



Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Böcekler Üzerindeki Olası Etkileri

İpek YAŞAR^{1*}

Şahin KÖK²

İsmail KASAP¹

<https://orcid.org/0000-0002-1447-6232>

<https://orcid.org/0000-0002-1092-8596>

<https://orcid.org/0000-0002-0015-4558>

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Çanakkale, Türkiye

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lapseki Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bitki Koruma Programı, Çanakkale, Türkiye

*Sorumlu yazar: ipek.yasar@comu.edu.tr

Özet

Küresel ısınma nedeniyle ortaya çıkan iklim değişikliği tüm dünyanın en önemli ekolojik sorunlarının başında gelmektedir. Böcekler de dahil birçok hayvanın biyolojisi ve davranışı etkilenebileceği gibi onların yaşam alanlarında ve beslenme alışkanlıklarında da değişimler ortaya çıkabilmektedir. Böcekler yeryüzünde bulunan canlı türlerinin büyük bir çoğunluğunu oluşturması nedeniyle küresel iklim değişikliklerinden en fazla etkilenmesi beklenen canlı gruplarının başında gelmektedir. Ekosistemde küresel ısınma ve iklim değişikliği etkisiyle ortaya çıkan sıcaklık artışı böceklerin gelişme sürelerinin normalden çok daha kısa sürmesine ve üreme kabiliyetlerinde artışa neden olacaktır. Yeryüzünde mevcut böcek türlerinin bir kısmını yok ederken, önemli bir kısmının da yaşam alanlarını etkileyerek popülasyonlarda göç davranışının artmasına neden olacaktır. Bu da mevcut zararlıların yanında daha önce bölgede görülmeyen böcek türlerinin tarım arazilerinde ortaya çıkmasıyla zararlı sayılarında artışa bağlı olarak tarımsal ürünlerde ekonomik kayıpların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Tüm bu etkilerin yanında özellikle tarımsal üretim ve biyoçeşitlilik için büyük öneme sahip olan arıların da yaşam alanlarında önemli olumsuz etkiler meydana geleceği öngörülmektedir. Bu çalışmada küresel ısınma ve iklim değişikliğinin ekosistemde meydana getirdiği etkilerin biyoçeşitlilik ve tarımsal üretimin ana unsurlarından olan böceklerdeki olası etkileri ve gelecekte ortaya çıkabilecek sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Böcek, Tarımsal Zararlı, Biyoçeşitlilik, Küresel Isınma, İklim Değişikliği

The Potential Impacts of the Global Warming and Climate Change on Insects

Absract

Climate change caused by global warming is one of the most important ecological problems of the world. The biology and behavior of many animals, including insects, may be affected, as well as changes in their habitats and feeding habits. Since insects constitute the vast majority of living species on earth, they are one of the living groups that are expected to be affected the most by climate changes. The increase in temperature in the ecosystem due to the effect of global warming and climate change will cause the development period of insects to take much shorter than normal and increase their reproductive abilities. While it will destroy some of the existing insect species on the earth, it will affect the habitats of a significant part of it, causing an increase in migration behavior in populations. This will cause economic losses in agricultural products due to the increase in the number of pests as the insect species, which were not seen in the region before, along with the existing pests appear in the agricultural lands. In addition to all these effects, it is predicted that there will be significant negative impacts on the habitats of bees, which have great importance especially for agricultural production and biodiversity. In this study, the possible effects and future consequences of the effects of global warming and climate change on biodiversity and insects, which are the main elements of agricultural production, will be evaluated.

Keywords: Insect, Agricultural Pest, Biodiversity, Global Warming, Climate Change

Giriş

Son yıllarda tüm ülkelerin dikkat çektiği artan sera gazı salınımı, endüstriyel gelişim ile birlikte ozon tabakasının incelmeye ve dünyanın ortalama sıcaklık değerlerini arttırarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Küresel ısınma nedeniyle ortaya çıkan iklim değişikliği, dünya ülkelerinin en önemli ekolojik sorununu oluşturmaktadır (Harrington ve ark., 2001; Bale ve ark., 2002; Fuhrer, 2003). Küresel ısınma, insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan gazların, doğal sera gazlarının etkisini arttırması ile dünya yüzeyinde ortalama sıcaklığın yükselmesine ve bunun sonucunda da iklim değişimlerine yol açmaktadır (Dellal ve ark., 2011).

