تغییر اقلیم و گرده‌افشان‌ها

- **خدیجه مداحی**

دانشجوی دکتری گیاهپزشکی- حشره‌شناسی کشاورزی دانشگاه گیلان.

نویسنده: Dharam P. Abrol **فصل پانزدهم از کتاب: Pollination Biology**

تاریخ دریافت : اسفند ۹۲ تاریخ پذیرش : شهریور ۹۳

چکیده:

این فصل توصیف می‌کند که چگونه تغییر شرایط اقلیمی شدیدترین تهدید بالقوه در تنوع زیستی گرده‌افشان‌ها به شمار می-رود. شواهد فزاینده‌ای نشان می‌دهد که تاکنون پاسخ‌های زیستی در برابر تغییراقلیمی به نسبت ناچیز ارایه شده دراین قرن، رخ داده است. گرده افشان‌هایی مثل پرندگان، زنبورها، پروانه‌ها، شب پره‌ها، مگس‌ها، سخت بالپوشان، خفاش‌ها و حتی پشه‌ها برای تولید غذا ضروری هستند زیرا باعث انتقال گرده بین گیاهان بذری و تاثیر ۳۵ درصدی در تولید محصولات کشاورزی جهان می شوند. گرده‌افشان‌ها ضمن خدمت اساسی به انسان‌ها، در حفظ سایر خدمات اکوسیستم مثل تضمین تنوع زیستی و کمک به طبیعت در تنظیم تهدیدهای خارجی مانند تغییر اقلیمی نیز نقش کلیدی دارند. بحران گرده‌افشانی که در کاهش زنبورهای عسل و زنبورهای بومی جهان مشهود است از اختلال در تعادل اساسی بین دو موجود دارای برهمکنش دو جانبه ناشی شده است. به طور گسترده انتظار می رود که تغییر اقلیمی ناشی ازفعالیت انسانی با اختلال در بقا و تولیدمثل افراد، کاهش میزان یا دسترسی به زیستگاه مناسب یا حذف سایر گونه‌های مورد نیاز برای گونه مورد بررسی، منجر به انقراض گونه‌ها شود. اختلال بالقوه موجود در برهمکنش دو جانبه فراگیر در زیستگاه‌های خاکی بین گیاهان و گرده‌افشان‌های جانوری آن‌ها، از طریق تغییر اقلیم در معرض خطر است.

۱۵-۱ مقدمه

گرده‌افشانی گل‌ها یک گام ضروری در تولیدمثل جنسی نهاندانگان است. بیشتر گونه‌های نهاندانه برای انتقال گرده‌های خود بین گیاهان، به حشرات و سایر جانوران به جز باد وابسته هستند. گرده‌افشان‌ها نیز به نوبه خود با دریافت منابع غذایی مثل شهد و گرده سود می‌برند. گرده‌افشانی نه تنها به نفع گیاهان و جانوران دارای برهمکنش است بلکه به طور مستقیم با افزایش محصول و به طور غیر مستقیم با مشارکت در عملکرد سالم اکوسیستم‌های خاکی مدیریت نشده به انسان‌ها خدمت می‌کند (Costanza et al., 1997; Nabhan and Buchmann, 1977; Klein et al., 2007; Abrol, 2007, 2008). متاسفانه گونه‌های گیاهی و گرده افشان‌ها به طور فزاینده‌ای به دلیل فعالیت‌های انسانی مثل از بین بردن زیستگاه، تغییر کاربری زمین، ورود گونه‌های خارجی و تغییر اقلیم در معرض خطر انقراض محلی و جهانی هستند (Kearns et al., 1998; Biesmeijer et al., 2006). به علاوه، برخی تغییرات ناشی از فعالیت انسانی به طور مستقیم برهمکنش گرده‌افشان‌ها را تهدید می‌کنند. واضح‌ترین مثال، تغییر اقلیمی است که هم‌پوشانی زمان-بندی فصول (فنولوژی) تولید گل و فعالیت‌های پروازی گرده-افشان‌ها را مختل کرده و باعث تغییر برهمکنش گیاهان و جانوران می‌شود (Harrison, 2000; Wall et al., 2003).

عمده‌ترین جنبه تغییر اقلیمی، افزایش میانگین جهانی دماست، که به فنولوژی رویدادهای زندگی مثل مهاجرت و تولیدمثل در بسیاری از گونه‌ها وابسته است. گیاهان و گرده‌افشان‌های آن‌ها از این الگو پیروی می‌کنند. در طول قرن پیش، گرم شدن جهانی باعث پیش‌افتادن زمان اولین گلدهی گیاهان و فعالیت پروازی فصلی حشرات گرده‌افشان در مناطق گرمسیر به میزان تقریبی ۴ روز به ازای هر درجه سانتی‌گراد شده است. پاسخ هر گونه نسبت به این میانگین متفاوت است، در نتیجه میزان پیش‌روی موارد فنولوژیکی نیز متفاوت است و در برخی موارد فنولوژی تغییر نیافته یا به تاخیر افتاده است.

تغییرات انسانی در زیستگاه و اقلیم باعث کاهش اساسی در تنوع زیستی شده و این رویدادها تنوع زیستی حشرات را در معرض خطر قرار می‌دهد. کاهش هم‌زمان گرده‌افشان‌ها و گیاهان وابسته به آن‌ها نگرانی خاصی ایجاد می‌کند. محصولات کشاورزی و جمعیت‌های گیاهی طبیعی زیادی به گرده‌افشانی و خدمات ایجاد شده توسط گرده‌افشان‌های مدیریت نشده و وحشی وابسته هستند. با وجود نگرانی زیاد در مورد کاهش خدمات گرده‌افشانی، اطلاعات کمی در مورد الگوهای تغییر در اجتماع بیشتر گرده-افشان‌ها وجود دارد. با توجه به اجتماع و مکان گرده‌افشان‌ها، کاهش گرده‌افشان‌ها در گونه‌های اختصاصی گل‌ها و زیستگاه‌ها، در گونه‌های یک نسلی و گونه‌های غیر مهاجر بیشتر اتفاق می‌افتد. در ارتباط با این پدیده، گونه‌های گیاهی تلاقی یافته که به کاهش گرده‌افشان‌ها وابسته هستند نسبت به سایر گونه‌های گیاهی کاهش بیشتر یافته‌اند.

به طور تقریبی یک سوم نیاز غذایی جهان به گرده‌افشانی حشرات به ویژه زنبورها و به ویژه زنبورهای عسل اهلی غربی وابسته است. فکر کنید که نیاز غذایی جهان در حال حاضر با مشکل مواجه است، اکنون جهان را بدون زنده ماندن زنبورها تصور کنید. بدون زنبورهای گرده‌افشان گل‌ها و محصولات، به ویژه زنبورهای عسل که باعث گرده افشانی بیش از ۹۰ محصول اقتصادی می‌شوند، بیشتر از نصف جمعیت جهان از گرسنگی خواهند مرد.

هیچ گروهی از حشرات بیشتر از زنبورها برای انسان‌ها مفید نیستند. بیشتر محصولاتی که برای تولید بذر و میوه به گرده‌افشانی نیاز دارند و همچنین گونه‌های شبدر و یونجه که در تولید گوشت و محصولات لبنی نقش دارند برای گرده‌افشانی به زنبورها وابسته‌اند (Abrol, 1988, 1991, 1993; Free, 1993). محصولاتی مثل سیب، مرکبات، گوجه فرنگی، خربزه، توت فرنگی، زردآلو، هلو، گیلاس، مانگو، انگور، زیتون، هویج، سیب زمینی، پیاز، کدو تنبل، لوبیا، خیار، آفتابگردان، محصولات دانه‌ای مختلف، بوته‌های متنوع، پنبه، یونجه و اسطوخودوس به گرده افشانی وابسته هستند. ارزش جهانی سالانه خدمات گرده افشانی انجام شده توسط حشرات گرده افشان در سال ۲۰۰۵ حدود ۱۵۳ بیلیون یورو (£)

برای محصولات مهم تغذیه‌ای جهان تخمین زده شده است. این مقدار حدود ۹/۵ ٪ مقدار کل تولید کشاورزی غذای جهان را تشکیل می‌دهد. بررسی‌ها همچنین بیان می‌کنند که ناپدید شدن گرده‌افشان‌ها باعث کاهش حدود ۱۹۰ تا ۳۱۰ بیلیون یورو می‌شود (Helmholtz Centre for Environmental Research, 2008). این بررسی ارزش اقتصادی، آسیب‌پذیری کشاورزی جهان در مواجه با کاهش گرده‌افشان‌ها را نشان می‌دهد. در اهمیت تنوع زیستی، کاهش گرده‌افشان‌ها یک مسئله مهم بوده اما اثر آن هنوز سوال برانگیز است. حتی گیاهانی که برای تولید محصول به گرده‌افشانی نیاز ندارند مثل گیاهانی که نخ و چوب تولید می‌کنند برای تولید بیشتر نسل خود به گرده‌افشانی وابسته بوده و محصولاتی مثل پنبه که برای تولید بذر به گرده‌افشانی نیاز ندارند در صورت انجام گرده‌افشانی محصول بیشتری تولید می‌کنند (Allen-Wardell et al., 1998). زنبورعسل اروپایی (*Apis mellifera*) بر گرده‌افشانی کل محصولات جهان تسلط داشته ولی گونه‌های بومی و محلی زنبورها فقط نقش خود را درگرده‌افشانی ایفا می‌کنند.

۱۵-۲ گرده‌افشان‌ها اجزای مهم عملکرد اکوسیستم

تنوع زیستی وابسته به محصول (Crop-associated biodiversity- CAB) به تنوع زیستی گفته می‌شود که عملکردهای لازم اکوسیستم برای کشاورزی، حفظ سلامت و تجدیدحیات اکوسیستم را تقویت می‌کند. تنوع زیستی وابسته به محصول، یک قسمت مهم و ذاتی اکوسیستم کشاورزی است که از اجزایی مثل گرده‌افشان‌ها تشکیل شده است. گرده‌افشان‌ها در حفظ تنوع زیستی مشارکت داشته و باعث بقای گونه‌های گیاهی تامین‌کننده نیاز غذایی خانواده‌های بسیار زیاد روستایی می‌شوند. گرده‌افشانی یک عمل ضروری اکوسیستم است که باعث تولیدمثل گیاهان و تولید غذا برای انسان‌ها و حیوانات می‌شود که به مقدار زیادی به همزیستی بین گونه‌ها (مثلا گیاهان و گرده‌افشان‌ها) وابسته است. کاهش یا از بین رفتن یک گونه روی بقای گونه دیگر تاثیرگذار است.

تنوع گرده‌افشان‌ها به طور مستقیم به تنوع گیاهی وابسته است. در واقع گرده‌افشانی یک مرحله اساسی برای تولیدمثل گیاهان است. گیاهان تولیدکننده‌های اولیه در اکوسیستم‌های زمینی بوده و به طور مستقیم باعث ایجاد عملکردهای اکوسیستم مثل تجزیه کربن، جلوگیری از فرسایش خاک، تثبیت ازت، حفظ منابع آب، جذب گازهای گلخانه‌ای و تولید غذا و زیستگاه بیشتر موجودات زنده آبزی و خشکی‌زی می‌شوند. گرده‌افشان ها همچنین با کمک به تولیدمثل گیاهان نقش مهمی را در حفظ اکوسیستم ایفا می‌کنند. گرده‌افشانی نیازمند عوامل گرده‌افشان است که آن‌ها نیز نیازمند منابع به صورت گیاه، شکار و زیستگاه‌های معین برای آشیانه-سازی، تغذیه و تولیدمثل هستند.

۱۵-۲-۱ گرده‌افشان‌ها

بیشتر از ۷۵٪ از محصولات جهانی و ۸۰٪ از گیاهان گل‌دار به گرده‌افشان‌ها وابسته هستند (Nabhan and Buchmann, 1997). از صد محصول گرده‌افشانی شده با جانوران که بیشتر نیاز غذایی جهان را تولید می‌کنند، ۱۵٪ با زنبورهای بومی گرده افشانی می‌شوند که حداقل ۸۰٪ از آن‌ها با زنبورهای وحشی و سایر جانوران وحشی گرده‌افشانی می‌شوند (Ingram et al., 1996). تنوع بین گونه‌های محصولات کشاورزی به گرده‌افشانی جانوران بستگی دارد. بنابراین گرده‌افشان‌ها برای تنوع رژیم غذایی، تنوع زیستی و حفظ منابع طبیعی ضروری هستند.

۱۵-۲-۲ تنوع گرده‌افشان‌ها

گرده‌افشان‌های اصلی، زنبورها هستند. تنوع گرده‌افشان‌ها و سیستم گرده‌افشانی قابل توجه است. ۲۵.۰۰۰- ۳۰.۰۰۰ گونه از زنبورها (Hymenoptera: Apidae) گرده‌افشان‌های موثر هستند و همراه با شب‌پره‌ها، مگس‌ها، زنبورها، سوسک‌ها و پروانه‌ها بیشتر گونه‌های گرده‌افشان را تشکیل می‌دهند. مهره‌داران گرده‌افشان شامل خفاش، پستانداران بدون پرواز (بیشتر گونه‌های میمون، موش، میمون پوزه‌دار و موش خرما و غیره) و پرندگان (مرغ مگس‌خوار، پرنده شهدخوار، پرنده honeycreepers و بیشتر گونه‌های طوطی‌ها) هستند. اطلاعات فعلی از فرآیند گرده‌افشانی نشان می‌دهد که وقتی رابطه اختصاصی جالب توجهی بین گیاهان

و گرده‌افشان‌های آن‌ها وجود دارد، یک گرده‌افشانی سالم با گروه متنوع و فراوانی از گرده‌افشان‌ها اتفاق می‌افتد. حدود ۷۳٪ از محصولات کشاورزی جهان مثل بادام هندی، کدو، انبه، نارگیل، Craneberry و زغال اخته توسط برخی زنبورهای‌عسل، ۱۹٪ توسط مگس‌ها، ۶/۵٪ توسط خفاش‌ها، ۵٪ توسط زنبورها، ۵٪ توسط سوسک‌ها، ۴ ٪ توسط پرندگان و ۴٪ توسط پروانه‌ها و شب‌پره‌ها گرده‌افشانی می‌شوند. از ۱۰۰ محصول اصلی تشکیل-دهنده نیاز غذایی جهانی، فقط ۱۵٪ از آن‌ها به وسیله زنبورهای بومی (بیشتر زنبورهای عسل، زنبورهای مخملی و زنبور برگ‌بر یونجه) گرده‌افشانی می‌شوند، در صورتی که حداقل ۸۰٪ از آن‌ها توسط زنبورهای وحشی و سایر حیوانات وحشی گرده‌افشانی می-شوند. ۲۵.۰۰۰ گونه از زنبورها از نظر اندازه و نیازهای آن‌ها متفاوتند و بر اساس گیاهانی که با آن‌ها در ارتباطند و گرده‌افشانی می‌کنند تقسیم‌بندی می‌شوند. اگرچه زنبورها مهم‌ترین گروه گرده‌افشان‌ها هستند، سایر حیوانات مثل خفاش‌ها، پروانه‌ها، شب-پره‌ها، مگس‌ها و سوسک‌ها نیز نقش کلیدی را در گرده‌افشانی ایفا می‌کنند. تنوع گیاهان وحشی و تنوع محصولات غذایی به تنوع گرده‌افشان‌ها وابسته هستند. گرده‌افشانی یک فرآیند پیچیده است. برخی گرده‌افشان‌ها عمومی بوده و با تعدادی از گیاهان در ارتباط هستند و برخی دیگر اختصاصی یک گونه‌اند. به دلیل وجود این پیچیدگی، مدیریت گرده‌افشانی به عنوان یک پدیده در اکوسیستم، به درک جامعی از فرآیند گرده‌افشانی و کاربرد دانسته‌ها در طراحی و کاربرد روش‌های پیچیده مدیریتی نیاز دارد. در بیشتر جهات، اطلاعات اندکی از ارتباط بین گونه‌های گیاهی و گرده‌افشان‌های آن‌ها وجود دارد. همچنین گرده‌افشان‌ها به عنوان قسمتی از چرخه پیچیده غذایی در حفظ سلامت اکوسیستم و حیات وحش و در تولیدمثل گیاهان نقش حیاتی ایفا می‌کند. برای اطمینان از این‌که جمعیت گرده‌افشان‌های مدیریت شده یا بومی حفظ و حمایت شده‌اند، روش هایی مورد نیاز است.

