

KÜRESEL ISINMANIN BÖCEKLERE ETKİLERİ

Ekrem ÖGÜR¹ Celal TUNCER^{2*}

¹ Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 42250, KONYA
² Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü 55139, SAMSUN
*e-mail: ekremogur@hotmail.com

Geliş Tarihi: 29.04.2010

Kabul Tarihi: 27.01.2011

ÖZET: Bugün insanoğlunun karşı karşıya kaldığı en önemli ekolojik sorunlardan biri “Küresel Isınma”dır. Küresel ısınmanın dünya üzerindeki bütün canlıları etkilemesi yanında böcekleri de etkilemesi kaçınılmazdır. Böcekler 1 milyondan fazla tür sayısı ile yeryüzünün en büyük canlı grubudur. Böceklerin doğrudan veya dolaylı olarak insanlara ve ekosisteme yararlı ve zararlı birçok etkisi vardır. Küresel ısınma nedeniyle sıcaklık, nem ve CO₂’te meydana gelecek değişikliklerin böcekler üzerine de etkili olması beklenmektedir. Böcekler soğukkanlı organizmalardır ve vücut sıcaklıkları yaklaşık olarak çevre sıcaklığı ile aynıdır. Bu nedenle nem, CO₂ ve özellikle sıcaklıkta meydana gelecek değişimlerin böceklerin davranışı, dağılımı, gelişimi, çoğalma ve üremesini etkilemesi kuvvetle muhtemeldir. Küresel ısınma nedeniyle meydana gelecek değişimlerin genelde böceklerin lehine olması beklenmektedir. Sıcaklıkların artmasıyla birlikte böceklerin gelişmesi hızlanacak, döl sayısı artacak, coğrafik yayılma alanları genişleyecek, kışların daha ılık geçmesi nedeniyle kışı canlı geçiren böcek sayısında artış olacak ve yüksek popülasyon artışları gözlenebilecektir. Bu durum, bitki zararlısı böceklerden kaynaklanan tarımsal üretim sorunlarında da artışa neden olabilecektir. Ayrıca insanlar üzerinde beslenme ve hastalık taşıma yoluyla etkili olan böceklerin sayısında artış olabilecektir. Diğer taraftan küresel ısınmanın neden olacağı aşırı yağış ve kuraklık gibi etkenlerin ise böcekleri olumsuz yönde etkilemesi beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Küresel ısınma, Böcekler, Sıcaklık, Biyoloji, Göç

THE EFFECTS OF GLOBAL WARMING ON INSECTS

ABSTRACT: Today, one of the most important ecological issues of mankind is “Global Warming”. It is unavoidable that global warming will affect the insects besides all living creatures on the world. Insects are the biggest living group of the world with over 1 million species. Insects have many detrimental and beneficial effects on humans and ecosystems, directly or indirectly. It is expected that the changes in temperature, humidity and CO₂ as a result of global warming will also affect the insects. Insects are cold-blooded organisms and the temperatures of their body are approximately at the same temperature as their environment. Therefore, the changes in humidity, CO₂ and especially in temperature may influence the insect behaviour, distribution, development and reproduction. Generally, it is expected that the changes caused by global warming seem to favour insects. As the temperature increase, the development of insects may accelerate and the number of generation in a year may increase, their geographic range may extend, the number of insects surviving at the end of winter may increase because of warm winter, and consequently the insect populations may increase. This situation may provoke the problems caused by insects in agriculture. Also, the population of the insects feeding on human and diseases transmitted by insects may be enhanced. On the other hand, it is expected that the factors like heavy rains and drought as a result of global warming may affect the insects negatively.

Key Words: Global warming, insects, temperature, phenology, migration

1. GİRİŞ

Küresel ısınma “atmosfer, okyanuslar ve kara kütleleri yüzeyindeki sıcaklıktaki yükselme” olarak tanımlanabilir. Geçtiğimiz yüzyıl boyunca dünyanın yüzey sıcaklığı ortalaması yaklaşık olarak 0,6 °C’lik bir artış göstermiştir ki bu son 1000 yıl süresince gerçekleşen en yüksek yüzyıl ortalamasıdır. Yine, IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change)’nin üçüncü raporuna göre 2100 yılına kadar dünya yüzey sıcaklığı ortalamasının 1,4-5,8 °C arasında artacağı ve atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun da 540-970 ppm arasında olacağı tahmin edilmektedir (Bale ve ark., 2002). Bütün bunlara ilave olarak küresel ısınma kutuplardaki buzların erimesine ve okyanuslardaki su seviyesinin yükselmesine neden olmuştur. Küresel ısınmanın başlıca sebebi atmosfere salınan sera gazı miktarlarındaki artıştır. Bu gazlardan en önemlisi de küresel ısınmadaki etki payı %50 olan CO₂’dir. CO₂ ve diğer sera gazlarının ısıyı tutabilme özelliklerinden

dolayı dünyaya gelen ve yansıması gereken güneş ışınlarının büyük bir kısmı tutulmakta ve bu da dünyamızın ısınmasına sebep olmaktadır (Karl and Trenbeth 2003; Johansen 2002; Collins et al.2007).

Sonuçta ilkbaharda sıcak havaların erken görülmesi ve sonbaharda ise kış koşullarındaki gecikmeye paralel olarak daha kısa bir kış ve daha uzun bir yaz dönemi yaşanır olmuştur (Salinger et al. 2005; Houghton et al. 2001; Collins et al. 2007). Bunlara paralel olarak bitkilerde tomurcukların patlaması gibi olaylar her on yılda 5 gün erken gerçekleşmeye başlamış (Root et al.2003), Avrupa’daki bazı ağaçların 50 yıl öncesine göre 16 gün erken yaprak açtığı ve 13 gün daha geç yaprak döktüğü belirlenmiştir (Penuelas and Filella 2001; Querlus,2007).

