



Ege Coğrafya Dergisi 29 (1), 2020, 125-149, İzmir-TÜRKİYE
Aegean Geographical Journal, 29 (1), 2020, 125-149, İzmir-TURKEY
Dergi Ana Sayfası: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ecd>

Derleme / Review

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TARIMSAL ÜRETİM VE GIDA GÜVENLİĞİNE ETKİLERİ: BİLİMSEL BİR DEĞERLENDİRME

Impacts of climate change on food security and agricultural production: a scientific review

Murat TÜRKES

*Boğaziçi Üniversitesi İklim Değişikliği ve Politikaları
Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul*

murat.turkes57@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9637-4044

*(Teslim: 6 Kasım 2020; Son Düzeltme: 31 Mayıs 2020; Kabul: 9 Haziran 2020)
(Received: November 6, 2019; Last Revised: May 31, 2020; Accepted: June 9, 2020)*

Abstract

In this review, first spatial and temporal assessment of main findings and results of the peer-reviewed studies related with the observed climate change and variability in the World and in Turkey were performed. Then, the impacts of climate change on food security and agri-cultural production including particularly the effects on crop yields were scientifically re-viewed with respect to various aspects of the issue particularly based on the peer-reviewed literature and the recent assessments of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

The effects of climate change on agricultural crop and terrestrial food production have been evidently observed in several regions of the world. Negative impacts of the climate change and variability have been more common than positive ones. In addition to the observed climate changes, climate model simulations generally have shown that frequencies and severities of the extreme weather and climate events will very likely change in many regions of the World during the 21th Century associated with estimated increases in surface and lower tropospheric temperatures, increased positive radiative forcing and accelerated and/or enhanced hydrological cycle. For instance, increased extreme weather and climate events and disasters including heat waves, droughts and floods will very likely interrupt stability of the food supply.

The climate change will very likely affect four key dimensions of the food security including availability, accessibility, utilization and sustainability of the food, due to close linkage between food and water security and climate change. In one of the most comprehensive model studies simulating impacts of global climate change on agriculture to date, it was estimated that by 2080, in a business-as-usual scenario, climate change will reduce the potential output of global agriculture by more than 3.2 per cent. Some comprehensive studies pointed out also that all regions may experience significant decreases in crop yields as well as significant increases, depending on emission scenarios, and the assumptions for the effectiveness of carbon dioxide (CO₂) fertilization.

Keywords: Agriculture, climate change, food security, extreme weather and climate events, climate model, carbon dioxide fertilisation

Öz

Bu değerlendirme çalışmasında, önce Dünya’da ve Türkiye’de gözlenen iklim değişikliği ve değişkenliğine ilişkin hakemli çalışmaların başlıca bulgu ve sonuçlarının alansal ve zamansal bir değerlendirmesi yapılmıştır. Sonra, bu alanda özellikle son 10 yılda yayımlanmış hakemli literatür ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli’nin (IPCC) güncel değerlendirme çalışmalarından yararlanarak, iklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gıda güvenliğine etkileri -başta ürün rekolteleri üzerindeki etkileri olmak üzere- çeşitli yönleriyle bilimsel olarak değerlendirilmiştir.

İklim değişikliğinin tarımsal ürün ve karasal gıda üretimine olan etkileri Dünya’nın birçok bölgesinde belirgin bir biçimde gözlenmektedir. İklim değişikliği ve değişkenliğinin negatif etkileri, pozitif etkilerinden daha yaygındır. Gözlenen iklim değişimlerine ek olarak, iklim model benzeşimleri, genel olarak alt troposfer ve yüzey hava sıcaklıklarında öngörülen artış eğilimi, artan pozitif ışınimsal zorlama ve hızlanan ve/ya da kuvvetlenen hidrolojik döngü ile bağlantılı olarak, 21. yüzyılda Dünya’nın birçok bölgesinde aşırı hava ve iklim olaylarının sıklık ve şiddetinde artışlar olabileceğini göstermektedir. Örneğin, artan sıcak hava dalgaları, taşkınlar ve kuraklıklar gibi ekstrem hava ve iklim olayları ve afetleri, gıda temininin kararlılığını kesintiye uğratacaktır.

Gıda ve su güvenliği ile iklim değişikliği arasındaki yakın ilişki nedeniyle, iklim değişikliği, büyük olasılıkla gıda güvenliğinin, gıdanın varlığı, erişim, tüketim ve sürdürülebilirliğinden oluşan dört boyutunu da etkileyecektir. Küresel iklim değişikliğinin tarıma etkilerinin benzetimini yapan en kapsamlı model çalışmalarından birisinde, her şey bugünkü gibi senaryosuna dayanarak, iklim değişikliğinin 2080 yılına kadar potansiyel küresel tarımsal üretim çıktısını % 3.2'den daha fazla azaltacağı öngörülmüştür. Bazı kapsamlı çalışmalar ise, karbondioksit (CO₂) gübrelemesinin etkisine ilişkin kabullere ve emisyon (salım) senaryolarına bağlı olarak, tüm bölgelerin ürün rekoltesinde önemli artış ve azalışlarla karşılaşabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarım, iklim değişikliği, gıda güvenliği, aşırı hava ve iklim olayları, iklim modeli, karbondioksit gübrelemesi.

1. Dünyada ve Türkiye’de Gözlenen İklim Değişiklikleri

IPCC 5. Değerlendirme Raporu kapsamında 1. Çalışma Grubunun hazırladığı İklim Değişikliğinin Fiziksel Bilim Temeli Raporuna göre, *küresel iklimdeki ısınma kesindir ve 1950’li yıllardan beri iklimde gözlenen değişikliklerin çoğu son bin yıllık döneme kadar daha önce hiç görülmemiş düzeydedir* (IPCC, 2013). Geçen 30 yılın her 10 yılı, yeryüzünde 1850’den beri kaydedilen küresel yüzey sıcaklıklarının tüm on yıllık dönemlerinden daha sıcak olmuştur. Küresel ortalama yüzey sıcaklığı verileri, 1901 – 2010 döneminde, 0.89 °C’lik [0.69 – 1.08 °C güven aralığında] doğrusal bir artış göstermiştir. Bu dönem boyunca hemen tüm Yerküre yüzeyi ve atmosferin yaşamın ve hava olaylarının olduğu en alt katmanı olan Troposfer, küresel olarak 20’nci yüzyılın ortalarından beri ısınmıştır. 15 Şubat 2020 tarihine kadar güncellenmiş yüzey sıcaklığı gözlemlerini de içeren hesaplamalara göre, insan kaynaklı küresel ısınma değeri yaklaşık 1.14 °C’ye ulaşmıştır (<http://www.globalwarmingindex.org/>). Ayrıca, dolaylı eski iklim verileri, Kuzey Yarımküre’de 1983 – 2012 döneminin olasılıkla son 1400 yılın en sıcak 30 yıllık dönemi olduğunu gösterir. Bu dönemde, atmosfer ve okyanuslar ısınmış, kar ve buz tutarları azalmış, ortalama deniz düzeyi yükselmiş ve sera gazlarının atmosferdeki birikimleri artmıştır.

Küresel ölçekte 1900 – 2012 döneminde alansal ve zamansal olarak yüksek bir değişkenlik göstermiş ve yağış tutarlarında bölgesel ölçekte kuraklaşma ve artış eğilimleri gözlenmiştir. Kuzey Yarımküre karalarında yağışlar, 1901’den beri artmıştır. Kuzey ve Güney Amerika’nın doğu bölümleri, Kuzey Avrupa ve Asya’nın orta bölgeleri ile kuzeyinde kaydedilen yağış tutarlarında önemli artış eğilimleri gözlenirken, önemli kuraklaşma ya da azalış eğilimleri ise Sahel, Türkiye’yi de içeren Akdeniz havzası, Güney Asya’nın bir bölümü ile Afrika’nın güneyinde etkili olmuştur (IPCC, 2013; Türkeş, 2012a; Türkeş, 2012b; Türkeş, 2014a). Ayrıca, dünyanın birçok bölgesi ve Türkiye’deki şiddetli yağış olaylarında (aşırı yüksek ve aşırı düşük yağışlar, vb.) ve ortalama hava sıcaklıklarında da önemli artışlar

gözlenmiştir (IPCC, 2013; Türkeş, 2013a; Türkeş ve Erlat, 2018a, vb.). Dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi, Türkiye’de de yağışlardaki değişimler uzun süreli eğilimlerden çok, çeşitli değişim ve dalgalanma biçimleriyle birlikte kurak ve nemli (yağış) dönemlerin sıklıklarında ve büyüklüklerinde belirlenen önemli değişiklikler biçiminde olmaktadır (Tatlı ve Türkeş, 2008; Tatlı ve Türkeş, 2011; Trigo ve ark., 2006; Türkeş, 1996, 1998, 2013a, 2016a; Türkeş ve Erlat, 2003, 2005; Türkeş ve Tatlı, 2009; Türkeş ve ark., 2009a, 2009b). Yağış değişimlerinin alansal değişkenliği de kuvvetlidir. Sözü edilen bu kuraklaşma eğiliminden Türkiye’de en fazla, Ege, Akdeniz, Marmara, İç ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri etkilenmiştir.

Son 40 yılda özellikle kış mevsimindeki ve yıllık yağış değişiklikleri dikkate alındığında, Türkiye’deki kuraklık olaylarının en şiddetli ve geniş yayımlı olanları, 1971-1974, 1983-1984, 1989-1990 ve 2007-2008 dönemleri ile 1996 ve 2001 yıllarında oluşmuştur (Tatlı ve Türkeş, 2008; Türkeş, 1999, 2013a; Türkeş ve Erlat, 2003, 2005, 2018a; Türkeş ve Tatlı, 2009; Türkeş ve ark., 2009a ve 2009b). Türkiye’nin büyük bölümünde etkili ve şiddetli su açığının ve yetersizliğinin yaşanmasına yol açan 2007-2008 kuraklığının ardından, 2009-2011 döneminde genel olarak uzun süreli ortalama ya da normal yağıştan daha nemli/yağışlı koşullar (yağışlı ya da ıslak devre) egemen olmuştur (Türkeş, 2013a, 2014a, 2018). Ancak, 2012 yılında karasal İç Anadolu ve Doğu Anadolu’nun bazı bölümlerinde yeniden etkili olmaya başlayan meteorolojik kuraklıklar, yaz kuraklığıyla birleşerek, 2013 yılının Türkiye’nin büyük bölümünde, özellikle karasal İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri ile Orta ve Doğu Akdeniz, Doğu Marmara ve Orta Karadeniz bölümlerinde ortadan olağanüstü kuraklığa kadar değişen şiddette kurak geçmesine yol açmıştır. Sonuç olarak, 01 Ekim 2013 – 17 Ocak 2014 tarihleri arasında Türkiye geneli için hesaplanan kümülatif yağış tutarında, uzun yıllar ortalamasına göre % 37 ve 2013 yılına göre de % 47.4 oranında azalma gerçekleşti (Türkeş ve Yıldız, 2014). 2013-2014 kuraklığı, 6 ay ve daha uzun zaman ölçekleri için hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) dağılım desenlerine bakıldığında açıkça görüleceği gibi, bir meteorolojik kuraklık olayı

olmaktan çıkarak birçok bölgede ve yörede tarımsal ve hidrolojik kuraklıklara dönüşmüştür (Türkeş, 2014a).

IPCC (2013)'ye göre de "Birçok aşırı hava ve iklim olayında 1950'den beri değişimler olduğu gözlenmiştir." Yüksek olasılıkla, küresel ölçekte soğuk gün ve gecelerin sayıları azalmış, sıcak gün ve gecelerin sayısı artmıştır. Avrupa, Asya ve Avustralya'nın geniş bölgelerinde sıcak hava dalgalarının sıklığı olasılıkla artmıştır. Bu tür değişiklikler, genel olarak Doğu Akdeniz ve Türkiye'de, özellikle 1990'lı yıllarla birlikte donlu ve kar yağışlı günlerin belirgin bir şekilde azalması; önemli bir bölümü istatistiksel olarak anlamlı olmak üzere, sıcak günlerin ve gecelerin sayıları ile gece en düşük ve gündüz en yüksek hava sıcaklıklarının artması; gündüz en yüksek-gece en düşük sıcaklık farklarının azalması şeklinde kendisini hissettirmiştir (Erlat ve Türkeş, 2008, 2012, 2013; Türkeş ve ark., 2002; Türkeş ve Sümer, 2004; Kartum ve ark., 2011). Başka bir deyişle, Türkiye'de yaklaşık son 25 yıllık dönemde, hem sıcaklık rejimi belirgin olarak daha ılıman ve sıcak (çoğu bölgede tropikal) koşullara doğru değişmiş, hem de sıcak hava dalgalarının sıklığında ve şiddetinde önemli değişimler gerçekleşmiştir (Kuglitsch ve ark., 2010; Türkeş, 2013a; Türkeş ve Erlat, 2018a, 2018b).