تنوع زیستی کشاورزی اغلب به عنوان منابع ژنتیکی محصول به شمار می‌آیند، در عین حال اکوسیستم کشاورزی دامنه وسیع و متنوعی از سایر موجودات را در بر می گیرد که به پایداری و باروری آن‌ها کمک می‌کنند. از آن‌ها می‌توان به گرده‌افشان‌ها اشاره کرد که جانورانی هستند که گرده را از قسمت های نر گیاهان به قسمت‌های ماده آن‌ها برده و باعث تولید میوه یا بذر می‌شوند. در بیش از دهه گذشته، جامعه جهانی به اهمیت گرده-افشان‌ها به عنوان یک عامل تنوع کشاورزی و عامل حمایت معیشت انسان‌ها پی برده است. حفظ و افزایش میزان محصولات باغبانی، بذور و مراتع با نگهداری بهتر و مدیریت گرده‌افشان‌ها اهمیت زیادی در سلامت، تغذیه، امنیت غذایی و سود بیشتر محصولات برای کشاورزان فقیر دارد.

۱۵-۲-۳ گرده‌افشانی و عملکردهای اکوسیستم

در طبیعت، گونه‌های زیادی از گیاهان گل‌دار فقط در صورتی تولید بذر می‌کنند که جانوران گرده‌افشان از سایر گیاهان گرده‌ها را روی کلاله این گیاهان منتقل کنند. بدون این خدمت عملکرد بیشتر گونه‌های وابسته به هم و فرآیندهای حاکم در اکوسیستم متلاشی خواهد شد. گرده‌افشانی برای حفظ تنوع زیستی ۲۰۰.۰۰۰ گونه گیاه وابسته به گرده افشانی ضروری است. حدود ۸۰ ٪ از گیاهان گل‌دار به طور اختصاصی توسط جانوران به خصوص حشرات، گرده‌افشانی می‌شوند.

تاثیر اکوسیستم روی جانوران گرده‌افشان در نواحی گرمسیری بیشتر از میانگین جهانی است: کمتر از ۳ ٪ از گیاهان مناطق گرمسیری برای گرده‌افشانی به باد وابسته هستند. اغلب تنوع بالایی از گرده‌افشان‌ها در اکوسیستم‌های خشک و کوهستانی وجود دارد که باعث سازگاری اکوسیستم به شرایط اقلیمی خشک می‌شود. مناطق گرمسیری جهان نه تنها به گرده افشان‌ها بسیار وابسته هستند بلکه بیشتر در معرض از بین رفتن گرده‌افشان‌ها نیز هستند.

۱۵-۲-٤ مشارکت گرده‌افشانی در امنیت غذایی

در اکوسیستم‌های کشاورزی، گرده‌افشان‌ها در تولیدات باغی، باغبانی و علوفه‌ای، تولید بذر برای بیشتر محصولات ریشه‌ای و فیبری ضروری هستند. گرده‌افشان‌هایی مثل زنبورها، پرندگان و خفاش‌ها در تولید ۳۵٪ از محصولات جهان و افزایش عملکرد ۸۷ محصول مهم جهانی و داروهای گیاهی تاثیرگذارند.

امنیت غذایی، تنوع غذایی، تغذیه انسان‌ها و هزینه موادغذایی (به ویژه در مورد محصولات باغبانی) به شدت به جانوران گرده‌افشان وابسته است. تنوع در محصولات باغبانی باعث کاهش فقر در بین کشاورزان سراسر جهان شده است. تجارت محصولات باغبانی بیش از ۲۰ ٪ صادرات کشاورزی کشورهای توسعه‌یافته را تشکیل می‌دهد که دو برابر غلات است. گسترش تولید میوه و سبزیجات، برخلاف افزایش در تولیدات غله از افزایش سطح کشت ناشی می‌شود نه از افزایش محصول.

کاهش گرده‌افشان‌ها روی تولید و هزینه‌های محصولات غنی از ویتامین مثل میوه‌ها و سبزیجات تاثیر گذاشته و به طور چشمگیری باعث به هم زدن توازن رژیم غذایی و ایجاد مشکل در سلامتی می‌شود. در نتیجه حفظ و افزایش محصولات باغبانی، در سلامتی، تغذیه، امنیت غذایی و سود بیشتر برای کشاورزان فقیر بسیار ضروری است. تلاش‌های حشرات در صنعت کشاورزی جهانی کنونی فراموش شده است اما اهمیت مشارکت آن‌ها بدین صورت مشخص می‌شود که ارزش تولید عسل حدود ۳۸۰.۰۰۰.۰۰۰ پوند و میزان تولید محصولات کشاورزی گرده‌افشانی شده با حشرات حدود ۸۰۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰ پوند ارزش دارد. البته باید توجه کرد که میزان بیان شده شامل مشارکت تمام حشرات گرده‌افشان است نه فقط زنبورها.

۱۵-۲-۵ کاهش گرده‌افشان‌ها

گرده‌افشان‌ها حاصل میلیون‌ها سال تکامل هستند و با سرعت زیادی از زمین جدا شده‌اند. در طول سال‌های اخیر زنبورهای عسل در سراسر جهان به طور بی‌سابقه‌ای در حال مرگند و هیچ کس نتوانسته دلیل این اتفاق را بفهمد (جدول‌های ۱-۱۵ و ۲-۱۵). زنبورها برای جمع‌آوری گرده پایین آمده ولی ضعیف شده یا در کندوها می‌میرند و هیچ وقت دوباره پرواز نمی‌کنند. در مرحله اول اثرات اقتصادی این مرگ و میر، صرف نظر از تاثیر زیاد آن‌ها در زنجیره غذایی، دارای اهمیت است زیرا زنبورهای عسل از گرده‌افشانی ده‌ها میلیون دلار محصول اقتصادی در جهان جدایی‌ناپذیر است(Gallai et al., 2008).

با این‌که بیشتر کشاورزی جهان به گرده‌افشانی توسط زنبورهای عسل اروپایی وابسته است، تعداد آن‌ها در سراسر جهان در حال کاهش است. در ایالات متحده آمریکا، مکزیک و کانادا بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۸، زنبورهای اهلی و مدیریت شده ۲۵٪ کاهش یافته‌اند (Allen- Wardell et al., 1998).

در اروپا به‌ویژه در فرانسه و آلمان، بین سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۲ برخی گونه‌ها حدود ۱۰٪ کاهش یافته‌اند. کاهش مشابهی از شبه قاره هند گزارش شده است (Abrol, 2008). بین گرده‌افشان-های وحشی، الگوهای تغییر جمعیت در گونه‌های خونگرم با جثه بزرگ مثل خفاش‌ها مشخص‌تر است. کاهش در جمعیت خفاش‌ها آنقدر چشمگیر است که دو تا از سه گونه خفاش گرده‌خوار در ایالات متحده در معرض خطر است.

به طور معمول اعتقاد بر این است که جمعیت خفاش‌ها در سراسر جهان در دهه‌های اخیر کاهش یافته است (Gillette and Kimbrough, 1970). خفاش‌ها جانوران باهوش با عمر طولانی (بین ۵ تا ۳۰ سال) هستند که به شدت با اقلیم جهانی منطبق هستند. بیشتر گونه‌های گرمسیری به شهد، گرده، گل‌ها و میوه‌های گیاهان وابسته بوده و این منابع غذایی را بر اساس آنچه به آن وابسته هستند دنبال می‌کنند. در مناطق گرمسیری و اکوسیستم-های اقیانوسی به عنوان گرده افشان‌های موثر هستند. اختلال در اقلیم که باعث وقفه و تغییر در فنولوژی گیاه و تغییر در وقوع و پراکنش یک گونه گیاهی می‌شود، همچنین روی خفاش‌ها تاثیرگذار است.

به طور مشابه سایر گونه‌های خفاش‌ها به ویژه در مناطق معتدله حشره‌خوار بوده و تعداد زیادی حشره مصرف می‌کنند. همانطور که فعالیت‌های گرده‌افشانی خفاش‌ها در اکولوژی گیاه مهم هستند، عادات تغذیه ای حشره‌خواری خفاش‌ها نقش مهمی را در حفظ تعادل بین جمعیت‌های حشرات ایفا می‌کند. تغییر در وقوع و پراکنش جهانی جمعیت حشرات باعث تغییر در تعداد و تنوع گونه‌های خفاش‌ها می‌شود.

خفاش‌های محدود به اقلیم‌های سرد در طول و عرض‌های جغرافیایی، با گرم شدن جهانی به خطر می‌افتند و در صورتی که سازگار نشوند یا مقاومت نکنند منقرض می‌شوند. دامنه جغرافیایی

و تعداد خفاش‌های سازگار شده با اقلیم‌های گرم افزایش می‌یابد. از آنجایی که گرم شدن جهانی باعث تغییر در نحوه پراکنش گیاهان و حیوانات (به ویژه حشرات) در سراسر جهان می‌شود، انتظار می‌رود که خفاش‌ها نیز به این فشارها پاسخ دهند.

در بین گرده‌افشان‌های خونسرد، پروانه‌ها با ظاهر زیبا، بیش‌ترین تعداد حشرات در معرض خطر را تشکیل می‌دهند. از آن‌جایی که پروانه‌ها هم نظر دانشمندان و هم افراد غیر متخصص را جلب می‌کنند، بیش‌ترین میزان تلاش‌های مدیریتی طولانی مدت در ایالات متحده روی آن‌ها انجام شده است که تغییر پراکنش، کاهش و انقراض محلی آن‌ها را بررسی می‌کنند.

در یک بررسی در کالیفرنیا یک سرشماری ۲۹ ساله از گونه‌های پروانه‌ها نشان داد که کاهش ۴۰ درصدی در تنوع گونه‌ها ایجاد شده است. شب‌پره‌ها که به طور معمول خاکستری رنگ و شب فعال بوده و در ایالات متحده بیشتر از پروانه‌ها هستند از گرده‌افشان‌های مهم گیاهان متنوعی هستند.

در بیابان‌های شمال غربی ایالات متحده پروانه بید، گرده‌افشان اصلی گونه‌های گیاهی مثل کاکتوس های گل‌دهنده در شب (night-blooming cacti)، سوسن صحرایی، گل مغربی و تنباکوی وحشی است. سایر گرده‌افشان‌ها مثل زنبورهای حفار، زنبورهای عرق (sweat bee)، زنبور کدو، زنبور قلیایی (alkali bee)، زنبورهای برگ‌بر، زنبورهای نجار، زنبورهای بنا (mason bee)و shaggy fuzzy foot bee به خوبی می توانند در حال کاهش باشند. alkali bee در گرده‌افشانی پیاز، نعناع و کرفس، زنبورهای نجار در گرده‌افشانی کانولا و فلفل، زنبورهای برگ‌بر در گرده‌افشانی یونجه (تامین‌کننده غذا برای گاوهای تولید کننده گوشت و لبنیات)، زنبور بنا در گرده‌افشانی سیب و گیلاس، زنبور کدو در گرده‌افشانی کدوتنبل و shaggy fuzzy foot bee در گرده‌افشانی سیب و زغال اخته نقش دارند. مشارکت آن‌ها در گرده‌افشانی گیاهان بومی ضروری است اما در بیشتر گونه‌ها کاهش جمعیت رخ نداده است زیرا فراوانی آن‌ها هیچ‌وقت درطول زمان اندازه گیری نشده است.

بین زنبورهای بومی، زنبورهای مخملی به دلیل مشاهده کاهش قابل توجه در جمعیت آن‌ها، استثنا هستند. زنبورهای بومی مخملی زبان بلند در گرده‌افشانی گونه‌های متنوعی از گیاهان بومی به ویژه گیاهانی با گل‌های عمیق و لوله‌ای نقش داشته و به عنوان گرده‌افشان‌های تکمیلی محصولاتی مثل هندوانه، خیار، گیلاس و آفتابگردان شناخته می‌شوند.

تغییرات اقلیمی جهانی همچنین باعث ایجاد خطر در جمعیت زنبورهای مخملی می شود. شواهد نادری پیش‌بینی کرده است که برخی از گونه‌های زنبورهای مخملی سازگار به سرما، در حال کاهش هستند، در صورتی که گونه‌های سازگار به دماهای گرم‌تر در حال گسترش دامنه خود می‌باشند. برای درک بهتر تاثیر واقعی تغییرات اقلیمی روی زنبورهای مخملی به داده‌های مستند و پایش طولانی‌مدت نیاز است.

به طور مشابه در بررسی‌های گسترده در اروپا الگوهای واضحی از کاهش بیشتر گونه‌های زنبورها و تغییر پراکنش آن‌ها به ویژه در گونه‌های زنبورهای زبان بلند مشاهده شده است. مگس‌ها مهم‌ترین گرده‌افشان‌ها در زیستگاه‌های واقع در آلپ هستند. گرده‌افشانی مگس‌ها در کشاورزی اهمیت خاصی دارد. مگس‌ها گرده‌افشان‌های منحصر به فرد کاکائو (منبع اصلی شکلات) بوده و همچنین در گرده‌افشانی چند محصول کوچک مثل پیاز ها ایفای نقش می‌کنند. اگرچه داده‌های بیان‌کننده کاهش جمعیت مگس‌های مرتبط با گیاهان کافی نمی‌باشد ولی شواهد مشخصی از کاهش آن‌ها وجود دارد.

در چهار دهه گذشته در انگلیس دو سوم از گونه‌های بزرگ‌تر شب‌پره‌های کشور کاهش یافته‌اند. شب‌پره‌ها ثروت پنهان حیات وحش در تمام زمینه‌ها هستند. بدون شب‌پره‌ها، گرده‌افشانی گیاهان انجام نمی‌شود، در نتیجه پرندگان موجود در باغ‌ها گرسنه می‌مانند. پیشنهاد شده است که مظنون اصلی آن، تخریب زیستگاه، آفت کش‌ها، آلاینده‌ها و تغییرات اقلیمی است.