Böcekler tür sayısı bakımından Dünyada çok üstün bir konuma sahip soğukkanlı organizmalardır. Vücut sıcaklıkları yaklaşık olarak çevre sıcaklığı ile aynıdır. Bu nedenle sıcaklık böceklerin davranışlarını, dağılımını, gelişimini, hayatta kalmalarını ve

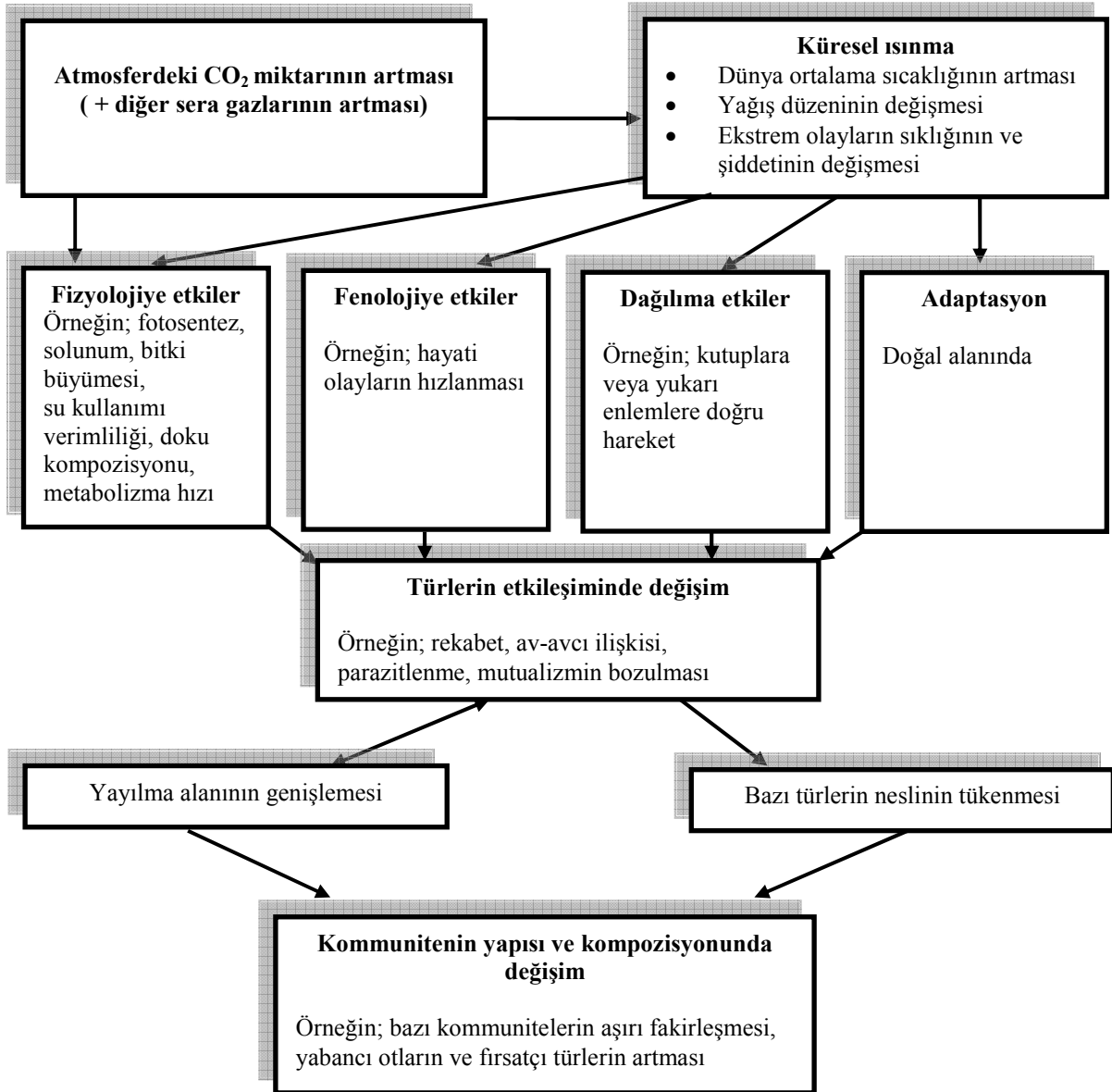
üremelerini etkileyen en önemli çevresel faktörlerdendir. Dolayısı ile küresel iklimde görülen değişikliklerin en fazla etkili olması beklenen canlı gruplarının başında böcekler gelmektedir (Harrington ve ark., 2001). Ayrıca araştırmacılar, sıcaklığa ilave olarak küresel iklim değişiminde nemin ve CO₂'de görülen değişimlerin de böcekler üzerine önemli etkilerinin olabileceğini ifade etmektedirler (Petzoldt ve Seaman, 2007). Küresel ısınmanın böcekler üzerine etkilerini inceleyen bir araştırmaya göre ele alınan 1600 böcek türünden 940 tanesinin küresel ısınmadan etkilendiği gözlenmiştir. Böcek türlerinin yayılma sınırlarının her on yıl için 6.1 km kuzeye ve 6.1 m yüksekliğe doğru hareket ettiği belirlenmiştir (Quarles,2007). Buna bağlı olarak Avrupa'da bulunan 35 kelebek türünün yayılışının 35-240 km kuzeye kaydığı gözlenmiştir (Parmesan et al.1999). Kaliforniya'da bazı kelebeklerin geçmiş yıllara göre daha erken mevsimlere uçmaya başladığı görülmüştür

(Parmesan and Yohe 2003; Parmesan 2007). Ekolojik sistemin değişmesi sistemde var olan besin zincirlerini ve bu besin zincirlerinin önemli bir ögesi olan böcekleri de doğal olarak etkileyecektir (Şekil 1).

Bu makalede küresel ısınma sonucu ortaya çıkan değişimlerin böcek popülasyonları üzerine olan etkileri üzerinde durulacaktır.

2. KÜRESEL ISINMA NEDENİYLE ARTAN SICAKLIĞIN BÖCEKLERE ETKİSİ

İklimin, özellikle sıcaklığın böceklerin gelişmesi, üremesi, coğrafik alanı, hayatta kalması ve popülasyon büyüklüğü üzerine kuvvetli ve doğrudan bir etkisi vardır. Sıcaklıktaki artış böceklerin gelişmesini hızlandıracak ve muhtemelen bir yılda verdikleri döl sayısı ve zarar miktarı da artacaktır.



Şekil 1: Artan sera gazı etkisiyle komitedeki muhtemel değişimler (Samways, 2005).

