



İklim Değişikliğinin Tarım Ürünleri ve Böcekler Üzerindeki Etkisi^A

Meltem ERDEM KÜÇÜK^{1*}, Hilal TUNCA COSİC²

Öz: İklim değişikliği ve küresel ısınma, dünya genelinde tarım endüstrisini büyük ölçüde etkilemekte ve günümüz toplumunda en çok tartışılan konular arasında yer almaktadır. İklim değişikliği sonucunda sıcaklıkların yükselmesinin, atmosferde CO₂ konsantrasyonlarının artmasının ve değişen yağış miktarı gibi olumsuz koşulların tarımsal üretim ve tarım zararlısı böcekler üzerine önemli etkisi bulunmaktadır. İklim değişiklikleri zararlı ve faydalı böcekleri çeşitli şekillerde etkileyebilir. Bu etkiler tarım zararlısı böceklerin coğrafi dağılımlarının genişlemesine, kışı canlı geçiren türlerin hayatta kalma oranının artmasına, döl sayısının yükselmesine, bitkiler ve zararlılar arasındaki dengenin değişmesine, türler arası etkileşimin değişmesine, göç eden zararlılar tarafından istila riskinin artmasına, böceklerle bulaşan bitki hastalıklarının görülme sıklığının artmasına ve özellikle biyolojik mücadele etmenlerinin etkinliğinin azalmasına neden olabilir. Bu sebepler nedeniyle, tarımsal üretimde ürün kaybı ve gıda güvenliği ciddi bir sorunla karşı karşıya kalabilir. Zararlı böcekler ile bu böceklerin predatörleri ve parazitoitleri iklim değişikliğine farklı şekillerde cevap verirler. Yüksek sıcaklık böceklerin doğal düşmanları tarafından saldırıya uğrayacakları dönemleri daha kısa sürede geçirmelerine sebep olur. Dolayısıyla zararlı böcek ve onun doğal düşmanı arasındaki ilişki sıcaklığın artmasından dolayı önemli derecede etkilenmiş olacaktır. Bu çalışmada iklim değişikliğinin tarım zararlısı böcekler üzerindeki etkilerine karşı yapılacak olan öncelikli araştırmalar tartışılmaktadır. Bu öncelikli araştırmalar arasında, modifiye edilmiş entegre zararlı yönetimi stratejileri, iklim ve zararlı böcek popülasyonlarının izlenmesi ve modelleme tahmin araçlarının kullanımı sayılabilir. Sonuç olarak, iklim

^A Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar çalışmaya ortak katkı sağlamıştır.

* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** ¹ Meltem ERDEM KÜÇÜK Zonguldak Bülent Ecevit University, Ahmet Erdoğan Vocational School of Health Services, Department of Medical Services and Techniques, Zonguldak, ^{1*} meltem.erdem@beun.edu.tr, [OrcID 0000-0003-3107-8946](https://orcid.org/0000-0003-3107-8946)

² Hilal TUNCA COSİC Ankara University, Faculty of Agriculture Department of Plant Protection, Ankara Turkey, htunca@ankara.edu.tr, [OrcID 0000-0003-3073-6628](https://orcid.org/0000-0003-3073-6628)

değişikliğinin tarım zararlısı böcekler üzerine olumsuz etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar araştırılmış ve gelecekte ihtiyaç duyulan zararlı böceklerle mücadele yönetim stratejileri ve uyulması gereken mevzuat detaylı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, böcek popülasyonlarını korumak için uygun yöntemlerin neler olabileceği değerlendirilmiş olup iklim değişikliği sorunu ile başa çıkmak için proaktif ve bilimsel bir yaklaşımın gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, küresel ısınma, tarım, böcekler.

The Effect of Climate Change On Agricultural Products and Insects

Abstract: Climate change and global warming greatly affect the agricultural industry worldwide and are among the most discussed topics today. Various factors, such as temperature increases as a result of climate change, increased CO₂ concentration in the atmosphere, and changing rainfall amounts as a result of climate change, cause very negative effects on crop production, beneficial insects and agricultural pests. The most significant environmental factor influencing the dynamics of insect populations is temperature, so it is anticipated that rising global climate warnings will cause an increase in their geographic range, overwintering survival, number of generations, risk of invasive insect species and plant diseases, and interactions with natural enemies and host plants. Future pest management strategies are desperately needed as climate change makes the pest problem worse. Pests and their predators and parasitoids respond to climate change in different ways. High temperatures cause insects to have a shorter period of time when they will be attacked by their natural enemies. Therefore, the relationship between the pest and its natural enemy will be significantly affected by the increase in temperature. These include the use of the modelling prediction tools that are provided here, the monitoring of the climate and pest populations, and updated integrated pest control strategies. As a result, studies on the negative effects of climate change on agricultural pests have been investigated, and management strategies for combating pests needed in the future and legislation to be followed have been evaluated in detail. Additionally, appropriate methods to protect insect populations were evaluated, and it was concluded that a proactive and scientific approach is required to deal with the problem of climate change.

Keywords: Climate change, global warming, agriculture, insects.

Giriş

Dünya, son yıllarda bilim ve teknolojinin gelişmesiyle tarımsal üretimde önemli ilerlemeler kaydetmiştir (Pingali ve Abraham, 2022). Teknolojik yenilikler ve sanayi devrimi, tarımsal uygulamaları büyük ölçüde etkileyerek üretimin artmasına neden olmuştur. Ancak 20. yüzyıl ve 21. yüzyılın ilk yılları hem çevresel istikrarı hem de gıda güvenliğini tehdit eden küresel nüfusta önemli bir artışa tanık olmuştur (Wudil ve ark., 2022). 2050 yılına

kadar hızla artan nüfus nedeniyle gıda talebini karşılamak için tarımsal üretimin artması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar, artan nüfus için yeterli gıda tedarikini sağlamanın en iyi yolunun, araziyi genişletmek yerine tarımsal üretimi artırmanın ve üretilen ürünleri yönetmenin daha iyi olduğunu ileri sürmektedir (Fróna ve ark., 2019). Üretilen gıdanın yönetilmesi, gıda yeterliliğini ve erişilebilirliğini sağlamak açısından önemlidir ancak bu incelemenin kapsamı dışındadır. Ancak küresel ısınma, sık yaşanan kuraklıklar, değişen atmosferik karbondioksit (CO₂) konsantrasyonları, hava koşullarındaki bozulmalar ve iklimle ilgili diğer değişkenler gibi faktörler, ürün verimini olumsuz yönde etkilemeye devam etmektedir (Lin ve ark., 2022; Dinç ve ark., 2022). Bu abiyotik faktörler aynı zamanda zararlı böcek biyolojisini, performansını, popülasyon dinamiklerini ve bunların bitkilerle ve doğal düşmanlarla olan etkileşimlerini de etkiler; bunların tümü ürün veriminin belirlenmesinde kritik faktörlerdir (Cannon, 1998; Yaşar ve ark., 2021; Subedi ve ark., 2023). Artan zararlı popülasyonları ve hava koşullarındaki bozulmalar ve iklimle ilgili değişiklikler nedeniyle sık sık ortaya çıkan salgınlar, ürün verimliliğini ve bulunabilirliğini olumsuz yönde etkileyerek sonuçta gıda güvenliğini tehdit edebilir. Bu çalışma, iklim değişikliğinin özellikle artan CO₂ konsantrasyonları, kuraklıklar ve sıcaklıkların böceklerin biyolojisi ve ekolojisi üzerindeki devam eden ve beklenen etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Buna ek olarak, makale, iklim değişikliğinin etkilerini göz önünde bulundurarak, sonuçta yeterli gıda üretimini garanti altına alırken, zararlı adaptasyonu ve ürünler üzerindeki baskıyı etkili bir şekilde mücadele edebilecek veya yönetebilecek değiştirilmiş entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejileri oluşturmak için modern zararlı izleme teknolojileri ve tahmin araçlarını sunmaktadır.

İklim Değişikliği, Tarım Ürünleri ve Tarım Zararlısı Böcekler

İklimin sürekli değiştiği, bilim adamları tarafından bu iddiayı destekleyen kanıtlarla belgelenmiştir (Field ve ark., 2014). Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) iklim değişikliğini “İklim, belli bir bölgede meteorolojik özelliklerin ortalamasında ve/ya da değişkenliğinde (istatistiksel testler kullanılarak) tanımlanabilen ve uzun bir süre (genellikle onlarca yıl veya daha uzun bir süre) devam eden bir değişiklik” olarak ifade etmektedir (Pingali ve Abraham, 2022). Sıcaklık, su mevcudiyeti ve CO₂ konsantrasyonu gibi iklimle ilgili değişkenler, tatlı su ve deniz sistemleri, tarım ve ormancılık dahil olmak üzere tarımsal üretim yapılan ekosistemlerin özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu değişkenlerde yapılacak herhangi bir değişiklik küresel gıda üretimini tehdit etmektedir (Pingali ve Abraham, 2022; Subedi ve ark., 2023). İnsan faaliyetleri, özellikle de fosil yakıtların kullanımı ve sanayileşme, geçtiğimiz yüzyılda gözlemlenen küresel ısınmanın büyük ölçüde sorumlusu olmuştur (Metz ve ark., 2001). İklim modelleri, önümüzdeki yüzyılda Dünya'nın sıcaklığında 1,4–5,8 °C'lik bir artış yaşanacağını öngörmektedir (Pachauri ve ark., 2014). Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarındaki, özellikle de CO₂'deki artış, küresel ısınmanın temel nedenidir. Dünya yüzeyinden yansıyan termal kızılötesi radyasyon, CO₂, metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O) ve klorokarbonlar (CFC'ler) dahil olmak üzere sera gazları tarafından emilir ve daha sonra yüzeye geri salınarak daha fazla ısı enerjisi hapseder ve küresel ısınmaya neden olur (Streck, 2005; Subedi ve ark., 2023). Antropojenik etkiler ayrıca 1950'lerden sonra sıcak hava dalgaları, aşırı sıcaklıklar, artan kuraklık ve su baskınları gibi aşırı hava ve

iklim olaylarıyla da ilişkilendirilmektedir. İklim değişikliği nedeni ile de sıcak hava dalgalarının ve yoğun yağış olaylarının hız ve şiddetinde de artış beklenmektedir (Ripple ve ark., 2022).

1. İklim Değişikliğinin Tarımsal Üretim Üzerindeki Etkileri

Tarımsal faaliyet öncelikle sıcaklık, su mevcudiyeti ve tarımsal üretim için hava koşulları da dahil olmak üzere iklim değişkenlerine bağlıdır. Tarımın iklim değişkenlerine yoğun bağımlılığı nedeniyle, bu değişkenlerdeki herhangi bir değişiklik veya aksaklık, ürün verimini ve üretkenliğini büyük ölçüde etkileyebilir (Deshar ve Koirala, 2019; Myers ve ark., 2022; Subedi ve ark., 2023). Bu değişkenlerin tarımsal üretim üzerindeki etkisi üzerine yapılan araştırmalar, hem bireysel hem de popülasyon düzeyinde olumlu ve olumsuz raporlandığını göstermiştir (Subedi ve ark., 2023). Bu nedenle, iklim değişikliğinin zararlı böcekler üzerindeki etkilerini iyi bir şekilde yönetmek ve anlamak için, zararlı böceklerin hayatta kalmaları ve üremeleri için ihtiyaç duydukları ürünler üzerindeki etkilerini anlamak gerekmektedir.

1.1. Sıcaklık Artışı

İklim değişikliğinden kaynaklanan küresel sıcaklıktaki artış bitki büyümesini, üretimini ve dağıtımını tehdit etmektedir (Priya ve ark., 2019). Tahminlere göre, tarımsal üretimin 21. yüzyılın ortalarına kadar yaklaşık %10 oranında azalarak küresel gıda güvenliğini tehlikeye atması beklenmektedir (Tai ve ark., 2014). Ek olarak, 2050 yılında ortalama günlük kalori alımının günde 3600 kcal'a (ABD'deki mevcut beslenmeye eşdeğer) yükselmesi halinde, gıda üretiminde %70'lik bir artış gerekli olacaktır (Alexandratos ve Bruinsma, 2012). Sıcaklık, ürünün fizyolojisini doğrudan etkilemektedir ve ürünün büyüme, gelişme, verim, coğrafi dağılım gibi çeşitli faktörlerine sınırlamalar getirir. Yetiştirme mevsimlerinin daha kısa olduğu kuzey bölgelerde, hava sıcaklığındaki artışa bağlı olarak artan sıcaklığın tarımsal üretimi artırdığı gözlemlenmiştir (Lobell ve ark., 2011a,b). Bununla birlikte, küresel sıcaklıklar artmaya devam ettikçe, mevcut olumlu sonuçlara rağmen iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin gelecekte daha da kötüleşmesi beklenmektedir (Arnell ve ark., 2019). 21. yüzyılın sonuna gelindiğinde, ortalama yetiştirme dönemi sıcaklığının geçtiğimiz yüzyılda kaydedilen en yüksek sıcaklıkları aşacağı tahmin edilmektedir (Battisti ve Naylor, 2009). Ek olarak, günlük maksimum sıcaklığa (T_{max}) kıyasla günlük minimum sıcaklıktaki (T_{min}) hızlı artış, potansiyel olarak sıcaklığa duyarlı bitki fizyolojik parametrelerini ve sonuçta tarımsal üretimi etkileyebilir (Peng ve ark., 2004). Örneğin, Avustralya'da buğday veriminde %50'lik bir düşüşün iki derecelik ortalama büyüme mevsim sıcaklık değişimi ve artan yaprak yaşlanması nedeniyle olacağı tahmin ediliyordu (Asseng ve ark., 2011). İklim değişikliğiyle birlikte sel, kuraklık ve sıcak havalardan sıklığının artacağı, bunun da ürün yetiştirme sezonlarının kısalmasına yol açacağı tahmin edilmektedir (Arnell ve ark., 2019; Lesk ve ark., 2022). İklim modeli simülasyonları, sıcaklıktaki artışın mısır, kışlık buğday ve pirinç için yetiştirme mevsimlerinde daha düşük yağış riskini artırdığını göstermiştir, ancak soya fasulyesi ve baharlık buğday için farklı sonuçlar rapor edilmiştir (Arnell ve ark., 2019). Büyük sıcak hava dalgalarının da daha sık olacağı ve ürün verimliliğini daha da etkileyeceği tahmin edilmektedir (Wang ve ark., 2023). Artan hava sıcaklığı, buhar basıncı açığına, bu da atmosferdeki su talebinin artmasına neden olmaktadır. Atmosferdeki bu

buhar basıncı açığı da daha sonra topraktaki nemin buharlaşması yoluyla karşılanmaktadır (Dai ve ark., 2018). Sonuç olarak toprakta meydana gelen nem kaybı su kıtlığına, sık kuraklık dönemlerine ve ürün veriminin azalmasına neden olabilir.