Bunlara ek olarak, sera gazlarının atmosferik birikimindeki artışların, yüzey sıcaklıkları, alt troposfer hava sıcaklıkları, buharlaşma, bulut, yağış ve nem gibi değişkenlerde bölgesel ve küresel değişikliklere yol açması beklenmektedir. Türkiye'de ve onu çevreleyen bölgeler için gelecek iklim ve iklim değişkenliğine ilişkin küresel ve bölgesel iklim model benzeştirmelerinin kestirimleri, Türkiye'de genel olarak yağmur ve kar yağışlarının azalması, hava sıcaklıklarının, buharlaşmanın, sıcak hava dalgalarının ve kuraklık olaylarının sıklığı ve uzunluğunun artması vb. önemli iklimsel değişimlerin olacağını ve Akdeniz havzasındaki birçok ülke ile birlikte gelecekte Türkiye'nin de iklim değişikliğinden olumsuz etkileneceğini gösterir (ör. IPCC, 2013; Türkeş, 2012a; Türkeş, 2013b; Türkeş, 2014a). Tüm bu nedenlerle, iklim değişikliğinin etkilerini önlemek ya da en azından azaltabilmek ve ona uyum açısından, Türkiye'nin gelecekteki ikliminin öngörülmesi yaşamsal bir önem taşır.

Bu değerlendirme çalışmasında (İng: review), önce Dünya'da ve Türkiye'de gözlenen iklim değişikliği ve değişkenliğine ilişkin hakemli bilimsel çalışmalara dayanan başlıca bulgu ve sonuçların alansal ve zamansal bir değerlendirmesi yapılmış; ardından ağırlıklı olarak bu alanda son 10 yılda yayımlanmış hakemli çalışmalar ve IPCC'nin güncel inceleme ve

gözden geçirmelerinden yararlanarak, "iklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gıda güvenliğine etkileri" -başta ürün rekolteleri üzerindeki etkileri olmak üzere- çeşitli yönleriyle gözden geçirilerek bilimsel olarak değerlendirilmiştir.

2. Öngörülen Küresel ve Bölgesel İklim Değişiklikleri

Hızla gelişen iklim modelleri, gözlenen kıtasal ölçekli yüzey sıcaklığı desenlerini ve onlarca yıllık zaman ölçeklerindeki eğilimleri, 20'nci yüzyılın ortalarından beri gözlenmiş olan daha hızlı ısınma eğilimini ve büyük volkanik püskürmelerden hemen sonra ortaya çıkan soğumayı yeniden üretmektedir. İnsan etkisi, atmosfer ve okyanus ısınmasında, küresel su döngüsündeki değişikliklerde, kar ve buzdaki azalmalarda, küresel ortalama deniz düzeyi yükselmesinde ve bazı aşırı iklim olaylarındaki değişikliklerde saptanmıştır. İnsan etkisi *çok yüksek olasılıkla* 20'nci yüzyılın ortasından beri gözlenen ısınmanın en önemli nedeni olmuştur (IPCC, 2013, 2018).

IPCC'ye (2013) göre, sera gazlarının sürmekte olan salımları, daha fazla ısınmaya ve başta buharlaşma ve yağış olmak üzere iklim sisteminin tüm bileşenlerinde değişikliklere neden olacaktır. İklim değişikliğinin sınırlandırılması, sera gazı salımlarının önemli ve sürekli azaltılmasını gerektirecektir. IPCC 2013'teki yeni senaryolara (Temsili Konsantrasyon Yolu - RCP) dayalı öngörülen iklim değişikliği, senaryo farklılıkları hesaba katıldıktan sonra, hem desenler hem de büyüklük açısından bir önceki IPCC Raporu'ndakine (2007) benzemektedir. Küresel yüzey sıcaklığı değişikliği, 21'nci yüzyılın sonuna kadar, biri (RCP2.6) dışında tüm IPCC senaryolarına (RCP'ler) dayanarak *olasılıkla* 1850-1900 dönemine göre 1.5 °C'yi ve iki yeni senaryoya (RCP6.0 ve RCP8.5) göre *olasılıkla* 2 °C'yi aşacaktır. Küresel ısınma, 2100 yılı sonrasında da sürecektir. Küresel ısınma ve yağış değişimleri, yıllar arası değişkenlikten on yıllık değişkenliklere kadar çeşitli değişkenlikler sergilemeyi sürdürecektir ve bölgesel olarak türdeş olmayacaktır.

Okyanuslar, 21'nci yüzyıl boyunca da ısınmalarını sürdürecektir. Yüzeyde biriken ısı enerjisi, derin okyanusa doğru geçecek ve okyanus dolaşımını etkileyecektir. Arktik deniz buzu örtüsü *olasılıkla* azalmaya ve incelmeye devam edecek ve Kuzey Yarımküre ilkbahar kar örtüsü, küresel ortalama yüzey sıcaklığı yükseldikçe, 21'nci yüzyıl boyunca azalacaktır. Küresel ortalama deniz düzeyi 21'nci yüzyıl boyunca yükselmesini sürdürecektir. Tüm IPCC senaryoları, deniz düzeyi yükselmesinin oranının, artan

okyanus ısınması ve buzullar/buz kalkanlarından artan kütle kaybı nedeniyle, *yüksek olasılıkla*, 1971-2010 döneminde gözlenen yükselmeyi geçeceğini göstermektedir. Dahası, iklim değişikliği, atmosferdeki CO₂'nin artışı daha da büyütürken, karbon döngüsü süreçlerini etkileyecektir. Karbonun okyanuslar tarafından daha fazla biriktirilmesiyle, okyanus asitliliğinin artmasına yol açacaktır. Bu noktada, küresel iklim değişikliğinin pek çok özelliğinin ve etkisinin, CO₂ ve diğer sera gazı salımları durdurulsa bile yüzyıllarca süreceğini hatırlatmak gerekir. Ayrıca bu olgu, insan kaynaklı sera gazlarının geçmiş, günümüz ve gelecek salımlarının neden olduğu yüzyıllarca süreceği önemli bir iklim değişikliği yükümlülüğünün (ör. BM Kyoto Protokolü ve sonrası) de varlığını sürdüreceğini göstermektedir.

Türkiye’de ve onu çevreleyen bölgelerde (genel olarak Balkanları ve Orta Doğu Bölgesini içeren Doğu Akdeniz Havzası) gözlenen iklim değişikliği ve değişkenliğine ilişkin çalışmalar ile küresel ve bölgesel iklim modellerinin benzeştirmeleri ve kestirimleri, Türkiye’de önemli iklimsel değişimlerin olduğunu ve Akdeniz havzasındaki birçok ülke ile birlikte gelecekte Türkiye’nin de iklim değişikliğinden olumsuz etkileneceğini gösterir. Tüm bu nedenlerle, iklim değişikliğinin etkilerini önlemek ya da en azından azaltabilmek ve ona uyum açısından, Türkiye’nin gelecekteki ikliminin öngörülmesi yaşamsal bir önem taşır. Dellal *ve ark.* (2011), Tatlı ve Türkeş (2008, 2011), Önal ve Semazzi (2009), Altınsoy *ve ark.* (2012), Önal ve Unal (2014); Öztürk *ve ark.* (2012, 2013, 2015), Turp *ve ark.* (2014), Türkeş *ve ark.* (2011, 2020), Sen *ve ark.* (2012), Türkiye’nin gelecek iklimini ve iklimsel değişkenliklerini ortaya koymaya yönelik sınırlı bölgesel iklim modeli çalışmalarına örnek olarak verilebilir.

3. İklim Değişikliğinin Tarımsal Üretim ve Gıda Güvenliğine Etkileri

3.1. Gıda Güvenliği ve İklim (değişikliği) Bunalımı (krizi)

Gıda güvenliği, *tüm insanların kendi beslenme gereksinimlerini karşılamak üzere her an, yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya fiziksel ve ekonomik olarak ulaşabilmesi ve gıda tercihlerinin etkin ve sağlıklı bir yaşam için karşılanması* olarak tanımlanabilir (World Food Summit, 1996). İklim değişiklikleri, sıcak hava dalgaları, taşkın ve kuraklıklar gibi aşırı hava ve iklim olayları ve afetlerindeki artışların, gıda temininin kararlılığını kesintiye uğratacağı beklenmektedir. Dünyanın sahip olduğu gıda varlığı, tarım yapılabilen alandaki ve tarımsal ürün tutarındaki değişikliklerden etkilenmektedir. İlgili başka etmenlerle birlikte gıda

üretimindeki değişikliklerin, gelecekte de gıda fiyatlarını etkileyeceği ve yoksul ailelerin ve toplumların yeterli ve nitelikli gıdaya ulaşma olanaklarını kısıtlayacağı beklenmektedir. Bazı bölgelerde, özellikle bugünkü iklim koşullarında zaten genel olarak su sıkıntısı ve kıtlığı yaşayan gelişme yolundaki ve az gelişmiş bölgelerdeki azalan su varlığı ve niteliği, ishal hastalıkları, tifo ve kolera salgınları gibi sağlık ve hijyen sorunlarında belirgin bir artışla sonuçlanabilir. Bu durum, esas olarak sıcaklık ve yağış rejimleri ve değişkenliklerindeki değişiklikler gibi iklimsel değişikliklerle bağlantılı vektör kökenli salgınların (ör. malarya, dang humması ve sarıhumma, lime hastalığı, vb.) desenlerindeki değişikliklerle birlikte gıda kullanımını olumsuz yönde etkileyerek, gıda yetersizliğini ve kötü beslenmeyi artırma potansiyeline sahip olur.

İklim değişikliğinin gıda güvenliği üzerindeki olumsuz etkilerini göstermek için Met Office ve WFP uzmanlarının geliştirdiği Açlık ve İklimsel Etkilenebilirlik İndisi (HCVI) (Met Office, 2012), gıda güvenliği ve iklim değişikliği arasındaki karmaşık etkileşimleri gösterme konusundaki yeni bilimsel ilerleme çabalarının ilklerinden biridir. Bu indise dayalı çözümlenme, Türkçe’de iklimsel etkilenebilirlik (iklim etkilerine açık olma) ya da iklim değişikliğinden etkilenebilirlik olarak adlandırabileceğimiz bir kavrama dayanır. Çeşitli tanımlarından (ör. IPCC’nin, 2013; Türkeş, 1999, 2013b, 2014b; Türkeş ve Akgündüz, 2011) yararlanarak, iklim değişikliğinden etkilenebilirlik, *“bir topluluk ya da sistemin (fiziki coğrafyaya ilişkin ve ekolojik sistemin ya da sosyoekonomik sektörün) iklim değişikliği stresinden (gerilim ve baskı) etkilenme ya da etkiye açık olma derecesi, gerilimi karşılama ya da yanıtlama düzeyi (duyarlılık) ve iklim değişikliklerine uyum düzeyi (uyum kapasitesi) arasındaki ilişki”* şeklinde en geniş anlamıyla tanımlanabilir. Bu tanımda, iklim değişikliği terimi yerine iklim kullanılırsa, bu durumda iklimsel etkilenebilirlik kavramını elde ederiz.