Geçmişten günümüze yüzey sıcaklığı düzenli olarak artmaktadır. 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 civarında olacağı tahmin edilmektedir (Bale ve ark., 2002). İklimdeki bu değişiklikler, karasal ekosistemleri farklı zamansal ve mekansal ölçeklerde etkileyerek, küresel çapta etkilerinin yıllarca gözlemlenebileceği ve hatta tek tek organizmalar, organeller düzeyinde lokalize etkilere ulaşabileceği tahmin edilmektedir (Fuhrer, 2003). Dünya genelinde kara ve denizlerde meydana gelen sıcaklık artışları, buzulların erimesi sonucu deniz suyunun yükselmesi, taşkınlar, aşırı buharlaşma ve kuraklığın ortaya çıkması, şiddetli fırtınalar, ani yağışlar, özellikle sera gazları ve endüstriyel gazlar sonucu ortaya çıkan CO₂ gazının etkileri küresel ısınmanın varlığını ortaya koymaktadır (Fuhrer, 2003). Küresel ısınma sonucu yaşanan bu değişiklikler böcekler dahil birçok hayvanın biyolojisi ve davranışı üzerinde etkili olduğu gibi onların yaşam alanlarında ve beslenme alışkanlıklarında da değişimlere sebep olmaktadır. Böcekler yeryüzünde bulunan canlı türlerinin büyük bir çoğunluğunu oluşturması ve sıcaklığa bağlı olarak biyolojik gelişimlerini tamamlamaları nedeniyle küresel iklim değişikliklerinden en fazla etkilenmesi beklenen canlı gruplarının başında gelmektedir (Harrington ve ark., 2001). Bu çalışmada küresel ısınma ve iklim değişikliğinin ekosistemde meydana getirdiği etkilerin biyoçeşitlilik ve tarımsal üretimin ana unsurlarından olan böceklerdeki olası etkileri ve gelecekte ortaya çıkabilecek sonuçları değerlendirilecektir.

Küresel İklim Değişikliğinin Böcekler Üzerine Doğrudan Etkileri

Küresel iklim değişiklikleri sonucu artan sıcaklığın böceklerin gelişimi, üremesi, hayatta kalma süresi, popülasyon yoğunluğu ve türlerin yayılmasına doğrudan etkisi bulunmaktadır. Çevre faktörleri arasında sıcaklığın böcekler üzerine etkisinin daha yüksek olduğu yapılan çalışmalarla desteklenmektedir (Bale ve ark., 2002).

Sıcaklık artışı böceklerin fizyolojilerinin hızlanmasıyla daha kısa sürede gelişmelerine, üreme gücünde artışa neden olarak yılda verdiği döl (nesil) sayısının da artmasına neden olmaktadır. Örneğin; afitlerin (Hemiptera: Aphididae) 2°C'lik bir sıcaklık artışı ile yılda meydana gelen döl sayısının 4 veya 5 döl daha fazla olacağı tahmin edilmektedir (Harrington ve ark., 2001). Sıcaklık artışı, *Ips typographus* (L.) (Coleoptera: Scolytidae) gibi ekonomik açıdan önemli bazı kabuk böceklerinin, yaşam döngülerini daha erken tamamlamasına ve bir sezon içerisinde ek nesil vermesine neden olacaktır (Lange ve ark., 2006; Jönsson ve ark., 2009). Optimum sıcaklık değerleri üzerinde birçok böcek türünün büyüme oranlarında düşüşler, doğurganlığın azalması ve ölüm oranlarında artış gözlemlenmektedir (Rouault ve ark., 2006). Aynı zamanda sıcaklık artışı, kışlayan böceklerin kışı geçirme süresinin azalmasına da sebep olabilmektedir (Ayres ve Lombardero, 2000).

Bazı böcek türleri, yaşam döngüsündeki değişiklikler yoluyla iklim değişikliği stresinden de kurtulabilir. Daha yüksek sıcaklıklara sahip ortamlardan gelen böcek popülasyonları, uygunluğu arttırmak için daha yüksek doğurganlığa ve daha kısa büyüme süresine sahip olabilir. Artan sıcaklıkların bir diğer etkisi, çok döl veren türlerin her yıl döl sayısında artışa neden olmasıdır. Üzüm güvesi, *Paralobesia viteana* (Clemens) (Lepidoptera: Tortricidae) için fenolojiye dayalı ortalama yüzey sıcaklıklarındaki 2°C'lik artışın, yumurtlama döneminde bir kaymaya neden olarak döl sayısı üzerinde dramatik etkilere sahip olabileceği öngörülmüştür (Tobin ve ark., 2008). Diğer taraftan, gelişme eşiği 10 °C olan bir böcek için bu ortalama sıcaklıkta herhangi bir biyolojik gelişim gözlenmezken, ortalamada oluşabilecek 1 °C'lik sıcaklık artışı bile bu böceğin o bölgede daha hızlı gelişme göstererek zarar oluşturma potansiyelinin artmasını sağlayabilmektedir. Ortalama sıcaklığın artışı ile birçok böceğin hayat döngüsü 2-3 hafta daha erken tamamlanabilecektir. Sıcaklık ortalamasındaki 3 °C' lik

Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Böcekler Üzerindeki Olası Etkileri

artışın *Delia radicum* (L.) (Diptera: Anthomyiidae)'un bir ay daha erken aktif hale gelmesine ve kelebeklerin daha erken görülmesine sebep olacaktır (Cannon, 1998). Ilıman bölgelerde yaşayan birçok böcek türünün yaşam döngülerini tamamlaması ve kış mevsiminin düşük sıcaklıklarına dayanabilmesi için bir diyapoz dönemi geçirmesi gereklidir. Artan sıcaklık koşulları, kış aylarında aktif olarak beslenen Çam kese tırtılı, *Thaumetopoea pityocampa* (Den.&Schiff) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae)'nın beslenmesi ve popülasyon yoğunluğunu arttırabilmesi için teşvik edici bir faktör olabilir (Bale ve ark., 2002).