1.2. Yüksek Karbondioksit Seviyeleri

Bitkilerde su ve CO₂ kullanımı yoluyla güneş ışığını şekere ve nişastaya dönüştüren birincil fizyolojik süreç olan fotosentez, ürün veriminin belirlenmesinde kritik bir rol oynar. Fotosentez için gerekli olan CO₂ bitkiye öncelikle yapraklarda bulunan ve daha az olarak gövdelerde bulunan stoma açıklıklarından girer. Yüksek CO₂ konsantrasyonları, karbonun daha hızlı edinilmesine ve asimilasyonuna neden olarak bitkinin hızlı büyümesini ve gelişmesini teşvik eder (Holley, 2022). 400'den fazla örnekle gerçekleştirilen kapsamlı bir araştırmaya göre, 340 ppm olan iki kat ortam CO₂ konsantrasyonu altında C3 bitkilerinin veriminde önemli bir artış gözlemlenmiştir (Kimball, 1983). C3 bitkileri yüksek CO₂ konsantrasyonuna maruz bırakıldığında (ortam 353 ppm'den yüksek 550 ppm'ye kadar) ve yeterli su ve besinle yetiştirildiğinde, ürün veriminde %19'a kadar varan bir artış rapor etmişlerdir ve bu sonuçla birlikte yüksek CO₂ konsantrasyonu ile ürün veriminin artacağına dair önceki bulguları da güçlendirmişlerdir (Kimball, 2016). Bununla birlikte, literatürde, yüksek CO₂ konsantrasyonları ile C4 bitkileri (mısır gibi) arasında çelişkili sonuçlar gösteren çalışmalar bulunmaktadır; bazı çalışmalar pozitif sonuçlar (Höhn ve Rötter, 2014) bazıları ise nötr sonuçlar bildirmektedir (Wang ve ark., 2022). Ayrıca yüksek CO₂ konsantrasyonu, terlemenin (Kimball, 2016) ve stoma iletkenliğinin (%19-%22'ye kadar) (Purcell ve ark., 2018) azalması nedeniyle bitkilerde fotosentez oranının artmasına yol açmaktadır, böylece ürünün su kaybı %10'a kadar azalır (Kimball, 2016) ve su kullanım verimliliğini artırmaktadır (Wang ve ark., 2008).

1.3. Su Mevcudiyeti

Su, tarımsal üretimi etkileyen en önemli faktörlerden biridir ve küresel gıda güvenliği için bir tehdit olarak kabul edilmektedir (Kang ve ark., 2009; Timmer, 2012). İklim değişikliği; yağış, toprak nemi ve buharlaşma gibi birçok süreci etkilemektedir. Yağmur, dünya çapındaki toplam tarımsal üretimin yaklaşık %80'i için birincil su kaynağıdır (Olesen ve Bindi, 2002); dolayısıyla yağış düzenindeki herhangi bir bozulma küresel ölçekte gıda üretimi için olumsuz sonuçlar doğurabilir. Önemli sayıda araştırma küresel hidrolojik döngünün esas olarak sıcaklık artışı nedeniyle güçleneceğini ileri sürmektedir (Huntington, 2010; Haddeland ve ark., 2014). Dünya çapında pek çok ülke, kuraklık dönemlerinin görülme sıklığının arttığını bildirmektedir (Dai, 2011; Thornton ve ark., 2014). Thornton ve ark., (2014)'de yapmış oldukları bir çalışmada sanayi öncesi dönemden 21. yüzyılın başlangıcına kadar kuraklığın %17'den %27'ye kadar arttığını bildirmiştir. Kuraklık, (Lobell ve ark., 2011a) 'nın araştırmalarında kanıtlandığı gibi tarım üretimini olumsuz yönde etkileyebilir. Aynı araştırmacılar kurak ve sıcak iklim (30 °C'den fazla) koşulları altında mısır veriminde neredeyse %2' lik bir düşüş olduğunu göstermişlerdir. Son raporlara göre, 21. yüzyılın sonuna gelindiğinde küresel ısınma nedeniyle tarım ürünleri için sulama gereksinimleri %5-20 oranında artabilmektedir (Fischer ve ark., 2007; Gornall ve ark., 2010). İklim değişikliği kentsel ve endüstriyel başta olmak üzere diğer toplumsal ihtiyaçlar için artan tatlı su talebi tarımsal üretim içinde kullanılacağından dolayı büyük ölçüde sınırlı miktarda kalacaktır (Santos ve ark., 2009).

2. İklim Değişikliğinin Böcekler Üzerindeki Etkisi

2.1. Böceklerin Artan Sıcaklığa Karşı Tepkisi

Modern tarım uygulamaları ve bilimsel araştırmalar, yüksek sıcaklıklar, artan CO₂ konsantrasyonları, seller ve kuraklıklar başta olmak üzere iklim değişikliğinin sonuçları üzerine odaklanmaktadır (Skendžić ve ark., 2021). İklim değişikliği, önemli bir biyotik faktör olan zararlı böcekleri ve tarım ürünlerini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir (Cannon, 1998; Skendžić ve ark., 2021). İklim değişikliği, zararlıların üremesini, gelişmesini, hayatta kalmasını ve yayılmasını doğrudan etkilediği gibi; predatörler ve parazitoitler de dahil olmak üzere hem böcek türleri arasında hem de bunların çevreleriyle olan etkileşimlerini dolaylı olarak etkilemektedir (Nyamukondiwa ve ark., 2022). Poikilothermal olan böcekler sıcaklık değişimlerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Sıcaklık dalgalanmaları böcek fizyolojisini büyük ölçüde etkiler ve her 10 derecelik artış için metabolik hızlarını ikiye katlar (Skendžić ve ark., 2021). Yüksek sıcaklıklar böceklerin beslenmesini, performansını ve dağılımını artırır ve bu da popülasyon dinamiklerini değiştirmektedir (Bale ve ark., 2002). Sıcaklık, metabolizmayı, metamorfozu, hareketliliği ve konukçunun mevcudiyetini etkileyerek zararlı böcek popülasyonunu ve dinamiklerini etkilemektedir (Shrestha, 2019). Küresel ısınma böcek popülasyonlarını artırabilir, bu da daha erken istilalara ve ürünlerin zarar görmesine neden olabilir (Yamamura ve Yokozawa, 2002; Kocmánková ve ark., 2010). Bununla birlikte, sıcaklık etkisi nedeniyle zararlı böceklerin yoğunluğunda ve ürün kayıplarında eşit oranda bir artış beklenmemektedir (Lehmann ve ark., 2020). Değişen sıcaklıkların zararlı böcekler üzerindeki en dikkate değer etkilerinden biri bunların dağılım ve sayılarındaki değişimdir. Yüksek sıcaklık ve nem ile artan beyaz sinek popülasyonu arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır (Pathania ve ark., 2020). Son zamanlardaki ısınma batı çam böceğinin (*Dendroctonus brevicomis* LeConte) (Coleoptera: Curculionidae) gelişmesini hızlandırmış ve kış mevsiminde böceğin ölüm oranını azaltmıştır, bu da kuraklık sonucu nüfus artışına yol açmıştır (Robbins ve ark., 2022). Araştırmalar, artan sıcaklıkların böceklerin daha erken ortaya çıkabileceğini ve daha uzun yaşam döngülerine sahip olabileceğini göstermektedir (Robinet ve Roques, 2010). Evans ve ark., (2013)'de sıcaklık artışının, predatör ve avı arasında biyolojik bir uyumsuzluğa yol açarak biyolojik mücadele faaliyetini bozduğunu göstermiştir. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklar yaprak biti ve lahan keleşi gibi multivoltin böceklerin daha hızlı gelişmesine neden olmaktadır (Bale ve ark., 2002). İklim değişikliğine bağlı olarak zararlı böceklerin konukçu menzilineki değişimler giderek daha yaygın hale gelmekte ve tarımsal üretimi büyük ölçüde etkilemektedir (Meynard ve ark., 2013; Skendžić ve ark., 2021). Bu zararlı böcekler, ürün veriminde ve zararlılarla mücadelede önemli ekonomik kayıplara neden olabileceğinden tarım sektörünü tehdit etmektedir. Sıcaklıklarda öngörülen artışla birlikte, tarımsal ve bilimsel araştırmaların, iklim değişikliğinin böcekler üzerindeki etkilerini ve bunların ürün üzerindeki etkilerini incelemeye ve ele almaya devam etmesi gerekmektedir. Yaprak bitlerinin sıcaklık değişimlerine karşı duyarlılığı yapılan araştırmalarla gösterilmiştir (Wang ve ark., 2015). Küçük vücut boyutuna ve hızlı yaşam döngüsüne sahip olan bu böcekler, sıcaklık artışlarına bağlı olarak göç düzenlerinde önemli değişiklikler yaşayabilmekte, bu da tarım ve ormancılıkta ani salgınlara ve önemli ekonomik kayıplara yol açabilmektedir (Wu ve ark., 2020). Küresel ısınma *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuoidea) ve pamuk kurdu gibi zararlıların kış boyunca

hayatta kalma oranlarının artmasına bunun sonucunda ise böceklerin coğrafi dağılımlarının genişlemesine yol açmıştır. Bu durum ürün verimi ve zararlılarla mücadele için oldukça önemli zorlukların ortaya çıkmasına neden olmuştur (Pareek ve ark., 2017). Ayrıca artan sıcaklıklar, bazı böcekler için gelişim süresinin kısalmasına neden olarak büyüme mevsimi başına düşen döl sayısını da artırabilmektedir (Bale ve ark., 2002; Dell ve ark., 2005; Altermatt, 2010). Bu böcek davranışı ve dağılımındaki değişiklikler, zararlı böcekler ile konukçu bitkilerin yetiştiği bölgelerdeki değişme nedeniyle çiftçiler için muhtemel yeni ve ciddi zararlı sorunları oluşturacaktır (Skendžić ve ark., 2021).

2.2. Böceklerin Artan CO₂ Konsantrasyonuna Karşı Tepkisi

Geçtiğimiz 50 yılda, atmosfer bileşiminde atmosferdeki CO₂ seviyesindeki artışla birlikte dikkate değer bir değişiklik gözlemlenmiştir (Prentice ve ark., 2001). CO₂ fotosentez için gereklidir ve yüksek konsantrasyonlar bitki fizyolojisini etkileyebilir. Yüksek CO₂ konsantrasyonu terleme yoluyla su kaybının azalmasına, stoma açıklıklarının ve fotosentez hızının artmasına yol açar. CO₂ konsantrasyonu yükseldikçe yapraklardaki karbonhidrat miktarı artar ancak nitrojen miktarı azalır (DeLucia ve ark., 2012). Yüksek CO₂ konsantrasyonu, bitki besin düzeylerini, özellikle de protein miktarını değiştirebilir ve böylece böcekler için bitki savunma mekanizmalarını etkileyebilir (Zhang ve ark., 2020). Yüksek CO₂ konsantrasyonu bitkilerde savunma hormonu olarak görev yapan jasmonik asit (JA) birikimini azaltır ve salisilik asidi (SA) birikimini artırır (DeLucia ve ark., 2012). Yapılan bir çalışma yüksek CO₂ konsantrasyonunun, JA birikimini baskılayarak domatesin, *Helicoverpa armigera*'ya (Hübner (Lepidoptera: Noctuidae)) karşı direncini azalttığını göstermiştir (Guo ve ark., 2012). Yüksek CO₂ konsantrasyonu, zararlı böceklerin gıda tüketim oranını, büyümesini, üremesi ve popülasyon büyüklüğünü etkileyebilir (Führer, 2003). Yüksek CO₂ konsantrasyonu, *Popillia japonica*'nın Newman (Scarabaeidae: Coleoptera) ve *Diabrotica virgifera virgifera*'nın (Coleoptera: Chrysomelidae) beslenmesini ve üremesini olumlu etkilemiştir (Hamilton ve ark., 2005; Schroeder ve ark., 2006; O'Neill ve ark., 2008; Zavala ve ark., 2009). Bu olumlu etkinin yanı sıra, yüksek CO₂ konsantrasyonu yer fıstığı ve rami yapraklarında nitrojen miktarını azaltmıştır, bu da *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) ve *Achaea janata* Linn (Lepidoptera: Noctuidae) gibi böceklerde besin tüketiminin artmasına neden olmuş ve bu da böceklerde daha yavaş büyüme hızına yol açmıştır. Nohut ve *H. armigera* ile yapılan çalışmada, yüksek CO₂ konsantrasyonuna maruz kalan *H. armigera*'nın neden olduğu zararın etkisinin azaldığına ve ayrıca böceklerin hayatta kalma oranının daha düşük olduğunu göstermiştir (Sharma ve ark., 2016). Bitkilerde yüksek CO₂ konsantrasyonunun etkisi olarak fotoasimilatların savunma metabolitlerine yeniden dağıtılması sonucu karbonhidrat depolarının azalmasına ve onları böcek larvaları için daha az çekici ve hatta toksik hale getirmesine neden olmaktadır (Bhargava ve Mitra, 2021). Yüksek CO₂ konsantrasyonu, bitkilerle beslenen böceklerin varlığını, sayısını ve işlevini etkileyebilir (Skendžić ve ark., 2021). Örneğin, yüksek CO₂ konsantrasyonu yaprak biti yoğunluğunu artırır ancak parazitoit oranını etkilemez. Yüksek CO₂ konsantrasyonu aynı zamanda nitrojen içeriğinin azalması nedeniyle bitki besin kalitesini de düşürür, bu da böceklerin besin tüketiminin artmasına neden olur (Trębicki ve ark., 2016; Rehman ve ark., 2018). CO₂ konsantrasyonundaki artış böceklerin davranışını etkileyebilir. Örneğin yüksek CO₂ konsantrasyonu yaprak biti metabolizma hızını ve beslenme davranışını artırmaktadır (Robinson ve ark., 2012; Trębicki ve ark., 2016). Bununla birlikte yapılan çalışmalarda,

yüksek CO₂ konsantrasyonunun yaprak biti gelişim süresi üzerindeki etkisinin belirsiz olduğunu, buğdayda zararlı olan *Rhopalosiphum padi* L.'yi (Hemiptera: Aphididae) etkilememiş ancak dolmalık biberde yetiştirilen *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae)'nin gelişim süresini arttırdığını belirtmişlerdir (Dáder ve ark., 2015). Bu değişiklikler, zararlıların en aktif olduğu dönemleri önlemek için ekim ve hasat zamanları gibi ürün yönetim stratejilerinde değişiklikler yapılmasını gerektirebilir.