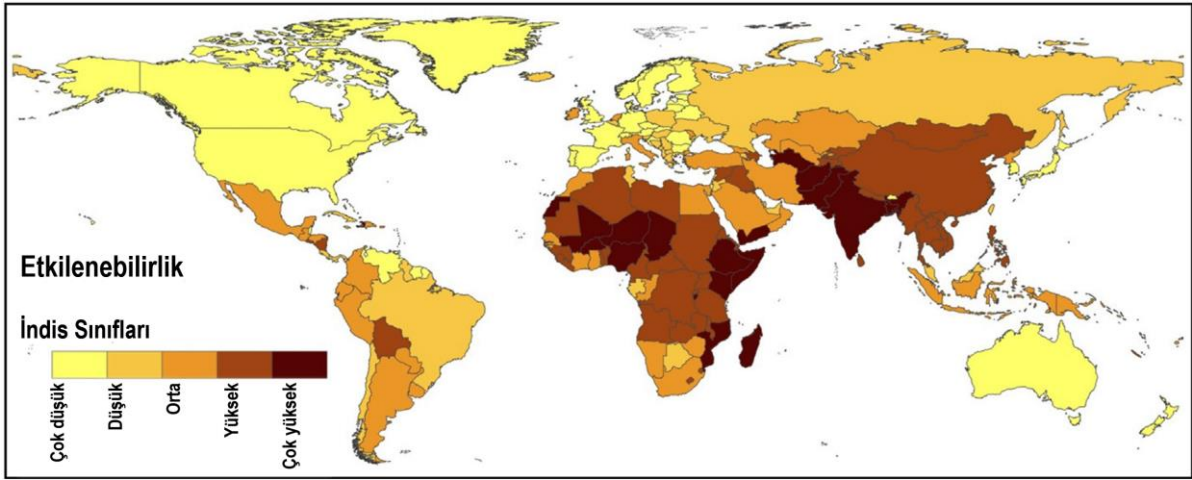
Met Office (2012)’in geliştirmiş olduğu ilk HCVI, ileri düzey istatistiksel çözümlenmeler yapılarak çeşitli değişken ve etmenlerin gıda güvenliği ile olan ilintilerine dayanılarak belirlenmiştir. İstatistiksel çözümlenmeler sonucunda, etkiye uğrama ya da bakı (demografik özellikler, iklim ilişkili afet sıklığı ve şiddeti), duyarlılık (tarımsal, coğrafi ve ekolojik özellikler) ve uyum kapasitesi (sosyoekonomik, alt yapı ve yönetim) için toplam 17 gösterge seçilmiştir. Gıda güvenliği ve iklim değişikliği arasındaki karmaşık etkileşimleri gösteren bu çalışmada, dünya ölçeğindeki yetersiz beslenme ve yetersiz gıdaya erişim temel

alınarak, açlık ve iklimsel etkilenebilirlik, 'çok düşük', 'düşük', 'orta', 'yüksek' ve 'çok yüksek' olarak tanımlanmıştır. Dünya üzerindeki yetersiz beslenme ve gıda yetersizliğinin düzeyini farklı boylardaki insan figürleriyle (Türkiye % 1-5 sınıfında) gösteren çalışmada üretilen haritada (burada verilmedi), Türkiye açlık ve iklimsel etkilenebilirlik açısından *orta düzeydeki* ülkeler sınıfında yer almıştır.

Bu kapsamdaki daha yeni bir çalışmada, Krishnamurthy ve ark. (2014), iklim riskinin ulusal düzeyde gıda güvenliği üzerindeki etkilerini bir etkilenebilirlik indisi ile kolaylıkla değerlendirmeye yönelik metodolojik yaklaşımı ayrıntılı bir biçimde açıklamıştır. Söz konusu görece daha yeni çalışmada, anlaşılması ve yorumlanması oldukça kolay yeni bir **Açlık ve İklimsel Etkilenebilirlik İndisi** haritası verilmiştir. Türkiye bu yeni haritada da orta düzeyde etkilenebilirlik sınıfındaki ülkeler arasında gösterilmiştir (Şekil 1). Krishnamurthy ve ark. (2014)'nın çalışmasında, HCVI'ye ek olarak, konuya ilişkin daha ayrıntılı değerlendirmelerin yapılmasına olanak sağlayan çok işlevsel başka haritalar da üretilmiştir. Bu haritalarda (burada verilmedi), ülkelerin 'uyum kapasitesi', 'hassaslık' ve 'bakı' ana etkilenebilirlik bileşenleri çözümlenmiştir. Bu haritalara göre, Türkiye

'hassaslık' açısından *çok yüksek* sınıfta yer alırken, 'uyum kapasitesi' ve 'bakı' indis sınıfları açısından göreceli olarak *orta düzeyde* etkilenebilir ülkeler arasında yer almıştır. Bu sonuçlar bize, bugünkü iklim açısından hassaslığı *çok yüksek* olduğu için, Türkiye'nin iklim değişikliği koşulları altında gelecekteki HCVI puanlarının artabileceğini, başka bir deyişle *yüksek* ya da *çok yüksek* indis sınıflarına yükselebileceğini göstermektedir.

Gerçekte bu tarz çalışmalarda üretilen haritalar, yetersiz beslenmenin yanı sıra, aşırı hava ve iklim olayları ve afetlerine karşı gıda güvenliği ve etkilenebilirliğinin günümüzdeki göreceli düzeyleri hakkında da bilgi vermektedir. HCVI indisi, onu politikacılar ve karar vericiler açısından gelecekteki açlık riskini azaltmak ve öncesinde açlığa karşı gerekli önlemleri alarak hazırlıklı olunmasını sağlamaya yardımcı olacak değerli bir araç oluşturmak amacıyla, iklimsel etkilenebilirliğin gelecekte nasıl değişebileceğini öngörmek için genişletilebilir ve geliştirilebilir. Bazı belirsizlikleri olmakla birlikte, bu ve benzeri etkilenebilirlik indislerinden yararlanarak yeterli önerilerle donatılan sağlam ve tutarlı gelecek planları yapmak da olasıdır.



Şekil 1- İklim değişikliğinin ülkelerin gıda güvenliği üzerindeki etkilerini gösteren **Açlık ve İklimsel Etkilenebilirlik İndisi**'nin (HCVI) coğrafi dağılışı (Krishnamurthy et al., 2014). Harita, ülkelerin bugünkü iklim ve sosyoekonomik profillerine dayanarak, gıda güvenliklerinin iklim riskinden etkilenebilirliğini birbirlerine oranla göreceli olarak göstermektedir. Bu yüzden, etkilenebilirlik indis sınıfları da açıklayıcı olmaktan çok göreceli değerler olarak yorumlanmalıdır.

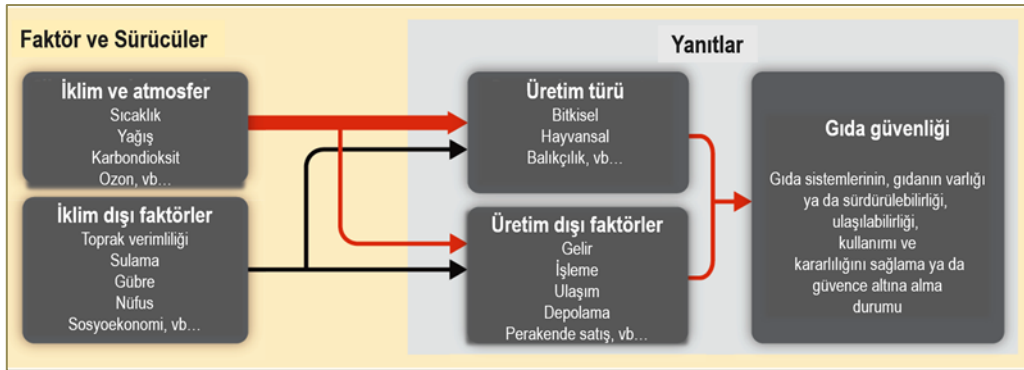
Figure 1- Geographical distribution of the **Hunger and Climate Vulnerability Index** (HCVI) depicting impacts of the climate change on the food security of the countries (Krishnamurthy et al., 2014). This map can be interpreted as a baseline indicating the vulnerability of countries' food security to climate risk, relative to each other, based on their current climate and socioeconomic profiles. Consequently, the vulnerability index values should also be interpreted as relative values, rather than indicative.

Günümüzde birçok çalışma, bugünkü ve özellikle gelecek iklim değişikliği ve değişkenliğinin yerel ölçekte ve bu değişikliklerin tarım, su, toprak kaynakları ve pazarlar (rekabet, arz-talep, fiyat, vb.) gibi sistemler üzerindeki etkileri açısından ne anlama geldiği şeklindeki gerekli bilimsel ve sosyoekonomik ayrıntıların önem ve karmaşıklığını işaret etmiştir (ör. Cline, 2008; FAO-WFP-IFAD, 2012; Jamieson *ve ark.*, 2000; IPCC, 2014, 2018; Lobell *ve ark.*, 2007; Müller *ve ark.*, 2009; Özdoğan, 2011; Özkan and Akcaöz, 2002; Rosenzweig ve Hillel, 1998; Sen *ve ark.*, 2012; Türkeş ve Tatlı, 2009; WB, 2010; vb.). Bazı iklim etki model kestirimleri, 2050 yılına kadar iklim değişikliği nedeniyle 100-200 milyon insanın daha açlık riskiyle karşılaşabileceğini göstermektedir. Öte yandan, konuyla ilgili bazı önemli belirsizlik ve yetersizliklerin olduğunu da unutmamalıyız. Örneğin, gelecekte küresel ve bölgesel iklimin ortalama durumundaki ve değişkenliğindeki değişikliklerin etkilerinin rasyonel olarak belirlenmesi açısından, IPCC model kestirimleri ve diğer modelleme grup, kuruluş ve enstitülerinin model ürünlerinin, tarım konusuna gelindiğinde model

kestirimlerinin ‘karbondioksit gübrelemesi’ adı verilen bir kuramı kabul etmelerinden kaynaklanan başlıca zayıflığa dikkat etmemiz gerekir. Karbondioksit gübrelemesi, atmosferdeki yüksek CO₂ birikim düzeylerinin birçok temel tarımsal üründe fotosentez sürecini kuvvetlendireceği ve bunun sonucunda elde edilen toplam ürün tutarının (rekolte) yükseleceğini kabul etmektedir.

3.2. İklim Değişikliğinin Tarımsal Gıda Üretimi ve Gıda Güvenliğine Etkilerinin ve Nedenlerinin Saptanması

İklim değişikliğinin gıda üretimi ve gıda güvenliğine etkileri açısından dikkate alınan başlıca konular Şekil 2’de özetlenmiştir. Şekilde sürücüler/denetleyici düzenekler, gıda sistemlerinin üretici ve üretici olmayan öğelerini etkileyen ve gıda güvenliğini sağlayan iklim ve iklim dışı öğeler olarak ikiye bölünür. Yanıtlar ise, üretim türü, üretim dışı etmenler ve gıda güvenliği başlıkları altında toplanmış durumdadır.



Şekil 2- Gıda üretimi ve gıda güvenliğinin başlıca faktör ve sürücülerini (Porter *ve ark.*, 2014; IPCC, 2014). Faktör ve sürücüler, gıda sistemlerinin üretici ve üretici olmayan öğelerini etkileyen ve gıda güvenliğini sağlayan iklim ve iklim dışı öğeler olarak ikiye bölünür. Kırmızı çizgilerin kalınlığı bu iki öğe hakkındaki hakemli yayımların (birbirlerine göre) bağlı çokluğunun bir göstergesidir.

Figure 2- Main factors and drivers of the food production and food security (Porter *et al.*, 2014; IPCC, 2014). Drivers are divided into climate and non-climate elements, affecting production and non-production elements of food systems, thereafter, combining to provide food security. The thickness of the red lines in the figure is a kind of indicative of the relative availability of refereed publications on the two elements.