Özellikle sıcaklık ve nemde meydana gelecek değişiklikler böceklerin beslenme alışkanlıklarını ve bunlara bağlı olarak da yayılışlarını etkileyecektir. Hayatının büyük bir kısmını toprak altında geçiren böcekler, hayatını toprak üzerinde geçiren böceklere göre sıcaklıktaki değişimden daha yavaş etkileneceklerdir. Çünkü toprak, havaya göre sıcaklıktaki değişimi tamponlayan daha iyi bir yalıtkan ortam sağlamaktadır ve sıcaklıktaki değişim havaya göre daha az olmaktadır (Petzoldt ve Seaman, 2007). Yapılan çalışmalar göstermektedir ki diğer çevresel faktörlerle kıyaslandığında sıcaklığın canlılar üzerindeki etkisi daha geniş alanlarda ve daha yüksek derecede olmaktadır. Ayrıca sıcaklığın direkt etkisi ılıman ve tropikal alanlara göre kutuplarda daha fazla olacaktır (Bale ve ark., 2002). Sıcaklıktaki artışın, böcek metabolizmasının hızlanmasına ve lokal böcek popülasyonlarının artmasına neden olabileceği düşünülmektedir.

2.1. Küresel Isınmanın Böcek Fenolojisine Etkisi

Sıcaklıktaki artışın böceklerin biyolojisini hızlandırması ve böceklerin faaliyet periyodunu uzatması beklenmektedir (**Çizelge 1**). Ancak böceklerin besinlerden yararlanma süreleri artmadıkça sıcaklığın tek başına artması böceklerin bu avantajdan yararlanması için yeterli olmayacaktır (Harrington ve ark., 2001). Avrupa ve Kuzey Amerika'da uzun yıllara dayalı olarak bazı böceklerden elde edilen sonuçlar, yıllık ortalama sıcaklıkların artmasıyla ergin böceklerin çıkış tarihlerinin daha erken gerçekleştiği ortaya çıkmıştır (Parmesan et al.1999; Parmesan and Yohe 2003; Parmesan 2007;FAO,2008).

İngiltere'de yıllık sıcaklık ortalamasındaki 2 °C'lik bir artışın, bazı böceklerin gelişme süresinde 2-3 haftalık bir kısalmaya neden olacağı öngörülmektedir. Örneğin *Neophilaenus lineatus* (Homoptera.: Cercopidae) bu sıcaklık artışından dolayı yayılma alanını genişletecek ve hayat döngüsünü 2-3 hafta daha erken tamamlayacaktır. Sıcaklık ortalamasındaki 3 °C'lik bir artış *Delia radicum*' un (Diptera: Anthomyiidae) 1 ay önce aktif hale gelmesine, aynı zamanda kelebeklerin ilk görülme tarihlerinin daha erken olmasına neden olacaktır (Cannon, 1998). Başta lepidopterler olmak üzere çok sayıda böcek türü üzerinde yapılan incelemeler, küresel ısınma nedeniyle ortaya çıkacak sıcaklık artışının böcek türlerinin gelişme süresini kısaltacağı, döl sayısını artıracığı ve uçuş periyotlarında değişime sebep olacağı sonucunu ortaya koymuştur (Menendez, 2007; FAO,2008).

2.2. Küresel Isınmanın Böcek Fizyolojisine Etkisi

Küresel ısınma nedeniyle sıcaklığın artması sonucu böceklerin fizyolojisinin hızlanması ve daha çabuk gelişmeleri, bir yıl içinde daha fazla döl vermeleri, daha hızlı hareket etmeleri ve abiyotik faktörlerden dolayı ölümlerinin azalması beklenmektedir. Sıcaklıkta meydana gelecek 2 °C'lik

bir artışın böceklerin bir yılda vereceği döl sayısını 1 ile 5 arasında artıracığı tahmin edilmektedir. Bu bakımdan en çok etkilenecek böcekler, düşük gelişme eşikleri ve kısa sürede gelişmelerini tamamlamaları nedeniyle yaprak bitleridir. Yaprak bitlerinin bir yılda fazladan 4 veya 5 döl vereceği tahmin edilmektedir (Harrington ve ark., 2001).

Düşük sıcaklıklar nedeniyle meydana gelen kış ölümleri, özellikle diyapoza girmeyen ve sıcaklığın izin verdiği sürece kışın da faaliyetlerine devam eden türler için anahtar faktördür. Daha ılık kışlar veya çok soğuk periyotların azalması daha fazla böceğin hayatta kalmasına imkan verecektir. Bu da, böcek popülasyonlarının ve verecekleri zararın artması anlamına gelmektedir (Harrington ve ark., 2001; Sharma,2010).

Kışı durgun, hareketsiz halde geçiren böcekler için alışılmamış kış sıcaklıkları bir dezavantaj olarak da ortaya çıkabilir. Çünkü sıcaklık nedeniyle aktiviteleri artacak olan böcekler o dönemde uygun besin bulamayacaklar ve depolamış oldukları besin maddelerini de yeterli besin bulana kadar tüketmiş olacaklardır. Bu da onların ölümüne sebep olacaktır (Harrington ve ark., 2001).

2.3. Küresel Isınmanın Böceklerin Yayılımı Üzerine Etkisi

Böcek türlerinin çoğu için coğrafik yayılma alanlarının bir en alt ve en üst enlem derecesi ve yayılma yüksekliğinin de bir en alt ve en üst sınırı vardır. Bu coğrafik alanların sınırları genellikle bölgesel iklimler tarafından belirlenir.

Böcekler soğukkanlı organizmalar olduklarından sıcaklık ve nemdeki dalgalanmalara karşı oldukça hassastırlar ve bu nedenle dağılımları ve habitatları çoğu zaman iklimle yakından ilişkilidir (Stewart ve ark., 2007). Bazı bilim adamlarına göre sıcaklıktaki artış nedeniyle böceklerin yaşam ortamları hem yatay hem de dikey yönde değişecektir. Sıcaklıktaki artışın, şu an için düşük sıcaklık nedeniyle yayılımı sınırlı olan böcek türlerinin yayılım alanlarının kutup bölgelerine doğru veya hayatta kalabildikleri yüksek dağlık alanlara doğru ilerlemesine neden olması beklenmektedir. Çünkü bu bölgeler küresel ısınma sonucunda daha sıcak olmaya başlayacaktır (Harrington ve ark., 2001).