2.3. Böceklerin Değişken Yağış Rejimi Üzerine Tepkisi

Çoğu zararlı böceğin hayatta kalması ve üremesi, yağıştaki değişikliklere bağlıdır ve bu durum onların popülasyonlarında değişikliklere yol açabilir (Skendžić ve ark., 2021). Yağış düzenlerindeki değişiklikler tel kurdu popülasyonlarını etkileyerek tarım ürünlerinde büyük zarara neden olmaktadır (Staley ve ark., 2007; Johnson ve ark., 2008; Gregory ve ark., 2009). Ancak, yoğun yağışlar yaprak bitleri, akarlar, jassidler ve beyaz sinekler gibi küçük boyutlu zararlı böcekleri sürükleyip temizleyebileceğinden tarımsal ürünler için faydalı olabilmektedir (Pathak ve ark., 2012). Yağıştaki değişiklikler aynı zamanda herbivorlar tarafından tüketilen bitkilerin besin kalitesini de değiştirerek performanslarını etkileyebilir (Cannon, 1998). Kuraklık, kabuk böceği popülasyonlarını artırabilmekte (Netherer ve ark., 2019), orta derecede kuraklık stresi altındaki ağaçlar ise kabuk böceklerine karşı daha dirençli hale gelebilmektedir (Netherer ve ark., 2015). Kuraklık zararlı böceklerin doğal düşmanlarının aktiviteğini ve sayılarını olumsuz etkileyebilmektedir. Uzun süreli kuraklıkların ardından şiddetli yağışlar, *Mythimna separata* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) popülasyonlarında artışa neden olabilmektedir (Sharma ve ark., 2010). Ayrıca araştırmalar, su stresinin bitkilerin biyolojik parametreleri üzerinde olumsuz bir etkiye yol açarak onları hastalıklara ve zararlılara karşı daha hassas hale getirdiğini göstermiştir (Zayan, 2019). Ayrıca çalışmalar, su stresi altındaki bitkilerde beslenen yaprak bitlerinin, konukçunun boyutunun ya da mevcudiyetinin azalması nedeniyle daha düşük parazitlenme oranına sahip olduğunu göstermiştir (Ahmed ve ark., 2017). Son olarak, herbivor böcekler gibi bitki özsuğu ile beslenen böceklerle yapılmış bir çalışmada, sürekli su stresi altındaki ağaçlarla beslenmek yerine böceklerin aralıklı su stresi yaşayan ağaçlarla beslendiklerinde daha iyi performans sergilediğini göstermişlerdir (Sconiers ve Eubanks, 2017).

2.4. Böceklerin Dağılımı Üzerine Etkisi

İklim değişikliğinin zararlı böcekler üzerindeki etkileri araştırılmaktadır ve özellikle sıcaklık değişikliklerinin oldukça etkili olacağı tahmin edilmektedir. Bu değişiklikler böceklerin büyüme, üreme ve hayatta kalma gibi biyolojik parametrelerini doğrudan etkileyebileceği gibi rekabet ve doğal düşman baskısı şeklinde de dolaylı olarak etkileyebilmektedir (Frank, 2021). Yağış rejimindeki değişiklikler zararlı böceklerin biyolojisini ve dağılımını önemli ölçüde değiştirmektedir ve bu durum ürün verimini de etkilemektedir (Liliane ve ark., 2020). Küresel ısınmanın etkisi ile böceklerin kuzeye ve daha yüksek rakımlara doğru hareket etmesi öngörülmektedir (Hill ve Thomson, 2015). Ürünlere zarar veren böceklerin göçleri, iklim değişikliğinden önemli derecede etkilenmektedir özellikle sıcaklık ve yağış bu değişikliklerde kritik rol oynayacaktır (Peng ve ark., 2020). Kuraklık sonucunda su kıtlığı nedeniyle salgınların sıklığı azalırken, yağışlar da dahil olmak üzere aşırı hava olaylarında beklenen artış, yeni bölgelerde benzeri görülmemiş salgınların meydana gelmesine neden olabilmektedir. Çin'de

artan sıcaklık *Agrotis ipsilon* güvesinin göç alanının genişlemesine neden olmuştur (Zeng ve ark., 2020). Bununla birlikte, iklim değişikliği bazı bölgelerde böceklerin döl sayısını artırırken bazı bölgelerde döl sayısının azalmasına neden olmaktadır (Skendžić ve ark., 2021). *Icerya aegyptiaca*'nın (Douglas) (Hemiptera: Coccoidea: Monophlebidae) Afrika, Güney Amerika ve Asya'da daha fazla yaşanabilir alana sahip olması beklenirken, *I. purchasi* Mask'in (Hemiptera: Coccoidea: Monophlebidae)'nin Asya, Avrupa ve Güney Amerika'da yaygın olması beklenmektedir (Liu ve Shi, 2020). Mısırdaki hastalık yapan ve önemli bir vektörü olan mısır yaprak zararlısı *Dalbulus maidis* (DeLong) (Homoptera: Cicadellidae)'nin, kendi doğal yayılışında (örneğin, Brezilya) bir azalma olacağı tahmin edilmektedir, ancak Afrika kıtası ülkelerindeki yayılması nedeniyle önemli bir tehdit oluşturabilir (Santana ve ark., 2019). Sonuçta, iklim değişikliğinin zararlı popülasyonlarının coğrafi dağılımlarının etkilerini artırması ve bunun da tarımsal üretiminin ve gıda güvenliğinin azalmasına yol açması beklenmektedir (Sutherst ve ark., 2011; Lehmann ve ark., 2020).

2.5. Böceklerin Kışlama Süresinin Uzamasının Canlı Kalma Oranına Etkisi

Böcekler poikilothermal yani soğukkanlı hayvanlardır ve bu nedenle ortam sıcaklığındaki değişikliklere karşı sınırlı bir kapasiteye sahiptirler. Böcekler termal açıdan stresli çevresel koşullar altında hayatta kalmak için çeşitli stratejiler geliştirirler (González ve ark., 2020). Pek çok zararlı böcek için en kritik mevsim kış mevsimidir. Çünkü düşük sıcaklıklar ölüm oranını önemli ölçüde artırabilir ve böylece bir sonraki mevsimde böcek popülasyonlarını azaltabilir (Hill, 1987). Yapılan çalışmalar, küresel ısınmanın etkilerinin en çok kış mevsiminde yüksek enlemlerde belirgin olduğunu göstermiştir (Pachauri ve Reisinger, 2007). Kışlama stratejileri açısından, böcekler genellikle iki gruba ayrılırlar: dona dayanıklı böcekler ve dondan kaçınan böcekler. Birinci grup böcekler diyapoz girerek fizyolojik bir adaptasyon stratejisi kullanırken, ikinci grup böcekler ise davranışsal kaçınma veya göç şeklinde bir strateji kullanır (Bale ve Hayward, 2010).

Diyapoz, böcek yaşam döngüsünün mevsimsel düzenlenmesinde önemli bir rol oynayan, sıcaklık, fotoperiyot ve nem gibi çevresel faktörlerden etkilenen adaptif bir özelliktir (Gill ve ark., 2017). Bazı böcek türleri, inaktif evre olan yumurta veya pupa dönemlerinde diyapoz geçirirken, bazıları ise bunu larva, nimf veya ergin olarak yapmaktadır. Böceklerde inaktif evrede diyapoz meydana gelirse, soğuğa karşı dayanıklılık artar ve buna metabolik hızda bir düşüş eşlik eder (Bale ve Hayward, 2010). Yeraltında yaşayan herbivor böcekler düşük sıcaklıklardan korunmak için larva evresinde diyapoz girebilir ve bu sırada beslenme devam edebilir ve gelişme tamamen durmak yerine yavaşlayabilir. Diyapoz, univoltin türlerde yaşam döngüsünün zorunlu bir parçasıyken, multivoltin türlerde fakültatif ve fotoperiyot gibi çevresel bir tetikleyiciye bağlıdır (Tauber ve ark., 1986). Böceklerin ekosistemde oynadıkları karmaşık roller göz önüne alındığında, bitki tüketimi, tozlaşma veya türler arası etkileşimler gibi diğer birçok süreç onların diyapoz programıyla uyumludur. Sonuç olarak, antropojenik iklim değişikliğinin bir sonucu olarak diyapozdaki tek bir bozulma, tüm ekosistemin istikrarı üzerinde derin etkilere sahip olabilir. Genellikle ilkbahar aylarında daha yüksek sıcaklıkların meydana gelmesi sonucunda birçok böcek türünün diyapoz sıklığını ve süresini azaltması muhtemeldir (Bale ve Hayward, 2010). *Calliphora vicina* Robineau-Desvoidy (Diptera: Calliphoridae) sineğinde 15 °C ve 20 °C'de yetiştirilen ergin sineklerden elde edilen larvarın diyapoz süresi karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak 20 °C 'de yetiştirilen sineklerin diyapoz süresi 15 °C ' ye kıyasla daha kısadır (McWatters ve Saunders, 1998). Diyapoz süresi birçok faktörden etkilenebilir:

birikmiş soğutma (accumulated chilling), nem, yiyecek ve fotoperiyot (Tauber ve ark., 1986). Bununla birlikte, birçok tür için genel ilke, diyapoz süresinin daha yüksek sıcaklıklarda daha kısa olmasıdır. Diyapoz süresinin sıcaklıkla ilişkisini anlamak için yapılan bir çalışmada laboratuvarında yetiştirilen *Sarcophaga crassipalpis* Macquart (Diptera: Sarcophagidae), 17 °C'de 118 gün, 25 °C'de 70 gün ve 28 °C'de 57 gün boyunca diyapozda kalmıştır (Bale ve Hayward, 2010; Hahn ve Denlinger, 2011). Bunun nedeni, daha sıcak kış sıcaklıklarının, diyapozun metabolik hızını artırarak daha kısa bir diyapoz ile sonuçlanmasıdır. Bu farklı sıcaklıklarda böcekte metabolik hızların ve diyapoz süresinin karşılaştırılması, enerji kaynakları kritik bir noktaya ulaştığında diyapozun sona erebileceğini bize göstermektedir. Metabolik hız yüksek olduğunda, enerji kaynakları hızla tükenmektedir aksine metabolik hız düşük olduğunda ise bu kaynaklar daha uzun süre kullanılmaktadır ve bu da daha uzun bir diyapoz ile sonuçlanmaktadır (Hahn ve Denlinger, 2011).

Çevre ve konukçu bitki ile uyumlu ilişki, herbivor böceklerin habitatlarına iyi uyum sağladıkları anlamına gelir (Parmesan, 2007). Bununla birlikte, iklim değişikliği, diyapoz sırasında metabolik dengeyi bozabilir, bu da çıkış zamanlamasını önemli ölçüde etkileyebilir. Bu nedenle böceklerin bahar mevsiminde çıkışındaki herhangi bir değişiklik, çevre veya konukçu bitki arasında uyumsuzluğa neden olmaktadır (Parmesan, 2007; Bale ve Hayward, 2010). Örneğin, birçok böcek, bitkilerde tomurcuklanma (veya çiçeklenme) zamanı ile beslenme arasındaki uyuma güvenir. Mevcut iklim değişikliği tahminleri altında, trofik seviyeler arasındaki ilişki bireysel türlerin fenolojisinde çevresel farklılıkların bir sonucu olarak ayrışabileceğini göstermektedir (Harrington ve ark., 1999; Harvey ve ark., 2023). Diyapoza girmeyen, dona duyarlı türler ve aktif evrelerinde kışı geçirebilen türlerin, daha sıcak kış koşullarında hayatta kalma oranlarının arttığı görülmektedir. Bu böceklerin popülasyonlarını oluşturmaları ve oradaki ortalama sıcaklıklar arttıkça coğrafi dağılımlarını daha yüksek rakımlara doğru genişletmeleri beklenmektedir (Bale ve ark., 2002). Kış mevsiminde görülen aşırı düşük sıcaklıklar böcek ölümlerini artırmaktadır, bu da pek çok ılıman böceğin, özellikle de diyapoza girmeyen ancak sıcaklık izin verdiğinde kışı aktif halde geçirenler için önemli bir durum haline gelmektedir (Harrington ve ark., 2001). Bu nedenle, daha sıcak kışların ya da aşırı soğuk dönemlerin sıklığındaki azalma bu türlerin hayatta kalmalarını sağlayabilir (Bale ve Hayward, 2010). Bununla birlikte böcekler, lethal düşük sıcaklık tehdidiyle ilişkili olarak çeşitli stratejiler sergiler ve bunlar daha sıcak kış koşullarının etkisini kısmen belirler (Bale, 1993). Kışlama döneminde hayatta kalma süresindeki artış, kışı geçiren popülasyonlarda bir artışa ve dolayısıyla yılın daha sıcak döneminde bitkiler üzerinde daha fazla böcek yoğunluğuna yol açabilir. Sonuç olarak, küresel ısınma, yeni böcek popülasyonlarını meydana getirerek erken istilalara ve bunun sonucunda da zararlı böceklerden kaynaklanan ürün hasarının artmasına neden olmaktadır (Yamamura ve Yokozawa, 2002).