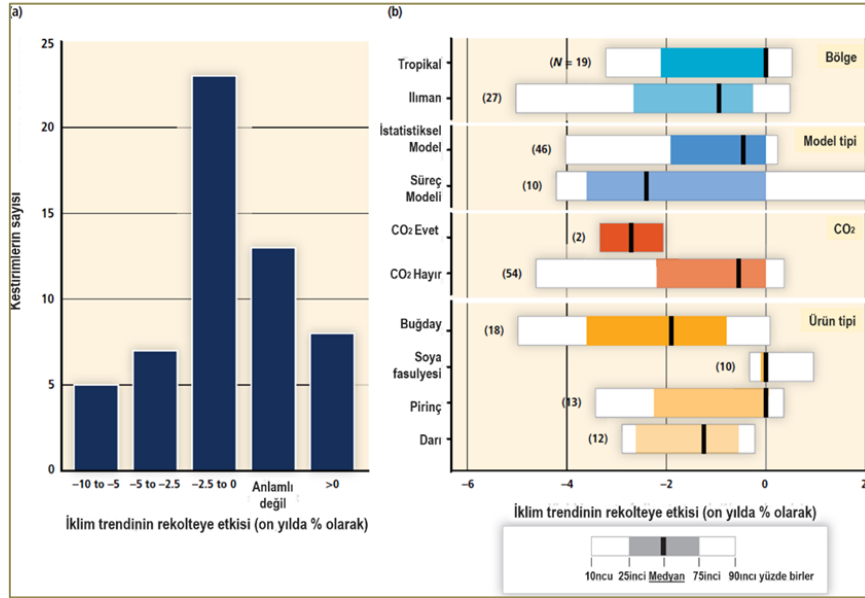
3.2.1. Gıda üretimi

Gıda üretimi sistemleri açısından, kültür üretiminin geliştirilmesi ya da sulama ve gübre kullanımındaki artışlar gibi iklim ilişkili olmayan faktör (etmen) ve sürücülerin (denetleyici düzenek) sayısı ve gücü, olası tüm bağlantı ve yanıtların karşılaştırılmasını sağlayabilecek net bir temel düzeyin tanımlanmasını çok zorlaştırır (Şekil 2). İklimsel olmayan etmenlerin

çoğu, alansal ve zamansal dağılımlar açısından iyi nitelenmez ve bu etmenler arasındaki ilişkiler ile yapılmak istenen üretimin özel çıktılarının değerlendirilmesi sıklıkla kolay değildir. Gıda üretiminde gözlenen herhangi bir değişikliği iklimde gözlenen değişimlerle ve eğilimlerle (burada kısaca eğilim olarak kullanılacak) ilişkilendirmek (bağlantılı etmen, düzenek ya da süreçlere, vb.), iklim ve tarıma

ilişkin modellerin çiftçi davranışları ve alışkanlıkları hakkında kabuller yapmaları zorunluluğu bulunduğu gerçeği yüzünden düşünüldüğünden çok daha karmaşıktır. Birçok durumda, modeller çiftçilik uygulamaları ya da teknolojileri, ilgilenilen ya da çalışma dönemi süresince egemen iklime olan yanıtı

gerçekçi biçimde yansıtamaz. Bazı durumlarda iklim koşulları ve bitkisel üretim arasındaki ilişkinin, sulamaya başlanması ya da ürün çeşitlerinin değiştirilmesi gibi yönetim değişiklikleri nedeniyle zamanla değiştiği gösterilmiştir (Zhang et al, 2008; Liu ve ark., 2009; Sakurai ve ark., 2012).



Şekil 3- Dört ana ürüne ilişkin reelte için güncel iklim eğilimlerinin (trend) etkilerine ilişkin kestirimlerin özet gösterimi (Porter ve ark., 2014; IPCC, 2014). Burada temel alınan çalışmalar IPCC tarafından hakemli literatürden seçilmiş ve farklı yöntemler (ör. süreç temelli ya da istatistiksel modeller), alansal ölçekler (istasyonlar, iller, ülkeler ya da eyaletler) ve zaman periyotları (29 yılın medyan uzunluğu) kullanılmıştır. Bazıları pozitif karbondioksit (CO₂) trendlerinin etkilerini içerirken bazıları içermemiştir. (a) Farklı etki düzeyleri ile birlikte kestirimlerin sayısını (her on yılda % reelte); (b) CO₂ etkileri içerilmiş ve ürün dikkate alınmış olsun ya da olmasın, model kestirimlerinin kutu çizimleri, ılımana karşı tropikal iklim bölgeleri ve modelleme yaklaşımları (süreç temelliye karşı istatistiksel) tarafından ayrılmıştır. Kutu çizimleri, her kategorideki öngörülen etkileri ve kestirimlerin sayısını gösteren parantezler içindeki değerler için, medyanı (dikey çizgi), 25.'den 75. yüzde birlere (renkli kutu) ve 10'ncudan 90'ncı yüzde birleri gösterir.

Figure 3- Summary of the estimates for impacts of recent climate trends on yields for four major crops (Porter et al., 2014; IPCC, 2014). Studies were taken by the IPCC from the peer-reviewed literature and used different methods, spatial scales, and time periods. (a) Number of estimates with different level of impact (per cent yield per decade). (b) Boxplot of estimates separated by temperate vs. tropical regions, modelling approach, whether CO₂ effects were included, and crop. Boxplots indicate the median (vertical line), 25th to 75th percentiles (coloured box), and 10th to 90th percentiles (white box) for estimated impacts in each category, and numbers in parentheses show number of estimates.

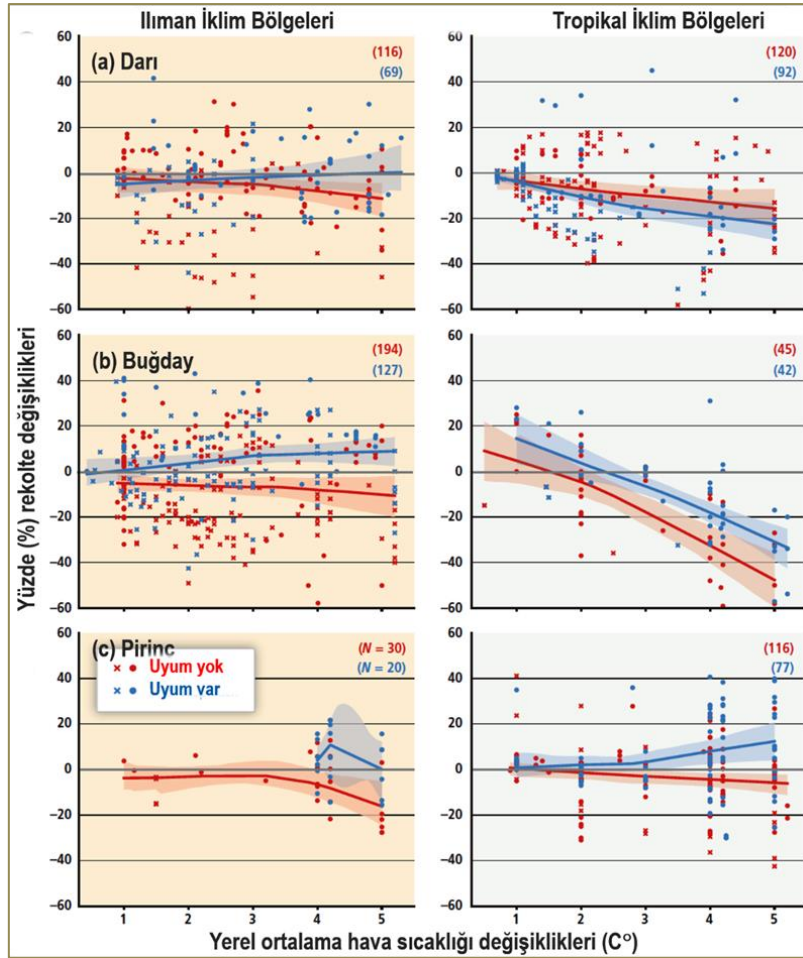
Gözlenen reelte gerçekteki düzeyleriyle karşılaştırmalarına ve bu yüzden günümüzde kabul gören gerçekte arama ve bağlantı kurma çalışmaları olmamalarına karşın, ürün sistemlerine ilişkin birçok çalışma gözlenen iklim değişikliklerinin geçen yarım yüzyıllık dönemdeki ürün reeltelerine olan etkilerini kestirmiştir. Bu çalışmalar fiziksel ve istatistiksel yaklaşımları temel almışlar ve çeşitli modelleri gözlenen tarihsel iklimle (klimatoloji) çalıştırdıktan sonra modellenen çıktılardaki eğilimleri

hesaplamışlardır. Bu çalışmalara dayanarak, iklim eğilimlerinin orta güven düzeyinde birçok bölgede buğday ve mısır üretimlerini negatif etkiledikleri ortaya konulmuştur (Şekil 2).

Şekil 3'teki sembollere ilişkin reelte değerleri arasındaki farklar, CO₂ gübreleme etkisini ölçmez; yağıştaki değişiklikler gibi öteki öge ya da etmenlerdeki değişiklikler de çalışmalar arasındaki farklılıkları gösterebilir. Bu verinin alt setlerinin parametrik olmayan regresyon (LOESS, span =1 ve derece = 1)

çözümlemesi 500 kere tekrarlanmış. Şekilde gölgeli bant ile gösterilmiş olan örnekler % 95 güven aralığındadır. Regresyon eğrisi çizimleri, basit agronomik uyumun varlığına (mavi renkli) ya da yokluğuna (kırmızı renkli) göre düzenlenmiştir. Örneğin, tropikal darı durumunda, uyumun yokluğunda merkez regresyon uyumun var olduğu sonuca oranla daha yüksektir. Öte yandan, bölgesel çalışmaların birçoğu ana üreticiler için olduğundan ve bir küresel çalışma (Lobell *ve ark.*, 2011a) bu ürünlerin negatif

etkilerini kestirdiği için, buğday ve mısırın küresel toplam üretimine olan negatif etkileri orta güvenilirlik düzeyinde kabul edilebilir. Pirinç ve soya fasulyesi rekolteleri üzerindeki etkiler başlıca üretim bölgelerinde ve küresel olarak küçüktür (Şekil 3). Kuzeydoğu Çin ya da Birleşik Krallık gibi bazı yüksek enlem bölgelerindeki tarımsal ürün üretiminin küresel ısınmadan yararlandığı da yüksek bir güvenilirlikte (Jaggard *ve ark.*, 2007; Chen *ve ark.*, 2010; Supit *ve ark.*, 2010; Gregory *ve Marshall*, 2012).



Şekil 4- Üç ana ürün ve ılıman ve tropikal bölgeler için yerel hava sıcaklığı değişikliğinin bir fonksiyonu olarak yüzde benzeştirilmesi yapılmış olan rekolte değişikliğinin gösterimi (bazı değişikliklerle birlikte Porter *ve ark.* (2014) ve IPCC'ye (2014) göre yeniden düzenlenmiştir). Atmosferik CO₂'deki bilinen bir değişikliğin yerini gösteren noktalar çalışmada kullanılmış; kalan veri ise x şeklinde gösterilmiştir. Bu semboller arasındaki rekolte değerindeki farklar CO₂ gübreleme etkisini yağış gibi faktörlerdeki değişiklikler kadar ölçemez.

Figure 4- Percentage simulated yield change as a function of local air temperature changes for three major crops and for temperate and tropical regions (re-arranged with some modifications according to Porter *et al.* (2014) and IPCC (2014)). Dots show where a known change in atmospheric CO₂ was used in the study, and remaining data are indicated by x. Differences in yield value among these symbols do not measure the CO₂ fertilization effect, as changes in other factors such as precipitation.

İklim değişikliği koşulları altında, farklı iklim bölgelerindeki ana ürünlerde değişen hava sıcaklığı ve yağış klimatolojilerindeki değişikliklerinin öngörülmesi önemlidir. Bu kapsamda Şekil 4, üç ana ürün ve ılıman ve tropikal bölgeler için yerel hava sıcaklığı değişikliğinin bir fonksiyonu olarak yüzde benzeştirilmesi yapılmış olan rekolte değişikliğinin gösterir (Porter ve ark., 2014). Uyumun olduğu ve olmadığı (uyum var ya da yok) ürünlerin karşılaştırıldığı tüm çalışmalar için geçerli olmamakla birlikte, bu durum IPCC tarafından yeniden değerlendirilen verinin asimetric olmasıyla ilgili olabilir. Şekil 4'teki 1048 veri noktasının yalnızca dördünün 6 panelde de verilen rekolte değişikliği aralığının dışında kalışı dikkat çekicidir. Bunlar Porter ve ark. (2014) tarafından sonuçların net anlaşılabilmesi için göz ardı edilmiştir. Bazı çalışmalar merkez noktalarının tipik olarak 1970 ve 2005 yılları arasında olduğu zamansal temel düzeyle bağlantılıdır. Ürün bölgelerindeki yerel ısınma, genellikle ortalama küresel ısınma düzeyinden daha yüksektir. Porter ve ark. (2014)'nın değerlendirmesinde kullanılan veriler çeşitli hakemli literatürden alınmış ve IPCC yaklaşımlarıyla değerlendirilmiştir.

