصل رشد. دو بوته همیشه سبز غالب در کانوپی *Ledum palustre* و *Empetrum nigrum* رشد رویشی و ارتفاعشان افزایش یافت در حالی‌که *Vaccinium vitis-idaea* رشدش کاهش یافت [25].

۱۳،۱. تغییر قابلیت دسترسی به آب و برهم کنش بین تنوع اقلیمی

گرمایش یک ویژگی تغییر اقلیم در بیشتر نواحی جهان است، اما تغییر در الگوهای بارش با تغییر فصل و ناحیه، پیچیده‌تر می‌باشد [23]. حتی جایی که الگوهای بارشی تغییر نکند، افزایش دما به تنهایی روی تعادل آبی گیاهان و افزایش سرعت تبخیر-تعرق اثر داشته و ممکن است روی طول مدت پوشش برف در طول زمستان اثرگذار باشد. یک آزمایش طولانی مدت گرما در کوهستانهای راکی آمریکا تغییری از گونه‌های علفی به سمت درختچه‌ای گیاه *Artemisia tridentate* نشان داده است. در بیشتر کشورها بخصوص جنوب شرقی یک تغییر بسمت بارش کمتر در تابستان و بارش بیشتر در زمستان است. این نشان دهنده خشکی‌های تابستانه منظم‌تر اما سیل و غرقابی در زمستان است. گونه‌های ریشه بلند با ظرفیت بیشتر دسترسی به آب از اعماق خاک، جایگزین گونه‌های ریشه کوتاه می‌شوند [26].

۱۴،۱. برهم کنش بین اقلیم و چرخه مواد غذایی

چرخه مواد غذایی مستقل از اقلیم نیست و بررسی‌های آزمایشگاهی اثر تغییر اقلیم را روی فرایندهای چرخه مواد غذایی در سالهای اخیر نشان داده است. افزایش دما سرعت تجزیه و آزادسازی مواد غذایی را از طریق فرایند معدنی شدن افزایش می‌دهد، هرچند که تفاوت زیادی بین خاکها و زیستگاههای مختلف وجود دارد. میزان آب خاک که از طریق بارش، تبخیر-تعرق و زهکشی تاثیر می‌پذیرد (و توسط توپوگرافی و نفوذپذیری کنترل می‌شود) یک فاکتور اصلی کنترل کننده تجزیه است. بنابراین، خاکهای خیلی خشک و خیلی مرطوب دسترسی کمی به مواد غذایی دارند. جایی که تغییر اقلیم سبب غرقاب شدن یا خشک شدن خاکها شود، دسترسی به مواد غذایی برای گیاهان کاهش خواهد یافت نقش مهم رقابت برای مواد غذایی در تعیین اثرات تغییر اقلیم روی جوامع قطبی نشان داد. دسترسی به مواد غذایی با تیمار گرمایی افزایش یافت و درختچه‌های کوتاه *Salix Polaris* پاسخ بهتری به این منبع مواد غذایی نسبت به *Luzula confuse* نشان دادند ([26].

۱۵,۱. محدودیت پراکنش

با افزایش دما در هر موقعیت خاص، انتظار می‌رود گونه‌های سازش یافته به اقلیمهای گرمتر در مقایسه با گونه‌های سازش یافته به شرایط خنک‌تر، تمایل به افزایش داشته باشند. اگر این فرایند بصورت منطقی ادامه یابد، منجر به تغییر کلی در پراکنش گیاهان به عرضها و جغرافیایی بالاتر خواهد شد. یک مثال خوب درخت راش *Fagus sylvatica* در انگلستان است. هر چند این گیاه در بیشتر بخشهای کشور کشت شده اما با افزایش خشکی تابستان در آینده، به احتمال نواحی جنوب شرقی کشور برای این گونه مناسب نبوده و جامعه جنگلی درختان راش انگلستان ممکن است در نواحی که بومی نیستند، بهتر حفظ شوند [26].