2.6. Döl Sayısındaki Artış

Sıcaklık daha önce de bahsedildiği gibi böcekler için en önemli çevresel faktördür ve esas olarak böceklerin fenolojilerini etkilemektedir. Ortam enerjisi hipotezi, büyüme ve üremenin yüksek sıcaklıklarda daha fazla olduğunu öne sürer. Bu nedenle, daha yüksek sıcaklıklar ve küresel ısınma, böceklerin daha yüksek popülasyonlara ulaşmasını sağlar, bu da ortamda daha fazla sayıda türün meydana gelmesine olanak sağlar (Menéndez ve ark., 2007). Küresel ısınma senaryosuna göre tercih edilen belirli bir sıcaklık aralığındaki artış böceklerde üreme oranını artırarak beraberinde böcek türünün döl sayısındaki artışa ve bunun sonucunda da daha

fazla tarımsal ürün kaybına neden olur (Yamamura ve Kiritani, 1998). Yaprak bitleri ve Lepidoptera takımında bulunan *Pieris brassicae* L. (Lepidoptera: Pieridae) gibi multivoltin (ikiden fazla döl verebilen) böcekler için, diğer tüm parametreler eşitken daha yüksek sıcaklıkların bir yıl içinde fazladan döllerin oluşmasına imkân verecek şekilde daha hızlı gelişme sürelerine olanak sağlayacağı tahmin edilmektedir (Bale ve ark., 2002). Yıllık yaşam döngüsüne sahip türler daha uzun yaşam döngüsüne sahip türlerden genellikle daha hızlı gelişir (Bale ve ark., 2002). Birkaç model kullanılarak yapılan çalışmalarda, sıcaklıktaki 2°C'lik bir artışın yılda 1 ila 5 arasında ekstra bir yaşam döngüsüne neden olabileceği tahmin edilmektedir (Prentice ve ark., 2001). Bu konudaki en önemli örnek, düşük gelişme kapasiteleri ve kısa üreme süreleri nedeniyle yılda dört ila beş fazladan döl verebilen yaprak bitleridir. Bu nedenle yaprak bitleri, özellikle sıcaklık değişikliklerinin hassas göstergeleri olabilir (Menéndez ve ark., 2007). Yüksek sıcaklıklar böceklerin larva ve nimf evrelerindeki (predatörler tarafından yüksek oranda tehdit altında olduklarında) gelişme sürelerini kısaltmak için yararlı bir etkiye sahiptir ve türlerin daha erken ergin hale gelmesine olanak sağlar (Bernays, 1997; Menéndez ve ark., 2007).

Sıcaklık artışı böceklerde ergin çıkış zamanlaması ve ergin uçuş süresinde bir artışa neden olmaktadır (Menéndez ve ark., 2007). Voltinizmdeki değişiklikler uçuş periyodunun daha erken başlamasına neden olmaktadır bu da fazladan bir neslin oluşmasını sağlayabilir (Altermatt, 2010). Sıcaklığın etkisiyle birlikte böcekler büyüme mevsiminden daha erken uçmaya başlarsa bunun sonucu olarak ilk nesil daha erken üreyebilir. Ek olarak, daha yüksek sıcaklıklar nedeniyle daha hızlı larva gelişimi meydana gelir, fotoperiyot ve sıcaklık koşulları hala uygun olduğundan sonraki nesilden daha fazla birey gelişebilir, bu da onların larva olarak diyapoz yerine doğrudan aynı mevsimde gelişmelerine olanak tanır (Altermatt, 2010). Ergin çıkış zamanlaması feromon ya da ışık tuzakları ile tespit edilebilir. Böcek fenolojisi üzerine uzun vadeli veri analizleri, zararlı böceklerin ortaya çıkma zamanlamasının iklim değişikliği altında değiştiğini göstermektedir (Pathak ve ark., 2014). Vakumlu böcek yakalama tuzağından elde edilen veri analizleri, *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae) bahar uçuşunun, Ocak ve Şubat aylarında ortalama sıcaklıktaki her 1°C'lik artış için iki hafta önce başladığını göstermiştir (Shrestha, 2019). İspanya'da salkım güvesi (*Lobesia botrana* Denis ve Schiff.) erken çıkış zamanı voltinizmi artırmıştır. Bu zararlı böcekler genellikle Akdeniz enlemlerinde trivoltindir, ancak bazen küresel ısınma nedeniyle ilkbaharın başlarında ortaya çıkma eğilimi gösterirler ve bunun sonucunda da fazladan dördüncü bir uçuşa sahiptirler (Martín ve ark., 2010). 1980'lerden bu yana, birçok Avrupa'da görülen birçok Lepidoptera türünde yıllık döl sayısı artmıştır ve bazı univoltin ya da bivoltin (iki döl) türler sırasıyla bivoltin ya da multivoltin yaşam döngülerine geçiş yapmıştır. Kısmen bivoltin veya multivoltin türlerin, ikinci veya sonraki nesillerinde bir artış (yoğunluk) yaşaması beklenmektedir (Harrington ve ark., 2007).

Zararlı böceklerin çeşitliliği göz önüne alındığında, iklim değişikliğinin her bir tür için kesin etkilerini, çevre koşullarını ve etkileşimde buldukları ekosistemleri tanımlamak imkansız görünmektedir (Bale ve ark., 2002). Bununla birlikte, iklim değişikliği ile böcek özellikleri arasındaki ilişkinin, (örneğin fenolojideki değişiklikler ve önemli bir zararlı böcek türü için voltinimler gibi, doğru şekilde ölçülmesi), bu spesifik değişikliklerin diğer böcek türlerinde nasıl ortaya çıkabileceğine dair görüş sağlayabilir (Tobin ve ark., 2000). Döl sayısındaki belirlenen değişiklikler, böceklerin çevresel değişime yüksek düzeyde uyum sağlayabildiklerini doğrulamaktadır, bu nedenle küresel ısınmaya yanıt veren organizmalar arasında yer alırlar (Yamamura ve Kiritani, 1998).

2.7. İstilacı Yabancı Böcek Türlerinde Artan Risk

İstilacı yabancı türler (IYT), kendi doğal dağılım alanlarının dışında, kasıtlı veya kazara bir ekosisteme dahil edilen organizmalardır. İstilacı böcekler genellikle tarım, depolanmış ürün, orman ve ev zararlılardır ve sıklıkla çeşitli hastalık ya da parazitlerin vektörleri olabilirler (Ward ve Masters, 2007; Burkett ve Vittor, 2018; Skendžić ve ark., 2021). Son bin yılda, türlerin orijinal dağılım alanları dışındaki bölgelere yayılması, uluslararası seyahat, küresel ticaret ve tarım nedeniyle artış göstermiştir. (Ricciardi, 2013). İstilacı yabancı türler, Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi'nde (BCS, 2018) dünya çapında en büyük tehlike olarak gösterilmektedir. Ayrıca bu türler tarım, ormancılık ve su ekosistemler için önemli maliyetler oluşturmaktadır (Shrestha, 2019). Yeni tanıtilen istilacı yabancı türlerin yalnızca küçük bir kısmının yerleşik hale geldiği ve bu türlerin yalnızca küçük bir bölümünün yayıldığı ve ekonomik zararlılar haline geldiği varsayılmaktadır. Bu genellikle "10 kuralı" olarak adlandırılır; buna göre, getirilen türlerin yaklaşık 10'da 1'i çevreye kaçar, bu tanıtilen yeni türlerin 10'da 1'i çevreye yerleşir ve bu yerleşik türlerin 10'da 1'i ekonomik zararlı haline gelir (Vander, 2005).

Birçok araştırmacı, tahmin edilen iklim değişikliği senaryoları (Bale ve ark., 2002; Harrington ve ark., 2007) altında istilacı zararlı böcek türleri için, genişleyen coğrafi alan, artan nüfus yoğunluğu ve voltinizmi öngörmektedir. Bunun sonucunda ise sürdürülebilir tarımsal üretim için ciddi sonuçlar meydana gelebileceğini bildirmişlerdir (Verberk ve ark., 2021). Ayrıca, iklim değişikliğinin biyolojik istilanın baskın gücü olmadığını belirtmek önemlidir. İstilacı olmak için, yabancı böceklerin yeni bir yaşam alanına başarılı bir şekilde ulaşması, verilen koşullarda hayatta kalması ve gelişmesi gerekir. İklim değişikliği, bu istilacı yolun bileşenlerini olumlu veya olumsuz etkileyebilir. İklim çevre özellikleriyle birlikte, bu türlerin yayılımının sınırlarını, yeni bir habitatta gelişmelerini, büyümelerini ve hayatta kalmaları için gerekli mevsimsel koşulları belirler (Masters ve Norgrove, 2010). Bu habitatlar geçmişte uygun olmayabilir ve bir sıradağ veya deniz gibi fiziksel bir engel uygun uzak habitatlara dağılmayı da engellemiş olabilir (Vanhanen, 2008). Tüm biyolojik sistemlerin termal sınırları vardır. Bu nedenle sıcaklık artışının ekosistemler ve içinde yaşayan türler üzerinde büyük etkisi olacaktır.

Uygun şartlar altında yeterli miktarda sağlıklı birey uygun bir habitata yerleşirse, kendi kendine yeten kalıcı bir popülasyonu oluşturabilir (Simberloff, 2009). Yayılma baskısı bitki ticaretinin kapsamı, yabancı böceklerin bu bitkiler üzerinde taşınma olasılığı ve tespit edilmeden sınır kontrollerinden geçme olasılığı ile ilgilidir (Bacon ve ark., 2014). Bu tür bir bulaşma yolunun en son örneklerinden biri olan, oldukça polifag (birçok çeşit besin ile beslenen) *Drosophila*'nın (*Drosophila suzukii* Matsamura Diptera: Drosophiladea) Kuzey ve Güney Amerika ve Avrupa'daki istilasidir. Giriş yolunun, taze meyve ticareti olduğu düşünülmektedir ve ilk yayımları, Güney Doğu Asya üzerinden ticareti yapılan büyük miktarlarda taze meyve üzerindeki bu böceğin yumurta veya larva aşamasında tespit edilememesinden kaynaklanmaktadır (Cini ve ark., 2014). İklim değişikliği nedeniyle istilacı zararlı böcek türlerinin yayılması aslında yavaştır (Parmesan ve Yohe, 2003). İklim değişikliği nedeniyle böcek türlerinin her on yılda ortalama 6,1 km hızla yayıldığını belirlemiştir. Bu sonuç, bu bölgelerdeki sıcaklığın artmasından kaynaklanmıştır ve bu sıcaklık artışı da böceklerin daha önce gelişemedikleri yerlerde hayatta kalmasını sağlamıştır (Raza ve ark., 2015).

İstilacı türler genellikle yerli böceklerden daha geniş bir tolerans aralığına yani biyoiklimsel aralığa sahiptir, bu durum da yabancı böceklerin daha geniş uygun bir yaşam alanı bulmasına izin verir (Walther ve ark., 2009).

Böcek türlerinin iklim değişikliğine karşı oldukça hassas olduğu bilinmektedir. Duyarlılık, fizyolojik süreçlerinin çoğunun sıcaklığa bağlı olmasından kaynaklanmaktadır (Vermeij, 1996). Adaptasyonlar fenotipik, davranışsal, gelişimsel ve fizyolojik özellikler şeklinde olabilir. Fizyolojik ve davranışsal esneklik, çevresel koşullardaki farklılıklardan (örn. sıcaklık, nem, fotoperiyot), mevcut besinden, avcılardan ve rakiplerden gelen baskıdan kaynaklanabilir (Abram ve ark., 2017). Davranışsal tepkiler uyarlanabilir olabilir ve yeni ortamları işgal ederken konukçu bitki türlerini bulabilir. Yiyecek arayan böceklerin yeni ortamlara karşı oluşturduğu tepkilerden biri, yiyecek seçeneklerini değiştirmek veya genişletmektir. 30'dan fazla bitki türü ile besin seçiminde aşırı esneklik gösteren *D. suzukii* gibi bazı türler için, besin muhtemelen istila başarısından sorumlu en önemli özelliktir (Poyet ve ark., 2015). Böceklerin farklı mekanizmalarında meydana gelen evrim iklim değişikliğine verilen tepkiler sonucunda gerçekleşmektedir (Snell ve ark., 2018). Snell ve ark., (2018) yaptıkları çalışmada böceklerde seçici süreçler sonucunda gelişen genel mekanizmaların, (özellikle koşulların yüksek sıcaklık değişimleri gibi) doğal ortamın normal aralığını aştığında, yeni ortamlarda da hayatta kalmanın mümkün olacağını bildirmiştir. Böceklerde enerji metabolizmasını kontrol eden davranışsal özellikler aracılığıyla termal adaptasyon meydana gelebilir (Chevin ve ark., 2010).