Böcekler soğukkanlı canlılar olduğundan dağılımları iklimle yakından ilişkilidir. Böceklerin fenolojileri, çiftleşmesi, konukçu bulma ve kolonizasyon oluşumu gibi temel parametreler böceklerin göç davranışını etkilemektedir. Böcek uçuşu için gerekli sıcaklık eşikleri hem türler arasında hem de türler içinde, mevsime ve bölgeye göre değişmektedir (Johnson ve Taylor, 1957). Böcekler, fizyolojik yapılarının yanı sıra, uçuş aktivitelerinde hava durumu gibi çevresel koşullardan da etkilenmektedir. Ayrıca, böceğin ortaya çıkışı ve kışlama sonrası ilk popülasyonu; gün uzunluğu ve sıcaklık eşiklerinin kombinasyonuna bağlı olabilir. Örneğin, *I. typographus*'un üreme diyapozunun sona ermesinden sonra belirli bir termal eşik ve bir fotoperiyot eşığının üzerinde belirli bir etkili sıcaklık toplamını dikkate alarak uçuş aktivitesi göstermektedir (Baier ve ark., 2007). Ilıman bölgelerdeki birçok böcek türünün coğrafi aralığı, sıcaklık eşikleri ile belirlenir. Örneğin, azalan kar yağışı *T. pityocampa*'nın son zamanlarda yüksek dağlara doğru genişlemesine sebep olmuştur (Kiritani, 2006). Avrupa'da yaklaşık olarak 35 kelebek türünün %63'ü sıcaklıktaki 0.8 °C' lik artış sebebiyle kuzeye doğru göç eğilimi göstermişlerdir. Bu değişikliklerin önümüzdeki yüzyıl içinde de gerçekleşeceği ve birçok türün yok olacağı tahmin edilmektedir (Ward ve Master, 2007). Küresel ısınmaya bağlı olarak yeryüzünde mevcut böcek türlerinin bir kısmı yok olurken, bir kısmı da yaşam alanlarını değiştirerek daha önce zararına rastlanmayan tarım alanlarına göç etmektedirler. Sıcaklık nedeniyle böceklerin göç etmesine örnek olarak İngiltere'de yaşamaya başlayan pis kokulu böcek *Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae)'yı ve günümüzün en önemli domates zararlılarından olan domates güvesi *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)'yı verebiliriz.

Küresel ısınma nedeniyle bazı bölgelerde yağış rejiminin artacağı, bazı bölgelerde ise kuraklık şiddetinin artış göstereceği tahmin edilmektedir. Yağışta meydana gelen bu değişim bazı böcek türlerini öldürmekte ya da konukçu bitkilerinden uzaklaştırmaktadır. Örneğin, artan yaz yağışları toprakta yaşayan tel kurtları, *Agriotes lineatus* (L.) (Coleoptera: Elateridae)'un toprak üzerindeki popülasyonunda hızlı bir artışa neden olmaktadır (Staley ve ark., 2007). Afrika'da, yağış rejimindeki değişiklikler çöl çekirgesi *Schistocerca gregaria* (Forsk.) (Orthoptera: Acrididae)'nın göçlerine neden olmaktadır (Hulme ve ark., 2001). Özellikle Kasım aylarındaki yüksek yağış miktarı yeşil kurt *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)'nın daha yüksek popülasyon yoğunluğuna ulaşmasına ve beraberinde tarımsal ürünlere verdiği zararın artmasına neden olmaktadır (Srivastava ve ark., 2010). Ortalama yağışın birkaç bölgede azalacağı ve yaz kuraklıklarının meydana geleceği tahmin edilmektedir. Kuraklık koşulları, *Scopelosaurus lepidus* (Krefft & Maul) (Chordata: Craniata)'un yumurtalarının canlılığını ciddi şekilde etkilemekte ve çok kurak koşullarda yumurta açılımının neredeyse hiç olmadığı belirtilmiştir (Johnson ve ark., 2010).

Küresel İklim Değişikliğinin Böcekler Üzerindeki Dolaylı Etkileri

Küresel iklim değişimleri sonucu bitkilerde ortaya çıkan su stresi ve bitki kalitesindeki farklılaşmalar, böcek popülasyonlarının üreme ve beslenme davranışlarını etkilemektedir. Sıcaklıkların artması ile bitki yapraklarında oluşan sararmalar, bitkilere özelleşmiş zararlıların farklı konukçulara yönelmesi ve bunun etkisiyle zararlıların konukçu spektrumunda genişlemelere sebep olabilir. Bu durum da böceklerin beslenme davranışlarını zenginleştirmektedir. Bitkilerde artan sıcaklık sonucu ortaya çıkan su stresi bitkilerin biyokimyasal yapısındaki aminoasit, şeker ve alkol konsantrasyonlarının yükselmesine neden olarak bitkilerin zararlı istilalarına karşı daha duyarlı hale gelmesine neden olabilmektedir (Mattson ve Haack, 1987). Ayrıca bitkilerdeki sakaroz konsantrasyonunun artması, daha iyi aminoasit ve şeker varlığına ve bununla birlikte daha kaliteli bitki oluşumuna neden olmaktadır. Bunun sonucunda ise özellikle çekirgeler ve kelebekler gibi böcek türlerinin bu bitkilerde beslenerek, üreme ve gelişme potansiyeli artabilir (Rubenstein, 1992).