۱۶,۱. برهم کنش با جانوران

جانوران به روش‌های مختلفی روی گیاهان اثر دارند، اما در میان آنها گیاهخواری، گرده افشانی و عوامل پراکندگی مهمترین هستند. یکی از مهمترین مسائل در درک اثرات اکولوژیکی تغییر اقلیم، چگونگی اثرات متمایزکننده روی برهم کنش گونه‌هاست که ممکن است به اختلال رابطه منجر شود. در مورد گرده افشانی همزمانی شکوفایی جوانه با دوره‌ای است که گرده افشان فعال باشد. اگر فنولوژی گیاه و جانور بطور متفاوتی به تغییر اقلیم پاسخ دهد، همزمانی بین آنها ممکن است از بین رود. این یک خطر جدی است چون بسیاری از گرده افشانها حشرات پرواز کننده مانند زنبورها با چرخه زندگی فصلی می‌باشند. در انگلستان مشخص شد تاریخ گلدهی گونه‌هایی که با حشرات گرده افشانی می‌شوند نسبت به آنهایی که با باد گرده افشانی می‌شوند، به تغییر دمایی حساس‌تر می‌باشد [10]. اگر پراکنش یک جانور گرده افشان قبل از عمل گرده افشانی گیاه تغییر کند، ممکن است منجر به اختلال رابطه جانور با گیاه شده و جانور گرده افشان هیچ نوع دسترسی به گیاه نخواهد داشت بخصوص اگر گیاه با حشره خاصی گرده افشانی شود. پراکنش بذر نیز مشابه این وضعیت است. اقلیم روی ترکیب بیوشیمیایی و ساختار گیاهان به روشهایی که بتوانند اثر مهمی روی کیفیت مواد غذایی برای گیاهخواران داشته باشند، اثر می‌گذارد. جانوران نقش غیرمستقیم مهمی نیز روی جامعه گیاهی مانند نقش آنها در تجزیه و انتشار مواد غذایی دارند [26].

۱۷,۱. شیوع آفات

حشرات و میکروارگانیزمها از آفات محصولات می‌باشند. ماهیت هجوم آفات می‌تواند به علت اثرات افزایش دی اکسید کربن و قابلیت سازگاری تغییر کند. میلیونها هکتار جنگل کاج در کلمبیا توسط سوسک پوستخوار که قبلا در آن نواحی وجود نداشت، از بین رفته‌اند. سوسک پوستخوار به علت تغییر اقلیم مربوط به گرم شدن زمین، به آنجا مهاجرت کرده و در زیستگاه جدید مستقر شده است. قرنها طول می‌کشد تا این کاجها بر علیه آن آفات سازش یابند. تغییرات مشابهی در حمله سوسک آسیایی شاخک بلند به جنگلهای زبان گنجشک انتاریو، پیش بینی شده است [2].