2.8. İklim Değişikliğinin Doğal Düşmanlar Üzerine Etkisi

İklim değişikliklerinin, biyolojik mücadele etkinliğini tehlikeye sokarak zararlıların ve doğal düşmanların miktarını ve zamanlamasını büyük ölçüde etkilemesi beklenmektedir (Nechols, 2021). Bitkilerle beslenen fitofaj böcekler, hem doğal düşmanlar hem de konukçu bitkilerin varlığı ve kalitesi tarafından düzenlenmektedir (Mandal ve ark., 2020). Böcekler ve doğal düşmanlar arasındaki bu etkileşimler ekosistemde, özellikle tarım, ormancılık ve diğer alanlarda çok önemli bir rol oynamaktadır (Edosa ve ark., 2019). İklim değişikliği bu böceklerin ve doğal düşmanlarının biyolojisini ve fizyolojisini etkileyerek popülasyon dinamiklerini ve davranışlarını değiştirmektedir. Bu değişiklikler konukçu bitkiler, böcekler ve doğal düşmanlar arasındaki tri-trofik ilişkinin bozulmasına neden olarak biyolojik mücadele başarısını da etkileyebilir (Thomson ve ark., 2010). Sıcaklık değişikliklerinin doğrudan etkileri ve her bileşen türünün farklı tepkileri, zararlıları ve onların doğal düşman dinamiklerini bozabilir (Kiritani, 2006). Yaprak bitleri, parazitoit arıları ve uğurböcekleri gibi çeşitli doğal düşmanlar tarafından kontrol altında tutulan bir tür zararlı böcektir (Eigenbrode ve Trumble, 1994). Ancak küresel ısınmanın etkileri bu türlerin farklı tepkilerine yol açabilir. Sıcaklık artışı, doğal düşmanların gelişimini avlarından daha hızlı bir şekilde hızlandırma potansiyeline sahiptir ve bu durumun uzun bir süre boyunca tekrar tekrar meydana gelmesi halinde doğal düşmanların olası bir şekilde yok olmasına neden olabilir (Skendžić ve ark., 2021). Sıcaklık artışları tahıl yaprağı böceğinin biyolojik mücadelesini olumsuz yönde etkilemiştir. Çünkü artan sıcaklık bu böceğin predatörünü daha fazla etkileyerek biyolojik mücadele gücünü zayıflatmıştır (Eigenbrode ve Trumble, 1994). İklim değişikliği, ürün dağılımının değişmesine neden olabilir, bu da herbivorların doğal düşmanları tarafından takip edilebilecekleri veya edilemeyecekleri alanlara göç etmelerine yani mekansal senkronizasyonun bozulmasına yol açabilir (Fróna ve ark., 2019; Skendžić ve ark., 2021). Sonuç büyük olasılıkla mevcut doğal düşmanın menzil genişletme yeteneğine veya yeni doğal düşmanın yeni habitatta ortaya çıkmasına bağlı olacaktır (Menéndez ve ark., 2008). Doğal düşmanların etkinliği, olumsuz veya yeni çevre koşullarını tolere etme ve avlarına ve konakçalarına ayak uydurma yeteneklerine bağlıdır (Thomson ve

ark., 2010). Artan CO₂ konsantrasyonları, yağış düzenindeki değişiklikler ve yüksek sıcaklıklar, bitkilerin zamanlamasını ve üretkenliğini değiştirerek herbivorların gelişimini ve popülasyonlarını etkiler (Cannon, 1998; Fróna ve ark., 2019; Lin ve ark., 2022). Araştırmalar, CO₂ seviyelerinde, aşırı sıcaklıklarda ve azalan yağışlarda yetişen bitkilerin herbivorlar için çeşitli besin kaynakları sunduğunu, dolayısıyla predatör ve herbivorların parazitoitlerinin canlılığını etkilediğini göstermiştir (van Doan ve ark., 2021). Yüksek CO₂'nin bir tür üzerindeki genel etkisi, onun yaşam şartlarına bağlıdır (Ward ve Masters, 2007). Başka bir çalışmada da eş zamanlı sıcaklık artışlarının ve yüksek CO₂ konsantrasyonlarının yonca bitkisinin besin özelliklerini olumsuz etkilediği, bunun da Pancar tırtılıyla beslenen parazitoit neslinin tükenmesine yol açtığı bildirilmiştir (Skendžić ve ark., 2021). Artan CO₂'nin predatör verimliliği üzerindeki etkisi tam olarak anlaşılammıştır, ancak bir çalışma Asyalı uğur böceğinin yüksek CO₂ altında yaprak bitlerini avlamayı tercih ettiğini, ancak avlanma performansı üzerinde hiçbir etkisi olmadığını bildirmiştir (Draper ve Weissburg, 2019). İklim değişikliği, predatörler de dahil olmak üzere daha yüksek trofik seviyeleri doğrudan onların davranışlarını değiştirerek veya dolaylı olarak bitkiler ve herbivorların fizyolojisi ve davranışı da dahil olmak üzere daha düşük trofik seviyeleri etkilemektedir. Bu nedenle iklim değişikliğinin sonuçlarını analiz ederken trofik sistemin tamamını değerlendirmek kritik öneme sahiptir. Bu nedenle iklim değişikliğinin etkisini değerlendirirken tüm trofik düzeylerin dikkate alınması son derece önemlidir.

3. İklim Değişikliğinin Zararlı Böcekler Üzerine Etkisi: Bu Etkileri Gidermeye Yönelik Uyum Stratejileri

Böceklerde iklim değişikliğine uyum, var olan risk yönetimi stratejilerini uygulamaya ve iklim değişikliği etkilerinden kaynaklanan potansiyel riski azaltmaya yönelik devam eden bir süreç olarak görülebilir (Howden ve ark., 2007). İklim değişikliği sonucunda zararlı böcek türü istilasının daha öngörülemez hale gelmesi ve zararlı böceklerin coğrafi yayılım alanlarının artması beklenmektedir. Tarımsal üretimde uyum sağlama kapasitesi, çeşitli biyolojik, ekonomik ve sosyolojik faktörlere bağlı olacaktır (Sutherst ve ark., 2011). İklim değişikliği ve küresel ticaretin hızlanması var olan ve yeni bulaşacak zararlıların görülme sıklıklarını artırmaktadır. Bu nedenle böceklerin iklim değişikliklerine hızla uyum sağlama yeteneklerini artırması çok daha önemli hale gelmektedir (Barzman ve ark., 2015). Yeni zararlı böceklerin ve bu böceklerle taşınan hastalıkların yayılma risklerini azaltmak için potansiyel adaptasyon stratejileri belirlenmiştir. En sık bahsedilen stratejiler içerisinde modifiye edilmiş entegre zararlı yönetimi (IPM) uygulamaları, iklim ve zararlı böcek popülasyonlarının izlenmesi ve modelleme tahmin araçlarının kullanımınıdır (Raza ve ark., 2015; Skendžić ve ark., 2021).

3.1. Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) Uygulamaları

IPM (Entegre Zararlı Yönetimi), zararlılarla mücadelede tüm mücadele yöntemlerinin bir arada kullanıldığı mücadele şekli olarak ifade edilir. Sürdürülebilir tarım stratejisinde uygulanan bitki koruma sürecinde kontrol veya doğrudan önlemler uygulanmadan önce yapılması gereken en önemli noktalardan biri koruyucu önlemler üzerine alınacak tedbirlere odaklanmasıdır. Koruyucu uygulamalar ekonomik kayıpları önleyemediği takdirde,

doğrudan zararlı böceklerle mücadele uygulanmalıdır (Skendžić ve ark., 2021). Gıda ve Tarım Örgütü, küresel ve bölgesel düzeylerde eyleme dayalı ikili bir strateji ve hepsinden önemlisi mevcut erken tespit ve kontrol sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik önemli uygulamalar önermektedir. Bu, yeni tarım uygulamalarının geliştirilmesini ve zararlıların yayılımını kontrol altına almak için entegre zararlı yönetimi ilkelerinin uygulanmasını gerektirir (Gomez ve ark., 2020).

Yetiştiriciler ve araştırmacılar, çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirirken ürün verimini ve ekonomik getirileri en üst düzeye çıkarmak için IPM stratejileri tasarlarlar (Skendžić ve ark., 2021). Pek çok araştırmacı, değişen bir iklime sahip yeni bir çevrede zararlı yönetimi problemini ve iklim değişkenliğini tolere edecek kadar esnek olan tarımsal ekosistemleri geliştirmek için mevcut önleyici tarım uygulamalarını ve IPM stratejilerini yeniden gözden geçirme ihtiyacı olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, son yıllarda, küresel ısınmanın önemli etkilerine yanıt vermek için araştırmacıların ve tarımsal ürün yetiştiricilerinin dikkatle oluşturulmuş bu IPM stratejilerinin birçoğunu değiştirmeleri gerekeceği de tahmin edilmektedir (Barzman ve ark., 2015). Pek çok IPM programı, ekonomik veya mücadele eşikleri olarak da bilinen ekonomik verim kayıpları meydana gelmeden önce kaç zararlı böcek türü tolere edilebileceğine dair kapsamlı bilgiye dayalı kararlara odaklanmıştır. IPM, yerleşik eşiklerin kullanımının iyi sonuçlar verdiği zararlı yönetimi alanında tarihsel olarak gelişmiştir. Mücadele eşikleri, IPM'de önemli bir rol oynamasına rağmen her zaman ilişkili, yeterli veya mümkün değildir. Erken uyarı sistemleri mevcut olmadığında veya uygun olmadığında, eşiklerin kullanımı ihmal edilir (Barzman ve ark., 2015). Çevrenin bitki ve zararlı böcek türü gelişimini nasıl etkilediğini anlamak çok önemlidir. Kuraklık stresi gibi çevresel faktörler bitki koruma stratejilerini temelden etkiler. Bir tarım ürünü kuraklık karşısında stres yaşar ve bu strese bir de herbivor böceklerle mücadele eklenirse hayatta kalma başarısı tehlikeye girebilir (Lamichhane ve ark., 2015). Böceklerin daha yüksek sıcaklıklarda daha hızlı gelişmesi nedeniyle, popülasyonlar daha hızlı gelişir ve ürün zararı şu anda beklenenden daha erken gerçekleşir. Bu nedenle, tolere edilemeyecek kadar yüksek verim kayıplarını önlemek için bitki başına düşen böcek miktarına bağlı mücadele kriterleri azaltılmalıdır (Trumble ve Butler, 2009). Değişen bir iklimde tarımsal zararlıların ürünler üzerindeki etkisini azaltmak için modifiye edilmiş ürün uygulamalarına ve uyarlanabilir yönetim stratejilerine ihtiyaç vardır. Bunlar şunları içerebilir: (I) farklı ürün çeşitlerinin ekilmesi; (II) zararlı böcek salgınlarına maruz kalmayı en aza indirmek için yılın farklı zamanlarında ekim ve (III) doğal düşmanların sayısını artırmak için tarla kenarlarında biyolojik çeşitliliği artırmak (Thomson ve ark., 2010; Andrew ve Hill, 2017). Feromonların ve allelokimyasalların (bitkilerde fitotoksin olarak görev yapan sekonder metabolitlerin) kullanımı, böceklerin çevrelerini algılamalarında önemli bir yöntemdir. Biyolojik mücadele, çiftleşme davranışını bozma, cezbedici-uzaklaştırıcı stratejileri, izleme ve yakalama gibi çeşitli IPM tekniklerinde önemli rol oynarlar (Heuskin ve ark., 2011). İklim ısındıkça ve mikro iklimler daha değişken hale geldikçe, feromonların ve allelokimyasalların mevcut hallerinin kullanımının daha az etkili olması beklenmektedir ve yüksek sıcaklık koşullarında uçuculuklarını azaltmak için bir sinerjist veya başka bir adjuvan gerektirebilir (Andrew ve Hill, 2017). Ek olarak, entomopatojen virüsler, funguslar, bakteriler ve nematodlara dayalı bazı biyopestisitler, çevresel değişikliklere karşı son derece hassastır. Sıcaklıktaki bir artış ve bağıl nemdeki bir azalma, bu yönetim tekniklerinden bazılarının daha az etkili olmasına neden olabilir ayrıca sentetik kökenli

insektisitler için de benzer bir sonuç beklenir (Skendžić ve ark., 2021). Bu nedenle, yeni zararlı yönetimi stratejilerinin ve olası yeni insektisit formülasyonlarının yanı sıra cezbedici ve uzaklaştırıcıların geliştirilmesine odaklanılmalıdır. Küresel ısınmanın birçok sentetik böcek ilacının etkinliği, doğada kalıcılığı ve ayrıca zararlı böcek popülasyonlarında direncin gelişimi üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Vadez ve ark., 2012). Buna ek olarak etkili biyolojik mücadele etmenlerinin kullanımının ve geleneksel genetik ıslah veya genetik mühendisliği yoluyla elde edilen zararlı böceklere dayanıklı bitki çeşitlerinin daha detaylı bilinmesi gerekmektedir (Gomez ve ark., 2020).

Ülkemizde iklim değişikliği ile mücadele sürecinde sera gazı emisyonlarının azaltılması en önemli uygulamadan biridir. Sera gazı emisyonlarının azaltılması, sürdürülebilir gıda güvenliğinin sağlanması ve ekosistem sağlığı için düşük karbonlu ve iklime dayanıklı bir dizi entegre tarım sisteminin geliştirilmesi önerilmektedir. Burada adı geçen entegrasyon kelimesi, tarımsal bir ekosistemde sera gazı emisyonlarının azaltılmasını, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik işlevlerini geliştiren uygulamaların kullanımını ifade etmektedir. Yukarıda bahsedilen bu bütüncül önlemler sayesinde arazi yönetim sistemlerinden biyofiziksel, sosyo-kültürel ve ekonomik faydalar sağlamak amaçlanmaktadır. Bu entegre sistemler arasında agroekoloji, iklim dostu akıllı tarım, ekosistem tabanlı tarım, koruyucu tarım gibi doğa temelli çözümler de bulunmaktadır. Karbon yakalama ve depolama yeteneği bulunan orman, sulak alan, deniz ve kıyı ekosistemleri ile çayır ve tarımsal alanlar gibi bölgelerin mevcut durumlarının korunması ve iyileştirilmesi sera gazı emisyonlarının azaltılması sonucunda iklim değişikliğinin etkilerini gidermek mümkün olacaktır. Tüm bu sistemlerde hedeflenen temel amaç toprak organik miktarının artırılması, suyun etkin kullanılması, arazi kullanımlarının doğru planlanması ve biyoçeşitliliğin artırılmasıdır (Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, 2021) (<https://fliphtml5.com/epixd/xtbh/basic/>). Sonuçta, iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya tepki olarak farklı habitatların yönetiminde, böceklerin mutlaka bağımsız olarak faaliyet göstermeyen çok sayıda antropojenik stresle karşı karşıya olduğu dikkate alınmalıdır (Wagner ve ark., 2021; Harvey ve ark., 2023). Bu nedenle, habitat kaybı ve parçalanması, istilacı türler, yoğun tarım uygulamaları, çeşitli kirlilik biçimleri (örneğin sentetik pestisitler ve gübre) ve diğer stresler gibi faktörlerin koruma yönetimi yaklaşımlarına tam olarak entegre edilmesi önemlidir. Böceklerdeki azalma ancak bu şekilde dengelenebilir veya tersine çevrilebilir (Skendžić ve ark., 2021; Hof, 2021).