۱۵-۲-۶ تاثیر کاهش جمعیت گرده‌افشان‌ها بر کشاورزی

مشخص شده است که با کاهش جمعیت گرده‌افشان‌ها، تولیدات کشاورزی، تنوع اکوسیستم کشاورزی و تنوع زیستی مورد تهدید قرار می‌گیرند. تراکم جمعیت تعداد زیادی از گرده‌افشان‌ها به زیر

سطوحی کاهش یافته است که در این سطوح گرده‌افشانی در اکوسیستم‌های کشاورزی و اکوسیستم‌های طبیعی و ظرفیت تولیدمثلی گیاهان حفظ می‌شود. خطرات اکولوژیکی کاهش گرده‌افشان‌ها شامل از بین رفتن خدمات ضروری اکوسیستم (به ویژه خدمات اکوسیستم کشاورزی) و عملکردهای گرده‌افشان‌ها می‌شود. خدمات اکوسیستم نه‌تنها از نظر بیوفیزیکی بلکه از نظر اقتصادی اهمیت دارند. برای مثال در کل زیست‌کره، ارزش خدمات اکولوژیکی در حدود ۱۶-۵۴ تریلیون دلار در سال با میانگین ۳۳ تریلیون دلار در سال تخمین زده شده است (Costanza et al., 1987).

مقدار مشارکت جهانی سالانه گرده‌افشان‌ها در محصولات وابسته به گرده‌افشانی بیش از ۵۴ بیلیون دلار تخمین زده شده است. در مزارع علوفه کانادا ارزش گرده‌افشان‌ها در صنعت تولید بذر یونجه در حدود ۶ میلیون دلار کانادایی (CAD) در سال تخمین زده شده است (Kevan and Phillips, 2001).

نمونه‌های موجود در آسیا (مثل پاکستان شمالی و قسمت‌هایی از چین) پیوند بین کاهش جمعیت طبیعی حشرات و کاهش تولید محصولات را نشان می‌دهد، در نتیجه انسان‌ها برای حفظ مقدار و کیفیت تولید، مدیریت تنوع زیستی وابسته به محصول (مثل گرده-افشان‌ها) را آغاز کرده‌اند. برای مثال کشاورزان Himachal Pradesh (شمال هند) برای گرده‌افشانی محصول سیب خود از زنبورها استفاده می‌کنند (Partap and Partap, 2002).

به دلیل کاهش جمعیت گرده‌افشان‌ها و تغییر عادات کشت، تعداد زیادی از کشاورزان سراسر جهان در حال حاضر در حال وارد کردن و افزایش جمعیت گرده‌افشان‌های غیر بومی هستند. در بیشتر کشورهای در حال توسعه اقدام های گرده افشانی خارجی وجود ندارد و کمیت، کیفیت و تنوع غذای کمتری وجود دارد. کشاورزان به دلیل کاهش جمعیت حشرات مفید موجود در درختچه‌های میوه در غرب چین به روش دستی گرده‌افشانی می-کنند (Partap and Partrap, 2002).

اگرچه تاثیر کاهش جمعیت گرده‌افشان‌ها روی عملکرد اکوسیستم و مثال‌هایی از تاثیرات اکولوژیکی و اقتصادی شناسایی شده است، موانعی در حفظ و مدیریت گرده‌افشان‌ها در کشاورزی پایدار وجود دارد.

جدول ۱-۱۵- کاهش جمعیت زنبورهای عسل در جهان

کشور	٪ کاهش سن	مدت زمان
آلمان	۵۷	۱۵ سال اخیر
انگلیس	۶۱	۱۰ سال اخیر
ایالات متحده آمریکا	>۵۰	۲۰ سال اخیر
لهستان	>۳۵	۱۵ سال اخیر
هند	>۴۰	۲۵ سال اخیر
برزیل	>۵۳	۱۵ سال اخیر
هلند	۶۵-۵۸	۲۵ سال اخیر
چین	>۵۰	۲۰ سال اخیر

جمع‌آوری شده از منابع مختلف

جدول ۲-۱۵- کاهش گرده‌افشان‌ها در ایالات متحده آمریکا

گرده‌افشان‌ها	درصد کاهش جمعیت
زنبورهای عسل	>۵۰
زنبورهای مخملی	۳۶
زنبورهای انفرادی	۳۰
خفاش	۱۴
مرغ مگس‌خوار	۱۶
پروانه‌های سلطنتی	۲۸

جمع‌آوری شده از منابع مختلف

۱۵-۲-۷ پی‌آمدهای کاهش گرده‌افشان‌ها

تخمین ارزش اقتصادی و اکولوژیکی گرده‌افشان‌های وحشی و پیش‌بینی نتیجه کاهش آن‌ها در جمعیت‌های طبیعی چالش برانگیز است. چنین محاسباتی به دلیل تعداد زیاد گونه‌های درگیر و همچنین اطلاعات کم موجود از بیشتر این گونه‌ها پیچیده است. اگرچه گونه‌های زیادی با یک گل خاص در ارتباط هستند، فقط تعداد کمی از آن‌ها گنجایش برداشتن و نقل و انتقال گرده به کلاله مناسب را دارند. در برخی بررسی‌ها، کمتر از یک چهارم حشرات که با یک گل خاص ارتباط دارند، گرده‌افشان‌های شایسته و مناسبی هستند.

به دلیل تاثیر کاهش خدمات گرده‌افشانی گونه‌های انفرادی، بیشتر اکوسیستم‌ها برای پایداری زنجیره غذایی خود به گرده‌افشان‌ها وابسته هستند.

گونه‌های کمی از گیاهان به یک گرده‌افشان وابسته هستند ولی بیشتر آن‌ها در طول یک فصل، با مجموعه مختلفی از گرده‌افشان-ها در ارتباط هستند. وقتی در کل مجموعه کاهش اتفاق می‌افتد، مثل کاهش زنبورهای زبان بلند در اروپا، احتمال کاهش معنی‌دار در فلور وحشی وابسته به این مجموعه وجود دارد. متاسفانه از بین رفتن بازار فروش باعث سخت شدن تخمین ارزش اقتصادی تغییرات خدمات گرده افشانی در جوامع طبیعی شده است. ارزش اقتصادی کاهش کامل خدمات گرده افشانی قابل تخمین نیست زیرا رسیدگی انسانی و اکولوژیکی به این تغییرات شدید ابتدایی است. یکی از شاخص‌های پی‌آمد اکولوژیکی کاهش گرده‌افشان-ها، کاهش گرده در تشکیل بذور است. به دلیل وجود گرده ناکافی، تولید بیشترین تعداد بذر در گیاهان با شکست روبرو می-شود. کمبود گرده در گیاهان وحشی معمول است به طوری که بررسی‌ها نشان می‌دهد که در گیاهان با گونه‌های کمتر گرده افشان معمول‌تر است. در صورت نبود جمعیت کافی از گرده افشان‌ها، برخی گیاهان به ویژه گیاهان کوچک به دلیل خطرات بالای ایجاد شده توسط جمعیت‌های کوچک، نسبت به انقراض حساس‌تر می‌شوند (فرسایش ژنتیکی، کاهش موفقیت تولیدمثل و حساسیت بالا نسبت به رویدادهای مصیبت‌بار تصادفی).

شاید مهم‌ترین دلیل مشکل بودن تخمین اثر اکولوژیکی کاهش گرده‌افشان‌ها این است که بیشتر جمعیت‌های طبیعی گرده-افشان-ها گونه‌های مهم و اساسی هستند. همان‌طور که پایه باعث حفظ یکپارچگی طاق سنگی می‌شود، یک گونه مهم هم یکپارچگی یک اجتماع اکولوژیکی را حفظ می‌کند. حذف یک مهم باعث فروپاشی ساختار کلی می‌شود. تشخیص یک پایه مهم در طاق سنگی از قواعد قابل پیش‌بینی مربوط به معماری پیروی می‌کند اما تشخیص یک گونه مهم به اطلاعات اکولوژیکی زیاد در مورد گونه‌های مرتبط نیاز دارد. برای مثال، انجیر گونه مهم در مناطق

گرمسیری سراسر جهان است. در نواحی گرمسیری جدید میوه‌ها غذای دامنه وسیعی از پرندگان مثل توکان، پرنده منقار شاخی، طوطی‌ها، پنگوئن‌ها، خفاش‌ها، میمون‌ها و حتی ماهی‌های رودخانه‌های نزدیک را تامین می‌کنند. شاخ و برگ درختان از دسته‌ای از حشرات مثل لارو پروانه‌ها نگهداری می‌کنند و خود درختان زیستگاه بی‌مهرگان، جوندگان، خزندگان و دوزیستان را تامین می‌کنند. درختان انجیر به گروهی از زنبورهای ریز به شدت وابسته هستند که تنها گرده‌افشان‌های انتقال‌دهنده اندام‌های پیچیده تولیدمثلی در گل‌های انجیر هستند. در سراسر دنیا بیشتر گونه‌های انجیر به یک یا برخی اوقات دو گونه اختصاصی زنبورهای انجیر وابسته هستند. کل شبکه غذایی (پرندگان مشخص و رنگی، خفاش‌ها و پستانداران نخستین) کمتر از ۰/۱ اینچ طول دارند. کاهش یا از بین رفتن یک گیاه خاص مثل از بین رفتن ریشه، ساقه، برگ، گل، میوه و بذر که منبع تغذیه ای گیاه‌خوارها، پارازیت‌ها و شکارگرها هستند، باعث ایجاد پی‌آمدهای اکولوژیکی متوالی می‌شود. در تخمین پی آمدهای کاهش گرده-افشان‌ها، به یاد داشتن این‌که گونه‌های گرده‌افشان‌ها نقش چندگانه‌ای را در زنجیره غذایی ایفا می‌کند مهم است. بیشتر گونه‌های گرده‌افشان‌ها حشراتی با دگردیسی کامل هستند که مراحل نابالغ آن‌ها به بالغ‌های گرده‌افشان آن‌ها شباهت کم دارد یا شباهت ندارد. لارو زنبورها، لارو مگس‌ها و لارو پروانه‌ها در دنیای متفاوتی از بالغ‌های آن‌ها زندگی می‌کنند و غذاهای آن‌ها نیز با غذاهای بالغ‌ها متفاوت است. به علاوه منابع تغذیه‌ای گرده-افشان‌های بالغ از گل‌هایی که آن‌ها گرده‌افشانی می‌کنند متفاوت است. بیشتر آن‌ها به مواد ساختمان‌سازی خاصی مثل خاک رس، ماسه، رسوب، پوست درخت و فیبرهای گیاهی برای ساختن لانه نیاز دارند. زنبورهای مخملی اغلب لانه خود را در سوراخ‌های متروکه موش‌ها می سازند و زنبورهای بنا در لانه سوسک‌ها یا حتی پوسته خالی حلزون لانه‌سازی می‌کنند.

۱۵-۲-۸ برهمکنش در معرض خطر: حفظ برهمکنش‌های گیاه- گرده‌افشان

وضعیت گرده‌افشان‌ها به دلیل وابستگی زندگی بیش از ۲۰۰.۰۰۰ گونه گیاهی در سراسر جهان به گرده‌افشانی در سطح ملی مورد توجه است. گرده‌افشانی فرآیندی است که طی آن بافت گرده که از سلول‌های جنسی نر تشکیل شده است به کلاله (قسمت گل-دهنده ماده) منتقل می‌شود تا لقاح که یک مرحله مهم در تولید بذر است انجام شود. انتقال گرده باعث ایجاد رقابت در گیاهان گل‌دار می‌شود و حدود سه چهارم آن‌ها برای انتقال گرده به جانوران متحرک مثل گرده‌افشان‌ها نیاز دارند. تولیدمثل جنسی، جدا از سایر جاذبه‌های آن باعث ایجاد تغییر ژنتیکی شده که باعث سازگاری موجودات به تغییر شرایط محیطی می‌شود. هرچه برهمکنش‌های اکولوژیکی جلوتر می‌رود، گرده‌افشانی وابسته به حیوانات سریع، متناوب و مسلط‌تر می‌شوند. حیوانات شناخته شده به عنوان گرده‌افشان تا قبل از قرن نوزدهم حتی توسط جامعه علمی هم شناخته شده نبودند.

۱۵-۲-۹ دلایل کاهش

خطرات موجود برای گرده‌افشان‌ها و خدمات ارائه شده آن‌ها در سراسر دنیا در حال افزایش است و منشا آن ساخته بشر است (Kearn et al., 1998; Cane, 2001). کاهش گرده‌افشان-ها در مناطق مختلفی از دنیا گزارش شده است (Williams, 1986; Rasmont, 1988; Westrich, 1989; Corbet et al., 1991; Osborne et al., 1991; Day, 1991; Falk, 1991; O'Toole, 1994; Banaszak, 1995; Williams, 1996; Pekkarinen et al., 1987; Luig and Maavara, 1998; Pekkarinen, 1998; Söderman and Leinonen, 2003; Gärdenfors, 2000; Rassi et al., 2001). دلایل اصلی کاهش گرده-افشان‌ها را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

۱- عملیات تغییر کاربری زمین (از بین رفتن زیستگاه‌ها به دلیل تخریب مکانیکی، قطعه قطعه شدن، آتش، چرای بیش از حد، تفریح و...)

۲- مواد شیمیایی کشاورزی و سایر علف‌کش‌های آلاینده (کاهش غذای گیاهی)

۳- انگل‌ها و بیماری‌ها

۴- رقابت ایجاد شده بین گونه‌ها به وسیله انسان

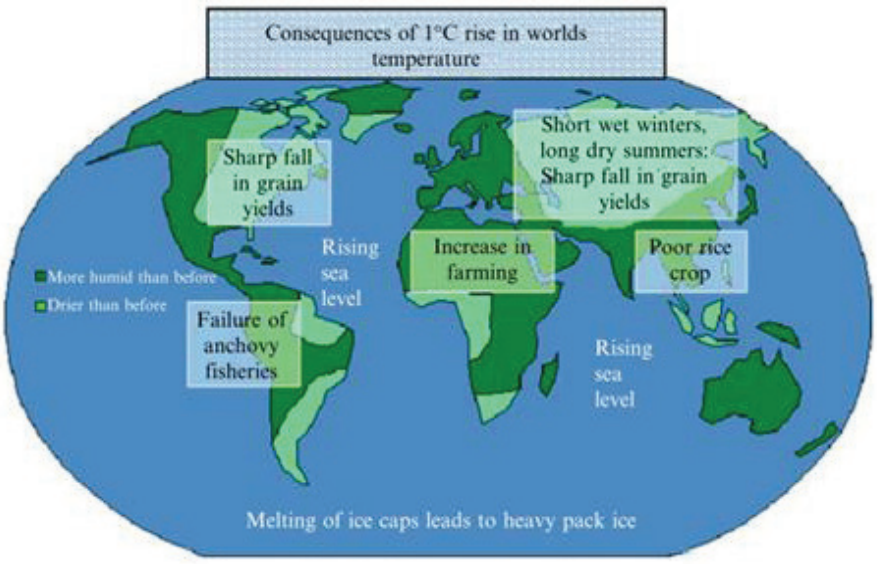
۵- تغییر اقلیم

تغییر اقلیم می‌تواندیک عامل مهم تضعیف کننده زنبورها باشدکه گرده‌افشانی محصولات را در بیشتر مناطق کشاورزی تحت تاثیر قرار داده است. این می‌تواند ناشی از ترکیبی از عوامل مختلف باشد اما یادداشت‌های تاریخی نشان می‌دهد که هر ۷ یا ۸ سال نوسان‌هایی در کندوهای عسل ایجاد شده است که تحت‌تاثیر شرایط آب و هوایی و محصول زراعی است. تغییر اقلیم توانایی تاثیر روی پراکنش گرده‌افشان‌ها و گیاهانی که گرده‌افشانی می‌کنند و به علاوه زمان گلدهی و مهاجرت آن‌ها دارند. در گرده‌افشان‌های مهاجر مثل خفاش‌ها، مرغ مگس‌خوار و پروانه‌های سلطنتی، شناسایی و حفظ مسیرهای شهد مهم است (Allen-Wardell et al., 1998). در صورتی که در مسیر مهاجرت آن‌ها در زمان مهاجرت، شهد وجود نداشته باشد، ممکن است مرگ و میر قسمتی از جمعیت اتفاق بیفتد (Buchmann and Nabhan, 1996).