Önümüzdeki yüzyıl içinde kuzey ılıman enlemlerinde sıcaklıkta beklenen 2 °C'lik bir artış, enlemlerin şu anki durumuna göre 600 km veya yüksekliğin 330 m kaymasına eşdeğerdir. Bu da her yıl yaklaşık enlemde 6 km, yükseklikte ise 3.3 m kaymaya eşdeğerdir. Birçok böcek bu değişikliklere göre konumunu değiştirebilir, fakat böceklerin konukçusu olan bitkiler bunu gerçekleştiremeyebilirler. Bu nedenle bazı böceklerin yayılımı konukçu bitkilerin yayılımı tarafından sınırlandırılacaktır (Harrington ve ark., 2001). Bitkilerin böcekler kadar hızlı bir biçimde yayılım

göstermeleri beklenemez. Bu nedenle ileride muhtemelen ılıman bölgelerde bulunan bitkiler daha Çizelge 1: Küresel ısınmaya bağlı olarak böceklerin yıllık ilk görünme tarihlerindeki değişiklikler (Stewart ve ark., 2007)

TAKIM	YER	ZAMAN PERİYODU	SICAKLIK ARTIŞI	GÖRÜNME TARİHİNDEKİ DEĞİŞİKLİK	KAYNAK
Lepidoptera	Britanya	1976-1998	1.5 °C (Şubat-Nisan ort.) 1 °C (Mayıs-Temmuz ort.)	Erken çıkma, 26/35 tür (13 önemli tür, ortalama her 10 yılda 8 gün)	Roy & Sparks (2000)
Lepidoptera (<i>Pieris rapae</i>)	İspanya	1952-2000	1.4 °C (Yıllık ort.)	Erken çıkma, (11.4 gün)	Penuelas et al. (2002)
Lepidoptera	İspanya	1988-2002	1-1.5 °C (Şubat-Mart-Haziran ort.)	Erken çıkma, 17/17 spp. (5 önemli, ortalama 4.1 hafta)	Stafanescu et al. (2003)
Hymenoptera (<i>Apis mellifera</i>)	Avusturya	1951-1998	1.3 °C (Şubat-Nisan ort.)	Gecikme, (3-7 gün)	Scheifinger et al. (2005)

önce subtropik ormanlarda zararlı olan böceklerle karşı karşıya geleceklerdir (Samways, 2005). Sıcaklık artışından dolayı böceklerin yer değiştirmeleri şimdiden görülmeye başlanmıştır. Göçlerle ilgili ilk kayıt Kuzey Amerika'da bulunan ve göç etmeyen bir kelebek türü olan *Euphydryas editha* (Lepidoptera: Nymphalidae)' ya aittir. 1990'lı yıllarda bu kelebeğin larvaları için konukçu bitki ve uygun habitat bulunmasına rağmen birçok bölgede popülasyonu tükenmiştir. Popülasyonun bölgesel tükenmesi daha çok düşük enlemlerde ve düşük yüksekliklerde gerçekleşmiştir. *Euphydryas editha*' nın yeni popülasyonları ise kuzey kutbuna doğru ortalama 92 km ve rakım olarak 124 m yukarıya doğru kaymıştır. Aynı 100 yıllık periyot içinde izotermelerde 105 km kuzey kutbuna doğru ve 105 m yukarı doğru hareket etmişlerdir. Bu da bize bu türde görülen bölgesel popülasyon tükenmelerinin iklimle bağlantılı olduğunu göstermektedir (Stewart ve ark., 2007). Avrupa'da göç etmeyen 35 kelebek türünün % 63'ü geçtiğimiz yüzyıl içinde sıcaklıktaki sadece 0.8 °C'lik artış nedeniyle kuzeye doğru hareket etmişlerdir. Bu değişikliklerin önümüzdeki yüzyıl içinde de gerçekleşeceği ve birçok türün yok olacağı tahmin edilmektedir. Kommunitedeki dominant veya temel türlerin kaybı, türlerin etkileşimini bozabilecek ve bu da tüm kommunitenin kaybına sebep olabilecektir (Ward ve Master, 2007). Sıcaklık nedeniyle böceklerin göç etmesine başka bir örnek olarak İngiltere'de yaşamaya başlayan *Nezara viridula* (Heteroptera: Pentatomidae)' yı verebiliriz. Uzmanlar daha önce de sıcak iklimleri seven böceklerin İngiltere' ye geldiğini fakat yaşama şansı bulamadıklarını söylemektedir. *Nezara viridula*' da ise durum farklı olmuş ve Londra' da rahatlıkla yaşayan böcek kolonilerine rastlanmıştır. Bilim adamları, bu böceğin burada bulunmasının küresel ısınmaya iyi bir delil olduğunu söylemektedir.

Küresel ısınma nedeniyle sıcaklıkta meydana gelecek olan artış böceklerin uçuşma eşliğine daha erken ulaşmalarını sağlayacak ve bu da erken göçe sebep

olacaktır. Böcek uçuşunu etkileyen rüzgar hızı ve yönü, yağış miktarı, nem, güneşlenme vb. gibi diğer bazı faktörler de vardır. Ancak bunların gelecekte nasıl değişeceği ve böcek uçuşlarına nasıl etki edeceği henüz tam olarak bilinmemektedir. Ayrıca böcek hareketi için bir optimum sıcaklık ve eşik değeri vardır. Optimumun altında, küresel ısınma nedeniyle meydana gelen sıcaklık artışı böcek hareketini artıracak iken eşğin üzerindeki artışlar ölümcül olacaktır. Yaprak bitleri göz önüne alındığında, hareketlerindeki artışla birlikte virus hastalıklarını daha geniş alanlara yaymaları mümkün olabilecektir (Bale ve ark., 2002).

Küresel ısınmayla birlikte bitkiler de böceklerin yayılmasında etkili olacaktır. Daha yüksek sıcaklık ortalaması muhtemelen bazı bitkilerin daha kuzey bölgelerde yetişmesine imkân sağlayacaktır. Bu durum bu bitki türleri üzerinde beslenen böcek türlerinin bu yeni alanlara yayılmasına neden olacaktır (Reilly, 1996). Böylece böcek türlerinin yüksek enlemlerde ve dağlık alanlardaki çeşitliliği sıcaklığın artışına paralel olarak artış gösterecektir. Bu olası gelişme daha fazla böcek türünün daha fazla konukçu bitkiye saldırması anlamına gelmektedir (Petzoldt ve Seaman, 2007;FAO,2008).