3.2. Yoğunluk ve Dağılımın İzlenmesi

İklim değişikliğinin zararlı böcek türlerinin popülasyon dinamiklerini değiştirip değiştirmediğini belirlemenin en önemli ön koşullarından biri uzun vadeli verilerin olmasıdır (Yamamura ve Kiritani, 1998). Bu önemli temel veriler olmadan, değişen iklim rejimleri altında zararlı böcek türü popülasyonlarındaki değişiklikleri tam olarak değerlendirmek ve ayrıca gelecekteki popülasyon dinamiklerini tahmin etmek son derece zordur (Andrew ve Hill, 2017). Özellikle iklim değişikliğine duyarlı bölgelerdeki zararlı böcek popülasyonlarının ve davranışlarının uzun vadeli izlenmesi, iklim değişikliğine biyolojik tepkiler için ilk ipuçlarından bazıları sağlayabilir. Vektörlerin, hastalıkların ve konukçu popülasyonların dinamiklerinde meydana gelen değişiklikler normalde buldukları bölgede nasıl izleniyorsa, coğrafi dağılımlarında benzer şekilde izlenmesi gerekmektedir. İklim değişikliğinin de etkisiyle dünyanın birçok yerinde yeni istilacı türler ortaya çıkmaktadır. İstilacı türlerin yeni coğrafi bölgelerde ekonomik açıdan zararlı hale gelmesini önlemek amacıyla etkili izleme ve yönetim

sistemlerine ihtiyaç vardır (Heeb ve ark., 2019). Sonuç olarak hem zararlı kontrolünde hem de biyogüvenliğe uyarlanabilir çözümlere ihtiyaç duyulacaktır.

Tespit, tahmin, fiziksel, kimyasal ve biyolojik mücadele gibi zararlı yönetim stratejileri, iklim değişikliğine yanıt olarak zararlılarla mücadele için kullanılabilir (Heeb ve ark., 2019). Pek çok zararlı böcek türünün göç etme doğası nedeniyle, izleme ve risk değerlendirmesinin etkili olabilmesi için küresel bir yönetim yaklaşımına ihtiyaç vardır. Böcekler, istilacı yabancı türler, hastalıklar, ekolojik koşullar ve hava durumu verileri de dahil bu önemli veriler bölgeler arasındaki bilgi paylaşımı için küresel bir sisteme ihtiyaç vardır. Bu nedenle, ulusal, bölgesel ve küresel kuruluşlar dahil olmak üzere ülkeler ve bölgeler arasındaki iş birliğini geliştirmek önemlidir (Perrings ve ark., 2010). İstilacı tür yönetimi için, ABD Tarım Bakanlığı'nın (USDA) Erken Uyarı ve Hızlı Müdahale Programı ile Avrupa ve Akdeniz Bitki Koruma Örgütü'nün (EPPO) IAS Erken Uyarı ve Bilgi Sistemi tarafından gösterildiği gibi, giriş noktası izleme ve hızlı yok etme uygulamalarına odaklanmaya devam edecektir (Joyce ve ark., 2013; Skendžić ve ark., 2021). Ek olarak, çiftçiler, iklim ve zararlı risk tahmini hakkındaki bilgileri izleyerek, beklenen zararlı sorunlarının gelişimini ve artışı azaltmak amacıyla önleyici özel zararlı böcek mücadele uygulamalarını da benimseyebilirler (Heeb ve ark., 2019).

3.3. İklim Tahmin Modeli Geliştirme

Dünyadaki ortalama sıcaklık ve diğer iklim parametrelerindeki değişikliklerin heterojenliği nedeniyle, belirli ulusal veya küresel iklim değişikliği senaryoları için önceden iklim değişikliği uyum stratejileri tasarlamak imkansızdır. İklim değişikliğine uyum stratejileri, tarımsal üretimin tüm yönlerini dikkate alan entegre bir stratejinin bileşenlerinden biri olmalıdır. Zararlı yönetimi stratejileri, bölgesel iklim değişikliğini ve onun belirsizliklerini tolere etmelidir. Bu strateji, yeni çevresel koşullar altında zararlı yönetimi için adaptasyon önlemleri tasarlarken zararlı yönetimi personelini bilgilendirmede yararlı bir araç olabilir (Sutherst ve ark., 2011). İklim modelleri, belirli bir zararlı böcek türünün çevresel ihtiyaçları ile eşleştirildiğinde, küresel ölçekte potansiyel değişiklik aralığını tahmin etmek için yararlı bir araç olabilir. Bu nedenle, bir böcek istilasının sonuçlarını tahmin etme kapasitesi, konukçu bitkinin iklim değişikliğine tepkileri ve zararlı böcek riskinin modellenmesiyle geliştirilebilir (Raza ve ark., 2015). Zararlı böcek türlerinin genel olarak dağılımı, öncelikle ekolojik niş modelleri (ENM'ler) ile tahmin edilmektedir. En sık kullanılan bağıntılı modeller MaxEnt, Bioclim, Random Forest, vb. modellerdir (Kumar ve ark., 2014). CLIMEX, belirli türler için uygun habitatlar veya bölgeler hakkında tahminler yaparak türlerin fizyolojik ve davranışsal parametrelerini ve iklim değişkenlerinin değerlerini kullanan yarı mekanik modelleme yazılım aracına iyi bir örnektir (Kriticos ve ark., 2015). Ek olarak, yukarıda açıklanan modellerin geliştirilmesiyle birlikte iklim ve tarihsel hava kayıtlarının kapsamlı analizi, zararlı böcek risklerinin tahmin edilmesini kolaylaştıracaktır. Buda, değişen bir iklimde zararlı böceklerin önlenmesi ve mücadelesi için proaktif stratejilerin geliştirilmesini sağlayabilir (Skendžić ve ark., 2021; Wellenreuther ve ark., 2022).

Sonuç

İklim değişikliği karşısında tarım zararlısı böcekler özellikle gıda güvenliği açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu sorunu çözmek için etkili yönetim stratejileri uygulanmalıdır. İklim değişikliği böceklerin dağılımlarını ve davranışlarını etkilemektedir. Bu nedenle böceklerin iklim değişikliği karşısında göstermiş olduğu tepkiyi anlayabilmemiz için onların biyolojisini ve davranışlarını daha yakından incelememiz çok önemlidir. Zararlı popülasyonlarındaki değişikliklerin geleneksel yöntemler, uzaktan algılama teknolojileri ile izlenmesi, zamanında müdahale için çok önemlidir. Pestisitlere bağımlılığı en aza indirmek ve çevresel etkiyi azaltmak için kültürel, biyolojik ve kimyasal yöntemleri birleştiren Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) stratejileri kullanılmalıdır. Geçmiş kayıtlara ve uzaktan algılama verilerine dayanan tahmin sistemleri, erken uyarılar sağlayabilir ve zararlı böcek salgınının azaltılmasına yardımcı olabilir. İklim değişikliğinin bir sonucu olarak meydana gelebilecek bir başka olumsuz sonuç da biyolojik mücadele etmenlerinin- doğal düşmanlarının etkinliğinin azalmasıdır ve bu durum, gelecekteki zararlı böceklerle mücadele programlarında önemli bir sorun olabilir. İklim değişikliği faktörleri (zararlı istilası ve tarımsal ürünlerin zarar görmesi gibi) olumsuz koşullara ulaştığında önemli ekonomik kayıplara neden olur ve gıda güvenliği bakımından da oldukça büyük bir sorun oluşturabilir. Zararlı böceklere ve kuraklığa dayanıklı ürünlerin geliştirilmesi, gıda güvenliğini artırabilir ve kimyasal kontrollere olan bağımlılığı azaltabilir. Başarılı bir etkin zararlı yönetimi için çiftçileri, toplulukları ve paydaşları eğitmek ve sürece dahil etmek çok önemlidir. Bu tavsiyeleri uygulayarak ürünün zarar görme riski azaltılabilir, gıda güvenliği iyileştirebilir ve değişen iklimde tarımı koruyabiliriz.

Teşekkür

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar çalışmaya ortak katkı sağlamıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Abram, P.K., Boivin, G., Moiroux, J. and Brodeur, J. 2017. Behavioural effects of temperature on ectothermic animals: unifying thermal physiology and behavioural plasticity. *Biological Reviews*, 92(4): 1859–1876.
- Ahmed S.S., Liu S.D. and Simon, J.C. 2017. Impact of water-deficit stress on tritrophic interactions in a wheat-aphid-parasitoid system. *Plos One*, 12(10): e0186599.
- Alexandratos, N. and J. Bruinsma. 2012. *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working, FAO, Rome, 12-03.
- Altermatt, F. 2010. Climatic warming increases voltinism in european butterflies and moths. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1685): 1281–1287.

- Andrew, N.R. and Hill, S.J. 2017. *Effect of Climate Change on Insect Pest Management*, In Environmental Pest Management, Wiley, pp: 195–223.
- Arnell, N.W., Lowe, J.A., Challinor, A.J. and Osborn, T.J. 2019. Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase. *Climatic Change*, 155(3): 377–391.
- Asseng, S., Foster, I. and Turner, N.C. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17(2): 997–1012.
- Bacon, S.J., Aebi, A., Calanca, P. and Bacher, S. 2014. Quarantine arthropod invasions in Europe: the role of climate, hosts and propagule pressure. *Diversity and Distributions*, 20(1): 84–94.
- Bale, J.S. 1993. Classes of insect cold hardiness. *Functional ecology (Print)*, 7(6): 751–753.
- Bale, J.S. and Hayward, S.A.L. 2010. Insect overwintering in a changing climate. *Journal of Experimental Biology*, 213(6): 980–994.
- 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., Press, M.C., Symrnioudis, I., Watt, A.D. and Whittaker, J.B. 2002. Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8(1): 1–16.
- Barzman, M., Bärberi, P., Birch, A.N.E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J.R., Messéan, A., Moonen, A.C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.L. and Sattin, M. 2015. Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4): 1199–1215.
- Battisti, D.S. and Naylor, R.L. 2009. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*, 323(5911): 240–244.
- BCS, 2018. Invasive alien species: The application of classical biological control for the management of established invasive alien species causing environmental impacts. Convention on Biological Diversity, 17–29 November 2018, Sharm El-Sheikh, Egypt, 88p.
- Bernays, E.A. 1997. Feeding by lepidopteran larvae is dangerous. *Ecological Entomology*, 22(1): 121–123.
- Bhargava, S. and Mitra, S. 2021. Elevated atmospheric CO₂ and the future of crop plants. *Plant Breeding*, 140(1): 1–11.
- Burkett, C.N.D. and Vittor, A.Y. 2018. Deforestation and vector-borne disease: Forest conversion favors important mosquito vectors of human pathogens. *Basic and Applied Ecology*, 26: 101–110.
- 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(7): 785–796.
- Chevin, L.M., Lande, R. and Mace, G.M. 2010. Adaptation, plasticity, and extinction in a changing environment: towards a predictive theory. *PLoS biology*, 8(4): e100357.
- Cini, A., Anfora, G., Escudero, C.L.A., Grassi, A., Santosuosso, U., Seljak, G. and Papini, A. 2014. Tracking the invasion of the alien fruit pest *Drosophila suzukii* in Europe. *Journal of Pest Science*, 87(4): 559–566.

- Dáder, B., Fereres, A., Moreno, A. and Trębicki, P. 2015. Elevated CO₂ impacts bell pepper growth with consequences to *Myzus persicae* life history, feeding behaviour and virus transmission ability. *Scientific Reports*, 6: 19120.
- Dai, A. 2011. Drought under global warming: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1): 45–65.
- Dai, A., Zhao, T. and Chen, J. 2018. Climate Change and Drought: a Precipitation and Evaporation Perspective. *Current Climate Change Reports*, 4(3): 301–312.
- Dell, D., Sparks, T.H. and Dennis, R.L.H. 2005. Climate change and the effect of increasing spring temperatures on emergence dates of the butterfly *Apatura iris* (Lepidoptera: Nymphalidae). *European Journal of Entomology*, 102(2): 161–167.
- DeLucia, E.H., Nability, P.D., Zavala, J.A. and Berenbaum, M.R. 2012. Climate change: Resetting plant-insect interactions. *Plant Physiology*, 160(4): 1677–1685.
- Deshar, R. and Koirala, M. 2019. *Global Climate Change and Environmental Policy: Agriculture Perspectives: Climate change and gender policy*, Venkatramanan, V., Shah, S. and Prasad, R., Springer, Singapore, p:411–422.
- Dinç, S.Ö., Künili, İ.E. and Çolakoğlu, F. 2022. İklim Değişimi Sürecinin Sürdürülebilir ve Güvenli Gıda Üretimine Etkisi. *Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 36(2): 447–460.
- Draper, A.M. and Weissburg, M.J. 2019. Impacts of global warming and elevated CO₂ on sensory behavior in predator-prey interactions: A review and synthesis. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7 (MAR): 428445.
- Edosa, T.T., Jo, Y.H., Keshavarz, M., Anh, Y.S., Noh, M.Y. and Han, Y.S. 2019. Current status of the management of fall webworm, *Hyphantria cunea*: Towards the integrated pest management development. *Journal of Applied Entomology*, 143(1–2): 1–10.
- Eigenbrode, S.D. and Trumble, J.T. 1994. Host plant resistance to insects in integrated pest management in vegetable crops. *Journal of Agriculture Entomology*, 11(3): 201-224
- Evans, E.W., Carlile, N.R., Innes, M.B. and Pitigala, N. 2013. Warm springs reduce parasitism of the cereal leaf beetle through phenological mismatch. *Journal of Applied Entomology*, 137(5): 383–391.
- Field, C.B., V.R. Barros, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, M.K. Abdrabo, N. Adger, Y.A. Anokhin, O.A. Anisimov, D.J. Arent, J. Barnett, 2014. *Summary for policymakers, in: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York, USA, pp:1–32.
- Fischer, G., Tubiello, F.N., van Velthuisen, H. and Wiberg, D.A. 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990-2080. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(7): 1083–1107.