تغییر اقلیم یکی از چالش‌هایی است که ممکن است در آینده با آن روبرو شویم. تاثیر تغییر اقلیم در حال حاضر قابل مشاهده است و به دلیل تاثیر آن روی اکوسیستم‌های طبیعی، سلامت انسان‌ها و منابع آب بیشتر مورد بحث است. تغییر اقلیم اثرات عمیقی در زندگی روزانه ما دارد. گزارش اخیر پانل بین دولت‌ها در ارتباط با تغییر اقلیم Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007) بیان کرده که دمای متوسط جهانی در ۲۱۰۰ حدود ۱/۸ تا ۴ درجه سانتی‌گراد از میانگین دمای سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۸۰ بالاتر می‌رود. بر اساس میزان جریان آب شدن یخ در گرینلند و آنتارکتیکا پیش‌بینی شده است که در سال ۲۱۰۰ سطح دریاها ۰/۱۸ تا ۰/۵۹ متر بالاتر می‌رود. رویدادهای دمایی شدید و متناوب مثل خشکسالی و سیل نیز انتظار می‌رود.

در بیشتر نقاط جهان، اقلیم در حال گرم شدن است. در صد سال اخیر دمای میانگین جهانی حدود ۰/۷ درجه سانتی گراد و دمای میانگین اروپا حدود ۰/۹۵ درجه سانتی گراد افزایش یافته است. تخمین زده شده است که در سال ۲۱۰۰ دمای جهانی ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد و دمای اروپا ۲ تا ۶/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. در صد سال اخیر شمال اروپا ۱۰-۴۰٪ مرطوب‌تر و جنوب اروپا ۲۰٪ خشک‌تر شده است. این تغییرات در حال ادامه یافتن است (IPCC, 2007).

پانل بین دولت‌ها در ارتباط با تغییر اقلیم (IPCC 2007) بیان کرده است که خطر کاهش آب در شمال اروپا در حال افزایش است. تغییرات اقلیمی باعث افزایش اختلاف منابع آبی بین محیط زیست شمال و جنوب اروپا می‌شود (شکل ۱-۱۵).



شکل ۱۵-۱ تاثیر تغییر اقلیم بر جهان (منبع: اقتباس از دانشگاه Southampton، ۲۰۰۰)

تنوع زیستی به شدت به اقلیم پیوند خورده است. تغییرات در اقلیم روی تنوع زیستی و تغییر در اکوسیستم‌های طبیعی روی اقلیم تاثیر می‌گذارد. تغییرات اقلیمی باعث افزایش شدیدی در میزان انقراض می‌شود. Thomas و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی پنج منطقه از جهان پیش‌بینی کرده‌اند در صورتی که میزان کنونی تغییر اقلیم همچنان ادامه پیدا کند، ۲۴٪ از گونه‌های این مناطق در سال ۲۰۵۰ انقراض پیدا می‌کنند. این بررسی نشان داد که در بیشتر گونه‌ها، تغییر اقلیم در بقای آن‌ها بیشتر از تخریب زیستگاه‌های طبیعی آن‌ها خطرآفرین است. مدرک مستقیمی از ارتباط تغییر اقلیم و انقراض گونه‌ها به سختی پیدا می‌شود ولی حداقل یک گونه وزغ طلایی در کاستاریکا (Costa Rica) به دلیل تغییر اقلیم منقرض شده است (Pounds et al., 1999).

نرخ انقراض جهانی گونه‌ها به طور هشداردهنده‌ای در حال افزایش است (جدول ۱۵-۳). Wilson (۱۹۸۸) تخمین زده است که ۰/۲ تا ۰/۳ تمام گونه‌ها در سال از بین می‌روند. ۵ تا ۱۰ درصد گونه‌های جنگلی گرمسیر در ۳۰ سال آینده منقرض خواهند شد (UNEP, 1993). تخمین زده شده است که ۶۰.۰۰۰ گونه در آینده قابل پیش‌بینی حذف خواهند شد و ۵۰.۰۰۰ گونه در ۵۰ سال آینده در معرض خطر انقراض خواهند بود (Willis et al., 2008).

جدول ۱۵-۳- تخمین از بین رفتن گونه‌ها در زمین (Wilson, 1988)

SN	تخریب گونه‌ها	تخریب جهانی در هر دهه (٪)
۱	یک میلیون گونه (۲۰۰۰-۱۹۷۵)	۴
۲	۱۵- ۲۰ ٪ گونه‌ها (۲۰۰۰-۱۹۸۰)	۸
۳	۲۵ ٪ گونه‌ها (۲۰۱۵-۱۹۸۵)	۹

۱۵-۳ تغییر اقلیم و گرده‌افشان‌ها

با تغییر اقلیم و از بین رفتن برخی مکان‌ها و ایجاد مکان‌های جدید، زیستگاه‌های مناسب برای نگهداری گرده‌افشان‌ها تغییر می‌کند. وقتی یک زیستگاه از بین می‌رود یا گرده‌افشان‌ها نمی‌توانند به یک زیستگاه جدید بروند انقراض محلی اتفاق می‌افتد (Travis 2003; Hill et al., 2002). تغییر اقلیمی همچنین ممکن است باعث از بین رفتن همزمانی بین دوره گل‌دهی گیاه و فصل فعالیت گرده‌افشان‌ها شود (Price and Waser, 1998; Wall et al., 2003).

۱۵-۳-۱ پی‌آمدهای کاهش جمعیت گرده‌افشان‌ها

یک پی‌آمد کاهش گرده‌افشان‌ها ممکن است به دلیل افزایش حساسیت گروهی از گونه‌های گیاهی نسبت به انقراض باشد. همچنین مشخص کردن این پی‌آمدها در سیستم‌های غیر زراعی مشکل است. در جریان کاهش جمعیت گرده‌افشان‌ها برخی گونه-های گیاهی که برای تولیدمثل به گرده‌افشان‌ها وابسته هستند، به دلیل توالی‌های ژنتیکی و دموگرافی جمعیت‌های کوچک نسبت به چرخه انقراض حساس‌تر هستند (عواملی که باعث کاهش جمعیت‌های کوچک می‌شوند). تاثیر کاهش گرده‌افشان‌ها روی گونه‌های گیاهی نادر یا جمعیت‌های کوچک نیاز به توجه خاصی دارد.

کلنی‌های زنبورها به دلیل تاثیر روی مراتع عسل به شدت تحت تاثیر شرایط دمایی بالا و بارندگی (دوره‌های خشک‌سالی، بارندگی شدید غیر معمول، به ویژه در ماه اوت) است. کاهش مراتع عسل باعث کاهش زمستان‌گذرانی و از بین رفتن کلنی زنبورها می‌شود. کاهش جمعیت زنبورها در محیط باعث کاهش گرده‌افشانی موثر گونه‌های گیاهی بومی و همچنین کاهش محصول تا میزان ۳۰٪ می‌شود. تغییرات اقلیمی روی گرده‌افشان-های بومی در اکوسیستم کشاورزی به ویژه زنبورهای مخملی و

زنبورهای انفرادی شده و کاهش آن‌ها ارتباط نزدیکی با انقراض گونه‌های گیاهی دارد (Luig and Maavara, 1998; Stefanescu et al., 2003).

۱۵-۳-۲ تغییر اقلیم و غنای (richness) گونه‌ای پروانه‌ها

تغییرات اقلیمی یکی از مهم‌ترین عوامل خطرآفرین در تنوع زیستی گرده افشان‌هاست (Kerr, 2001). تغییرات اساسی پراکنش در گروه‌هایی مثل پروانه‌ها قابل پیش‌بینی است (Cowley et al., 1999). Kerr (۲۰۰۱) گزارش کرده است که تاثیر انسان‌ها روی اقلیم به شدت فراگیر است. برای مثال، کاهش بارندگی قاره‌ای در مناطق صنعتی نشان‌دهنده افزایش مواد ذره‌ای اتمسفری است که از تشکیل هسته‌های باران جلوگیری می‌کنند (Rosenfeld, 2000). فروانی و زمان طوفان‌ها تحت تاثیر ذرات معلق درهوای صنعتی سواحل آتلانتیک در شمال آمریکا است (Balling and Cerveny, 1998). به دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای از زمان شروع انقلاب صنعتی، اقلیم جهانی در حال تغییر است. پی‌آمدهای بالقوه منفی تغییرات دما، بارندگی و تغییرات فصلی به سرعت در حال رخ دادن است و در چند دهه آینده به راحتی فاجعه‌آفرین می‌شوند. تغییرات منطقه-ای در پراکنش گونه‌های اروپا و آمریکای شمالی شواهد محیطی محکمی برای نشان دادن تاثیر تغییرات اقلیمی روی طبقه‌بندی گرده‌افشان‌ها هستند. شواهد اخیر پیش‌بینی می‌کند که محدودیت پراکنش برخی گونه‌ها در نواحی شمالی اروپا در ارتباط با تغییر اقلیمی ایجاد شده در دهه ۱۹۰۰ است (Parmesan, 1996; Parmesan et al., 1999) که به دلیل تحمل اقلیمی این گونه‌هاست (Kukal et al., 1991). بحث تاثیر تغییر اقلیمی روی دامنه گونه‌ها با بررسی‌های تکمیلی روی پدیده‌های مشابه در پرندگان (Thomas and Lennon, 1999) و *Euphydryas editha* یک پروانه در غرب ایالات متحده امریکا (Parmesan, 1996) تقویت شده است. خسارت‌های ایجاد شده در طبقه‌بندی جوامع زنده غیر گرده‌افشان نیز بررسی شده است. برای مثال، کاهش ناگهانی جمعیت دوزیستان ارتفاعات بالا در یک زیستگاه در جنگل‌های بلند مه‌آلود در کاستاریکا با تغییرات اقلیمی اخیر منطبق شده است (Pounds et al., 1999). مدارک زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد که تنوع پروانه‌ها در کانادا در پاسخ به تغییرات اقلیمی ایجاد شده در چند دهه اخیر است. حداقل دو گونه *Chlosyne gorgone* و *Anatrytone logan* به تازگی جمعیت تولیدمثلی خود را نزدیک Ottawa، Ontario برقرار کرده‌اند، در صورتی که در گذشته دامنه نسبی آن‌ها در شمال محدود بود. این پروانه‌ها دارای جثه بزرگ بوده و محل جدید آن‌ها بارها توسط متخصصان بررسی شده است، در نتیجه احتمال کمی وجود دارد که این جمعیت‌ها از مدت‌ها پیش استقرار یافته‌اند. کشف گونه سوم یعنی *Polites themistocles* از منطقه‌ای نزدیک Ottawa که در دوره‌های گرم طولانی‌تر این منطقه نسل ثانویه دارد، تاثیر تغییرات اقلیمی در گسترش دامنه این گونه‌ها به سمت شمال را تائید می-کند. این مشاهدات با سایر مشاهدات تغییر دامنه در شمال آمریکا (Parmesan, 1996) و کشف تغییرات گسترده پراکنش پروانه‌ها در اروپا (Parmesan et al., 1999) سازگاری دارد. بررسی‌های اولیه در مورد بال‌پولک‌داران (Turner et al., 1987; Kerr et al., 1998) نشان داده که اقلیم موجود، در تعیین الگوهای فضایی تنوع پروانه‌های کانادا مهم بوده است که نشان‌دهنده تاثیر تغییراقلیمی در تغییرات بیشتر پراکنش گونه‌های پروانه‌هاست.

بررسی‌های دیگری نیز تغییر دامنه گونه‌های گرده‌افشان را به دلیل تغییرات اقلیمی ایجاد شده به دست انسان نشان می‌دهد. Bryant و همکاران (۱۹۹۷) بیان می‌کنند که دو گونه پروانه محدوده خود را به دلیل تغییرات اقلیمی اخیر تغییر داده‌اند ولی بیشتر بررسی‌ها بر پی‌آمدهای تغییرات پیش‌بینی شده آینده تمرکز دارند (Spark and Yates, 1997). تعدادی گونه (حتی در انگلیس که بیشتر گونه‌ها به سختی گزارش شده‌اند) که در دوره طولانی ردیابی شده اند نشان دادند که تغییرات دامنه ایجاد شده به تغییرات اقلیمی اخیر نسبت داده شده است. تغییر در توزیع یک تاکسون اغلب به دلیل از بین رفتن زیستگاه یا شاید قطعه قطعه شدن زیستگاه اتفاق می‌افتد (Cane, 2001). در بیشتر موارد، این تشخیص صحیح

است (Swengel, 1998a; Kerr et al., 2000). هرچه تغییر اقلیمی مشهودتر می‌شود، بیشتر به عنوان عامل تغییر پراکنش موجود زنده به حساب می آید (Pollard et al., 1996; Mikkola, 1997; Tarrier and Leestmans, 1997; Fleishman et al., 1998).

پیش‌بینی اثر مستقیم غلظت دی‌اکسیدکربن روی گرده‌افشان‌ها و گیاهان میزبان همزیست با آن‌ها مشکل است. دی‌اکسیدکربن اتمسفری به طور غیرمستقیم باعث تغییر نسبت کربن و نیتروژن بافت‌های گیاهی (Bazzaz, 1998; Bazzaz and Sombroek, 1996) و تغییر در الگوهای گیاه‌خواری موجوداتی مثل لارو پروانه‌ها (Rusterholz and Erhardt, 1998) می‌شود. چگونگی تاثیر آن روی جمعیت‌های گرده‌افشان‌ها نامشخص است. به علاوه افزایش غلظت CO_2 در اتمسفر ممکن است باعث تغییر در ساختار گیاهی به خصوص نسبت گیاهان C_3 و C_4 در یک زیستگاه مشخص شود (Bazzaz, 1998). برای بیان این‌که این اثرات روی حفظ گونه‌های خاص گرده‌افشان‌ها تاثیرگذارند، بسیار زود است. اگرچه خطرات ایجاد شده برای اکوسیستم‌ها که توسط تغییر اقلیمی ایجاد می‌شود تشدیدکننده سایر اختلالاتی است که توسط انسان ایجاد می شود (Myers, 1992) و نتایج این تشدیدکنندگی قابل پیش‌بینی نیست.