3.2.2 Gıda üretiminin hava ve iklime hassaslığı

3.2.2.1. Ortalama ve ekstrem hava sıcaklığı ve yağış koşulları

2000'li yıllarla birlikte ürün rekolteilerinin hava sıcaklığına verdiği, yanıtı değerlendirmeyi amaçlayan hem istatistiksel hem de süreç temelli modeller daha yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Model sonuçları artan ortalama hava sıcaklığı koşullarında yetiştirilen ürünlerin olgunlaşma zamanının kısalması, ya da çiçeklenme döneminde yüksek hava sıcaklıkları gerçekleştiğinde tane/tohum tutarında azalma olması gibi (Moriondo ve ark., 2011) ve büyüme döngüsü boyunca yüksek hava sıcaklıklarında artan su stresinin (gerginliğinin, sıkıntısının) (Lobell ve ark., 2013a) anahtar fizyolojik süreçler olarak bilinen bu süreçlerin önemini doğrulamaktadır (Iqbal ve ark., 2009). Sıcaklık yanıtları genel olarak ürün gelişimi için gerekli optimum sıcaklığa uyan hava sıcaklıkları iyi anlaşılmalıdır. Ürün gelişiminin optimumunun dışındaki uzun süreli sıcaklık dönemlerinin etkileri ise iyi anlaşılmamıştır (Craufurd ve Wheeler, 2009). Örneğin, çiçeklenme dönemi sonrasındaki 32-34°C üzerindeki yüksek sıcaklıklar buğdayda yaşlanmayı hızlandırmaktadır (Asseng ve ark., 2011; Lobell ve ark., 2012). Ancak birçok ürün modeli bu süreci iyi temsil edememektedir (Sanchez ve ark., 2014). Ürün modelleri bunlar gibi abiyotik stresleri nicelendirmek amacıyla kullanılabilir, ancak bunun olabilmesi için hava koşullarına

fonksiyonel yanıtlar yalnızca deneysel çalışmalardan sağlanabilir hipotezi bölgesel ölçekte geçerlidir.

Hava ve rekolte arasındaki genel ilişki, egemen iklim, yönetim, toprak ve ürünlerin çeşitli koşullara karşı bakışının (maruziyet) zamanlama ve süresine bağlı olarak, sıklıkla ürüne ve bölgeye özeldir. Örneğin, Çin'deki pirinç rekoltesi bazı bölgelerde pozitif korelasyon (istatistiksel ilişki) gösterirken, diğer bölgelerde negatif ilişkili çıkabilmiştir (Zhang ve ark., 2008, 2010). Bölgesel farklılıklar, ilk örnekte hava sıcaklığı ve Güneş ışınımı (radyasyon) arasındaki pozitif ilişki nedeniyle olabilirken, sonraki örnekte hava sıcaklığı ve su stresi arasındaki negatif ilişkiyle bağlantılı olabilir. Benzer biçimde, çalışmalar birbirleriyle tutarlı olarak pirinçte 33 °C'yi aşan gündüz sıcaklıkları için başakta verimsizlik göstermesine karşılık (Jadadish ve ark., 2007; Wassmann ve ark., 2009), bazı istatistiksel çalışmalar bu ekstremlere rekolteyi etkileyecek kadar sıklıkla ulaşılmadığı ya da gerçekleşmediği için gündüz zamanı ısınma rekolte üzerindeki pozitif etki göstermiştir (Welch ve ark., 2010). Rekoltenin hava sıcaklığına verdiği yanıt, rekoltenin düşük ya da yüksek hava sıcaklıklarınca sınırlandırılıp sınırlandırılmamasına bağlı olarak da değişebilmektedir. Ancak yüksek hava sıcaklıklarının soğuk ortam ya da çevresel koşullarda bile gelecek rekolteyi sınırlandırabileceğine ilişkin bulgular da söz konusudur (Semenov ve ark., 2012; Teixeira ve ark., 2013).

Öte yandan, ürünlerin üretkenlik düzeyleri açısından hava sıcaklığı ve su stresinin göreceli önemi modeller aracılığıyla değerlendirilebilir. Bu ise değerlendirme için kullanılan ölçütlere göre değişebilir (Challinor ve ark., 2010). Bazı durumlardaysa bir korelasyonun işaretinin, değişikliğin yönüne bağlı olduğu görülür. Örneğin, ürün rekolteilerinin Doğu Afrika'nın kurak arazilerindeki iklim değişikliğine verdiği yanıtların yağışlardaki artışlara hassas olmadığı bulunmuştur. Bunun nedeni, olasılıkla, daha nemli iklimler rekolteyi azaltma yönünde davranacak olan daha yüksek sıcaklıklarla bağlantılı olmasıdır. Genel olarak, yağışlar hava sıcaklıklarına oranla daha değişken bir alansal dağılım sergilediği için, yağışların alansal ortalamasındaki zamansal değişimler, alansal dağılım (bölge) genişledikçe azalma eğilimi gösterir. Sonuç olarak, yağışın geniş ölçekli iklim değişikliği etkileri çalışmalarında, ürün rekolteilerinin tahmin edicisi olarak daha az önemlidir (Lobell and Field, 2007; Li ve ark., 2010). Benzer biçimde, iklim model benzeşimi yağış değişikliği kestirimleri, analizin alansal ölçeği genişledikçe hava sıcaklıklarına göre alansal olarak daha değişken olma eğilimindedir (Lobell ve Burke,

2008). Bunların dışında, sulamanın zaman içinde artış gösterdiği yerlerde, sıcaklığın ürün rekoltelerine olan etkisinin yağışa oranla daha baskın olmaya başladığına ilişkin bulgular da vardır (Hawkins *ve ark.*, 2012). Kuraklığın ürün rekolteleri üzerindeki etkisi taşkınların etkileriyle karşılaştırıldığında, kuraklık daha yaygın araştırma konusu olarak belirmektedir.

Türkiye fındık, kayısı ve kiraz gibi bazı ticari tarımsal ürünlerde, dünya üretiminin önemli bir bölümünü gerçekleştirmektedir. Türkiye yüksek bir ticari değeri olan fındık üretiminde ve ihracatında dünya lideridir ve fındık üretimi ortalama koşullarında dünya üretiminin % 70'ine karşılık gelir. Türkiye'yi İtalya ve Azerbaycan, Gürcistan, İran vb. ülkeler izlemektedir (DGC, 2017). Bu yüzden iklim değişikliğinin fındık üretimine olabilecek etkileri, rekolte değişikliklerine duyarlı olan küresel fındık pazarını ciddi bir şekilde etkileyebilecektir. An *ve ark.* (2020), iklim değişikliğinin Türkiye fındık verimi üzerindeki etkilerini, RCP8.5 kötümser senaryosunu temel alarak bölgesel iklim modelinden elde ettikleri iklim değişkenlerini ve fındığın fenolojik dönemlerini dikkate alan bir istatistiksel model kullanarak çözümlenmiştir. Projeksiyonlar 2021-2050 gelecek dönemi için yapılmış ve referans dönem olarak 1991-2012 dönemi dikkate alınmıştır. An *ve ark.* (2020), 21. yüzyılın ortalarına kadar Türkiye'de fındık rekoltesinin bugünkü üretim alanlarının (çalışmada temel alınan 88 lokasyona göre) yaklaşık yarısında % 13'e ulaşan bir oranda azalacağını ve fındık kalitesinin bozulacağını öngörerek, azalmanın çoğunun Doğu Karadeniz Bölümü'nde gerçekleşeceğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, iklim değişikliğinin ekonomisi fındık tarımına yakından bağlı olan Doğu Karadeniz ve Doğu Marmara bölümlerinde, üretim, ticaret ve bölgesel kalkınma açısından önemli bir sorun oluşturabileceğini açıkça göstermektedir.

3.2.2.2. Karbondioksit etkisi

Yaklaşık son 10 yıllık dönemde atmosferdeki CO₂ birikimindeki değişikliklerin etkilerinin bitki tiplerine göre (burada C3 ve C4 bitkileri) ele alındığı çalışmalar yayımlanmaya başlamıştır. Bu durum bu alandaki önemli bir ilerlemedir (DaMatta *ve ark.*, 2010). Atmosferdeki birikimi sürekli artmakta olan artan CO₂ etkisi, C3 bitkilerinde (buğday, pirinç, pamuk, soya fasulyesi, şeker pancarı ve patatesler) C4 bitkilerinden (darı, sorgum, şeker kamışı) daha yüksek olan eğilimindedir, çünkü C4 ürünlerindeki fotosentez oranları artan CO₂ birikimindeki artışlara daha zayıf karşılıklar vermektedir (Leakey, 2009). En yüksek gübreleme yanıtları yumrulu ürünlerde gözlenir; bunlar yer altındaki organlarında fazla karbonhidrat depolama açısından önemli kapasiteye sahiptir (Fleisher *ve ark.*,

2008; Högy and Fangmeier, 2009). Çeşitli ürünlerin CO₂ verdiği yanıtlar aynı zamanda genotipe özgü bir durumdur (Ziska *ve ark.*, 2012). Örneğin, 200 ppmv (milyon hacimde bir birimlik bir birikim ölçüsü) düzeyindeki ek CO₂ koşullarındaki rekolte gelişimi, pirinç üretiminde % 3 ile % 36 arasında değişmektedir (Hasegawa *ve ark.*, 2013).

DeneySEL Serbest Hava CO₂ Zenginleştirme (FACE) çalışmaları, atmosferdeki artmakta olan CO₂'nin etkilerinin hava sıcaklığı, su ve besin varlığına göre değiştiğini göstermiştir. Ancak FACE çalışmalarındaki ılıman kuşağa yönelik kuvvetli coğrafi yanlılık bu bulguların kuvvetini zayıflatmaktadır. FACE çalışmaları ayrıca rekolte artırmanın, düşük ve yüksek hava sıcaklığı koşullarında, artan CO₂ ile sınırlı olacağını göstermiştir (Shimono *ve ark.*, 2008; Hasegawa *ve ark.*, 2013). Konunun kuramsal yönü, su stresli ürünlerin artan CO₂'ye daha kuvvetli yanıt vereceğini, bunun da stomatal (stomayla ilgili) direncinde CO₂'nin neden olduğu artışlar nedeniyle olacağına işaret etmektedir. Bu ise yağışa dayalı tarımsal bitkisel üretim sistemlerinin sulanan sistemlere oranla artan CO₂'den daha fazla yararlanacağını ortaya koymaktadır.

Birçok tarımsal zararlı, C4 bitkilerinin zararlısı yani C4 ürün zararlısı olduğu için, Atmosferde artış gösteren CO₂ düzeylerinin C3 ürünlerinin zararlıları nedeniyle olan rekolte kayıplarını azaltabileceği öngörülmektedir. Genel olarak C3 ürünlerinin artan CO₂ düzeylerine karşı geliştirdiği yanıtlar en yüksektir. Ancak tarımda hem C3 hem de C4 zararlı türleri görülür ve bu türler arasında güncel ve öngörülen CO₂ düzeylerine geniş bir yanıt aralığı söz konusudur (Ziska, 2010). CO₂ ve iklim zararlı demografisini de etkiler. Örneğin, tarla üretimi soya fasulyesi açısından, artan CO₂, sonraki soya fasulyesi rekoltelerindeki azalmayla birlikte C3'ün C4 zararlı türlerine göre oransal artışının bir faktörü olarak görülmektedir.

3.3. Gıda ve Yem Kalitesi, Meralar ve Çiftlik Hayvanları

Gıda kalitesi, üretici ya da tüketiciler için değeri olan rekoltenin dışında kalan gıda özelliklerine karşılık gelir. Örnekler, hamur (ekmek, makarna, vb.) kalitesini etkileyen buğdaya protein ve nişasta konsantrasyonu ya da içeriğini, lezzetini etkileyen pirinçte nişasta içeriğini ve tüketicinin besin alımını yani beslenmesini etkileyen mineral içeriğidir. Bu kapsamda, iklim değişikliği hem biyotik hem de abiyotik stresler yoluyla gıda kalitesine bazı olumsuz (negatif) etkiler oluşturma potansiyeline sahiptir (Ceccarelli *ve ark.*, 2010). Bu değişiklikler karbon ve besin alımını ve ikincil bileşikler üreten ya da yeniden dağıtımını yapan biyokimyasal süreçleri ve

tohum/tane gelişimi sırasındaki bileşiklerin birikme düzenini değiştirerek ürün kalitesini etkileyebilir. Sonuç olarak, bu etkiler bir bütün olarak insan ve çiftlik hayvanlarının sağlığını etkilerken, ürün işleyicileri ve tüketicilerin alışkanlıkları ya da tercihlerini değiştirerek ekonomik değeri etkileyebilir.

Otlakların ya da meraların (Türkiye’de çayır ve meraların) iklim değişikliğine verdiği yanıt ya da karşılık doğrudan başlıca atmosferik ve iklimsel sürücülere (CO₂ birikimi, hava sıcaklığı ve yağış, vb.) ek olarak, bitki rekabeti, çok yıllık büyüme davranışları, mevsimlik üretkenlik ve bitki-hayvan etkileşimleri gibi dolaylı ama önemli etkileşimler yüzünden karmaşıktır. Hava sıcaklıklarında öngörülen artışlar ve büyüme mevsiminin uzaması, hayvan yemi üretimini geç sonbahara ve erken ilkbahara doğru genişletebilir, uzatılabilir. Bu ise, örneğin ABD’de kış mevsimi için ayrılıp saklanan hayvan yemi rezervlerine duyulan gereksinimde azalmaya neden olur. Ayrıca su varlığı, bazı türlerin yanıtlarında farklılıklar olmasına karşın, otlakların (çayır ve meraların) iklim değişikliği yanıtının gelişmesinde önemli bir rol oynayabilir (Izaurrealde ve ark., 2011).