2.4. Küresel ısınmanın Böcek Popülasyonlarına Etkisi

İklimin, özellikle sıcaklığın böceklerin gelişmesi, üremesi, coğrafik alanı, hayatta kalması ve popülasyon büyüklüğü üzerine kuvvetli ve doğrudan bir etkisi vardır. Küresel ısınma sonucu artan sıcaklık böcek popülasyonlarını birkaç yönden etkilemektedir. Sıcaklıktaki artışın bazı koşullarda böcek popülasyonlarını azaltabileceği düşünülse de, ılıman iklimdeki sıcak havaların daha fazla böcek türü ve daha yüksek böcek popülasyonuna sebep olacağı birçok araştırmacı tarafından kabul edilmiştir (Petzoldt ve Seaman, 2007). Daha ılık geçen kışlar nedeniyle böceklerde daha az kış ölümleri meydana gelmesi

böcek popülasyonlarının artmasında önemli rol oynayabilecektir (Bale ve ark., 2002).

Diyapozza girmeyen ve kışı aktif dönemlerinde geçiren *Myzus persicae* (Homoptera:Aphididae) gibi böceklerin ılık geçen kışlardan dolayı hayatta kalma oranlarının artacağı, yani kış ölümlerinin daha az olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle bu türlerin popülasyon yoğunluklarını artırması ve coğrafik alanlarını daha yüksek enlemlere doğru genişletmesi beklenmektedir (Bale ve ark., 2002). Kışların daha ılık geçmesi kışın hayatta kalan afitlerin sayısında artışa neden olduğu gibi ayrıca ilkbahar göçlerini daha erken yapmaları ve takip eden yazda zarar oranlarını artırmaları için daha çok fırsat vermektedir. Ancak kış yağışlarında meydana gelecek azalma afitlerin gelişmelerinde düşüşe sebep olacaktır. Çünkü kuraklık, kışlamış afitlerin üreme kapasitesini düşürmektedir (Cannon, 1998).

Diğer yandan sıcaklıkların artması böcek popülasyonlarını azaltıcı etki de gösterebilir. Bazı böcekler belirli bitkilerle daha yakın ilişki kurmuşlar ve onlara özelleşmişlerdir. Sıcaklıkların artması nedeniyle çiftçilerin o bitkileri artık yetiştirmekten vazgeçmesi bu bitkilere özelleşmiş olan böcek popülasyonlarının azalmasına neden olabilecektir (Petzoldt ve Seaman, 2007). Ayrıca ortalama sıcaklıklardaki artışlar bazı türlerin tamamen neslinin tükenmesine de neden olabilir (Thomas et al. 2004; Hance et al. 2007).

Ekstrem iklim olaylarının, örneğin kuraklığın ve mevsimsel olmayan fırtınaların şiddeti ve görülme sıklığındaki artış, iklim koşullarının ortalamasına etki ettiği kadar, uzun vadede böcek popülasyonunun hayatta kalması açısından da önemlidir. Kış boyunca devam eden soğuk ve yağmurlu havanın *Danaus plexippus* (Lepidoptera: Danaidae)' un ölüm oranını artırdığı gözlenmiştir. Yağışlardaki aşırı değişkenlik *Euphydryas editha*' nın larvası ile konukçu bitkisi arasındaki zaman uyumunu bozmuş ve bu da kelebeğin neslinin tükenmesine neden olmuştur (Stewart ve ark., 2007).

2.5. Küresel Isınmanın Böceklerde Üreme Üzerine Etkisi

Sıcaklığın böceklerin üreme gücüne olan etkileri iyi bilinen bir husustur. Artan sıcaklıklar (belirli sıcaklık sınırları içerisinde) böceklerde dişilerin daha çok yumurta koymasına ve döl sayısının artmasına neden olmaktadır. Küresel ısınma nedeniyle artan sıcaklığın da böceklerin üreme güçlerini artırması beklenmektedir. Küresel ısınmaya bağlı olarak baharın daha erken gelmesiyle beraber, böceklerin gelişmesi için uygun olan periyodun uzayacağı düşünülmektedir. Bu ise multivoltine türlerin bir yıllık hayat döngüsü içinde daha fazla döl vermesi anlamına gelmektedir. Ayrıca daha uzun büyüme sezonu tek bir konukçu üzerinde daha fazla tür böceğin beslenmesine de imkân verebilir (Ward ve Master, 2007).

2.6. Küresel Isınmanın Böceklerin Adaptasyonuna Etkisi

Böcekler adaptasyon yetenekleri oldukça yüksek olan organizmalardır ve küresel ısınmadan dolayı meydana gelecek değişiklikler başta olmak üzere birçok çevresel değişiklikte başa çıkabilirler. Değişikliğe karşı hangi türlerin adapte olabileceği türlerin genetik kapasitesine bağlıdır. Bu kapasitenin türlerin genetik çeşitliliğine, coğrafik alanına, üreme oranına, göç etme kabiliyetine ve biyotik faktörlerle olan rekabetine göre artması veya azalması beklenebilir. Bir tür ne kadar hareketli olursa ve üreme yeteneği ne kadar hızlı olursa adaptasyon yeteneği de o kadar fazla olmaktadır. Ne yazık ki zararlı türler bu karakterleri gösterme eğilimindedirler ve sıcaklıklardaki değişime karşı kolaylıkla adapte olabilmektedirler (Harrington ve ark., 2001).