درک کامل تغییر غنای گونه‌ها در فضا در پیش‌بینی چگونگی پاسخ آن‌ها به تغییر اقلیمی و سایر اختلالات مفید است (Kerr and Packer, 1999). هزاران تحقیق در مورد تغییرات فضایی در غنای گونه‌ها انجام شده است(Currie et al., 1999) اما تعداد کمی از آن‌ها در مورد بی‌مهرگان (Kerr, 1999) و تعداد خیلی کمتری در مورد گونه‌های گرده افشان بوده است (Kerr et al., 1998). مزیت شواهد تجربی این است که پیشنهاد می‌کند که تغییر منطقه ای در غنای گونه‌ها به جنبه‌های انرژی اقلیمی (Wright, 1983; Currie, 1991; Wright et al., 1993) و تاثیرات اضافی ناهماهنگی زیستگاه (Kerr and Packer, 1997; Fraser, 1998) بستگی دارد. به طور کلی انرژی اقلیمی می‌تواند ۶۰-۹۰٪ از تغییرات غنای گونه‌ها در مناطق سرد و گرم را به دلیل تغییر اقلیمی را بیان کند. همچنین تاثیر تغییر اقلیمی روی تعداد گونه‌های یک منطقه قابل پیش‌بینی است (Bazzaz, 1998; Kerr and Packer, 1998).

پیش‌بینی نحوه پاسخ گونه‌های انفرادی مشکل‌تر است و به بررسی زندگی جمعیت‌های پروانه‌ها در شیب‌های مختلف جغرافیایی با جزئیات بیشتر نیاز دارد (Swengel, 1998 a, b).

۱۵-۳-۳ تغییر اقلیمی زمان گرده‌افشانی گل‌ها را تهدید می‌کند

گرم شدن جهانی با اثرات منفی مهم روی گیاهان و گرده‌افشان‌ها باعث اختلال در زمان گرده‌افشانی می‌شود. یکی از مهم‌ترین اثرات مخرب گرم شدن جهانی تغییر در زمان گلدهی در محیط-های آلپی است که باعث کاهش تولیدمثل و ایجاد انقراض می-شود (Inouye and Wielgolaski, 2003; Wielgolaski and Inouye, 2003). Inouye و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که گرم شدن جهانی می‌تواند با اثرات منفی مهم روی گیاهان و گرده‌افشان‌ها باعث اختلال در زمان گرده‌افشانی در مناطق کوهستانی شود. ارتفاعات بالا یکی از محل‌هایی است که تغییر اقلیمی به طور چشمگیری تاثیرگذار است. بر این اساس، زمان گلدهی زودتر اتفاق می‌افتد و فراوانی برخی گل‌ها و همچنین هم‌زمانی گیاهان و گرده افشان‌ها تغییر می‌کند. Inouye و همکاران (۲۰۰۳) بیان می‌کنند که زمان گلدهی در کوه‌های صخره ای به زمان ذوب شدن برف‌ها بستگی دارد که تحت تاثیر گرم شدن جهانی است. تاکنون شواهدی موجود است که گیاهان و گرده‌افشان‌ها به طور متفاوتی به تغییراقلیمی واکنش نشان می‌دهند.

تاثیر گرم شدن جهانی روی فنولوژی (زمان رویدادهای بیولوژیکی حساس به اقلیم) شامل گلدهی، ظهور حشرات و فعالیت‌های تغذیه‌ای پرندگان توسط برخی دانشمندان گزارش شده است (Inouye, 2000; Inouye et al., 2000; Saavedra et al., 2003). آن‌ها همچنین پیش‌بینی‌های چگونگی روابط اکولوژیکی حساس به زمان را در پاسخ به گرم شدن جهانی گزارش کردند. در نتیجه، جانورانی که زودتر در معرض آب و هوای گرم قرار می‌گیرند زودتر از زمستان‌گذرانی

خارج می‌شوند. همچنین پرنده‌هایی که در محل‌های زمستان-گذرانی خود زودتر در معرض دمای بهاره قرار می‌گیرند، زودتر به مناطق شمالی مهاجرت کرده و با حجم زیادی برف روی زمین مواجه شده که باعث گرسنگی آن‌ها می‌شود. پیش از این اختلاف در زمان رویدادهای فصلی در ارتفاعات پایین و بالا تاثیر منفی روی گرده افشان‌های مهاجر مثل مرغ مگس‌خوار داشته که در ارتفاعات پایین و بالا زمستانگذرانی می‌کنند (Inouye et al., 2000). اگر تغییر اقلیمی در زمان گلدهی و رفتار گرده‌افشان‌هایی مثل پروانه‌ها، زنبورهای مخملی، مگس‌ها و حتی پشه‌ها اختلال ایجاد کند، رابطه محکم بین گیاهان و گرده‌افشان‌های آن‌ها که در طول هزاران سال تکامل یافته است به طور غیر قابل بازگشت تغییر می‌یابد (Inouye et al., 2003).

گزارش شده است که فنولوژی گیاهان و جانوران در پاسخ به گرم شدن اقلیمی اخیر در Palaearctic در حال تغییر است. از آن-جایی که در دهه‌های اخیر فنولوژی حشرات نسبت به فنولوژی گیاهان سریع‌تر پیشرفت کرده است، برخی برهمکنش‌های بین گیاهان و حشرات مثل برهمکنش بین گرده‌افشان‌ها و گل‌ها یا برهمکنش بین حشرات گیاه‌خوار و منابع گیاهی آن‌ها افزایش دوبرابری نشان داده است (Wielgolaski and Inouye, 2003).

۱۵-۳-٤ فنولوژی و تغییر اقلیمی

زمان رویدادهای فنولوژیکی مثل گلدهی اغلب تحت تاثیر متغیرهای محیطی مثل دما است. تغییرات محیطی باعث ایجاد تغییراتی در چرخه زندگی می‌شود که در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Parmesan and Yohe, 2003). این تغییرات باعث به هم خوردن هم‌زمانی بین گونه‌ها و تغییر رقابت بین گیاهان می‌شود. برای مثال، زمان گلدهی در گیاهان بریتانیا تغییر کرده، باعث گلدهی زودتر گیاهان یکساله نسبت به چند ساله و گلدهی زودتر گیاهان گرده‌افشانی شده با حشرات نسبت به گیاهان گرده‌افشانی شده با باد و تغییرات اکولوژیکی دیگر می‌شود (Fitter and Fitter, 2002; Willis et al., 2008).

تغییر اقلیمی در زمان و شدت فصول و از این طریق در فنولوژی تاثیر می‌گذارند. در کل نیمکره شمالی هر دهه، بهار حدود ۱/۲ روز زودتر آغاز می‌شود. سطح زمین نیز گرمای بیشتری را در طول تابستان نگه می‌دارد که باعث پایدار ماندن دمای تابستان تا پاییز می‌شود. در نتیجه بهار زودتر و تابستان پایدارتر باعث طولانی شدن زمان رشد می‌شود (این که آیا گیاهان میزان کافی باران در این دمای بالا دریافت می‌کنند یک سوال حل نشده مهم است). برای مثال، در اروپا طول دوره رشد بین سال‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۹۹ به مدت ۱۰/۸ روز طولانی‌تر شده بود (۶ روز شروع زودتر بهار، ۴/۸ روز تابستان پایدارتر). اگرچه این تغییرات،کوچک هستند ولی دنیای طبیعی به روش‌های قابل مشاهده، چشمگیر، قابل پیش‌بینی و مشکل‌ساز نسبت به آن‌ها واکنش نشان می‌دهد. با توجه به ۲۹.۰۰۰ سری داده‌هایی که تغییرات معنی‌داری در سیستم‌های فیزیکی و بیولوژیکی نشان می‌دهد، IPCC در سال ۲۰۰۷ گزارش کرد که ۸۹٪ (۲۵.۸۱۰) از این تغییرات به دلیل وجود تغییر اقلیمی است. این تغییرات به دو دسته تقسیم می شوند: پاسخ‌های فضایی و زمانی.

۱۵-۳-۵ پاسخ‌های جغرافیایی نسبت به تغییر اقلیم

در یک مقیاس فضایی، در قرن اخیر بیشتر گونه‌های جانوری و گیاهی به دلیل تغییر دما، دامنه جغرافیایی خود را به سمت عرض-های جغرافیایی بیشتر و ارتفاعات بالاتر گسترش داده‌اند. برای مثال، از آن‌جایی که در ارتفاعات بالاتر زمستان ملایم‌تری وجود دارد، گونه‌های ارتفاعات پایین به دلیل تحمل به سرما، دامنه حضور خود را تا ارتفاعات بالاتر گسترش داده‌اند. موارد مشابهی در مورد عرض‌های جغرافیایی مشاهده می‌شود. گونه‌های عرض-های جغرافیایی پایین‌تر (نزدیک به خط استوا) دامنه حضور خود را تا عرض‌های بالاتر (نزدیک قطب‌ها) گسترش می‌دهند. این "گسترش دامنه" برای گونه‌هایی که به آسانی پراکنده می‌شوند مفید و برای گونه‌هایی با تحرک کمتر یا حساس‌تر خطرآفرین است. مهاجرت به یک قلمرو جدید اغلب غیرممکن است. تقسیم شدن زیستگاه به دلیل فعالیت‌های انسانی (مثل توسعه مسکن، اتوبان‌ها یا مکان‌های خرید) یا وجود موانع طبیعی مثل رودخانه‌ها

یا کوه‌ها، از جابجایی (یا پراکندگی) بذور، میوه‌ها، حیوانات جوان یا باردار جلوگیری می‌کند.

۱۵-۳-۶ پاسخ‌های زمانی نسبت به تغییر اقلیم

در یک مقیاس زمانی، موجودات زنده با تغییر زمان‌بندی فنولوژیکی خود، به گسترش یا تغییر فصول رشد پاسخ می‌دهند. هزاران گزارش بیولوژیکی کلی و یا مختص قرن بیستم وجود دارد که نشان‌دهنده تغییر فنولوژیکی بهاره زودتر از تاریخ تقویمی است. موجودات با خروج زودتر از دوره خواب (پستانداران، حشرات)، مهاجرت زودتر (پرندگان، حشرات، پستانداران)، تولید زودتر برگ‌ها و ساقه‌های جدید (گیاهان) و تولیدمثل زودتر (پستانداران، حشرات، پرندگان و گیاهان) فصل رشدی را زودتر آغاز می‌کنند. همچنین تاخیر مشابه در فنولوژی پاییزه به دلیل تابستان پایدارتر مشاهده می‌شود. به طور مثال یک گیاه برگ‌ریز چندساله تابستانه برگ‌های خود را دیرتر از حالت عادی می‌ریزد و پرندگان و پستانداران در پاییز دیرتر از حالت عادی مهاجرت می‌کنند. همان‌طور که تصور می‌کنید نتیجه تغییرات فنولوژیکی به سطح تشکیلات بیولوژیکی مورد بررسی بستگی دارد. برای مثال، برگ‌دهی چند روز زودتر از حالت عادی در بهار در یک درخت با عمر طولانی باعث رشد سریع سالانه آن می‌شود، به ویژه اگر درختان مجاور بدون برگ باشند، برگ‌های آن‌ها نور آفتاب بیشتری دریافت می‌کنند. از طرف دیگر اگر برگ‌های درخت زودتر از سایر درختان تولید شوند نسبت به حشرات برگ‌خوار (برای مثال، لارو پروانه‌ها و شب‌پره‌ها، مینوزهای برگ و مورچه‌های برگ‌بر) حساس‌تر شده زیرا تنها میزبان نادر و محدود آن‌ها هستند. اثر تغییر فنولوژیکی در جمعیت یک گونه مورد نظر، به تاثیر وجود سایر گونه‌ها در منابع مورد نیاز آن گونه (برای تغذیه، گرده‌افشانی یا پراکنش دانه‌ها) بستگی دارد. برای مثال، در صورتی که گونه‌هایی که به یکدیگر سود می‌رسانند نسبت به تغییر اقلیم به طور متفاوتی پاسخ دهند (برای مثال، اگر گلدهی یک گیاه ۵ روز زودتر اتفاق بیافتد ولی گرده‌افشان‌های آن گیاه ظاهر نشده باشند) جمعیت یکی یا هردوی آن گونه‌ها کاهش می‌یابند. از طرف دیگر اگر گلدهی یک گیاه زودتر اتفاق بیافتد، از یک یا بیش از یکی از دشمنان طبیعی خود (برای مثال، لارو سوسک‌های تغذیه کننده از گل‌ها) فرار کرده و تولید گل و میوه آن افزایش می‌یابد.

پیش‌بینی‌ها در سطح یک اجتماع اغفال‌کننده است. ما از ردیابی پرندگان و ردیابی‌های رادیویی فهمیده‌ایم که پرندگان زودتر و زودتر به مکان‌های تولیدمثلی خود در بهار و تابستان برمی‌گردند اما تاثیر این تغییرات ایجاد شده در الگوهای پرواز روی پرندگان و گونه‌های مرتبط با آن‌ها (مثل شکارگرها یا پخش کننده‌های بذرو) وابسته به گونه یا اجتماع است. با این‌حال چندین قانون کلی احتمالا در این موارد کاربرد دارد.

نخست: هرچه ارتباط بین گونه‌ها اختصاصی‌تر باشد، هر کدام از آن‌ها نسبت به اثرات فنولوژیکی تغییراقلیم حساس‌تر می‌شوند. برای مثال، گونه‌های گیاهی که فقط یک گونه گرده‌افشان دارند نسبت به گونه‌هایی که دامنه وسیعی از گرده‌افشان‌ها را دارند حساس‌ترند. به طور مشابه حشراتی که از یک گونه گیاهی به عنوان منبع غذایی تغذیه می‌کنند در صورتی که زمان ظهور آن‌ها در طبیعت با فصل رشدی یا گلدهی میزبان‌های گیاهی آن‌ها هماهنگی نداشته باشد دچار کاهش شدید جمعیت می‌شوند.

دوم: جانورانی که برای تکمیل دوره‌های مشخصی از سیکل زندگی خود (مثل رشد و بلوغ جنسی) بر حسب عادت به بیوم‌های جغرافیایی دور مهاجرت می‌کنند نسبت به تاثیر فنولوژیکی تغییرات اقلیمی حساس هستند زیرا دارای تعاملات بین گونه‌ای بیشتری هستند که ممکن است دچار اختلال شود. این گونه‌ها از زمان‌بندی فنولوژیکی خاصی برخوردار هستند که مناسب گونه‌های همزمان با اقلیم خاص زیستگاه آن‌هاست. برای مثال، گونه‌هایی از پرندگان که در مسیرهای طولانی مهاجرت می‌کنند باید با منابع غذایی در بیومی که در آن رشد کرده و به بلوغ جنسی می‌رسند همزمانی داشته باشند و از دشمنان طبیعی خود اجتناب کنند و باید در مهاجرت‌های بعدی خود به مناطق تولیدمثلی، با منابع غذایی مورد نیاز برای تغذیه نوزادان همزمانی داشته باشد. جانوران مهاجر باید به این نیاز ها دسترسی داشته باشند و از دشمنان طبیعی خود دوری کنند.