Hava sıcaklığı çiftlik hayvanları için önemli bir sınırlayıcı faktördür. Üretkenlik arttığında, süt ineklerinde süt rekoltesinin artması ya da domuzlarda yüksek büyüme oranları ve yağsızlığa yol açar; metabolik ısı üretimi artar ve hızlanan sıcaklık azalışlarını giderme kapasitesi zayıflar (Zumbach ve ark., 2008; Dikmen ve Hansen, 2009). Bazı çalışmalar, ayrıca, süt ineklerindeki stresin ekonomik kayıplar ve hayvan ölümlerindeki artışlardan sorumlu olduğunu göstermiştir (Vitali ve ark., 2009). Isı stresi et tavuklarındaki pek çok parametreyi etkiler (Feng ve ark., 2008a) ve domuzlardaki yeniden üretkenlik verimliliğini ve embriyonik gelişmeyi bozar (Barati ve ark., 2008). Su stresi ayrıca çiftlik hayvancılığı sistemini de sınırlar. İklim değişikliği çeşitli insan baskısı ve artan kullanımlar nedeniyle ortaya çıkan değişikliklerle birlikte, akışlar ve yeraltı suyu üzerindeki etkiler aracılığıyla da çiftlik hayvanları için ayrılmış olan kullanım suyunu besleyen ya da sağlayan su kaynaklarını da etkileyecektir. Aşırı nüfuslanmış su havzaları nehir akışlarında değişikliklere yol açabilir ve büyük insan ve hayvan nüfusları su stresi ile karşılaşabilir (Palmer ve ark., 2008).

3.4. Arazi Kullanımının İklim Değişikliğinden Etkilenebilirliği

Arazi kullanımındaki değişiklikler, örneğin bir tarımsal ürüne ilişkin en uygun üretim lokasyonun seçilmesi, iklim değişikliğine karşı potansiyel bir uyum yanıtıdır aynı zamanda. Çeşitli çalışmalar genel olarak

yüksek enlemlerin ürünler için daha uygun olduklarını doğrulamaktadır (Iqbal ve ark., 2009). Örneğin, Avrupa’daki gelecek iklim için geliştirilen 11 agroklimatik indisi inceleyen Trnka ve ark. (2011), artan hava sıcaklığı ve nemlilik stresinin daha yüksek yıllar arası değişkenliğe neden olurken, don oluşumundaki azalmanın daha uzun bir büyüme mevsimine yol açtığını göstermiştir. Tropikal iklim bölgelerindeki tarımsal ürün sistemlerindeyse, yüksek nemlilik ve yüksek hava sıcaklıkları ile sıcak hava dalgalarındaki değişiklikler, büyüme mevsiminin uzunluğunu sınırlandırabilir. Bu etmenler olasılıkla ürün büyüme mevsiminin uzunluğunu ve ürünlerin yetiştirilmesi için gerekli olan genel uygunluk koşullarının varlığını azaltabilecektir (Jones ve Thornton, 2009; Zhang ve Cai, 2011). Örneğin, Hint-Ganj Ovası buğday yetiştirme havzasının alansal olarak yarısı, 2050’li yıllara kadar önemli düzeyde ısı stresi koşullarında kalacaktır. İklim değişikliği sürdükçe, ılıman kuşak buğday yetiştirme koşulları daha kuzey enlemlere kayacaktır (Ortiz ve ark., 2008). Benzer şekilde 2050 yılına kadar, bugünkü ürün yetiştirme alanlarının yarısından fazlasındaki ülkeler, günümüz iklim koşullarının dışında iklim koşullarının egemen olmasını sağlayacak olan yeni iklim rejimleriyle karşı karşıya kalacaktır (Burke ve ark., 2009; Schroth ve ark., 2009). Hava sıcaklığının topografyaya ve yükseltiye bağlı olarak önemli derecede değiştiği dağlık alanlardaysa, var olan uygun yetiştirme koşullarındaki değişiklikler topografyaya bağlı yeni sıcaklık (ve bağlantılı nem) rejimi tarafından farklılaştırılacaktır. Bu noktada, değişen iklime bağlı olarak hava sıcaklıklarının azaldığı, arttığı ya da değişmediği dikine iklim ve ekolojik kuşakların (biyotoplar ya da daha geniş ölçekte biyomlar) oluşumunun, göreceli olarak gelecek iklim koşullarındaki belirsizliklere yansımaları olasılığı da beklenmelidir.

3.5. Bitki Hastalık ve Zararlıların İklim Değişikliğinden Etkilenebilirliği

Bitki hastalık ve zararlıları rekoltelede en yüksek kayıplara neden olan etmenlerdendir. İklim değişikliği birçok hastalık ve zararlılar açısından potansiyel kayıpları değiştirecek düzeydedir. Hava sıcaklıklarındaki değişiklikler, mevsimsel ekstremlerdeki değişiklikler yoluyla, örneğin kışlama ve yazın hayatta kalma vb. koşullardaki değişiklikler yoluyla, coğrafi (alansal, kuşaksal ya da enlemsel, yükseltiye bağlı ya da dikine, vb.) kaymalarla sonuçlanabilir. Değişen CO₂ ve O₃ düzeyleri bitki hastalıklarında artış ya da azalışa yol açabilir ve önemli etkileşimlere neden olabilir (Chakraborty ve Newton, 2011; Garrett ve ark., 2011). Arazi ya da coğrafi

koşullarla olan etkileşimler, ormanlar ve çayırlar için özellikle önemli olabilir (Pautasso ve ark., 2010). Küresel ortalama bir değerlendirme olarak, başlıca ürün çeşitlerinde hayvan hastalıkları ve virüs olmayan patojenler nedeniyle ortaya çıkan rekolte kayıpları, herhangi bir fiziksel, biyolojik ve kimyasal ürün koruması olmaksızın, sırasıyla % 18 ve % 16 düzeylerinde kestirilmektedir (Oerke, 2006).

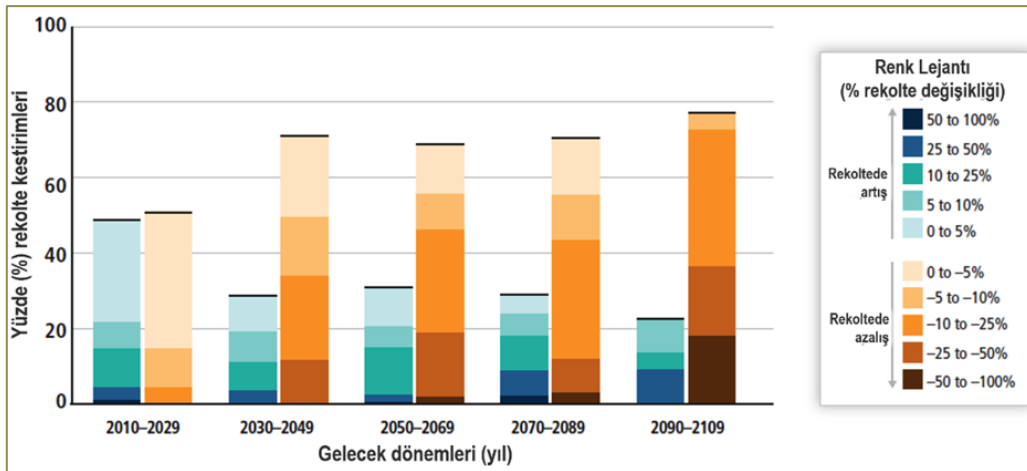
İklim değişiklikleri verilen bir ürün yetiştirme bölgesi için böceklerin ve hastalıkların bazı özel türlerinin coğrafi dağılımını ve alanlarını etkileyebilir. Örneğin Cannon (1998), göçmen böceklerin geniş bir alanda sıcaklık artışlarına ve bağlantılı rekolte azalışlarına yanıt olarak ürünlerde kolonileşebileceğini öngörmüştür. İklim değişikliği agronomik ve istilacı zararlıların Kuzey Amerika'da kuzeye yüksek enlemlere doğru göçlerini yaygınlaştıran bir etmen olabilir (Ziska ve ark., 2011). Zararlı türleri uzun erimli tohum dağılımlarıyla bağlantılı özellikleri de denetler. Zararlı türlerinin göçleri artan yüzey sıcaklıkları nedeniyle hızlanabilir (Hellman ve ark., 2008). Predatör ve böcek yiyiciler, artan sıcaklıklara, böcek predasyonunda olası azalmalara ve bu yüzden de böcek popülasyonunda artışlara yol açarak, farklı yanıtlar da

verebilir. Ancak, ekosistemlerin karmaşık bir doğası vardır ve çeşitli etkileşimlerle hastalık ve böcekler azalıp çoğalabilir. Sonuç olarak, patojen biyolojisi ve bağlantılı rekolte değişiklikleri üzerindeki CO₂ ve iklim değişikliği etkilerini öngörme yeteneğimiz birkaç ayrıcalıklı durum dışında (Savary ve ark., 2011), deneysel verinin yetersiz oluşu ve analizler önemli hastalıkların tam bir seti yerine bireysel hastalıklara odaklandığı için yetersizdir. Genel olarak bu makalenin ana kapsamı dışında kalmakla birlikte, ilgili yerlerde kısa da olsa hastalık ve zararlıların potansiyel etkileri konusuna ilişkin değerlendirmelere de yer verilmiştir.

3.6. Öngörülen Bütüncül İklim Değişikliği Etkileri

3.6.1. Üretim sistemleri için öngörülen etkiler

Ürün sistemlerine ilişkin öngörülen etkiler açısından, tarımsal ürün rekoltesi iklim değişikliğinin gıda güvenliğine olan etkileri kapsamında en çok çalışılan konuların başında gelir. Yeni çalışmalar, örneğin uyum olmaksızın 3°C'lik bir yerel ısınmanın olduğu yerlerdeki tüm ürünler açısından iklim değişikliğinin -ürünler daha yüksek CO₂ ve yağıştan yararlanmasına karşın- negatif rekolte etkisi yarattığını doğrulamaktadır (Şekil 4).



Şekil 5- İklim değişikliği nedeniyle 21. Yüzyıl süresince ürün rekolte verimlerinde öngörülen değişikliklerin özet gösterimi (bazı değişikliklerle birlikte Porter ve ark. (2014) ve IPCC'ye (2014) göre yeniden düzenlenmiştir).

Bu şekildeki kestirimler Porter ve ark. (2014) tarafından çok sayıda hakemli makale çalışmasından alınmış ve yeniden düzenlenmiştir.

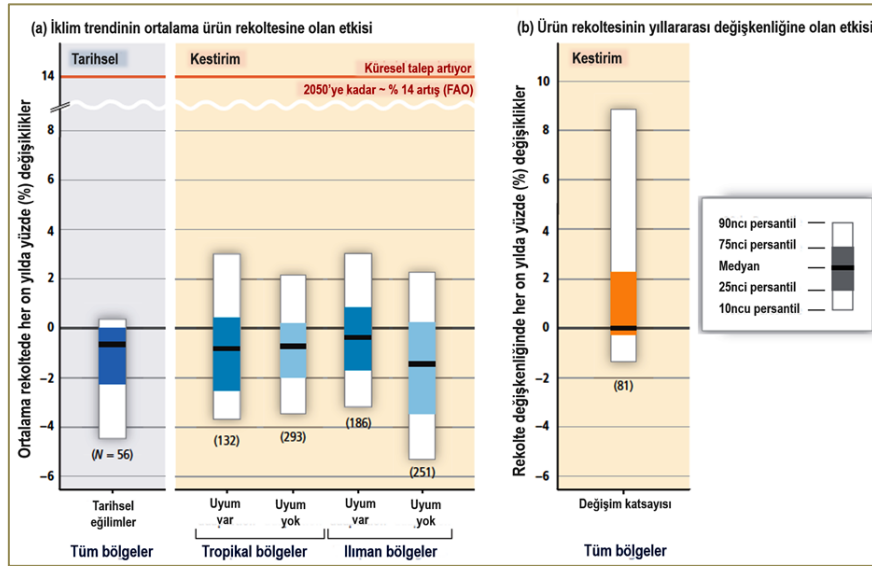
Figure 5- Summary representation of projected changes in crop yields, due to climate change over the 21st century. Projections used in the figure were taken from many peer-reviewed studies and re-arranged by Porter et al. (2014).