2.7. Küresel Isınmanın Böceklerle Mücadeleye Etkisi

İklimdeki değişiklik nedeniyle çiftçilerin böceklerle karşı kullandıkları mücadele yöntemlerinde de değişiklikler olacağı öngörülmektedir. Entomologlar böceklerin coğrafik alanlarını genişleteceğini, üreme oranlarını ve kışlama başarılarını artıracaklarını beklemektedirler. Bu da çiftçilerin daha fazla böcek türü ve sayısıyla mücadele edeceği anlamına gelmektedir. Böceklerin daha fazla döl vermesi nedeniyle onları ekonomik zarar eşliğinin altında tutabilmek için daha fazla insektisit kullanmak gerekebilecektir. Ancak bazı pestisit sınıflarının (pyrethroid ve spinosad) yüksek sıcaklıklarda böcekleri kontrol etmede daha az etkili olduğu yapılan çalışmalar neticesinde gösterilmiştir. Çiftçiler tarafından kullanılan birçok kültürel önlemin de iklim değişikliğinden etkileneceği düşünülmektedir. Örneğin, böceklerle mücadele yöntemi olarak kullanılan ürün rotasyonunun, böceklerin daha erken çıkışı veya kışı sağlam olarak geçiren böcek sayısının artmasıyla daha az etkili olacağı düşünülmektedir. Ama bunun da bitkilerin daha erken ekilip dikilmesi, gelişmesi ve hasat edilmesiyle dengelenebileceği sanılmaktadır (Petzoldt ve Seaman, 2007). Küresel ısınmayla sadece zararlı sorunlarımız değişmeyecek ayrıca zararlıları kontrol etme yöntemlerimizin etkinliği de değişecektir. Örneğin kimyasal ilaçlamayı düşünecek olursak, kurak olan yerlerde ilaçlama yapabileceğimiz gün sayısı artarken yağışlı olan yerlerde ise azalacaktır. Çevresel koşulların değişmesi kimyasalın stabilitesini ve uçuculuğunu etkileyebileceği gibi böceğin davranışını ve duyarlılığını da etkileyebilmekte, böylece aktif maddenin toksisitesinin değişmesine neden olabilmektedir (Harrington ve ark., 2001).

Entomopatojen fungusların başarısı genellikle yüksek neme bağlıdır ve kurak koşullar altında etkinlikleri azalmaktadır. Ayrıca radyasyon seviyeleri de bu fungusların etkinliği açısından önemlidir. Bu organizmaların etkinlikleri yüksek güneş radyasyonu altında hızlı bir şekilde azalmaktadır. Bu nedenle,

Zoophthora radicans (Entomophthoraceae: Zygomycotina)' ın *Plutella xylostella* (Lepidoptera:Plutellidae) da neden olduğu ölümlerde azalmalar görülmüştür. Benzer şekilde yüksek sıcaklığın *Beauvaria bassiana*' nın bazı *Galleria* türlerinin kontrolündeki etkinliğinin azalmasına sebep olduğu saptanmıştır (Harrington ve ark., 2001).

2.8. Küresel ısınmanın Doğal Düşmanlara Etkisi

Sıcakların artması böcekleri etkilediği gibi onların parazit ve predatörlerini de etkilemektedir. Yüksek sıcaklıklarda parazit ve predatörlerin böcek popülasyonlarına saldırısı artmaktadır. Örneğin afidler yüksek sıcaklıklarda parazit ve predatörler tarafından saldırıya uğradıklarında salgılamış oldukları alarm feromonlarına verdikleri tepki daha az olmaktadır. Büyüme oranlarındaki değişme böcek ve doğal düşmanı arasındaki uyumu bozabilir. Doğal düşmanlar ve konukçu böcek popülasyonları sıcaklıktaki değişime farklı şekilde tepki verebilirler. Eğer konukçu böcek popülasyonları saldırıya açık olan hayat dönemlerini parazitoitler çıkmadan önce tamamlarsa parazitizmin başarısı azalabilir. Çünkü yüksek sıcaklıklar böceklerin saldırıya açık olan hayat dönemlerini daha hızlı tamamlamasını sağlarlar ve böylelikle parazitlenmekten de kurtulurlar (Petzoldt ve Seaman, 2007). Sıcaklıktaki değişim zararlı ile doğal düşmanı arasındaki ilişkiyi de etkilemektedir. Örneğin 11 °C'nin altında bezelye afidinin (*Acyrtosiphon pisum*, Homoptera: Aphididae) üreme oranı *Coccinella septempunctata*' nın tüketemeyeceği kadar artmakta, fakat 11 °C' nin üzerinde durum tam tersine dönmektedir (Harrington ve ark., 2001).

Küresel ısınmada, kuşlar da böceklerin predatörü olarak dikkate alınmaktadır. Sıcaklık artışıyla birlikte birçok kuş türü hem sayısını hem de yayılma alanını artıracak ve böylece yeni yayılma alanlarında böcekleri kontrol etmede büyük öneme sahip olacaklardır (Cannon, 1998).

2.9. Küresel ısınmanın Hastalık Vektörü Böcekler ve İnsan Sağlığına Etkisi

Sıcaklığın yükselmesiyle birlikte böcek sayısında meydana gelecek artışlar sonucu yaz aylarında böceklerin insanlar üzerinde beslenme gücünün artması beklenebilir. Diğer yandan böcek popülasyonlarının artmasının tarım ürünlerine daha fazla zarar vermesi, bunun sonucunda böceklerle karşı daha fazla ilaç kullanılmasının da insan sağlığını tehdit edeceği öngörülmektedir. Ayrıca, böcekler tarafından taşınan sıtma gibi hastalıklar küresel çapta sağlık sorunları yaratacaktır. Küresel ısınma nedeniyle böceklerin hem sayılarının artırması hem de yaşam alanlarının genişlemesi ile önceleri sadece tropikal bölgelerde görülen insan hastalıklarının yeni alanlarda da görülmesi beklenebilir. Örneğin Kolombiya'nın Andes dağlarında sineklerin taşıdığı kas ve eklem ağrılarına sebep olan "Dengue ateşi" isimli bir hastalık önceden 1000 m' ye kadar yüksekliklerde görülürken günümüzde 2200 m' ye kadar

yüksekliklerde görülmeye başlanmıştır. Ayrıca, biyologlar Endonezya' da sıtma taşıyan sineklerin son yıllarda alanlarını genişlettiğini belirlemişlerdir. Sıcaklığın artması böcekleri etkilediği gibi taşıdıkları hastalık etmenlerini de özellikle vektör içerisindeki olgunlaşma süresini azaltmak suretiyle etkileyecektir. Bu da kısa ömürlü olan vektörler, örneğin Afrika, Madagaskar, Nepal, ve Papua Yeni Gine'nin dağlık alanlarında bulunan sinek türleri açısından oldukça önemlidir (Samways, 2005).