دانشمندان به این تغییرات دامنه زمانی و مکانی "اثر انگشت تغییر

اقلیمی" می‌گویند. زمان‌بندی‌های فنولوژیکی گونه‌های مرتبط مثل گیاهان و گرده افشان‌ها به سرعت و در نسبت‌های مختلف در حال تغییر است. در سال های اخیر گزارش‌هایی از تخریب جمعیت وحشی به دلیل پاسخ‌های ناهماهنگ با تغییرات اقلیمی بین گونه-های وابسته در حال افزایش است اما دانشمندان تنها در مورد چگونگی پراکنش آن‌ها و تعداد موجودات زنده‌ای که روی آن‌ها تاثیر می‌گذارند در حال تحقیق هستند.

نشانه‌های فنولوژیکی در جدول زندگی بیشتر گونه‌ها مهم و حیاتی هستند. وقتی گرم شدن جهانی باعث تغییر اقلیم می‌شود، رویدادهای فنولوژیکی مهمی رخ می‌دهد. در صورتی که تغییر فنولوژیکی در یک گونه با تغییرات مرتبط هماهنگ نباشد یک "عدم تطابق اکولوژیکی" رخ می‌دهد (Visser and Both, 2005). برای مثال، اگر درختان در پاسخ به بهار گرم‌تر، زودتر شکوفه دهند ولی گرده‌افشان‌ها زودتر ظاهر نشوند شکست (عدم گرده‌افشانی یا گرده‌افشانی ناکافی) اتفاق می‌افتد. عدم تطابق ایجاد شده به دلیل تغییرات اقلیمی باعث اختلال در چرخه تولیدمثلی بیشتر گونه‌ها می‌شود. در یک مثال تغییر در بارش در ارتباط با تغییر اقلیم منطقه‌ای باعث انقراض دو جمعیت پروانه Checkerspot در کالیفرنیا شده است (John McLaughlin et al. 2002). تغییر در میزان بارندگی باعث تغییر در ارتباط بین لارو پروانه‌ها و گیاهان میزبان می‌شود. در سال‌های خیلی خشک یا خیلی مرطوب لاروها فرصت تغذیه از گیاهان میزبان، قبل از مرگ گیاهان را ندارند. این فرصت‌های از بین رفته در تولیدمثل موفق باعث تغییر در فروانی پروانه‌ها و در نهایت انقراض آن‌ها می‌شود. وقتی جمعیت گرده‌افشان‌ها یا گیاهان کاهش می‌یابد، به دلیل ارتباط اکولوژیکی نزدیک آن‌ها، گونه دیگر نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. برای مثال، خفاش بینی بلند کوچک، گرده‌افشان شبانه ابتدایی دو گونه مهم کاکتوس اکوسیستم بیابان Sonoran یعنی کاکتوس saguaro و کاکتوس organ pipe است. زمان مهاجرت خفاش‌ها از مکزیک با زمان شکوفه‌دهی گل‌های کاکتوس تطابق دارد. شکوفه و خفاش به شدت به هم سازگار شده‌اند: گل غذای خفاش‌ها را به شکل شهد تامین می‌کند و خفاش‌ها از آن تغذیه می‌کنند. در این فرآیند خفاش‌ها باعث گرده‌افشانی گل‌ها می‌شوند. پژوهش‌ها نشان داده که در سال‌های اخیر زمان شکوفه‌دهی برخی گونه‌ها به دلیل تغییر دما، به طور معنی‌داری تغییر کرده است. این تغییرات در ارتباط گیاه- گرده افشان اختلال ایجاد کرده و باعث خطر در هر دو گونه می‌شود. از دیگر گونه‌های در معرض خطر می‌توان به پروانه Karner Blue در Wisconsin و پرنده Hawaiian crested honeycreeper اشاره کرد. Tedeschini و همکاران (۲۰۰۶) تاثیر تغییر اقلیمی را در گرده‌افشانی جنس *Platanus* در نقاط مختلف از ایتالیا و اسپانیا مطالعه کردند. در هر دو ایستگاه ایتالیا که دمای آن به طور معنی‌داری افزایش یافته بود شروع زودتر گرده-افشانی (۰/۶۶- ; ۱/۱۲- روز در سال) و در ایستگاه‌های اسپانیا که روند تغییر دما متفاوت بود تاخیر ۰/۲- ۰/۸ روز در سال در گرده-افشانی ثبت شد. این مطالعه نشان می‌دهد که رهاسازی گرده در دماهای بالا به‌تدریج و در شرایط سردتر سریع‌تر صورت می‌گیرد. Miller-Rushing و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که تغییر اقلیمی در فنولوژی گیاهان در سراسر جهان تاثیرگذار است. پاسخ‌های فنولوژیکی در بین گونه‌ها متفاوت است اما تفاوت پاسخ‌ها در گونه‌های بسیار نزدیک به هم مشخص نیست. آن‌ها یک بررسی ۲۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۱) از زمان گلدهی ۹۷ درخت، ۱۷ گونه و هیبریدهای گیلاس (جنس *Cerasus* یا جنس *Prunus*) رشد کرده در Mt. Takao در توکیو ژاپن انجام داده و به این نتیجه رسیدند که درختان گیلاس در طول ۲۵ سال تحقیق، حدود ۵/۵ روز زودتر گلدهی کردندکه آن را به افزایش ۱/۸ درجه سانتی‌گرادی دمای میانگین ماهانه February- March نسبت داده‌اند. بیشتر گونه‌ها و هیبریدها با یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما، ۳-۵ روز زودتر گلدهی می‌کنند اما گونه‌های زودگل‌دهنده به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما ۹ روز زودتر گلدهی می‌کنند. طول دوره گلدهی و اختلاف در زمان گلدهی بین گونه‌های مختلف در سال‌های گرم بیشتر از سال‌های سرد است. همچنین درختان در سال‌های گرم‌تر گلدهی طولانی-تری دارند. این نتایج نشان داد که زمان گلدهی گونه‌های نزدیک

به هم در پاسخ به تغییراقلیمی به طور مشابهی تغییر می‌کند، اما گونه‌های زودگل‌دهنده از روند پیش‌بینی شده دور می‌شوند. تغییرات ایجاد شده در گلدهی ممکن است با افزایش طول دوره گلدهی روی جریان ژن‌ها و گرده‌افشانی تاثیر بگذارد. Memmott و همکاران (۲۰۰۷) ارتباط بین ۱۴۲۰ گرده‌افشان و ۴۲۹ گونه گیاهی را بررسی کرده و دریافتند که تغییرات فنولوژیکی ناشی از دو برابر شدن CO_2 اتمسفر باعث کاهش منابع گلدار در طول دوره پرواز ۱۷-۵۰ ٪ از گرده‌افشان‌ها می‌شود. کاهش هم‌پوشانی بین گیاهان و گرده‌افشان‌ها همچنین باعث کاهش دامنه تغذیه‌ای گرده‌افشان‌ها می‌شود. تغییرات اقلیمی همچنین باعث تغییر در چرخه تولیدمثل و فصل رشدی گونه‌های معینی می‌شود. پژوهش‌های Parmesan and Yohe (2003)روی زمان رویدادهای بهاره مثل تخمگذاری پرندگان یا گلدهی گیاهان که در ۶۱ بررسی مشاهده شده است نشان می‌دهد که در نیم قرن اخیر در هر دهه حدود ۵/۱ روز زودتر اتفاق افتاده است. به طور مشابه Root و همکاران (۲۰۰۳) به این نتیجه رسیدند که در ۱۷۰۰ گونه بررسی شده، ۸۷٪ تغییرات فنولوژی مشاهده شده به دلیل تغییرات اقلیمی بوده است. در اروپا داده‌های فنولوژیکی نشان می‌دهد که در سال‌های بین ۱۹۶۲ تا ۱۹۹۵ طول فصل رشدی حدود ۱۰ روز افزایش یافته است (Menzel and Fabian, 1999).

۱۵-۳-۷ تغییرات در برهمکنش‌های گونه‌ای

تاثیرتغییر اقلیم روی بسیاری از برهمکنش‌های پیچیده‌تر در اکوسیستم‌ها (شکارگری، رقابت، گرده‌افشانی و بیماری) که جانشین اکوسیستم‌های عمل‌کننده خواهند بود تاحد زیادی ناشناخته است. عدم تطابق زمانی بین گونه‌های مرتبط اتفاق می‌افتد به‌ویژه وقتی تغییرات در برخی گونه‌ها به دلیل طول روز و در بقیه گونه‌ها به دلیل دما اتفاق می‌افتد (Hughes, 2000). تغییرات کوچک آب و هوا به دلیل تغییر اقلیمی، در آب، گرده و شهد زنبورها تاثیر می‌گذارد. در دهه ۱۹۴۰ حدود ۵ میلیون کلنی زنبور در آمریکای شمالی وجود داشته در صورتی که هم‌اکنون تنها ۲ میلیون کلنی وجود دارد. شرایط آب و هوایی نامناسب و توفان‌ها باعث کاهش شدیدی در تعداد کلنی زنبورها در سال‌های اخیر شده است. تغییر اقلیمی همچنین به عنوان یک عامل ضعیف‌کننده زنبورها به حساب می‌آید و در گرده‌افشانی محصولات بیشتر مناطق کشاورزی تاثیرگذار است. مدارک تاریخی نشان می‌دهد که هر ۷ یا ۸ سال در کندوهای زنبورعسل نوسان‌هایی دیده می‌شود که تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی و محصولات زراعی است.

۱۵-۳-۸ ناپدید شدن هم‌زمان زنبورها و گل‌ها

بر اساس تحقیق دانشگاه Leeds که در مجله Science چاپ شده است تنوع زنبورها و گل‌های گرده‌افشانی شده توسط آن‌ها در طول ۲۵ سال اخیر در انگلیس و هلند به طور معنی‌داری کاهش یافته است (Biesmeijer et al., 2006). این مقاله اولین مدرک کاهش گسترده تنوع زنبورهاست. نگرانی از بین رفتن خدمات گرده‌افشانی طی سال‌ها افزایش یافته است اما تاکنون بیشتر شواهد به تعداد کمی از گونه‌های کلیدی یا مکان‌های مرکزی کمی محدود شده است. Biesmeijer و همکاران (۲۰۰۶) گزارش‌های تنوع زیستی صد مکان را جمع‌آوری کردند و به این نتیجه رسیدند که تنوع زنبورها در ۸۰ ٪ آن‌ها کاهش یافته است. بیشتر گونه‌های زنبورها در انگلیس در حال کاهش یا انقراض هستند.

۱۵-۳-۸-۱ نمونه‌هایی از کاهش زنبورها و گیاهان

زنبورهای گالزا و گیاه field scabious در حال کاهش هستند. گیاه field scabious (*Knautia arvensis*) گرده و شهد را برای دامنه وسیعی از حشرات تامین می‌کند. یک زنبور گالزا به نام *Andrena hattorfiana* نوزادان خود را روی گرده این گیاهان پرورش می‌دهد. بررسی‌ها (Biesmeijer et al., 2006) نشان می‌دهد که به تازگی هر دو گونه در انگلیس و هلند در حال کاهش هستند. گیاه field scabious همچنان معمول بوده، در صورتی که خیلی کمتراز دهه‌های گذشته رایج هست. به علاوه چرا و کوتاه کردن زودتر علوفه‌ها باعث نرسیدن این گیاه به مرحله گلدهی شده که یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش

زنبورهای گالزا می‌شود. نبود زنبورها همچنین نقش مهمی را در کاهش گیاهان ایفا می‌کند. در یک پژوهش در سوئد این زنبور به عنوان موثرترین گرده‌افشان گیاه field scabious نسبت به سایر زنبورها و مگس‌های سیرفیده شناخته شده است. خبرهای خوب این است که مدیریت کافی زیستگاه می‌تواند به زنبورهای کاهش یافته و گیاهان مورد تغذیه آن‌ها کمک کند. زنبورهای اختصاصی نخود وحشی دوره سختی را دارند. پیش‌بینی شده است که کاهش گونه‌های متنوعی از زنبورهای مخملی به دلیل کاهش اعضای خانواده نخود به عنوان غذای جانوران مزرعه بوده است. همچنین سایر گونه‌های زنبورهای وحشی که اختصاصی گرده نخود وحشی هستند نیز در حال کاهش هستند. برای مثال، زنبورهای *Eucera nigrescens* و *Eucera longicornis* در حال ناپدید شدن هستند. *Eucera nigrescens* در انگلیس منقرض و در هلند کمیاب شده است که دلیل آن کاهش برخی از گیاهان مورد تغذیه (ماشک، خلماش چمنی و شبدر) آن‌هاست

بررسی‌های انجام شده توسط Biesmeijet و همکاران (۲۰۰۶) در مورد مقایسه نمونه‌های جمع آوری شده قبل و بعد از سال ۱۹۸۰ در انگلیس و هلند نشان داد که تنوع زنبورها در هر دو کشور به طور پیوسته کاهش یافته است، در صورتی که تنوع مگس‌های سیرفیده در انگلیس به طور کلی ثابت بوده ولی در هلند افزایش یافته است. از بین رفتن تنوع زنبورها به خودی خود نگران‌کننده نیست که مشابه سایر حشرات گرده‌افشان است. بررسی زنبورها و مگس‌های سیرفیده نشان داد که برنده و بازنده متفاوت هستند، حشراتی که دامنه محدودی از گل‌ها را گرده‌افشانی می‌کنند یا گونه‌های اختصاصی زیستگاه اغلب بازنده هستند. روی هم رفته تعداد کمی از گرده‌افشان‌های عمومی جایگزین تعداد زیادی از گونه‌های اختصاصی کمیاب شده‌اند. به دلیل ناپدید شدن زنبورها تغییرات برابری در دنیای گیاهی به ویژه در گیاهان وابسته به گرده‌افشانی زنبورها اتفاق افتاده است. در انگلیس که تنوع زنبورها کاهش و مگس‌های سیرفیده ثابت است کاهش ۷۰٪ گل‌های وحشی تامین‌کننده حشرات گرده‌فشان اتفاق افتاده است در ارتباط با این پدیده، گونه‌های گیاهی تلاقی شده که به کاهش گرده‌افشان‌ها وابسته هستند، نسبت به سایر گونه‌های گیاهی کاهش یافته‌اند.

۱۵-٤- ۱۵ تاثیر تغییر اقلیم بر گرده‌افشان‌ها و کشاورزی

در ماه آوریل ۲۰۰۷ کشاورزان تایوان کاهش شدید بی‌دلیلی را در کلنی زنبورها گزارش کردند که دانشمندان دلیل آن را آب و هوای ناپایدار دانستند. دما به‌تازگی طی چند روز از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ۳۰ درجه سانتی‌گراد در نوسان بوده و این ممکن است روی زنبورها اثر گذاشته باشد. شما می‌توانید این روزها تغییر اقلیم را به خوبی در تایوان بینید. همچنین اثر نبود زنبورها نیز باید احساس شود، اگرچه می‌تواند تاثیر جدی روی گرده‌افشانی داشته باشد.