- Frank, S.D. 2021. Review of the direct and indirect effects of warming and drought on scale insect pests of forest systems. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 94(2): 167–180.
- Fróna, D., Szenderák, J. and Harangi-Rákos, M. 2019. The challenge of feeding the world. *Sustainability*, 11(20): 5816
- Fuhrer, J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97(1–3): 1–20.
- Gill, H.K., Goyal, G. and Chahil, G. 2017. Insect Diapause: A Review. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 7 (7).
- Gomez Z.A., Mejuto, J.C. and Simal, G.J. 2020. Mitigation of emerging implications of climate change on food production systems. *Food Research International*, 134: 109256.
- González, T.D., Córdoba, A.A., Dáttilo, W., Lira, N.A., Sánchez, G.R.A. and Villalobos, F. 2020. Insect responses to heat: physiological mechanisms, evolution and ecological implications in a warming world. *Biological Reviews*, 95(3): 802–821.
- Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett, K. and Wiltshire, A. 2010. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554): 2973–2989.
- Gregory, P.J., Johnson, S.N., Newton, A.C. and Ingram, J.S.I. 2009. Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany*, 60(10): 2827–2838.
- Guo, H., Sun, Y., Ren, Q., Zhu, S.K., Kang, L., Wang, C., Li, C. and Ge, F. 2012. Elevated CO₂ reduces the resistance and tolerance of tomato plants to *Helicoverpa armigera* by suppressing the JA signaling pathway. *PLoS ONE*, 7(7): e41426.
- Haddeland, I., Heinke, J., Biemans, H., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Konzmann, M., Ludwig, F., Masaki, Y., Schewe, J., Stacke, T., Tessler, Z.D., Wada, Y. and Wisser, D. 2014. Global water resources affected by human interventions and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9): 3251–3256.
- Hahn, D.A. and Denlinger, D.L. 2011. Energetics of insect diapause. *Annual Review of Entomology*, 56: 103–121.
- Hamilton, J.G., Dermody, O., Aldea, M., Zangerl, A.R., Rogers, A., Berenbaum, M.R. and DeLucia, E.H. 2005. Anthropogenic changes in tropospheric composition increase susceptibility of soybean to insect herbivory. *Environmental Entomology*, 34(2): 479–485.
- Harrington, R., Clark, S.J., Welham, S.J., Verrier, P.J., Denholm, C.H., Hullé, M., Maurice, D., Rounsevell, M.D. and Cocu, N. 2007. Environmental change and the phenology of European aphids. *Global Change Biology*, 13(8): 1550–1564.

- Harrington, R., Fleming, R.A. and Woiwod, I.P. 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: Can they be predicted?. *Agricultural and Forest Entomology*, 3(4): 233–240.
- Harrington, R., Woiwod, I., and Sparks, T. 1999. Climate change and trophic interactions. *Trends in Ecology and Evolution*, 14(4): 146–150.
- Harvey, J.A., Tougeron, K., Gols, R., Heinen, R., Abarca, M., Abram, P.K., Basset, Y., Berg, M., Boggs, C., Brodeur, J., Cardoso, P., de Boer, J.G., de Snoo, G.R., Deacon, C., Dell, J.E., Desneux, N., Dillon, M.E., Duffy, G.A., Dyer, L.A., Ellers, J., Espíndola, A., Fordyce, J., Forister, M.L., Fukushima, C., Gage, M.J.G., García, R.C., Gely, C., Gobbi, M., Hallmann, C., Hance, T., Harte, J., Hochkirch, A., Hof, C., Hoffmann, A.A., Kingsolver, J.G., Lamarre, G.P.A., Laurance, W.F., Lavandero, B., Leather, S.R., Lehmann, P., Le Lann, C., López-Uribe, M.M., Ma, C., Ma, G., Moiroux, J., Monticelli, L., Nice, C., Ode, P.J., Pincebourde, S., Ripple, W.J., Rowe, M., Samways, M.J., Sentis, A., Shah, A.A., Stork, N., Terblanche, J.S., Thakur, M.P., Thomas, M.B., Tylianakis, J.M., Van Baaren, J., Van de Pol, M., Van der Putten, W.H., Van Dyck, H., Verberk, W.C.E.P., Wagner, D.L., Weisser, W.W., Wetzell, W.C., Woods, H.A., Wyckhuys, K.A.G. and Chown, S.L. 2023. Scientists' warning on climate change and insects. *Ecological Monographs*, 93(1): e1553.
- Heeb, L., Jenner, E. and Cock, M.J.W. 2019. Climate-smart pest management: building resilience of farms and landscapes to changing pest threats. *Journal of Pest Science*, 92(3): 951–969.
- Heuskin, S., Verheggen, F.J., Haubruge, E., Wathélet, J.P. and Lognay, G. 2011. The use of semiochemical slow-release devices in integrated pest management strategies. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 15(3): 459–470.
- Hill, D.S. 1987. Agricultural insect pests of temperate regions and their control. Stony Brook University Published, 672p.
- Hill, M.P. and Thomson, L.J. 2015. Species distribution modelling in predicting response to climate change. *Climate Change and Insect Pests*. CABI, p:16–37.
- Hof, C. 2021. Towards more integration of physiology, dispersal and land-use change to understand the responses of species to climate change. *Journal of Experimental Biology*, 224(1): jeb238352.
- Holley, J.M. 2022. Enhancing yield, nutrition, and water-use efficiency of lettuce (*Lactuca sativa*) with greenhouse light spectrum and carbon dioxide enrichment. *Horticulturae*. 8(9): 820.
- Howden, S.M., Soussana, J.F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M. and Meinke, H. 2007. Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50): 19691–19696.
- Höhn, J.G. and Rötter, R.P. 2014. Impact of global warming on European cereal production. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 9: 022.
- Huntington, T.G. 2010. Climate warming-induced intensification of the hydrologic cycle. An assessment of the published record and potential impacts on agriculture. *Advances in Agronomy*, 109(C): 1–53.

- Johnson, S.N., Anderson, E.A., Dawson, G. and Griffiths, D.W. 2008. Varietal susceptibility of potatoes to wireworm herbivory. *Agricultural and Forest Entomology*, 10(2): 167–174.
- Joyce, L.A., Briske, D.D., Brown, J.R., Polley, H.W., McCarl, B.A. and Bailey, D.W. 2013. Climate change and North American Rangelands: assessment of mitigation and adaptation strategies. *Rangeland Ecology & Management*, 66(5): 512–528.
- Kang, Y., Khan, S. and Ma, X. 2009. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security- A review. *Progress in Natural Science*, 19(12): 1665–1674.
- Kimball, B.A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agronomy Journal*, 75(5): 779–788.
- Kimball, B.A. 2016. Crop responses to elevated CO₂ and interactions with H₂O, N, and temperature. *Current Opinion in Plant Biology*, 31: 36–43.
- Kiritani, K. 2006. Predicting impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan. *Population Ecology*, 48(1): 5–12.
- Kocmánková, E., Trnka, M., Eitzinger, J., Formayer, H., Dubrovský, M., Semerádová, D., Āalud, Z., Juroch, J. and Možný, M. 2010. Estimating the impact of climate change on the occurrence of selected pests in the central European region. *Climate Research*, 44(1): 95–105.
- Kriticos, D.J., Maywald, G.F., Yonow, T., Zurcher, E.J., Herrmann, N.I. and Sutherst, R. 2015. *Exploring the effects of climate on plants, animals and diseases. CLIMEX Version, 4: Exploring the effects of climate on plants, animals and diseases*. CSIRO, Canberra, 156 p.
- Kumar, S., Neven, L.G. and Yee, W.L. 2014. Evaluating correlative and mechanistic niche models for assessing the risk of pest establishment. *Ecosphere*, 5(7): 1–23.
- Lamichhane, J.R., Barzman, M., Booij, K., Boonekamp, P., Desneux, N., Huber, L., Kudsk, P., Langrell, S.R.H., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.L. and Messéan, A. 2015. Robust cropping systems to tackle pests under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2): 443–459.
- Lehmann, P., Ammunét, T., Barton, M., Battisti, A., Eigenbrode, S.D., Jepsen, J.U., Kalinkat, G., Neuvonen, S., Niemelä, P., Terblanche, J.S., Økland, B. and Björkman, C. 2020. Complex responses of global insect pests to climate warming. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(3): 141–150.
- Lesk, C., Anderson, W., Rigden, A., Coast, O., Jägermeyr, J., McDermid, S., Davis, K.F. and Konar, M. 2022. Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change. *Nature Reviews Earth and Environment*, 3(12): 872–889.
- Liliane, T.N., Charles, M.S., Liliane, T.N. and Charles, M.S. 2020. *Factors Affecting Yield of Crops. Agronomy - Climate Change and Food Security*. Intechopen, Budapest, Hungary, 16p.
- Lin, H.I., Yu, Y.Y., Wen, F.I. and Liu, P.T. 2022. Status of Food Security in East and Southeast Asia and Challenges of Climate Change. *Climate*, 10(3): 40.

- Liu, Y. and Shi, J. 2020. Predicting the Potential Global Geographical Distribution of Two *Icerya* Species under Climate Change. *Forests*, 11(6): 684.
- Lobell, D.B., Bänziger, M., Magorokosho, C. and Vivek, B. 2011a. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. *Nature Climate Change*, 1(1): 42–45.
- Lobell, D.B., Schlenker, W. and Costa, R. J. 2011b. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042): 616–620.
- Mandal, P., Mondal, F. and Protec, H.M.S. 2020. Factors influences selection and adaptation of aphid to their host plant. *Journal of Plant Sciences and Crop Protection*, 3(1): 102.
- Martín, V.D., Ferrero, G.J.J. and Torres, V.L.M. 2010. Global warming affects phenology and voltinism of *Lobesia botrana* in Spain. *Agricultural and Forest Entomology*, 12(2): 169–176.
- Masters, G. and Norgrove, L. 2010. Climate change and invasive alien species. *CABI Working Paper 1*, 30pp.
- McWatters, H.G. and Saunders, D.S. 1998. Maternal temperature has different effects on the photoperiodic response and duration of larval diapause in blow fly (*Calliphora vicina*) strains collected at two latitudes. *Physiological Entomology*, 23(4): 369–375.
- Menéndez, R., González-Megías, A., Collingham, Y., Fox, R., Roy, D.B., Ohlemüller, R. and Thomas, C.D. 2007. Direct and indirect effects of climate and habitat factors on butterfly diversity. *Ecology*, 88(3): 605–611.
- Menéndez, R., González, M.A., Lewis, O.T., Shaw, M.R. and Thomas, C.D. 2008. Escape from natural enemies during climate-driven range expansion: a case study. *Ecological Entomology*, 33(3): 413–421.
- Metz, B., Davidson, O., Swart, R. and Pan, J. 2001. *Climate change 2001: mitigation: contribution of Working Group III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University press, United states of America, 762p.
- Meynard, C.N., Migeon, A. and Navajas, M. 2013. Uncertainties in predicting species distributions under climate change: A case study using *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae), a widespread agricultural pest. *PLoS One*, 8(6): e66445.
- Myers, S., Fanzo, J., Wiebe, K., Huybers, P. and Smith, M. 2022. Current guidance underestimates risk of global environmental change to food security. *The BMJ*, 378: e071533.
- Nechols, J.R. 2021. The potential impact of climate change on non-target risks from imported generalist natural enemies and on biological control. *BioControl*, 66(1): 37–44.
- Netherer, S., Matthews, B., Katzensteiner, K., Blackwell, E., Henschke, P., Hietz, P., Pennerstorfer, J., Rosner, S., Kikuta, S., Schume, H. and Schopf, A. 2015. Do water-limiting conditions predispose Norway spruce to bark beetle attack?. *New Phytologist*, 205: 1128–1141.
- Netherer, S., Panassiti, B., Pennerstorfer, J. and Matthews, B. 2019. Acute drought is an important driver of bark beetle infestation in austrian norway spruce stands. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2: 465067.

- Nyamukondiwa, C., Machezano, H., Chidawanyika, F., Mutamiswa, R., Ma, G. and Ma, C. Sen. 2022. Geographic dispersion of invasive crop pests: the role of basal, plastic climate stress tolerance and other complementary traits in the tropics. *Current Opinion in Insect Science*, 50: 100878.
- O'Neill, B.F., Zangerl, A.R., DeLucia, E.H. and Berenbaum, M.R. 2008. Longevity and fecundity of Japanese beetle (*Popillia japonica*) on foliage grown under elevated carbon dioxide. *Environmental Entomology*, 37(2): 601–607.
- Olesen, J.E. and Bindu, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, 16(4): 239–262.
- Pachauri, R.K. and Reisinger, A. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report on Intergovernmental Panel on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 104p.
- Pachauri, R.K., Allen, M.R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., Dubash, N.K., Edenhofer, O., Elgizouli, I., Field, C.B., Forster, P., Friedlingstein, P., Fuglestedt, J., Gomez, E.L., Hallegatte, S., Hegerl, G., Howden, M., Jiang, K., Jimenez, C.B., Kattsov, V., Lee, H., Mach, K.J., Marotzke, J., Mastrandrea, M.D., Meyer, L., Minx, J., Mulugetta, Y., O'Brien, K., Oppenheimer, M., Pereira, J.J., Pichs-Madruga, R., Plattner, G.K., Pörtner, H.O., Power, S.B., Preston, B., Ravindranath, N.H., Reisinger, A., Riahi, K., Rusticucci, M., Scholes, R., Seyboth, K., Sokona, Y., Stavins, R., Stocker, T.F., Tschakert, P., van Vuuren, D. and van Ypersele, J.P. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151p.
- Pareek, A., Meena, B., Sharma, S., Tatarwal, M., Kalyan, R. and Meena, B. 2017. Impact of climate change on insect pests and their management strategies. *Climate change and sustainable agriculture*. New India Publishing Agency, p:253-286.
- Parmesan, C. 2007. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology*, 13(9): 1860–1872.
- Parmesan, C. and Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918): 37–42.
- Pathak, H., Aggarwal, P.K. and Singh, S.D. 2012. Climate change impact, adaptation and mitigation in agriculture: methodology for assessment and applications. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, 302p.
- Pathak, H., Bhatia, A., Jain, N. and Aggarwal P.K. 2014. *Greenhouse gas emission from Indian agriculture: trends, mitigation and policy needs*. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi-110012, 39p.
- Pathania, M., Verma, A., Singh, M., Arora, P.K. and Kaur, N. 2020. Influence of abiotic factors on the infestation dynamics of whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius 1889) in cotton and its management strategies in North-Western India. *International Journal of Tropical Insect Science*, 40(4): 969–981.