Örneğin, Şekil 5, 20'şer yıllık gelecek dönemlerde, uyumun olduğu ve uyumun olmadığı durumları da içerecek biçimde, ortalama ürün rekoltesindeki öngörülen etkileri göstermektedir. Şekil uyum ve uyum içermeyen durumlarda tropikal ve orta

enlem iklim bölgeleri için, farklı salım senaryolarının kestirimlerini içermektedir. Görece birkaç çalışma küresel ortalama hava sıcaklıklarının 4°C ve daha fazla arttığı yerlerdeki senaryolar açısından gelecekteki ürün sistemleri üzerindeki etkileri dikkate almıştır.

Gelecekteki yakın ve uzun erimli 5 zaman dönemi açısından, temel alınan veri ($n = 1090$) her gelecek kestirim döneminin orta nokta değerlerini içeren X eksenine karşı 20 yıllık bir dönem için çizilmiştir. Ürün rekolteledeki değişiklikler, göreceli olarak 20 yüzyıl düzeyleriyle karşılaştırılmıştır ve gelecekteki her döneme ilişkin verinin toplamı % 100'dür. Burada kullanılan veri, negatif etkilerin olasılıkla 2030'larla birlikte ortalama rekolte değerlerinde etkili olacağını göstermektedir. Bazı önemli bölgesel salım senaryosu farklılıkları bu şekilde maskelenmiştir (Şekil 5). 2050'lerle birlikte tropikal iklim bölgelerinde olasılıkla negatif rekolte etkileri (rekoltenin azalması) ortaya çıkacak ve bu durum da hemen her koşulda uyum ya da salım senaryolarından bağımsız olabilecektir. Bu sonuçlar, Knox ve ark.'nın (2012) meta analizleri ile küresel gridli ürün modellerin karşılaştırmalı yeni model çalışmalarının sonuçlarıyla da tutarlıdır (Rosenzweig ve ark., 2013, 2014).

Bu noktada, farklı iklim bölgeleri ya da ürünler için en riskli alanları tanımlamayı amaçlayan karşılaştırmalı projeksiyonların çalışıldığı birkaç çalışmadan da söz edilebilir. Örneğin, Lobell ve ark. (2008) Genel Dolaşım Modeli (GSM) ile birlikte, istatistiksel ürün modellerini kullanarak, Güney Afrika ve Güney Asya'yı, uyum olmaksızın çeşitli ürün rekolteledeki en negatif (olumsuz) etkilerin yaşanacağı iki bölge olarak tanımlamıştır. Rekolte değişiklikleri bölgesel meta analizlerle de değerlendirilmektedir. Örneğin, Knox ve ark. (2012) 52 çalışmanın projeksiyonlarının bir sentezini (bireşim) yaparak, 2050 yılına kadar bu iki bölgedeki buğday, mısır, sorgum, süpürge darısı, pirinç, şeker kamışı ve manyok daha fazla etkilenebilecek olmakla birlikte, ortalama ürün rekoltelelerinde % 8'lik bir negatif etkinin olacağını öngörmüştür.



Şekil 6- Tarihsel ve projeksiyonu (gelecek kestirimi) yapılmış etkileri, rekoltenin ortalama ve değişkenliğini (CV, % - değişim katsayısı) ılıman ve tropikal iklim bölgelerinde üretilen tüm ürünleri içerecek şekilde tasarlanmış olan, iklim ve atmosferik CO₂ birikimi değişikliklerinin ürün rekoltelelerine olan etkilerini niceliklendiren çeşitli çalışmanın özet çizimsel gösterimi (bazı değişikliklerle birlikte Porter ve ark. (2014) ve IPCC'ye (2014) göre yeniden düzenlenmiştir). Şekildeki tüm iklim değişikliği etkileri, her on yıldaki ortalama değişiklik olarak açıklanmıştır. Burada 50 yıllık bir iklim değişikliği döneminde ortaya çıkan %10'luk bir toplam etki, her on yılda % 2'lik bir etki olarak temsil edilebilir. Tarihsel etkilerin gösterildiği referanslar ve ortalama rekolte kestirimleri ile rekolte değişkenliğine (CV, %) ilişkin referanslardan yararlanılarak IPCC tarafından hazırlanmıştır (Porter ve ark., 2014; IPCC, 2014).

Figure 6- Graphical summary representation of the studies that quantify impact of climate and CO₂ changes on crop yields, including historical and projected impacts, mean and variability (CV in per cent - coefficient of variation) of yields, and for all available crops in temperate and tropical regions. All impacts are expressed as average impact per decade; a 10% total impact from a 50-year period of climate change would be represented as 2% per decade. The figure was prepared by Porter et al. (2014) and IPCC (2014) by making use of the references related with historical impacts, projected mean yields and yield variability (CV in per cent).

Şekil 6'da ortalama ürün rekolterine tarihsel ve gelecek iklim değişikliklerinin öngörülen etkileri, tüm etkiler her on yılda ortalama yüzde olarak açıklanmıştır. Buradaki karşılaştırma gelecek etkilerin, geçmişteki etki desenleri ya da oluşum tarzlarıyla benzer olacağını gösteriyor. Buna göre, rekolte lokasyonları ya da alanlarının çoğunda negatif etkiler söz konusuysen, bazı yerlerin de olasılıkla bu değişikliklerden etkilenebileceği söylenebilir. Genel olarak ortalama rekolte azalış eğilimleri ve rekolte değişkenliğindeki artışlar, gıda güvenliği açısından gelecekteki negatif koşullar ve sonuçlar şeklinde değerlendirilmelidir. Şekilde gösterildiği gibi, ayrıca ürün istemindeki beklenen her on yıllık artış % 14 düzeyindedir. Ayrıca bu talep artışı, istemle aynı hızda gelişmesi gereken bir üretim artışı hedefinin varlığını da açıkça göstermektedir. İklim değişikliğinin her on yıllık dönemlerle birlikte ortalama rekolte yaklaşık % 1'lik bir azalmaya yol açacağı beklenmektedir. Bu oran küçük olmakla birlikte, yaklaşık % 14 düzeyinde olacağı öngörülen talep artışı dikkate alındığında, bunun önemsiz olmadığı kabul edilebilir.

Gelecek projeksiyonlar açısından bölge ve uyum senaryolarındaki farklılıkları değerlendirmek için, daha ayrıntılı ve karşılaştırmalı başka çalışmaların yapılması da gereklidir. Ilıman iklim ürün sistemlerindeki önemli uyum etkilerinin ortaya çıkarılması içinse, hem çeşitli egemen iklim bölgeleri (tropikal, ılıman orta enlem, subtropikal, Akdeniz, yarıkurak step, dağ iklimi, vb.) hem de Türkiye gibi -iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşmeden etkilenebilirliği ve riski genel olarak orta yüksek-yüksek yüksek arasında değişen (ör. Türkeş, 2013, Türkeş, 2018, 2020; Türkeş ve ark., 2020a, 2020b, vb.) tarımsal ürün sistemleri çeşitli ve hassas durumdaki gelişmekte olan ülkelerdeki rekolte etki araştırmalarına önem verilmelidir.

İklim değişikliğinin tarımsal üretkenlik üzerindeki etkileri hem ürün üretimine ayrılan toplam alanı hem de bu alanın dağılışı açısından arazi kullanımı desenlerini değiştirecektir. Örneğin, patates ürünleri için uygunluk çok yüksek enlemlerde ve daha yüksek tropikal yükseltilerde 2100 yılına kadar artabilecektir (Schaeffleiner ve ark., 2011). Nüfusta beklenen eğilimler, gelir düzeyleri, biyoenerji istemi ve tarım teknolojilerindeki gelişmeler önemlidir; küresel işlenebilir tarım alanlarının 2007-2050 döneminde artacağı da öngörülmektedir. Bu dönem için öngörüle artışlar, +% 9 (Bruinsma, 2009); + %10-20 (Smith ve ark., 2010) ve +% 18-23 (Lobell ve ark., 2013b) düzeyindedir. Burada değerlendirmeye çalıştığımız tüm bulgu ve göstergeler bize, genel olarak, kuzey enlem ülkelerinde ve günümüzde hava sıcaklığının

sınırlayıcı faktör olduğu düşük hava sıcaklığının egemen olduğu ülkelerde, gelecekte işlenebilir, tarım yapılabilir arazilerin artabileceğini göstermektedir.

Öte yandan, genel olarak, iklim değişikliğinin çiftlik hayvanlarına olması öngörülen etkileri, hayvan yemlerine olacak olan etkiler ile sıcaklık ve hayvansal üretim için gerekli olan su varlığındaki doğrudan değişiklikler (ör. kuraklaşma, kuraklık ve sıcak hava dalgalarının sıklık ve sürelerinin artışı, vb.) ile hayvan hastalıklarından kaynaklanan dolaylı etkileri içermelidir.

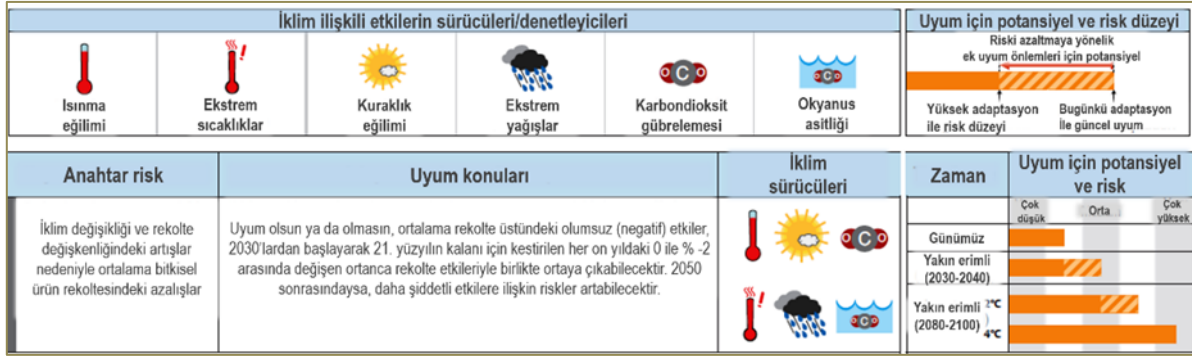
3.6.2. Tarım ve diğer gıda sistemlerinde uyum ve riskin yönetimi

İklimin gıda güvenliği ve gıda üretimine olan etkilerinin önemi, geçmiş sera gazı salımlarından kaynaklanan gelecek yükümlülükler ile gelecekteki daha yüksek sera gazı salımlarından kaynaklanan olasılıkla daha büyük iklim değişikliklerinin çok yüksek gerçekleşebilme düzeyleri, gıda sistemlerinin iklim değişikliğine belirli düzeylerde uyumunu zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, yeniden düzenlenen uygulamalar, süreçler ve iklim değişikliği gerçeği ya da tehlikesine yanıt eylemleri aracılığıyla etkilenebilirlik ve riskte ortalama koşullarda bazı azalmaları sağlayacak olan uyum önlem ve politikaları ülkelerin uygulama ve strateji planlarına alınabilir. Bu çoğunlukla, sosyal ve kurumsal yapılar ve yönetim yaklaşımları (çeşitli yönetim yaklaşımları, yönetim plan ve stratejileri, eylem planları, vb.) ile bu eylemlerin gerçekleşmesi açısından gerekli olan potansiyeli ya da kapasiteyi etkileyecek hatta değiştirecek düzeydeki yeni teknik ve teknolojik seçenekler şeklindeki karar ortam ve düzeneklerindeki değişiklikleri de içermelidir. Ayrıca, uyum, iklim değişikliğinden kaynaklanabilecek fırsat ve olanakları da artırabilir. Söz konusu adaptasyonların, nüfus artışı ve kişi başına tüketimdeki artışın bir sonucu olarak artan istem vb. gibi gıda güvenliği üzerindeki diğer baskılar kapsamında ele alınması da gerekecektir (Şekil 7).