در هند در سال ۲۰۰۷ درختان مانگو در اندرا پرادش به دلیل افزایش دما ۳ ماه زودتر گلدهی کردند. چند سال پیش در هیمالیا زنبورها تحت تاثیر الگوهای گلدهی نامنظمی قرار گرفتند که باعث افت شدیدی در ذخیره عسل و گرده‌افشانی بادام شد. گل-دهی عادی بادام در کشمیر در هفته سوم فوریه اتفاق می‌افتد اما در سال ۲۰۰۰ به دلیل نبود زنبورهای گرده‌افشان گلدهی در ماه دسامبر اتفاق افتاده بود که باعث کاهش محصول شد. تغییرات اقلیمی در ۸ سال اخیر نقش مهمی را در شکست گرده‌افشانی در درختان سیب ایفا کرده است. بارندگی در طول دوره گلدهی روی گرده‌افشانی توسط باد و حشرات تاثیرگذار است. همچنین دمای پایین روی تولید میوه در درختان سیب تاثیر منفی می‌گذارد (داده‌های منتشر نشده Abrol). آب و هوا نه‌تنها روی پرندگان، کفشدوزک‌ها و پروانه‌ها بلکه روی پستانداران نیز تاثیرگذار بوده است. روی اقلیم کشاورزی، تغییر اقلیمی منطقه‌ای نسبت به الگوهای اقلیمی جهانی بیشتر تاثیرگذار است.

در سال ۲۰۰۲ هند و ایالات متحده به دلیل ثبت دما و خشکی از کاهش شدید برداشت محصول آسیب دیدند (Attri, 2001). در سال ۲۰۰۳ در اروپا بارندگی در طول بهار و تابستان بسیار کم بود و مقدار گرمای ثبت شده باعث از بین رفتن محصولات زیادی در انگلیس و فرانسه در غرب اروپا تا اکراین در شرق اروپا شد. اگر سطح دریاها آن طور که انتظار می‌رود تا پایان قرن افزایش

پیدا کند، کاهش شدیدی در محصول برنج کشورهای نواحی پست مانند بنگلادش، هند و ویتنام را. تجربه خواهند کرد.

۱۵-۵ گرده‌افشانی به عنوان ابزار سازش با تغییرات محیطی و کاهش خطرات

تغییر اقلیم باعث تغییر در پراکنش بیشتر گونه‌ها می‌شود. شناسایی منابع ژنتیکی محصولات که به سازگاری آن‌ها نسبت به تغییراقلیم کمک می‌کنند مورد توجه است.

گرده‌افشان‌ها به صورت گسترش یا کوچک کردن محدوده خود، به الگوهای اقلیمی جدید پاسخ می‌دهند. در نتیجه در دسترس نبودن گیاهان برای گرده‌افشان‌ها و همچنین عدم تطابق دامنه گیاهی و گرده‌افشان‌های آن‌ها تهدید مهمی به شمار می‌آید. این اثرات در صنعت بذر کشور هند مشاهده شده است. از آن‌جایی که میزان مشخصی سرما برای القای تولید بذر در گیاهان معتدله نیاز است، بیشتر کشت بذور سبزیجات در مناطق کوهستانی (مثل هندوکش هیمالیا) صورت می‌گیرد.

در حالی که مناطق کوهستانی چنین اقلیمی را می‌توانند تامین‌کنند، همچنین باعث آسیب‌پذیری بیشتر کشاورزان نسبت به تاثیر تغییر اقلیمی می‌شوند. کشاورزان دره Kullu در ایالت Himachal Pradesh به این نتیجه رسیدند که دمای کلی در حال افزایش است، در صورتی که بارندگی پیش‌بینی نشده است که باعث از بین رفتن چند محصول می‌شود. میزان محصول بذر سبزیجات در حال کاهش است ولی تاکنون مسئله تامین گرده‌افشانی طبیعی در تغییر اقلیمی توسط پژوهشگران و انجمن‌های کشاورزی کمتر بررسی شده است.

۱۵-٦ گرم شدن جهانی عاملی درمرگ و میر زنبورهای عسل

زیست‌شناسان در حیرتند که گرم شدن جهانی باعث افزایش شدید نرخ رشد بیمارگرهایی مثل کنه‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌های موجود در کلنی زنبورهای عسل می‌شوند.

نوسان‌های غیر عادی آب و هوا در سال‌های اخیر که عامل گرم شدن جهانی بوده، عامل مخربی در جمعیت زنبورهایی هستند که به الگوهای ثابت آب و هوایی عادت کرده‌اند.

۱۵-۷ چگونگی غلبه بر تغییر اقلیمی برای گرده‌افشانی بهتر

گرده‌افشان‌های مختلف در زمان‌های متفاوت روز و در شرایط آب و هوایی متفاوت فعال هستند و این گرده‌افشان‌های مهم یک محصول از گونه‌ای به گونه دیگر در حال تغییر هستند (Inouye et al., 2002; Kremen et al., 2000; Inouye 2008). جمع‌آوری گروه متنوعی از گرده‌افشان‌ها (با ویژگی‌های متفاوت و پاسخ متفاوت به شرایط محدود) یکی از بهترین روش‌های به حداقل رساندن خطرات تغییراقلیمی است. تضمین ایجاد شده توسط تنوع گرده‌افشان‌ها برای شرایط فعلی، تامین‌کننده گرده‌افشانی برای شرایط آب و هوایی آینده نیز هست. یک اکوسیستم کشاورزی با تنوع زیستی، با برهمکنش آسان بین محصولات و تنوع زیستی وابسته به محصول، به طور معنی‌داری به تجزیه کربن کمک می‌کند (Hajjar et al., 2008).

۱۵-۸ کشاورزی پایدار کاهش‌دهنده تغییر اقلیمی و دارای توانایی سازگاری با شرایط اقلیمی

کشاورزی پایدار با کاهش یا حذف مواد آلاینده مثل آفت‌کش‌ها و کود نیتروژنی، حفظ آب، حفظ و نگهداری خاک، تجدید باروری خاک و حفظ تنوع زیستی کشاورزی باعث کاهش خطرات محیطی می‌شود (Wilson, 1988). همچنین تکنیک‌های کشاورزی پایدار باعث کاهش تغییرات اقلیمی می‌شود. تنوعی از روش‌های کشت مثل تناوب محصول و طرح‌های پیشرفته کشت، مدیریت پیشرفته زمین‌های کشت شده، مدیریت کود و مواد مغذی، مدیریت چراگاه‌ها و دام‌ها، حفظ باروری خاک، تجدید خاک ضعیف، مدیریت پیشرفته آب و برنج و به علاوه تغییر کاربری زمین و جنگلکاری باعث کاهش تاثیر تغییر اقلیم در کشاورزی می‌شود (Bellarby et al., 2008).

۱۵- ۹ اهمیت مطالعه زیست‌شناسی تولیدمثلی گیاهان در حفاظت

لقاح موفق به گرده افشانی موثر بستگی دارد. بررسی گرده‌افشانی به‌تنهایی می‌تواند اطلاعات زیادی در مورد از بین‌رفتن بیشتر گونه‌ها فراهم کند، زیرا گرده‌افشانی یک مرحله اساسی در تولیدمثل گیاهان است (Inouye and Barr, 2006; Moza and

(Bhatnagar, 2007 گرده‌افشانی موفق، پیش‌نیاز ضروری در بقای گیاهان در جوامع طبیعی بوده و به عوامل زنده و غیرزنده زیادی وابسته است. گیاهان با گرده‌افشان‌های خود در ارتباط بوده و تغییرات اکولوژیکی بزرگ باعث قطع هم‌زمانی گل‌دهی و چرخه تولیدمثلی آن‌ها می‌شود. طرفداران حفظ منابع طبیعی به تمرکز روی گرده افشان‌ها و زیست‌شناسی آن‌ها و طرح راهبردهای حفاظتی نیاز دارند. کاهش تعداد زیادی از گیاهان گرده‌افشانی شده با حشرات و پرندگان به دلیل گرده‌افشانی غیر موفق آن‌ها به خاطر از بین رفتن گرده‌افشان‌های آن‌هاست. برای تلاقی گیاه حشره دوست، اندازه جمعیت و تراکم گیاه به جذب و عملکرد گرده‌افشان‌ها ارتباط نزدیک دارد. از آن‌جایی که جمعیت‌های کوچک جذابیت کمتری برای گرده افشان‌ها دارند، کاهش اندازه جمعیت باعث کاهش تولید میوه یا بذر به دلیل نقل و انتقال ناکافی گرده می‌شود. برخی گیاهان دامنه کوچک تولید میوه و گل را دارند. باید شرایط مناسب برای تولید گل در گیاهان وجود داشته باشد. یک تحقیق در ایتالیا توسط گروه زیست‌شناسی تولیدمثل روی *Rhus aculeatus* یک درختچه همیشه سبز انجام شده که نتایج جالبی را نشان داد. در فهرست RET گیاه به دلیل گرده‌افشانی غیرموفق در معرض خطر قرار گرفته است. اطلاعات در آزمایشگاه با مشاهده نبود دانه گرده روی سطح کلاله ۸۰ گل از نمونه‌های پر از شکوفه جمع‌آوری شده بود که در دوره گلدهی از مزرعه به صورت تصادفی انتخاب شده بودند. مطالعه زیست‌شناسی تولیدمثل *Lactoris fernanndeziana* یک گیاه بومی جزیره‌ای در شیلی که متعلق به خانواده Lactoridaceae است به حفظ گونه‌ها کمک کرده است.

۱۵-۱۰ نتیجه‌گیری

وقتی ما به سیستم حیات‌وحش فکر می‌کنیم این جانوران به طور معمول کوچک و اغلب غیر مزاحم مانند گرده‌افشان‌ها بلافاصله به ذهن نمی‌آیند. به هرحال،گرده‌افشان‌ها می‌توانند به عنوان محافظان یکپارچگی زیستی اکوسیستم‌ها به شمار آیند. همچنین آن‌ها یکپارچگی زیستی، تنوع و سلامت محیطی اکوسیستم را تامین می‌کنند. عنوان کردن نیازهای آن‌ها اغلب مفاهیم گسترده‌ای دارد که به طور کلی با مدیریت تنوع و یکپارچگی زیستی در ارتباط است. اگرچه اغلب پرندگان به عنوان شاخص‌های شرایط محیطی در نظر گرفته می‌شوند ولی گرده‌افشان‌ها روش خیلی بهتری برای تشخیص سالم بودن اکوسیستم هستند. وقتی گرده-افشان‌ها در دردسر می‌افتند، اکوسیستم هم با مشکل مواجه می-شود.

به‌علاوه گرده‌افشان‌ها به عنوان جزء اساسی در پایداری اکوسیستم، در اقتصاد ملی مهم هستند. بیشتر میوه‌ها، سبزیجات، آجیل و سایر محصولات غذایی برای تولیدمثل و افزایش محصول به گرده-افشان‌ها وابسته هستند. همانطور که اهمیت وجود جمعیت سالمی از گرده‌افشان‌ها در کشاورزی مشخص است، تامین منابع غذایی مورد نیاز ماهی‌ها و حیات وحش نیز مهم است. برای مثال، رژیم غذایی بیشتر پرندگان مهاجر شامل دانه‌ها، میوه‌ها و بذور است که نیازمند گرده‌افشانی است.

عموم مردم شدت خطرات این رویدادهای مبهم را نمی‌دانند اما ما باید از آن‌ها آگاه باشیم. دانشمندان مشاهده می‌کنند که چگونه یک گونه بعد از گونه‌ای دیگر ناپدید می‌شود در صورتی که در گذشته چنین خطرات مستقیم تهدیدکننده مشاهده نمی‌شد. انقراض یک گونه فقط بر همان گونه ناپدید شده تاثیر نمی‌گذارد بلکه باعث تغییرات بیشتری می‌شود. زنبورها به عنوان نمایانگر زیستی متحرک و بادوام از شرایط محیط محلی، اهمیت خاصی دارند. زنبورها با دارا بودن فعالیت‌های جمع‌آوری و دامنه تغذیه‌ای وسیع، به عنوان عامل شناسایی کاهش منابع گلدار و مواد سمی موجود در محیط به شمار می‌آیند. هزینه حفظ تنوع زیستی خیلی کم‌تر از خسارات ناشی ازهم پاشیدگی آن است.

فعالیت‌های انسانی ممکن است برای برخی گونه‌ها مضر و برای بقیه گونه‌ها مفید باشد (Thomas and Jones, 1993; Benedek 1996). لازم است بدانیم که گرده‌افشانی یک کار مجانی نیست و این سرمایه‌گذاری نیازمند حمایت و نگهداری است. ارزیابی‌های اقتصادی بهره‌وری کشاورزی باید مسئولیت تامین هزینه نگهداری جمعیت‌های وحشی و مدیریت‌شده گرده-افشان‌ها را بپذیرد (Ingram et al., 1996). نیاز به مستند

سازی کامل موارد ویژه کاهش گرده‌افشان‌های موجود، برون رفت سریع از دانش کنونی ما برای در برگرفتن گرده‌افشانی جهانی و بحران کاهش تولید محصول ممکن است نامناسب و ناکافی باشد (Ghazoul, 2005). همان‌طور که آلبرت انیشتین بی‌پرده بیان کرد "اگر زنبورها از سطح جهان ناپدید شوند انسان‌ها فقط ۴ سال زنده می‌مانند. نبود زنبورها ، نبودگرده‌افشانی ، نبود گیاهان ، نبود حیوانات ، نبود انسان". زنبور پایه زندگی در این زمین هست.