۲. نتیجه‌گیری

امروزه در دوره گرمایش جهانی زندگی می‌کنیم. دمای هوا از سال ۱۹۰۰ حداقل ۰,۶درجه سلسیوس افزایش یافته است. دلیل اصلی این گرمایش انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط فعالیتهای انسانی است. افزایش غلظت گازهای خاصی در اتمسفر سبب ایجاد اثر گلخانه‌ای می‌شود. دی اکسید کربن یکی از مهمترین این گازهاست. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌تواند سبب تغییراتی در رشد گیاهان شود و اگر ادامه یابد سبب تغییرات چشمگیر در پراکنش پوشش گیاهی می‌شود. همه گونه‌ها به افزایش دی اکسید کربن بطور مشابه پاسخ نمی‌دهند. گیاهان با هدایت بالای انتشار دی اکسید کربن رشد بیشتری را نسبت به گیاهان دارای هدایت پایین‌تر دی اکسید کربن دارند. از آنجا که بسیاری از علفهای هرز دارای هدایت بالا هستند، در پاسخ به افزایش دی اکسید کربن نسبت به گونه‌های مطلوب با هدایت کمتر، رشد بیشتری خواهند داشت. این رشد متفاوت سبب تغییر در روابط رقابتی گونه‌های یک جامعه می‌شود. از آنجا که رشد گیاهان ممکن است با افزایش دی اکسید کربن اتمسفر افزایش یابد، کیفیت مواد غذایی برخی بافتهای گیاه می‌تواند به علت افزایش حضور کربن و کاهش نسبی نیتروژن کاهش یابد. بنابراین حشرات آفت ممکن است یا برگ بیشتری را مصرف کنند یا رفتار تغذیه‌ای خود را برای بقا، تغییر دهند. ممکن است شماری پاسخ ثانویه در ارتباط با افزایش سرعت تثبیت دی اکسید کربن نیز رخ دهد که شامل تغییر برهم کنش در میان گیاهان رقابت کننده، تغییر جمعیت جانوران یا بروز بیشتر بیماری‌های گیاهی باشد. این موضوع ممکن است مقدار کربن خالص اکوسیستم را تغییر دهد. مطالعات و مشاهدات روی تاثیر دی اکسید کربن بر رشد گیاه هنوز کامل نیست. بیشتر مطالعات در اتاقکهای

رشد انجام شده که ممکن است نتیجه آن در مزرعه کاربردی نباشد. پاسخ گیاهان یکساله و چند ساله به افزایش دی اکسید کربن ممکن است با توجه به رفتار، مقدار و سرعت پاسخ متفاوت باشد. اما در یک اکوسیستم متعادل با تغذیه جانوران از گیاهان، بیمارگرها با محدود کردن رشد و گیاهان رقابت کننده با محدود کردن آب و مواد غذایی، مشخص نیست در کل، تولید زی توده در اکوسیستم افزایش یابد. فزایش دی اکسید کربن اتمسفر ممکن است فقر مواد غذایی را در خاک برخی اکوسیستم‌ها با تجمع مواد معدنی در گیاهان بزرگتر، افزایش دهد. تغییر در رشد گیاهان مانند تغییر اقلیم در سراسر جهان رخ خواهد داد. اگر تغییر کربن تهدیدی برای آینده باشد، افزایش جنگل کاری راه حل مفیدی می‌تواند باشد. در نواحی گرم و مرطوب پیش بینی شده که به ۷۰۰ میلیون هکتار جنگل برای جذب دی اکسید کربن مربوط به سوخت فسیلی نیاز می‌باشد.

۳. منابع

[1] Depledge, J., Lamb, R., 2005. Caring for climate: a guide to the climate change convention and the Kyoto protocol, Climate Change Secretariat (UNFCCC), Bonn, 27 pp.
[2] Ali, M., 2013. Climate Change Impacts on Plant Biomass Growth, Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 113 pp.
[3] Falk, J.A., Brownlow, A., 1989. The greenhouse challenge: what is to be done, Penguin Book, Ringwood.
[4] Rastetter, E. B., Ryan, M. G., Shaver, G. R., Melillo, J. M., Nadelhoffer, K. J., Hobbie, J. E., Aber., J. D., 1991. A general biogeochemical model describing the response of carbon and nitrogen cycles in terrstrial ecosystems to changes in carbon-dioxide, climate and nitrogen deposition. In: Kaufmann, M. R., Landsberg, J. J (eds) Advancing towards closed models of forest ecosystems. A special volume of tree physiology, Heron Publications, Victoria 9: 101–126.
[5] Williams, D. J., 1990. Australian methane fluxes. In: Swaine, D. J. (ed) Greenhouses and energy. CSIRO, Canberra, pp 165–176.
[6] White, M. R., 1985. Objectives of the current study of indirect effects. In: White, M.R. (ed) Characterization of information requirements for studies of CO2 effects: water resources,
agricultures, fisheries, forests and human health. DOE/ER-0236. United States Department of
Energy, Washington, DC, 2–8.
[7] Blasing, T. J ., 1985. Background: carbon cycle, climate and vegetation response. In: White, M. R (ed) Characterization of information requirements for studies of CO_2 effects: water resources, agricultures, fisheries, forests and human health. DOE/ER-0236. United States Department of Energy, Washington, DC, 10–22.