Bitki bünyesindeki su içerikleri, dayanıklılık özellikleri, dayanıklılık kimyasallarının oranları, nitrojen içeriklerindeki değişimlere bağlıdır. Karbon miktarındaki artış nitrojen oranını arttırarak daha fazla fotosentezin gerçekleşmesine ve dolayısıyla bitkilerin daha hızlı büyümesine neden olabilecektir. Fotosentez oranlarının değişimi, bitki türlerinin kimyasal bileşimi ve bitki rekabeti gibi faktörlerdeki değişimlerin biyolojik çeşitliliği etkilemesi beklenmektedir. İklim değişiklikleri sonucu bitkilerin kimyasal yapıları çeşitli şekillerde etkileneceğinden böceklerin beslenebileceği bitki alternatifleri de çoğalacaktır (Coviella, 1998; Özgen ve Karsavuran, 2009). Sıcaklık artışı, ağaçların su stresine girmesine ve en önemli savunma bariyerleri olan reçine üretimini olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Böylece ağaçlarda görülen su açığı; kabuk böcekleri salgınını arttıran ana etkenlerden biri olarak görülmektedir (Şimşek ve ark., 2010).

Küresel İklim Değişikliklerinin Doğal Düşmanlar Üzerine Etkileri

İklim değişikliğine, zararlı böcekler ve bunların predatörleri ile parazitoidleri farklı şekillerde tepki vermektedir. Küresel ısınma, biyolojik karakterleri etkilemenin yanı sıra, etkileşim halindeki popülasyonlar arasında zamansal uyumsuzluğa neden olabilir. Yüksek sıcaklıklar, böceklerin doğal düşmanlar tarafından uğrayabilecekleri saldırılara hassas oldukları dönemleri daha hızlı geçirmelerine neden olurken predatör ve parazitoidlerin konukçu arama davranışlarında değişimler gözlenebilir. Konukçu ve avcılar arasında zamansal çakışma olmaması gibi etkilerin gözlenmesiyle konukçunun parazitlenme ve avlanma ihtimallerinde düşüşler gözlenebilir (Petzoldt ve Seaman, 2007). Yani sıcaklıktaki değişim, zararlı ile mevcut doğal düşmanı arasındaki ilişkiyi de önemli derecede etkilemektedir. Örneğin 11 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bezelye afidi, *Acyrtosipon pisum* (Harris) (Hemiptera: Aphididae)'un üreme oranı, yedi noktalı uğur böceği *Coccinella septempunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae)'nın tüketemeyeceği kadar artmakta, 11 °C'nin altındaki sıcaklıklarda ise durum tam tersi olmaktadır (Harrington ve ark., 2001). Örneğin, *Nilaparvata lugens* (Stal) (Hemiptera: Delphacidae)'in yumurta gelişim süresi 25°C'de 10.4 gün iken 27 ve 28°C'de 7.9 gündür. Bununla birlikte parazitoidi *Camponotus chloridae* (Uchida) (Hymenoptera: Ichneumonidae)'nin ise 12-37°C gibi geniş bir sıcaklık aralığında başarılı bir şekilde gelişirken 12 °C altındaki ve 37°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ölüm oranları artmaktadır (Heong ve ark., 1995). *C. chloridae*'nin pupa ölüm yüzdesinin 22°C'nin üzerinde ve altında arttığı, en yüksek ölüm oranının 37°C'de gerçekleştiği gözlenmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak ömür uzunluğu azalmıştır. Ergin dişilerin en yüksek yaşam süresi (17.2 ± 3.6 gün) 12°C'de kaydedilmiş ve artan sıcaklıkla birlikte yaşam süresi sürekli olarak azalmıştır. Ergin dişi parazitoidlerin yaşam süresi 37°C'de 4 günden az olmuştur. Günlük üreme modeli ve tahminler *C. chloridae*'nin diğer yaşam tablosu istatistikleri, performansının 22°C'nin altında ve üstünde düştüğünü göstermektedir (Pandey ve Tripathi, 2008).

CO₂ artışı ile bitkideki sekonder metabolitler gibi kimyasal olaylar, biyolojik ajanların konukçularını bulma davranışlarını etkileyerek üreme potansiyelini arttırabilmektedir (Özgen ve Karsavuran, 2009). Örneğin; bazı afit türlerinin CO₂ artışı ile alarm feromonlarına verdikleri tepkinin azaldığı ve bu yüzden doğal düşman saldırılarına daha hassas oldukları tespit edilmiştir (Awmack ve ark., 1997). Heong ve ark. (1995) yapmış oldukları çalışmada, *N. lugens*'nin yumurta predatörü *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae)'in 32°C'ye kadar artan sıcaklıklarla konukçusuna karşı saldırısının arttığı ve 35°C'de saldırı hızını azalttığını bildirmişlerdir.