2.10. Küresel ısınmanın Böcekler Tarafından Taşınan Bitki Hastalıklarına Etkisi

Küresel ısınma nedeniyle böceklerin neden olabileceği bir başka sorun ise bitki virüs hastalıklarıdır. İngiltere'deki BYDV (barley yellow dwarf virus) bu durum için iyi bir örnek teşkil etmektedir. Bu virus dünya genelinde oldukça yaygındır ve çok sayıda konukçusu bulunmaktadır. Bu virüsün farklı afid türleriyle farklı şekillerde taşınan birçok ırkı bulunmaktadır. Bu virüsün bir ırkı özellikle mısırda çok yaygındır ve *Rhopalosiphum maidis* (Hom.:Aphididae) ile etkili bir şekilde taşınmaktadır. Mısır, İngiltere'de ikincil bir üründür, fakat küresel ısınmayla birlikte muhtemelen daha uygun bir yaşama alanı bulması ve yaygınlaşması söz konusu olacaktır. *Rhopalosiphum maidis*' de İngiltere'nin birçok yerinde uzun yıllardır düşük yoğunluklarda görülmektedir. Fakat mısırın yaygınlaşması bu afidin de yaygınlaşmasını teşvik edecektir. Bu zararlı afidin soğuğa dayanıklı bir yumurta dönemi bulunmamaktadır, fakat kışların artık daha ılık geçmesi bu afidin hayatta kalma oranını artıracaktır. Tüm bu zincirleme olaylar da doğal olarak virusun yayılmasını artıracaktır. Yüksek sıcaklıklarda diğer afid türleri de BYDV' nin mısır ırkını buğday ve arpaya taşıyabilir hale geleceklerdir (Harrington ve ark., 2001).

3. ARTAN CO₂ SEVİYESİNİN BÖCEKLERE ETKİSİ

Genellikle CO₂'nin böcekler üzerine olan etkisinin dolaylı olduğu düşünülmektedir. Yani böcekleri doğrudan etkilemek yerine öncelikle onların konukçusu olan bitkileri etkilemekte ve bu yolla böcekler üzerinde etkili olabilmektedir. Bazı araştırmacılar artan CO₂'nin böcekler üzerine önemli etkilerinin olduğunu saptamışlardır. Yapılan bir çalışmada FACE teknolojisi (free air gas concentration enrichment) kullanılarak 21. yüzyılın ortalarına doğru gerçekleşmesi beklenen CO₂ ve O₂ konsantrasyonuna benzer bir atmosfer modeli yapılmıştır. Bu çalışmada, erken dönemde, yükseltilmiş CO₂ atmosferi altında gelişen soya fasulyelerinde günümüz atmosfer koşulları altında gelişen soya fasulyelerine oranla %57 daha fazla böcek zararı görülmüş ve denemeye devam edebilmek için insektisit uygulanması gerekmiştir. Yapılan ölçümlerde soya fasulyesinin yapraklarındaki basit

şekerlerin seviyesindeki artışın böcekleri daha fazla beslenmeye teşvik etmiş olabileceği düşünülmektedir. Diğer yandan bazen böceklerin düşük nitrojen içeren yapraklarda beslenirken metabolizmaları için gerekli olan nitrojeni elde etmek amacıyla daha fazla beslendiklerini gözlemlemiştir (Petzoldt ve Seaman, 2007).

CO₂ oranının artması bitki dokularındaki C:N oranını yükseltmekte ve bu artış konukçu bitkinin kalitesinde azalmaya sebep olurken, genel olarak larvaların konukçu bitki üzerindeki beslenmesinin artmasına sebep olmakta, yani böceklerin daha fazla beslenmesini teşvik etmektedir. Ancak CO₂'nin sebep olduğu bu tüketim oranının fizyolojik etkileri konukçu ve zararlı arasındaki ilişkiye göre değişiklik göstermektedir. Bazı türler için CO₂'in artması durumunda elde edilen nispi gelişme oranı normal atmosfer koşullarından farklı bulunmamıştır. Diğer bir deyişle bu böcekler yapraklardaki azot oranının azalmasını tamamen tolere edebilmektedirler. Oysa çoğu durumda birçok böcek için bu mümkün gözükmemektedir (Cannon, 1998).

CO₂ seviyesinin artması sonucu bitki dokularındaki karbonun nitrojene göre artması böcek gelişimini yavaşlatabilmekte ve gelişmesinin yavaşlaması da böceklerin parazitotiler tarafından saldırıya maruz kaldığı sürenin uzamasına neden olabilmektedir (Petzoldt ve Seaman, 2007).

Konukçu bitkideki CO₂ miktarının değişimi nedeniyle meydana gelen larva performansındaki farklılığın boyutu genellikle konukçu tür tarafından belirlenmektedir. Örneğin, *Lymantria dispar* (Lepidoptera:Lymantridae) larvasının yüksek CO₂ altında kavak bitkisindeki performansı, tüketim miktarının artmış olmasına rağmen düşmüş fakat meşede ise yükselmiştir (Cannon, 1998). Artan CO₂'in diğer bir etkisi de bitkilerin su kullanımıyla ilgilidir. CO₂ artması sonucu bitki transpirasyonu azaltmak amacıyla stomalarını kapatmakta bu da yaprak yüzey sıcaklığının artmasına ve nisbi nemin azalmasına neden olmaktadır. Bu da bazı böcek türlerinin gelişimi için uygun olmayan koşullar oluşturmaktadır (Samways, 2005).

4. ARTAN YAĞIŞLARIN BÖCEKLERE ETKİSİ

Küresel ısınma nedeniyle dünya yüzeyine düşen ortalama yağışın artacağı ancak bazı bölgelerde ise kuraklığın daha şiddetli olacağı tahmin edilmektedir. Her ne kadar bunlar tahmin gibi görünse de geçtiğimiz yüzyılda dünya yüzeyine düşen ortalama yağış %1 oranında artmıştır. Bu artış daha çok kuzey yarım kürede olmuştur. Örneğin, Amerika'da bu artışlar % 10 civarında olmuş ve ekstrem yağışlar eskiye oranla daha fazla görülmüştür. Bunun yanı sıra subtropik ve tropik bölgeler ise daha kurak geçmiştir. 1980' lerin ortasından itibaren İsviçre Alp'lerindeki kar sezonu ve kar miktarında da önemli düşüşler görülmüştür (Samways, 2005).