- Peng, S., Huang, J., Sheehy, J.E., Laza, R.C., Visperas, R.M., Zhong, X., Centeno, G.S., Khush, G.S. and Cassman, K.G. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(27): 9971–9975.
- Peng, W., Ma, N.L., Zhang, D., Zhou, Q., Yue, X., Khoo, S.C., Yang, H., Guan, R., Chen, H., Zhang, X., Wang, Y., Wei, Z., Suo, C., Peng, Y., Yang, Y., Lam, S.S. and Sonne, C. 2020. A review of historical and recent locust outbreaks: Links to global warming, food security and mitigation strategies. *Environmental Research*, 191: 110046.
- Perrings, C., Burgiel, S., Lonsdale, M., Mooney, H. and Williamson, M. 2010. International cooperation in the solution to trade-related invasive species risks. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1195: 198–212.
- Pingali, P. and Abraham, M. 2022. Food systems transformation in Asia – A brief economic history. *Agricultural Economics (United Kingdom)*, 53(6): 895–910.
- Poyet, M., Le Roux, V., Gibert, P., Meirland, A., Prévost, G., Eslin, P. and Chabrerrie, O. 2015. The wide potential trophic niche of the asiatic fruit fly *Drosophila suzukii*: the key of its invasion success in temperate Europe?. *Plos One*, 10(11): e0142785.
- Prentice, I.C., Farquhar, G.D., Fasham, M.J.R., Goulden, M.L., Heimann, M., Jaramillo, V.J., Kheshgi, H.S., Le Quéré, C., Scholes, R.J. and Wallace, D.W.R. 2001. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., Linden, P.J.V.D., Dai, X., Maskell, K. and Johnson, C.A., Cambridge University Press, pp:183- 237.
- Priya, M., Sharma, L., Kaur, R., Bindumadhava, H., Nair, R.M., Siddique, K.H.M. and Nayyar, H. 2019. GABA (γ -aminobutyric acid), as a thermo-protectant, to improve the reproductive function of heat-stressed mungbean plants. *Scientific Reports*, 9(1): 7788.
- Purcell, C., Batke, S.P., Yiotis, C., Caballero, R., Soh, W.K., Murray, M. and McElwain, J.C. 2018. Increasing stomatal conductance in response to rising atmospheric CO₂. *Annals of Botany*, 121(6): 1137–1149.
- Raza, M.M., Khan, M.A., Arshad, M., Sagheer, M., Sattar, Z., Shafi, J., Haq, E. ul, Ali, A., Aslam, U., Mushtaq, A., Ishfaq, I., Sabir, Z. and Sattar, A. 2015. Impact of global warming on insects. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48(1): 84–94.
- Rehman, F.U., Abbas, M., Murtaza, S., Butt, W.H., Rehman, S. and Qamar, U. 2018. SimFiller. similarity-based missing values filling algorithm. 13th International Conference on Digital Information Management, 24-26 Sep 2018, Berlin, Germany, p:77–81.
- Ricciardi, A. 2013 *Ecological Systems*. Springer, New York, US, pp: 161–178.
- Ripple, W.J., Wolf, C., Gregg, J.W., Levin, K., Rockström, J., Newsome, T.M., Betts, M.G., Huq, S., Law, B.E., Kemp, L., Kalmus, P. and Lenton, T.M. 2022. World Scientists’ Warning of a Climate Emergency 2022. *BioScience*, 72(12): 1149–1155.
- Robbins, Z.J., Xu, C., Aukema, B.H., Buotte, P.C., Chitra-Tarak, R., Fettig, C.J., Goulden, M.L., Goodsman, D.W., Hall, A.D., Koven, C.D., Kueppers, L.M., Madakumbura, G.D., Mortenson, L.A., Powell, J.A. and

- Scheller, R.M. 2022. Warming increased bark beetle-induced tree mortality by 30% during an extreme drought in California. *Global Change Biology*, 28(2): 509–523.
- Robinet, C. and Roques, A. 2010. Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integrative Zoology*, 5(2): 132–142.
- Robinson, E.A., Ryan, G.D. and Newman, J.A. 2012. A meta-analytical review of the effects of elevated CO₂ on plant-arthropod interactions highlights the importance of interacting environmental and biological variables. *New Phytologist*, 194(2): 321–336.
- Santana, P.A., Kumar, L., Da Silva, R.S. and Picanço, M.C. 2019. Global geographic distribution of *Tuta absoluta* as affected by climate change. *Journal of Pest Science*, 92(4): 1373–1385.
- Santos, P.L., Cordery, I. and Iacovides, I. 2009. *Coping with water scarcity*, Springer Dordrecht, 382p.
- Schroeder, J.B., Gray, M.E., Ratcliffe, S.T., Estes, R.E. and Long, S.P. 2006. Effects of elevated CO₂ and O₃ on a variant of the western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*, 35(3): 637–644.
- Sconiers, W.B. and Eubanks, M.D. 2017. Not all droughts are created equal? The effects of stress severity on insect herbivore abundance. *Arthropod-Plant Interactions*, 11(1): 45–60.
- Sharma, H.C., Srivastava, C.P., Durairaj, C. and Gowda, C.L.L. 2010. Pest management in grain legumes and climate change. *Climate Change and Management of Cool Season Grain Legume Crops*, 9789048137091: 115–139.
- Sharma, H.C., War, A.R., Pathania, M., Sharma, S.P., Akbar, S.M.D. and Munghate, R.S. 2016. Elevated CO₂ influences host plant defense response in chickpea against *Helicoverpa armigera*. *Arthropod-Plant Interactions*, 10(2): 171–181.
- Shrestha, S. 2019. Effects of climate change in agricultural insect pest. *Acta Scientific Agriculture*, 3 (12): 74–80.
- Simberloff, D. 2009. The role of propagule pressure in biological invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1): 81–102.
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I.P., Lešić, V. and Lemić, D. 2021. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5): 440.
- Snell, R.E.C., Kobiela, Megan E., Sikkink, , Kristin L. and Shephard, A.M. 2018. Mechanisms of Plastic Rescue in Novel Environments. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 49(1): 331–354.
- Staley, J.T., Hodgson, C.J., Mortimer, S.R., Morecroft, M.D., Masters, G.J., Brown, V.K. and Taylor, M.E. 2007. Effects of summer rainfall manipulations on the abundance and vertical distribution of herbivorous soil macro-invertebrates. *European Journal of Soil Biology*, 43(3): 189–198.
- Streck, N.A. 2005. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. *Ciência Rural*, 35(3): 730–740.

- Subedi, B., Poudel, A. and Aryal, S. 2023. The impact of climate change on insect pest biology and ecology: Implications for pest management strategies, crop production, and food security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14: 100733.
- Sutherst, R.W., Constable, F., Finlay, K.J., Harrington, R., Luck, J. and Zalucki, M.P. 2011. Adapting to crop pest and pathogen risks under a changing climate. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(2): 220–237.
- Tai, A.P.K., Martin, M.V. and Heald, C.L. 2014. Threat to future global food security from climate change and ozone air pollution. *Nature Climate Change*, 4(9): 817–821.
- Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (2021). İklim Değişikliği ve Tarım Değerlendirme Raporu. Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/Duyuru/428/Iklim-Degisikligi-Ve-Tarim-Değerlendirme-Raporu> (Erişim tarihi: 27.01.2024).
- Tauber, M.J., Tauber, C.A. and Masaki, S. 1986. *Seasonal adaptations of insects*. Oxford University Press, United States of America, 411p.
- Thomson, L.J., Macfadyen, S. and Hoffmann, A.A. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, 52(3): 296–306.
- Thornton, P.K., Ericksen, P.J., Herrero, M. and Challinor, A.J. 2014. Climate variability and vulnerability to climate change: A review. *Global Change Biology*, 20(11): 3313–3328.
- Timmer, C.P. 2012. Behavioral dimensions of food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(31): 12315–12320.
- Tobin, P.C., Nagarkatti, S., Loeb, G., and Saunders, M.C. 2008. Historical and projected interactions between climate change and insect voltinism in a multivoltine species. *Global Change Biology*, 14(5): 951–957.
- Trębicki, P., Vandegeer, R.K., Bosque, P.N.A., Powell, K.S., Dader, B., Freeman, A.J., Yen, A.L., Fitzgerald, G.J. and Luck, J.E. 2016. Virus infection mediates the effects of elevated CO₂ on plants and vectors. *Scientific Reports*, 6(1): 1–11.
- Trumble, J.T. and Butler, C.D. 2009. Climate change will exacerbate California's insect pest problems. *California Agriculture*, 63(2): 73–78.
- Vadez, V., Berger, J.D., Warkentin, T., Asseng, S., Ratnakumar, P., Rao, K.P.C., Gaur, P.M., Munier, J.N., Larmure, A., Voisin, A.S., Sharma, H.C., Pande, S., Sharma, M., Krishnamurthy, L. and Zaman, M.A. 2012. Adaptation of grain legumes to climate change: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1): 31–44.
- van Doan, C., Pfander, M., Guyer, A.S., Zhang, X., Maurer, C. and Robert, C.A.M. 2021. Natural enemies of herbivores maintain their biological control potential under short-term exposure to future CO₂, temperature, and precipitation patterns. *Ecology and Evolution*, 11(9): 4182–4192.
- Vander, Z.M.J. 2005. The success of animal invaders. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(20): 7055–7056.

- Vanhanen, H. 2008. *Invasive insects in Europe the role of climate change and global trade*. Dissertations Forestales 57, Helsinki, Finland, 33p.
- Verberk, W.C.E.P., Atkinson, D., Hoefnagel, K.N., Hirst, A.G., Horne, C.R. and Siepel, H. 2021. Shrinking body sizes in response to warming: explanations for the temperature–size rule with special emphasis on the role of oxygen. *Biological Reviews*, 96(1): 247–268.
- Vermeij, G.J. 1996. An agenda for invasion biology. *Biological Conservation*, 78(1–2): 3–9.
- Wagner, D.L., Fox, R., Salcido, D.M. and Dyer, L.A. 2021. A window to the world of global insect declines: Moth biodiversity trends are complex and heterogeneous. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2): e2002549117.
- Walther, G.R., Roques, A., Hulme, P.E., Sykes, M.T., Pyšek, P., Kühn, I., Zobel, M., Bacher, S., Botta, D.Z. and Bugmann, H. 2009. Alien species in a warmer world: risks and opportunities. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(12): 686–693.
- Wang, D., Heckathorn, S.A., Barua, D., Joshi, P., Hamilton, E.W. and LaCroix, J.J. 2008. Effects of elevated CO₂ on the tolerance of photosynthesis to acute heat stress in C3, C4, and CAM species. *American Journal of Botany*, 95(2): 165–176.
- Wang, L., Hui, C., Sandhu, H.S., Li, Z. and Zhao, Z. 2015. Population dynamics and associated factors of cereal aphids and armyworms under global change. *Scientific Reports*, 5: 18801.
- Wang, Z., Wang, C. and Liu, S. 2022. Elevated CO₂ alleviates adverse effects of drought on plant water relations and photosynthesis: A global meta-analysis. *Journal of Ecology*, 110(12): 2836–2849.
- Wang, Z., Hu, X., Kang, W., Qu, Q., Feng, R. and Mu, L. 2023. Interactions between dissolved organic matter and the microbial community are modified by microplastics and heat waves. *Journal of Hazardous Materials*, 448: 130868.
- Ward, N.L. and Masters, G.J. 2007. Linking climate change and species invasion: an illustration using insect herbivores. *Global Change Biology*, 13(8): 1605–1615.
- Wellenreuther, M., Dudaniec, R.Y., Neu, A., Lessard, J.-P., Bridle, J., Carbonell, J.A., Diamond, S.E., Marshall, K.E., Parmesan, C., Singer, M.C., Swaegers, J., Thomas, C.D. and Lancaster, L.T. 2022. The importance of eco-evolutionary dynamics for predicting and managing insect range shifts. *Current Opinion in Insect Science*, 52: 100939.
- Wu, Y., Li, J., Liu, H., Qiao, G. and Huang, X. 2020. Investigating the impact of climate warming on phenology of aphid pests in China using long-term historical data. *Insects*, 11(3): 167.
- Wudil, A.H., Usman, M., Rosak-Szyrocka, J., Pilař, L. and Boye, M. 2022. Reversing years for global food security: A review of the food security situation in Sub-Saharan Africa (SSA). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22): 14836.
- Yamamura, K. and Kiritani, K. 1998. A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones. *Applied Entomology and Zoology*, 33(2): 289–298.

- Yamamura, K. and Yokozawa, M. 2002. Prediction of a geographical shift in the prevalence of rice stripe virus disease transmitted by the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Fallén) (Hemiptera: Delphacidae), under global warming. *Applied Entomology and Zoology*, 37(1): 181–190.
- Yaşar, İ., Kök, Ş. ve Kasap, İ., 2021. Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Böcekler Üzerindeki Olası Etkileri. *ÇOMÜ, L. J. A. R.*, 2 (4): 67-75.
- Zavala, J.A., Casteel, C.L., Nabity, P.D., Berenbaum, M.R. and Delucia, E.H. 2009. Role of cysteine proteinase inhibitors in preference of japanese beetles (*Popillia Japonica*) for soybean (*Glycine Max*) leaves of different ages and grown under elevated CO₂. *Oecologia*, 161(1): 35–41.
- Zayan, S.A. 2019. Impact of Climate Change on Plant Diseases and IPM Strategies. *Plant Diseases-Current Threats and Management Trends*. IntechOpen, Budapest, Hungary, 240p.
- Zeng, J., Liu, Y., Zhang, H., Liu, J., Jiang, Y., Wyckhuys, K.A.G. and Wu, K. 2020. Global warming modifies long-distance migration of an agricultural insect pest. *Journal of Pest Science*, 93(2): 569–581.
- Zhang, Q., Dai, W., Wang, X. and Li, J. 2020. Elevated CO₂ concentration affects the defense of tobacco and melon against Lepidopteran larvae through the jasmonic acid signaling pathway. *Scientific Reports*, 10 (1): 4060.