Küresel İklim Değişikliğinin Paraziter Hastalıklar Üzerindeki Etkileri

Küresel ısınma nedeniyle böcek popülasyonlarında görülen artış ve yaşam alanlarındaki genişleme, daha önce bazı vektör böceklerin taşıdıkları hastalıkların orjininden farklı bölgelerde görülmesine neden olabilmektedir. Özellikle karasal iklime sahip bölgelerde daha önce görülmeyen parazitler hastalıkların yaygınlaşacağı ve bunun sonucunda ise iklim değişiminin dünyayı parazitler için daha iyi bir yer haline getireceği öngörülmektedir (Ostfeld, 2009). Sıcaklığın artması ile vektör böceklerin taşımış oldukları hastalık etmenleri vektör içerisindeki gelişme süresini daha da hızlandırarak konukçusunu daha kısa periyotlarda enfekte edebilecektir (Samways, 2005).

İklim değişikliği etkisiyle soğuk kışların yaşandığı karasal iklim bölgelerinde yaban hayatını etkileyen bazı böcek ve kene türleri gibi parazitler etmenlerin, ılık geçen kışların etkisiyle daha fazla hayatta kaldığı ve bunun da hayvanlar için stres oluşturarak yaşam mücadelelerini zorlaştırdığı yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Dobson, 2009). Doğal ekosistemin bozulmasıyla birçok hastalık etmeni

parazitlerin, biyolojik gelişimleri hızlanarak daha fazla yayılma alanı göstereceği öngörülmektedir. Örneğin, sıcaklıktaki 2°C'lik bir artış sivrisineklerin gelişim hızlarını 2 katından daha fazla arttırarak yeryüzünde görülen sıtma hastalığını %42'den %60 oranına çıkarabilecektir (Reiter, 2008). Kolombiya'nın And dağlarında *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) sineklerinin taşımış olduğu kas ve eklem ağrılarına sebep olan "Dengue ateşi" hastalığı 1000 m' ye kadar yüksekliklerde görülebilirken günümüzde 2200 m' kadar yüksekliklerde dahi görülmeye başlanmıştır (Samways, 2005). Özellikle geviş getiren hayvanlarda görülen ve sivrisineklerin nakletmiş olduğu "Rift Vadisi Humması"; ateş, burun akıntısı, gözyaşı, kusma, kanlı ishal, gebelerde yaygın yavru atmaya ve genç hayvanlarda yüksek ateş ve ani ölümlere yol açan zoonoz bir hastalıktır. Küresel iklim değişimi sonucu meydana gelen yoğun yağışlar sebebiyle yaygınlığı artan başka bir hastalık etmenidir. Yapılan çalışmalar sonucunda, 1°C'lik sıcaklık artışının bile veba görölme oranını %50 oranında arttırarak sağlık sorunları yaratabileceği öngörülmektedir (Reiter, 2008; Baer ve Singer, 2012).

Küresel İklim Değişikliğinin Zararlı Mücadelesindeki Önemi

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin, eklembacaklıların çeşitliliği ve bolluğu, zararlı böceklerin coğrafi dağılımı, popülasyon dinamikleri, böcek biyotipleri, herbivor-bitki etkileşimleri, doğal düşmanların aktivitesi ve bolluğu, türlerin yok olması ve bitki koruma teknolojilerinin etkinliğinde büyük değişikliklere neden olması öngörülmektedir. Coğrafi yayılımdaki değişiklikler ve böcek popülasyonlarındaki artışların ürünlerdeki kayıpların oranını arttırması ve dolayısıyla mahsul üretimi ve gıda güvenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olması beklenmektedir. Zararlı böceklerin dağılımı, iklim değişikliğinin tetiklediği ürün desenlerindeki değişikliklerden de etkilenecektir. Küresel ısınma aynı zamanda konukçu bitki direncinin, transgenik bitkilerin, doğal düşmanların, biyopestisitlerin ve zararlı yönetiminde kullanılan sentetik kimyasalların etkinliğini de azaltacaktır. Bu nedenle, gelecekte küresel ısınma ve iklim değişikliği başlıkları altında etkili olacak sağlam teknolojiler geliştirmek için iklim değişikliğinin zararlı böcekler üzerindeki olası etkileri hakkında daha fazla güncel bilgi üretmeye ihtiyaç vardır (Sharma, 2010).