Bazı böcekler yağışa karşı duyarlıdır ve şiddetli yağışlarda ya ölmekte ya da bitki üzerinden uzaklaşmaktadırlar. Bu, özellikle Amerika'nın kuzeybatı eyaletlerinde soğan tripsleriyle mücadele açısından oldukça önemlidir. Kışı toprakta geçiren bazı böcekler için örneğin yabanmersini zararlılarıyla mücadelede toprağın su altında bırakılması önemli bir mücadele yöntemidir. Küresel ısınma nedeniyle yağışların daha sık ve daha yoğun olmasının bu tür böcekleri olumsuz yönde etkileyeceği düşünülmektedir. Bunun aksine bezelye afidi gibi zararlıları ise kuraklığa hiç toleransları yoktur (Petzoldt ve Seaman, 2007).

Ayrıca sıcaklık gibi yağıştaki değişikliklerin de parazitler, predatörler ve hastalık üzerinde etkili olması öngörülmektedir. Örneğin böceklerin fungal patojenlerinin yüksek nemli bölgelerde etkinlikleri artacak, nemin az olduğu kurak bölgelerde ise etkinlikleri azalacaktır (Petzoldt ve Seaman, 2007).

5. SONUÇ

Küresel ısınmanın dünya üzerindeki bütün canlılar gibi böcekleri de etkilemesi kaçınılmazdır. Yapılan çalışmalardan da anlaşıldığı gibi küresel ısınma nedeniyle meydana gelecek değişimlerin genellikle böceklerin lehine olacağı tahmin edilmektedir. Sıcaklıkların artmasıyla birlikte böceklerin gelişmesi hızlanacak, bir yılda verdikleri nesil sayısı artacak, coğrafik alanı genişleyecek, kışların daha ılık geçmesi nedeniyle kışı canlı geçiren böcek sayısı ve popülasyon büyüklüğü artacaktır. Genel olarak şu ana kadar yapılan birçok çalışmanın sonucu, gelecekte sıcaklığın artmasıyla birlikte böceklerin sayısının da artacağı ve tarımda daha fazla problem olacağı şeklinde sonuçlansa da, halen birçok belirsizlik bulunmaktadır. Özellikle artan CO₂ ve sıcaklık seviyelerinin birbirleriyle olacak etkileşimlerinin böcekleri nasıl etkileyeceğini önceden tahmin etmek oldukça güçtür. Bu konu yeni olması nedeniyle yapılan çalışma sayısı da oldukça azdır. Bilim adamlarının yapması gereken küresel ısınmanın böcekleri, böceklerle ilişki içinde olan canlıları ve bunların birbirleriyle ilişkilerini nasıl etkileyeceğini inceleyen araştırmalara daha fazla yer vermeleridir.

6. KAYNAKLAR

- Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D., Awmack, C., Bezemer, T.M., Brown, V.K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J.C., Farrar, J., Good, J.E.G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T.H., Lindroth, R.L., Pres, M.C., Symmioudis, I., Watt, A.D., Whittaker, J.B., 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*. 8: 1-16.
- Cannon, R.J.C., 1998. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non- indigenous species. *Global Change Biology*. 4: 785-796.

- Collins, W., R. Colman, J. Haywood, R.R. Manning and P. Mote. 2007. The physical science behind climate change. *Sci. Amer.* 297 (2): 64-73.
- FAO, 2008. Climate-Related Transboundary Pests and Disease. Technical Background Document from the Expert Consultation Held on 25-27 February, 2008. FAO, Rome.
- Hance, T. J. van Baaren, P. Vernon and G. Boivin. 2007. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annu. Rev. Entomol.* 52:107-126.
- Harrington, R., Fleming, R.A., Woiwod, P., 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted?. *Agricultural and Forest Entomology.* 3: 233-240.
- Houghton, J.T. et al. 2001. *Climate Change 2001: the Scientific Basis.* Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Johansen, B.E. 2002. *The Global Warming Desk Reference.* Greenwood Press, Westport, CT. 353 pp
- Karl, T.R. and K.E. Trenbeth. 2003. Modern global climate change. *Science* 302:1719-1723.
- Menendez, R., 2007. How are insects responding to global warming? *Tijdschrift voor Entomologie* 150: 355-365.
- Parmesan, C., N. Ryrholm, C. Stefanescu et al. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399:579-583.
- Parmesan, C. and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature.* 421:37-42.
- Parmesan, C. 2007. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecology, Evolution, and Systematics.* 37:637-669.
- Penuelas, J. and I. Filella. 2001. Responses to a warming world. *Science* 294:793-795.
- Petzoldt, C., Seaman, A., 2007. Climate change effects on insects and pathogens. *Climate change and agriculture: promoting practical and profitable responses.* Available from URL: <http://www.climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/III.2Insects.Pathogens.pdf> [Erişim: 10 Eylül 2010].
- Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, et al. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57-60.
- Quarles, W., 2007. Global Warming Means More Insects. *The IPM Practitioner.* Vol. XXIX. No:9/10. Sept.Oct. 2007.
- Reilly, J., 1996. *Agriculture in a changing climate: Impacts and adaptation. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses.* pp. 427-468. 1996.
- Salinger, M.J., M.V.K. Sivakumar and R. Motha. 2005. Reducing vulnerability of agriculture and forestry to climate variability and change. *Climatic Change* 70(1/2) : 341-342.
- Samways, M. J., 2005. Global climate change and synergistic impacts. *Insect Diversity Conservation.* Cambridge University Press, New York. s: 136-151.
- Sharma, H.C., 2010. *Global Warming and Climate Change: Impact on Arthropod Biodiversity, Pest Management, and Food Security.* In: *Pest management and climate change.* Solan, H P, India: Dr. Yashwant Singh Parmar University of Horticulture and Forestry. 11pp.
- Stewart, A.J.A., Lewis, O.T., New, T.R. 2007. *Insect and climate change: processes, patterns and implications for conservation.* *Insect Conservation Biology.* CABI Publishing, London. s:245-270
- Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont et al. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature.* 427:145-148.
- Ward, N.L., Masters, G.J., 2007. Linking climate change and species invasion: an illustration using insect herbivores. *Global Change Biology.* 13: 1-11.