[8] Tolley, L. C., Strain, B. R., 1984. Effects of CO_2 enrichment on growth of *liquidambar stryaciflua* and *P. taeda* seedlings under different irradiance levels. Canadian Journal of Forest Research, 14, 343–350.
[9] Kimball, B. A .,1985. Adaptation of vegetation and management practices to a higher carbon dioxide world. In: Strain, B. R., Cure, J. D (eds) Direct effects of increasing carbon dioxide on vegetation. United States Department of Energy, Washington, DC, 185–204.
[10] Fitter, A. H., Fitter, R. S. R., 2002. Rapid changes in flowering time in British plants, Science, 296, 1689–1691.
[11] Menzel, A., Fabian, P., 1999. Growing season extended in Europe. Nature, 397 (6721), 659-659.
[12] Pe˜nuelas, J., Filella, J., Comas, P., 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region, Global Change Biology, 8, 531–544.
[13] Chmielewski, F., Muller, A., Bruns, E., 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. Agric. For. Meteorol, 121, 69–78.
[14] Williams, T. A., Abberton, M. T., 2004. Earlier floweringbetween1962 and 2002 in agricultural varieties of white clover, Oecologia, 138, 122–126.

[15] Sparks, T. H., Jeffree, E. P., Jeffree, C. E., 2001. An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-termphenological records from the UK. International Journal of Biometeorology, 44, 82–87.
[16] Menzel, A., 2003. Phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. Climate Change, 57 (3), 243–263.
[17] Spiecker, H., 1999. Overview of Recent Growth Trends in European Forests.Water, Air, and Soil Pollution, 116, 33–46.
[18] Jackson, M. B., Davies, W. J., Else, M. A., 1995. Pressure-flowrelationships, xylem solutes and hydraulic conductivity in roots of flooded tomato plants. Annual Botany, 77, 17–24.
[19] Morison, J. I., Morecroft, M. D. (Eds.)., 2006. Plant growth and climate change. John Wiley & Sons. 232 pp.
[20] Pereira, J. S., Correia, A. V., Correia, A. P., Branco, M., Bugalho, M., Caldeira, M. C., Souto-Cruz, C., Freitas, H., Oliveira, A. C., Pereira, J. M. C., Reis, R. M., Vasconcelos, M. J., 2002. Forests and biodiversity. In: Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures (eds Santos, F. D., Forbes, K., Moita, R). Gradiva, Lisboa, Portugal.

[21] Breshears, D. D., Cobb, N. S., Rich, P. M., Price, K. P., Allen, C. D., Balice, R. G., Romme, W. H., Kastens, J. H., Floyd, M. L., Belnap, J., Anderson, J. J., Myers, O. B., Meyer, C. W., 2005. Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 102, 15144–15148.
[22] Pe˜nuelas, J., Lloret, F., Montoya, R., 2001. Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. Forest Science, 47 (2), 214–218.

[23] IPCC., 2001. Climate Change 2001, the Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Keeling, R. F., Piper, S. C., Heimenn, M., 1996. Global and hemispheric CO_2 sinks deduced from changes in atmospheric O_2 concentration. Nature, 381, 218–221.
[24] Caldeira, M. C., Fernand'ez, V., Tom'e, J., Pereira, J. S., 2002. *Eucalyptus longicorn* borer response to tree water stress. Annual Forest Science, 59, 99–106.
[25] Kudo, G., Suzuki, S., 2003. Warming effects on growth, production and vegetation structure of alpine shrubs: a five-year experiment in northern Japan. Oecologia, 135, 280–287.
[26] Morecroft, M. D., Paterson, J. S., 2006. Effects of temperature and precipitation changes on plant communities. In: Plant growth and climate change, 146-161.