Böceklerle karşı konukçu bitki direnci, zararlı yönetiminin çevre dostu bileşenlerinden biridir. Bununla birlikte, iklim değişikliği böcek zararlıları ve konukçu bitkiler arasındaki etkileşimleri değiştirebilir. Hindistan' da sorgum tatarcık sineklerine, *Stenodiplosis sorghicola* (Coquillett) (Diptera: Cecidomyiidae)'ya karşı direnç gösteren sorgum çeşitlerinin, Kenya' da Ekvator yakınlarında yüksek nem ve ılıman sıcaklık koşullarında bu zararlıya karşı duyarlı hale geldiği gözlenmiştir (Sharma ve ark., 1999). Yüksek sıcaklık ve yüksek CO₂ seviyeleri veya kuraklık dönemlerinin transgenik bitkiler üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmalarda, *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bacillales: Bacillaceae)'in toksin proteini seviyelerinde azalmanın gerçekleştiği gözlenmiştir (Chen ve ark., 2005; Chen ve ark., 2005a; Dong ve Li, 2007). Yapılan başka bir çalışmada ise pamuk kurdu, *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae)'in Texas, (ABD)'da yüksek sıcaklıklar nedeniyle Bt pamuklarını yok ettiği gözlenmiştir (Kaiser, 1996). Bu nedenle, iklim değişikliğinin zararlı yönetimi açısından transgenik bitkilerin etkinliği üzerindeki olası etkilerini anlamak önemlidir. Sıcaklık, UV radyasyonundaki artış ve bağıl nemdeki azalma, zararlı kontrol yöntemlerinin birçoğunun daha az etkili olmasına neden olabilir ve bu tür bir etki, doğal bitki ürünleri ve biyopestisitler üzerinde daha da belirgin olacaktır (Pareek ve ark., 2017). Piretroidler, organofosfatlar ve özellikle biyopestisitler gibi belirli pestisitler, yüksek sıcaklıklarda daha hızlı bozulmaktadır. Örneğin entomopatojenik fungus olan *Beauveria bassiana* (Balsamo) (Ascomycetes: Clavicipitaceae)'nın biyolojik aktivitesi, 25°C sıcaklıklarda azalmaktadır (Amarasekare ve Edelson, 2004). Değişen ve artan sıcaklıklar, zararlı yönetiminde kullanılan ürünlerin birçoğunun daha az etkili olmasına veya hiç etkili olmamasına neden olabileceği için daha sık insektisit uygulamaları gerektirebilir (Musser ve Shelton, 2005). Dolayısıyla bu durum hem zararlılarda direnç gelişiminin artması hem de uygulama maliyetlerin artması ile sonuçlanabilir. Chen ve McCarl (2001), 2090 iklim projeksiyonları kapsamında bitki zararlıları ile mücadele maliyetlerinin mısır, soya fasulyesi, pamuk ve patates için %3-10 artış göstereceğini ve ABD' de iklim değişikliğine bağlı pestisit uygulamalarının maliyet etkileri nedeniyle toplumda yılda tahmini 200 milyon dolar kayıp gerçekleşeceğini öngörmektedirler (Chen ve McCarl, 2001).

Küresel İklim Değişikliğinin Polinatör Böcekler Üzerindeki Etkileri

Tarımı yapılmakta olan kültür bitkilerinin %75'i tozlaşmak için böceklere gereksinim duymaktadır. Polinatör böceklerin ürün verim ve kalitesinin artırılmasındaki önemi yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Klein ve ark., 2007). Tozlaşmayı sağlayan böceklerin çoğunluğunu arılar oluşturmaktadır. Bunlardan, bal arıları (*Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae)) tarımsal üretim açısından en değerli tozlaştırıcılardır (Özbek, 2003; Calderone, 2012). Bal arılarının yokluğunda birçok kültür bitkisinde %90 civarında verim kaybı gözlenebilmektedir (Klein ve ark., 2007).

İklim değişikliğinin etkisi ile sıcaklık artışı sonucu, bitkilerdeki çiçeklenme periyodunun süresi azalmaktadır. Bu durum arıların ve diğer polinatör böceklerin besin bulmakta zorlanmasına ve sonuç olarak popülasyonlarında azalmalara ya da toplu olarak yok olmalarına sebep olmaktadır. Küresel ısınmanın bir diğer sonucu olan aşırı yağışlar nedeniyle ortaya çıkan su baskınları arı koloni kayıplarına neden olurken, kuraklığın etkisiyle su kaynaklarında oluşan ciddi orandaki azalmalar arıların doğal düşmanları için daha uygun ortamların oluşmasına neden olmaktadır (Klein ve ark., 2007; Tirado ve ark., 2013). Bunun yanı sıra iklim değişikliği ile kolonilerdeki bulaşıcı hastalıkların ve *Varroa destructor* (Anderson and Truman) (Acari: Varroidae), gibi parazit akarların varlığının artışı ile bal arısı kolonilerinde ciddi ölümler gözlenebilecektir (Switaneck ve ark., 2015). Ayrıca küresel ısınma ile ortaya çıkan ısı değişimleri çiçeklenme periyodu süresinin azalmasına, bal üreticilerinin besin için çiçekli bitkileri aramada daha fazla çaba göstermesine neden olmaktadır. Bu durum hem üretim maliyetini artırmakta hem de iş gücü kaybına neden olmaktadır (Topal ve ark., 2016).