منابع

Abrol DP (1988) Environmental factors influencing pollination activity of Apis mellifera L. on Brassica campestris L. var toria. J Indian Inst Sci (Biol Sci) 68:49–52

Abrol DP (1991) Conservation of pollinators for promotion of agricultural production in India. J Anim Morphol Physiol 38(1/2):123–139

Abrol DP (1993) Insect pollination and crop production in Jammu and Kashmir. Curr Sci 65:265–269

Abrol DP (2007) Honeybee and rapeseed – a pollinator plant interaction. In: Dr Gupta SK (ed) Advances in botanical research: rapeseed breeding, vol 45. Elsevier, London, pp 339–367

Abrol D (2008) Bees and beekeeping in India, 2nd edn. Kalyani Publishers, Ludhiana, 720p

Allen-Wardell G, Bernhardt P, Bitner R, Burquez A, Buchmann S, Cane J, Cox PA, Dalton V, Feinsinger P, Ingram M, Inouye D, Jones CE, Kennedy K, Kevan P, Koopowitz H, Medellin R, Medellin-Morales S, Nabhan GP, Pavlik B, Tepedino V, Torchio P, Walker S (1998) The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. Conserv Biol 12(1):8–17

Attri SD (2001) Status of climate change in India. In: Dash SK, Rao P (eds) Assessment climate change in India and mitigation policies. WWF, New Delhi, pp 10–17

Balling RC, Cerveny RS (1998) Weekly cycles of air pollutants, precipitation and tropical cyclones in the coastal NW Atlantic region. Nature 394:561–563

Banaszak J (1995) Changes in fauna of wild bees in Europe. Pedagogical University, BydgoszczBazzaz FA (1998) Tropical forests in a future climate: changes in the biological diversity and impact on the global carbon cycle. Clim Chang 39:317–336

Bazzaz F, Sombroek W (eds) (1996) Global climate change and agricultural production. Direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant physiological processes. FAO/Wiley, Rome/Baffins Lane

Bellarby J, Foereid B, Hastings A, Smith P (2008) Cool farming: climate impacts of agriculture and mitigation potential. Greenpeace International, Amsterdam

Benedek P (1996) Structure and density of lucerne pollinating wild bee populations as affected by changing agriculture. Acta Hortic 437:353–357

Biesmeijer JC, Roberts SPM, Reemer M, Ohlemüller R, Edwards M, Peeters T, Schaffers AP, Potts

SG, Kleukers R, Thomas CD, Settele J, Kunin WE (2006) Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. Science 313(5785): 351–354

Bryant SR, Thomas CD, Bale JS (1997) Nettle-feeding nymphalid butterflies: temperature, development and distribution. Ecol Entomol 22:390–398

Buchmann SL, Nabhan GP (1996) The forgotten pollinators. Island Press, Washington, DC

Cane JH (2001) Habitat fragmentation and native bees: a premature verdict? Conserv Ecol 5(1):3

Corbet SA, Williams IH, Osborne JL (1991) Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European Community. Bee World 72:47–59

Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, van den Belt M (1987) The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387:253–260

Costanza R, d' Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B et al (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387:253–260

Cowley MJR, Thomas CD, Thomas JA, Warren MS (1999) Flight areas of British butterflies: assessing species status and decline. Proc R Soc Lond B 266:1587–1592

Currie DJ (1991) Energy and large-scale patterns of animal and plant species richness. Am Nat 137:27–49

Currie DJ, Kerr JT, Francis AP (1999) Some general propositions about the study of spatial patterns of species richness. Ecoscience 6:392–399

Day MC (1991) Towards the conservation of Aculeate Hymenoptera in Europe. Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats, Nature and Environment Series 51. Council of Europe Press, Strasbourg

Falk S (1991) A review of scarce and threatened bees, wasp and ants of Great Britain. Research and survey in nature conservation no 35, Nature Conservancy Council, Peterborough, UK

Fitter AH, Fitter RSR (2002) Rapid changes in flowering time in British plants. Science 296:1689–1691

Fleishman EG, Austin T, Weiss AD (1998) An empirical test of Rapoport's rule: elevational gradients in montane butterfly communities. Ecology 79:2482–2493

Fraser RH (1998) Vertebrate species richness at the mesoscale: relative roles of energy and heterogeneity. Glob Ecol Biogeogr 7:215–220

Free JB (1993) Insect pollination of crops. Academic, London, 684 pp

Gallai N, Sallas JM, Settele J, Vaissiere BE (2008) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. Ecol Econ 68:810–821

Gärdenfors U (ed) (2000) Rödlistade arter i Sverige 2000 – the 2000 red list of Swedish species.

ArtDatabanken SLU, Uppsala, 397 pp

Ghazoul J (2005) Buzziness as usual? questioning the global pollination crisis. Trends Ecol Evol 20(7):15–17

Gillette DD, Kimbrough JD (1970) Chiropteran mortality. In: Slaughter BH, Walton DW (eds) About bats: a chiropteran biology symposium. Southern Methodist University Press, Dallas, pp 262–283, 339 pp

Hajjar R, Jarvis DI, Gemmill-Herren B (2008) The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. Agric Ecosys Environ 123:261–270

Harrison RD (2000) Repercussions of El Nin˜o: drought causes extinction and the breakdown of mutualism in Borneo. Proc R Soc Lond B 267:911–915

Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ) (2008) Economic value of insect pollination worldwide estimated at 153 billion Euros. Ecological economics, Press release, 15 Sept 2008

Hill JK, Thomas CD, Fox R, Telfer MG, Willis SG, Asher J, Huntley B (2002) Responses of butterflies to twentieth century climate warming: implications for future changes. Proc R Soc Lond B 269:2163–2171

Hughes MJ (1996) Commercial rearing of bumblebees. In: Matheson A (ed) Bumblebees for pleasure and profit. International Bee Research Association, Cardiff, pp 40–47

Ingram M, Nabhan G, Stephen B (1996) Our forgotten pollinators: protecting the birds and bees. Glob Pest Campaign 6(4):123–125

Inouye DW (2000) The ecological and Evolutionary significance of frost in the context of climate change. Ecol Lett 3(5):457–463

Inouye DW (2008) Effects of climate change on phenology, frost damage, and floral abundance of montane wildflowers. Ecology 89:353–362

Inouye D, Barr B (2006) Consequences of abrupt climate change for hibernating animals and perennial wildflowers at high altitude in the Colorado Rocky Mountains, USA. In: Price MF (ed) Global change in mountain regions. Sapiens Publishing, London, pp 166–168

Inouye DW, Wielgolaski FE (2003) Phenology of high-altitude climates. In: Schwartz MD (ed) Phenology: an integrative environmental science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 195–214

Inouye DW, Barr WA, Armitage KB, Inouye BD (2000) Climate change is affecting altitudinal migrants and hibernating species. Proc Natl Acad Sci 97(4):1630–1633

Inouye DW, Morales M, Dodge G (2002) Variation in timing and abundance of flowering by Delphinium barbeyi Huth (Ranunculaceae): the roles of snowpack, frost, and La Niña, in the context of climate change. Oecologia 130:543–550

Inouye DW, Saavedra F, Lee-Yang W (2003) Environmental influences on the phenology and abundance of flowering by Androsace septentrionalis L. (Primulaceae). Am J Bot 90(6):

905–910

IPCC (2007) Climate change 2007: synthesis report. In: Pachauri RK, Reisinger A (eds) Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team]. IPCC, Geneva, 104 pp

Kearns CA, Inouye DW, Waser NM (1998) Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. Annu Rev Ecol Syst 29:83–112

Kerr JT (1999) Weak links: "Rapoport's rule" and large-scale species richness patterns. Glob Ecol Biogeogr 8:47–54

Kerr JT (2001) Butterfly species richness patterns in Canada: energy, heterogeneity and the potential consequences of climate change. Conserv Ecol 5:1–18

Kerr JT, Packer L (1997) Habitat heterogeneity as a determinant of mammal species richness in high energy regions. Nature 385:252–254

Kerr JT, Packer L (1998) The impact of climate change on mammal diversity in Canada. Environ Model Assess 49:263–270

Kerr JT, Packer L (1999) Epicauta species richness patterns in North America: the importance of energy. Biodivers Conserv 8:617–628

Kerr JT, Vincent RL, Currie DJ (1998) Determinants of Lepidoptera richness in North America. Ecoscience 5:448–453

Kerr JT, Sugar A, Packer L (2000) Indicator taxa, rapid biodiversity assessment, and nestedness in an endangered ecosystem. Conserv Biol 14:1726–1734

Kevan PG, Phillips T (2001) The economics of pollinator declines: assessing the consequences. Conserv Ecol 5(1):8

Klein AM, Vaissie`re BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C et al (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc R Soc Lond B 274:303–313

Kremen C, Williams NM, Thorp RW (2000) Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. PNAS 99:16812–16816

Kukal O, Ayres MP, Scriber JM (1991) Cold tolerance of the pupae in relation to the distribution of swallowtail butterflies. Can J Zool 69:3028–3037

Luig J, Maavara V (1998) Kiletiivalised, Hymenoptera. – Rmt: V.Lilleleht (koostaja). Eesti Punane Raamat. Ohustatud seened taimed ja loomad, lk. 103–106

McLaughlin J et al (2002) Climate change hastens population extinctions. Proc Natl Acad Sci 99(9):6070–6074

Memmott J, Craze PG, Waser NM, Price MV (2007) Global warming and the disruption of plant-

pollinator interactions. Ecol Lett 10:710–717

Menzel A, Fabian P (1999) Growing season extended in Europe. Nature 397:659

Mikkola K (1997) Population trends of Finnish Lepidoptera during 1961–1996. Entomol Fennica 8:121–143

Miller-Rushing Abraham J, Katsuki T, Primack RB, Ishii Y, Lee SD, Higuchi H (2007) Impact of global warming on a group of related species and their hybrids: cherry tree (Rosaceae) flowering at Mt. Takao, Japan. Am J Bot 94:1470–1478

Moza MK, Bhatnagar AK (2007) Plant reproductive biology studies crucial for conservation. Curr Sci 92(9):1206–1207

Myers N (1992) Synergisms: joint effects of climate change and other forms of habitat destruction. In: Peters RL, Lovejoy TE (eds) Global warming and biological diversity. Yale University Press, New Haven, pp 344–354

Nabhan GP, Buchmann SL (1997) Services provided by pollinators. In: Daily GC (ed) Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC, pp 133–150

O'Toole C (1994) Who cares for solitary bees? In: Metheson A (ed) Forage for bees in an agricultural landscape. International Bee Research Association, Cardiff, pp 47–56

Osborne JL, Williams IH, Corbet SA (1991) Bees, pollination and habitat change in the European community. Bee World 72:99–116

Parmesan C (1996) Climate and species' range. Nature 382:765–766

Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature 421:37–42

Parmesan C, Ryrholm N, Steganescu C, Hill JK, Thomas CD, Descimon H, Huntley B, Kaila L, Kullberg J, Tammaru T, Tennent WJ, Thomas JA, Warren M (1999) Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. Nature 399:579–583

Partap U, Partap T (2002) Warning signal from the apple valley of the HKH: productivity concerns and pollination problems. ICIMOD, Kathmandu

Pekkarinen A (1998) Oligolectic bee species in Northern Europe (Hymenoptera, Apoidea). Entomol Fennica 8:205–214

Pekkarinen A, Teräs H, Wuorenrinne H (1987) Suomen myrkkypistiäislajien taantuminen ja uhanalaisuus. Luonnon Tutkija 91:124–129

Pollard E, Rothery P, Yates TJ (1996) Annual growth rates in newly established populations of the butterfly Pararge aegeria. Ecol Entomol 21:365–369

Pounds JA, Fogden MPL, Campbell JH (1999) Biological response to climate change on a tropical mountain. Nature 398:611–615

Price MV, Waser NM (1998) Effects of experimental warming on plant reproductive phenology in a subalpine meadow. Ecology 79:1261–1271

Rasmont P (1988) Monographie écologique et zoogéographique des bourdons de France et de Belgique (Hymenoptera, Apidae, Bombinae). PhD thesis, Faculté des Sciences Agronomique de l'Etat, Gembloux, Belgium

Rassi P, Alanen A, Kanerva T, Mannerkoski I (toim.) (2001) Suomen lajien uhanalaisuus 2000. – Ympäristöministeriö and Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 432 pp

Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C, Pounds JA (2003) Fingerprints of global warming on wild animals and plants. Nature 421:57–60

Rosenfeld D (2000) Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. Science 287:1793–1796

Rusterholz HP, Erhardt A (1998) Effects of elevated CO_2 on flowering phenology and nectar production of nectar plants important for butterflies of calcareous grasslands. Oecologia 113:341–349

Saavedra F, Inouye DW, Price MV, Harte J (2003) Changes in flowering and abundance of Delphinium nuttallianum (Ranunculaceae) in response to a subalpine climate warming experiment. Glob Chang Biol 9:885–894

Sharma HK (2006) Cash crops farming in the Himalayas: the importance of pollinators and pollination in vegetable seed production in Kullu valley Of Himachal Pradesh, India. FAO. Case study submitted for Rapid Assessment of Pollinators' Status Report. Available (http://www.fao.org/ag/AGP/AGPS/Default.htm – then go to C-CAB Group>Pollinators>Case studies on pollinators and pollination)

Söderman G, Leinonen R (2003) Suomen mesipistiäiset ja niiden uhanalaisuus. Tremex Press Oy, Helsinki, 420 pp

Sparks TH, Yates TJ (1997) The effect of spring temperature on the appearance dates of British butterflies, 1883–1993. Ecography 20:368–374

Stefanescu C, Pen˜uelas J, Fililla I (2003) Effects of climate change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean basin. Glob Chang Biol 9:1494–1506

Swengel AB (1998a) Effects of management on butterfly abundance in tallgrass prairie and pine barrens. Biol Conserv 83:77–89

Swengel AB (1998b) Comparisons of butterfly richness and abundance measures in prairie and barrens. Biodivers Conserv 7:1639–1659

Tarrier M, Leestmans R (1997) Losses and acquisitions probably linked to the effects of global climatic warming on western Mediterranean lepidopteran fauna (Lepidoptera, Papilionoidea). Linneana Belgica 16:23–36

Tedeschini E, Rodriguez-Rajo FJ, Caramiello R, Jato V, Frenguelli G (2006) The influence of

climate changes in Platanus spp. pollination in Spain and Italy. Grana 45(3):222–229

Thomas CD, Jones TM (1993) Partial recovery of a skipper butterfly (Hesperia comma) from population refuges: lessons for conservation in a fragmented landscape. J Anim Ecol 62: 472–481

Thomas CD, Lennon JJ (1999) Birds extend their range northwards. Nature 399:213

Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC et al (2004) Extinction risk from climate change. Nature 427:145–148

Travis MJ (2003) Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail. Proc R Soc Lond B 270:467–473

Turner JRG, Gatehouse CM, Corey CA (1987) Does solar energy control organic diversity? Butterflies, moths and the British climate. Oikos 48:195–205

UNEP (1993) Global biodiversity. UNEP, Nerobi University of Southampton (2000) Credit: National Oceanography Centre, Southampton, University of Southampton

Visser ME, Both C (2005) Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. Proc R Soc Lond B 272:2561–2569

Wall MA, Timmerman-Erskine M, Boyd RS (2003) Conservation impact of climatic variability on pollination of the federally endangered plant, Clematis socialis (Ranunculaceae). Southeast Nat 2:11–24

Westrich P (1989) Die Wildbienen Baden-Württembergs. Ulmer, Stuttgart

Wielgolaski FE, Inouye DW (2003) Phenology of high-latitude climates. In: Schwartz MD (ed) Phenology: an integrative environmental science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 175–194

Williams PH (1986) Environmental change and the distributions of British bumble bees (Bombus Latr.). Bee World 67:50–61

Williams IH (1996) Aspects of bee diversity and crop pollination in the European Union. In: Matheson A, Buchmann SL, O'Toole C, Westrich P, Williams IH (eds) The conservation of bees, Linnaean Society symposium series 18. Academic Press, London, pp 210–226

Willis JK, Chambers DP, Nerem RS (2008) Assessing the globally averaged sea level budget on seasonal to interannual time scales. J Geophys Res 113:C06015. doi:10.1029/2007JC004517

Wilson EO (1988) The current state of biodiversity. In: Wilson EO, Peter FM (eds) Biodiversity. National Academic Press, Washington DC, pp 3–18

Wright DH (1983) Species-energy theory: an extension of species-area theory. Oikos 41:496–506

Wright DH, Currie DJ, Maurer BA (1993) Energy supply and patterns of species richness on local and regional scales. In: Ricklefs RE, Schluter D (eds) Species diversity in ecological communities. University of Chicago Press, Chicago, pp 66–74.