Sonuç

Küresel ısınma ile ortaya çıkan iklim değişikliği dünya üzerindeki böceklerde dahil tüm canlıları ilgilendiren en önemli sorunlardan biridir. Sonuç olarak istisnalar dışında küresel iklim değişiminin böcekler için olumlu yönde etki göstereceği öngörüldürken insan yaşamı ve tarımsal üretim için tam aksi yönde etki göstermesi beklenmektedir. Ekosistemin korunması, besin zincirinin bozulmaması, insan yaşamı için gerekli bitkisel üretimin sürdürülebilir olarak devam edebilmesi açısından küresel ısınma ile mücadele tüm dünya ülkeleri için öncelik arz etmektedir. Ekosistemi korumanın tek yolu küresel ısınma sürecini yavaşlatabilecek ya da durdurabilecek çözümleri üretmektir. Ekosistemin en güçlü elemanlarından olan böcekler üzerinde ve böceklerin diğer canlılarla olan ilişkileri üzerinde oluşacak etkilerin araştırılacağı çalışmalara önem verilmeli, geleceği yakından ilgilendiren olası riskleri öngörerek çözüme yönelik çalışmalara öncelik verilmelidir.

Not: Bu makale 03-05 Haziran 2021 tarihlerinde gerçekleşen Uluslararası Küresel İklim Değişikliği Kongresi'nde sözlü bildiri olarak sunulmuş ve bildiri kitapçığında özet bildiri olarak yer almıştır.

Kaynakça

- Amarasekare, K. G. ve Edelson, J., 2004. Effect of temperature on efficacy of insecticides to differential grasshopper (Orthoptera: Acrididae). *Journal of Economic Entomology*. 97 (5), 1595-1602.
- Awmack, C. S., Woodcock, C.M. ve Harrington, R., 1997. Climate change may increase vulnerability of aphids to natural enemies. *Ecological Entomology*. 22, 366-368.
- Ayres, M.P. and Lombardero, M.J., 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Sci. Total Environ*. 262: 263-286.
- Baer, H. and Singer, M. 2012. *Global warming and the political ecology of health: emerging crises and systemic solutions*. Walnut Creek, California. Left Coast Press. 1st Edition. ISBN 9781598743548.
- Baier, J., Pennerstorfer, A. and Schopf, P., 2007. A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col. Scolytidae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. *Forest Ecol. and Mgt.* 171-186.
- 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., Symrnioudis, 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.
- Calderone, N.W., 2012. Insect pollinated crops, insect pollinators and US agriculture: trend analysis of aggregate data for the period 1992–2009, *PLoS ONE* 7(5): e37235.
- 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.
- Chen, C.-C. ve McCarl, B. A., 2001. Pesticide usage as influenced by climate: a statistical investigation. *Climatic Change*, 50 (1-2), 475-487.
- Chen, D.H., Ye, G.Y., Yang, C.Q., Chen, Y. and Wu, Y.K. 2005. The effect of high temperature on the insecticidal properties of bt cotton, *environ. Exp. Bot.* 53: 333-342.
- Chen, F.J., Wu, G., Ge, F., Parajulee, M.N., Shrestha, R.B., 2005a. Effects of elevated CO₂ and transgenic Bt cotton on plant chemistry, performance, and feeding of an insect herbivore, the cotton bollworm, *entomol. Exp. Appl*, 115: 341-350.
- Coviella, C.E., Trumble, J., 1998. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect- plan interactions. *Conservation Biology*, 4(13), 700-712.
- Dellal, İ., McCarl, B.A., Butt, T., 2011. The economic assessment of climate change on Turkish agriculture. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 12 (1):376-385.
- Dobson, A., 2009. Climate variability, global change, immunity, and the dynamics of infectious diseases. *Ecology*. 90 (4): 920-927.
- Dong, H.Z., Li, W.J., 2007. Variability of endotoxin expression in Bt transgenic cotton. *J. Agron. & Crop Sci.* 193: 21-29.
- Fuhrer, J., 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change, *agriculture, Ecosystem and Environment*, 9,7: 1-20.
- 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.
- Heong, K.L., Y.H. Song, S. Pimsamarn, R. Zhang and Bae, S.D., 1995. Global Warming and Rice Arthropod Communities In: *Climate Change and Rice*. (Eds. Peng, S., Ingram, K.T., Neue, H.U. and Ziska, L.H.), Springer publications, Berlin, 327-335.
- Hulme, M., Doherty, R., Ngara, T., New, M., Lister, D., 2001. African climate change: 1900–2100, *Climate Res.*, 17: 145-168.
- Johnson, C.G., Taylor, L.R., 1957. Periodism and energy summation with special reference to light rhythms in aphids, *J. Experimental Biol.* 34: 209-221.
- Johnson, S.N., Gregory, P.J., McNicol, J.W., Oodally, Y., Zhang, X., Murray, P.J., 2010. Effects of soil conditions and drought on egg hatching and larval survival of the clover root weevil (*Sitona lepidus*). *Appld. Soil Ecol.* 44: 75-79.

- Jönsson, A.M., Appelberg, G., Harding, S., Barring, L., 2009. Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle. *Ips typographus*. *Glob Chang Biol*. 15: 486- 499.
- Kaiser, J., 1996. Pests overwhelm Bt cotton crop. *Science*, 273: 423.
- Kiritani, K., 2006. Predicting impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan. *Popln. Ecol*. 48: 5-12.
- Klein, A.M., Vaissiere, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tscharntke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *proc. r. soc. b. biol. sci.*, 274: 303–313.
- Lange, H., Okland, B., Krokene, P., 2006. Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. *Int. J. for Complex Systems*. 1648: 1-10.
- Mattson, W. J., Haack, R. A., 1987. The role of drought in outbreaks of plant-eating. *Insects. Bioscience*. 37, 110-119.
- Musser F. R., Shelton A. M., 2005. The influence of post-exposure temperature on the toxicity of insecticides to *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Pest Management Science*. 61:508–510.
- Ostfeld, R.S., 2009. Climate change and the distribution and intensity of infectious diseases. *Ecology*. 90 (4): 903-905.
- Özbek, H., 2003. Türkiye’de arılar ve tozlaşma sorunu. *Uludağ Arıcılık Dergisi*. 3: 41-44.
- Özgen, İ., Karsavuran, Y., 2009. Küresel iklim değişikliklerinin böcekler açısından değerlendirilmesi. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 13, 51-61.
- Pandey, A.K., Tripathi, C.P.M., 2008. Effect of temperature on the development, fecundity, progeny sex ratio and life-table of 2 *Campoletis chloridae*, an endo-larval parasitoid of the pod borer, *Helicoverpa armigera*. *Bio Control*. 53: 461-471.
- Pareek, A., Meena, B., Sharma, S., Tetarwal, M., Kalyan, R. ve Meena, B., 2017. Impact of climate change on insect pests and their management strategies. *Climate Change and Sustainable Agriculture*. 253-286.
- Petzoldt, C. and Seaman, A., 2007. Climate change effects on insects and pathogens, climate change and agriculture: promoting practical and profitable responses. *New York State Agricultural Extension Station*. Geneva. <https://www.panna.org/sites/default/files/CC%20insects&pests.pdf> [Erişim Tarihi: 08.06.2021].
- Reiter, P. 2008. Climate change and mosquito-borne disease: knowing the horse before hitching the cart. *Rev Sci Tech*. 27 (2): 383-398.
- Rouault, G., J.N. Candau, F. Lieutier, L.M. Nageleisen, J.C. Martin and N. Warzee, 2006. Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Ann. of Forest Sci.*, 63: 613-624.
- Rubenstein, D. I. 1992. The greenhouse effect and changes in animal behavior: effects on social structure and life-history strategies. In *Global Warming and Biological Diversity*. 14, 180-192.
- Samways, M. J., 2005. *Global climate change and synergistic impacts. insect diversity conservation*. Cambridge University Press. New York. 136-151.
- Sharma, H.C. 2010. Global warming and climate change: impact on arthropod biodiversity, pest management, and food security. In R. Thakur, P.R. Gupta and A.K. Verma (eds.), *Souven. Natn. Symp. Perspectives and Challenges of Integrated Pest Management for Sustainable Agriculture*. Nauni, Solan. Himachal Pradesh. pp 1– 14.
- Sharma, H.C., Mukuru, S.Z., Manyasa, E., and Were, J. 1999. Breakdown of resistance to Sorghum midge, *Stenodiplosis sorghicola*, *Euphytica*. 109:131-140.
- Srivastava, C.P., N. Joshi and T.P. Trivedi, 2010. Forecasting of *Helicoverpa armigera* population and impact of climate change, *Ind. J. Agrl. Sci.*, 80(1): 3-10.
- Staley, J.T., C.J. Hodgson, S.R. Mortimer, M.D. Morecroft, G.J. Masters, V.K. Brown and M.E. Taylor, 2007. Effects of summer rainfall manipulations on the abundance and vertical distribution of herbivorous soil macro-invertebrates. *Eur. J. Soil Biol.*, 43: 189-198.
- Switanek, M., Brodschneider, R., Crailsheim, K., Truhetz, H., 2015. Impacts of Austrian climate variability on honey bee mortality. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 17, 9575.

- Şimşek, Z., Kondur, Y., Şimşek, M., 2009. Küresel iklim değişikliğinin kabuk böcekleri üzerinde beklenen etkileri. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*. 3 (2): 149-157.
- Tirado, R., Simon, G., Johnston, P., 2013. A review of factors that put pollinators and agriculture in europe at risk. *Greenpeace Research Laboratories Technical Report*. 44p.
- Tobin, P.C, S. Nagarkatti, G. Loeab and M.C. Saunders, 2008. Historical and projected interactions between climate change and insect voltinism in a multivoltine species. *Global Change Biol.*, 14: 951-957.
- Topal, E., Özsoy, N., Şahinler, N. 2016. Küresel ısınma ve arıcılığın geleceği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 21(1):112-120.
- Ward, N.L., Masters, G.J., 2007. Linking climate change and species invasion: an illustration using insect herbivores. *Global Change Biology*. 13: 1-11.