Yaklaşık son 10 yılda gerçekleştirilmiş olan çalışmalara dayalı değerlendirmelere göre, özetle, değişen hava sıcaklığı ve yağış koşullarına uyum çabaları tarımsal rekolteelerde çoğunlukla yarar sağlayacaktır. Ortalama koşullarda bazı uyum çalışmaları diğerlerinden daha etkili olabilecektir (örneğin sulamadaki optimizasyon, vb.). Çoğu çalışmada, ekim tarihlerinin değiştirilmesi ve yetiştirme mevsimlerinin (gelişme dönemleri) gözden geçirilmesi; daha yüksek sıcaklık ve kuraklık koşulları ve artan CO₂ düzeylerine olan toleransları daha yüksek kültürlerin ya da çeşitlerin geliştirilmesini içerecek olan çeşitli bağlantılı kararların çiftlik düzeyindeki uyum durum ve

olanak ve/ya da uygulamaları değerlendirilmektedir. Adaptasyondaki sınırlılık durumu, daha sistematik ve dönüşümsel (transformasyon) değişikliklere olan gereksinimleri yükselterek, iklim daha fazla değiştiğinde daha yaratıcı ve dinamik adaptasyonları gerekli kılmaktadır. Dönüşümsel değişikliğe bir örnek olarak, soğuk iklim ürün kuşaklarının zamanla kutba doğru daha fazla enlemsel yayılmaları verilebilir. Bu yayılma önemli bir tarım coğrafyası değişikliğidir aynı

zamanda. Ancak bu yayılma durumu, yağışın azalması (kuraklaşma) ve artan hava sıcaklarının bir sonucu olarak, orta enlemlerdeki ürün üretiminde gerçekleşmesi beklenen rekolte azalışları tarafından önemli derecede bastırılabilir. Üretim evresine ek gıda sistemlerine ilişkin adaptasyonlar da tanımlanmaya çalışılmakta ve bazen yürütülmekle birlikte, söz konusu uyum çabalarının yararları niceliksel olarak yeterli düzeyde ortaya konulamamaktadır.



Şekil 7- Yüksek ve düşük ısınmayı (2 °C ve 4°C) dikkate alan küresel ısınma düzeyleri için gıda güvenliğindeki anahtar riskler ile yakın ve uzun dönemli uyum etkinlikleri ya da çalışmalarının potansiyellerinin çizimsel gösterimi (bazı değişikliklerle birlikte Porter ve ark. (2014) ve IPCC'ye (2014) göre yeniden düzenlenmiştir).

Figure 7- Schematic key risks for food security and the potentials for adaptation in the near and long term for high and low levels of warming (re-arranged with some modifications according to Porter et al. (2014) and IPCC (2014)).

Tablo 1- Üç farklı salım senaryosuna dayanarak ve 30 farklı sosyoekonomik senaryonun her birine uygulanan 5 küresel dolaşım modelinin (GSM) bölgesel ortalama sonuçlarına göre, tam CO₂ gübrelemesi koşullarında ve CO₂ gübrelemesi olmaksızın, iklim değişikliğinin 2050 yılına kadar dünyanın çeşitli anakara ve önemli bölgelerindeki ürün rekoltesi üzerindeki etkileri.*

Table 1- Regional mean climate change and CO₂ fertilization impacts -from five regional GCMs- on crop yields on current (2000) crop land and based on three emission scenarios under the assumptions of full CO₂ fertilization and no CO₂ fertilization conditions.

Bölge	Tam CO ₂ gübrelemesi				CO ₂ gübrelemesi olmaksızın			
	A1b	A2	B1	Ort.	A1b	A2	B1	Ort.
AFR	8.4	7.8	6.8	7.5	-8.2	-8.5	-5.9	-7.6
CPA	15.8	15.4	11.8	14.3	-3.6	-3.7	-2.9	-3.4
EUR	17.5	16.7	16.7	16.8	0.8	-0.3	3.7	1.2
FSU	21.4	22.3	21.4	21.4	-0.5	-0.2	4.3	0.9
LAM	9.5	12.2	13.3	11.8	-11.3	-9.4	-3.7	-8.2
MEA	-3.0	-0.7	-2.5	-2.1	-16.6	-14.5	-13.2	-14.8
NAM	10.6	11.6	14.7	12.2	-10.3	-9.3	-1.8	-7.1
PAO	3.3	3.6	4.6	3.5	-15.0	-14.7	-9.8	-13.5
PAS	22.8	23.0	19.9	21.9	-18.5	-18.0	-11.7	-16.0
SAS	21.3	24.6	14.6	19.8	-18.9	-15.3	-14.4	-16.4
Dünya	12.4	13.1	12.5	12.6	-8.2	-7.6	-3.5	-6.5

*Müller ve ark., 2009; WB, 2010. Burada; AFR, Güney Afrika dahil Sahraaltı Afrika; CPA, merkezi planlı (sosyalist) Asya; EUR, Türkiye dahil Avrupa; FSU, Eski Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği; LAM, Latin Amerika; MEA, Orta Doğu ve Kuzey Afrika; NAM, Kuzey Amerika; PAO, Pasifik OECD; PAS, Pasifik Asya ve SAS, Güney Asya olmak üzere, çeşitli anakaraları ve kaynak çalışmanın amacına (WB, 2010) uygun olarak gruplandırılmış büyük bölgeleri gösterir.

Müller *ve ark.* (2009)'nın Dünya Bankası (WB, 2010) için gerçekleştirdikleri ayrıntılı bir çalışmada, bugünkü (2000 yılı) tarımsal arazi kullanımı ve ürün çeşitleri koşullarında, 3 farklı salım senaryosuna (IPCC SRES A1b, A2, B1) dayanarak 1950'den 2055 yılına kadar hesaplanan 30 farklı sosyoekonomik senaryonun her birine uygulanan 5 küresel modelin (CCSM3, ECHAM5, ECHO-G, GFDL ve HadCM3) bölgesel ortalama ölçek küçültme sonuçlarına göre, *tam CO₂ gübrelemesi koşullarında ve CO₂ gübrelemesi olmaksızın*, iklim değişikliğinin 2050 yılına kadar dünyanın çeşitli anakaralarında ve önemli bölgelerindeki ürün rekoltesi üzerindeki etkileri (1996-2005 dönemine göre 2046-2055 dönemindeki değişiklikler) incelenmiştir (Tablo 1). CO₂ gübrelemesi koşullarında genel olarak dünyanın birçok bölgesinde ürün rekoltesi artış eğilimi gösterecek olmakla birlikte, CO₂ gübrelemesinin etkinliğine ilişkin kabullere ve temel alınan iklim senaryolarına bağlı olarak, tüm bölgeler ürün rekoltesinde önemli artış ve azalışlarla karşılaşabilecektir. Yukarıda söylendiği gibi, en önemli etmen, iklim senaryolarındaki farklılıkları ağırlaştırılan CO₂ gübrelemesindeki belirsizlikler ve kuramsal kabullerdir.

Tablo 1'deki 1996-2005 dönemine göre 2046-2055 dönemi için öngörülen yüzde değişiklikler, 11 önemli ürünlerdeki (buğday, pirinç, mısır, akdarı, bezelye, şeker pancarı, tatlı patates, soya fasulyesi, yer fıstığı, ayçiçeği ve kolza tohumu) rekolte değişikliklerinin, CO₂ gübrelemesi olmaksızın, üç salım senaryosuna uygulanan 5 küresel iklim modelinin ortalamasının bir yansımasıdır. Öngörülen yüzde değişiklikleri gösteren coğrafi dağılım desenine göre (harita burada verilmedi), Güney Amerika, Afrika, Güney ve Güneydoğu Asya, Güneydoğu Asya-Pasifik Adaları ve Avustralya gibi tarımsal üretime ve tarım sektöründen gelen gelirlere yüksek düzeyde bağımlı olan bölge ve ülkelerde, iklim değişikliğinin önemli negatif etkilerinin olacağı öngörülmektedir (Müller *ve ark.*, 2009; WB, 2010). Bu kapsamda Tablo 1 ise, bölgesel iklim değişikliklerinin ve CO₂ gübrelemesinin ürün rekoltesi üzerindeki etkilerinin genel bir resmini çizer. Burada da açıkça görüldüğü gibi, CO₂ gübrelemesi altında ürün rekoltesi tüm senaryolar ve iklim modellerinde, Orta Doğu ve Kuzey Afrika dışında önemli artış eğilimleri gösterirken; CO₂ gübrelemesi olmaksızın, Avrupa ve Eski Sovyetler birliği dışında kalan tüm bölge ve ülkelerde önemli azalışlar olması kestirilmiştir (Tablo 1).

Müller *ve ark.* (2009)'nın tutarlılık çalışmalarına dayanarak (haritaları burada verilmedi), genel olarak, bugünkü fiziki coğrafya ve iklim koşullarında yüksek

kuzey enlemlerde (orta enlemlerin kuzeyi ve subpolar bölgeler) ve yüksek dağlık alanlarda gözlenen düşük hava sıcaklıklarıyla nitelenen serin-soğuk iklim kuşaklarındaki ürün rekoltesinde artış beklendiği söylenebilir. Bu bölgelerde, 30 modelin hepsinin oluşturulmasından elde edilen kestirimler 2050 yılına kadarki ürün rekoltesinde ortak bir artış eğilimi göstermesine karşın, tüm modellerin ürün rekoltesinde azalışlar gösterdiği çok az bölge vardır. Öte yandan, CO₂ gübrelemesinin tüm etkileri hesaba katılmazsa, bu durumda, birçok bölgenin, özellikle tropikal tarım arazilerinin 15 iklim senaryosuna göre, ürün rekoltesinde türdeş bir biçimde azalışlara sahne olacağı kestirilmiştir. Ayrıca, çiftçiler atmosferdeki birikimi yükselen CO₂ koşulları altında (kuvvetlenen sera etkisi) artan ürün rekoltesinden kazanacak olsun ya da olmasınlar, bu aynı zamanda özellikle azotlu gübreler gibi ek tarım girdilerinin varlığına da bağlı olacaktır. Ayrıca, birçok bölgede nüfus artışları süreceği için, ürün rekoltesi yükselse dahi, gıda üretiminde kendine yeterlilik de birçok ülkede olasılıkla azalacaktır. Bu durum, Türkiye gibi gıda üretiminde (tahıllar, baklagiller, bahçe bitkileri, hayvansal, vb.) kendine yeterliliğini giderek yitiren, nüfus büyümesi ve kentleşmenin hızla sürdüğü ve çok çocukluluğun teşvik edildiği gelişmekte olan ülkelerde, üzerinde önemle durulması gereken bir sorundur. Sonuç olarak, var olan tarımsal arazi kullanım koşullarında ürün rekoltesinin artacağını öngören en iyimser senaryolar dahi, 19 büyük bölgeden 6'sındaki gıda yeterliliğindeki önemli azalmayla baş edebilecek güce sahip değildir.

Öte yandan, henüz sınırlı sayıdaki literatürde ve bazı gelişmiş ülkelerde, hayvancılık ve balıkçılık sistemlerinde yerel ölçekli olası uyum olanakları bulunmakla birlikte, bunlara ilişkin yeterli bilimsel bilgi, bulgu, sonuç ile bu adaptasyonların olası değerlerinin ekonomik çözümleme ve modellemeleri henüz yeterli düzeyde değildir.

4. Tartışma

İklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gıda güvenliği üzerindeki etkilerine ilişkin görece geniş bir tartışma aşağıda sunulmuştur (Porter *ve ark.*, 2014; IPCC, 2014, IPCC, 2018; Turkes, 2020; Turkes *ve ark.*, 2020; Türkeş 2013a, 2013b, 2014b, 2016b, 2017, 2018, 2019; Türkeş *ve ark.*, 2018, vb.):

İklim değişikliğinin tarımsal ürün ve karasal gıda üretimi üzerindeki olumsuz etkileri olumlu etkilerinden daha açık ve yaygındır. Pozitif etkiler bazı yüksek enlem bölgelerinde belirgindir. Aşırı iklim olayları sonrasında anahtar üretim bölgelerindeki hızlı gıda ve tahıl fiyatı artışlarının gerçekleştiği dönemler belirgindir ve

bugünkü pazarların diğer etmenlerin yanı sıra iklim ekstremlerine karşı da duyarlı olduğunu göstermektedir. Aşırı iklim olaylarının bazıları, insan kaynaklı sera gazı salımlarının yol açtığı küresel iklim değişikliğinin ve onun en önemli göstergesi olan küresel ısınmanın bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. İklimsel eğilimler hem tatlı su hem de deniz ortamlarında hasat edilen su türlerinin bolluk ve dağılım desenleri ile Dünya'nın farklı bölgelerindeki su kültürü üretim sistemlerini etkilemektedir. Tüm bu etkilerin özellikle bazı gelişmekte olan tropikal ülkelerdeki etkilenebilir toplumlar açısından besin ve gıda güvenliği üzerindeki olumsuz etkilerinin süreceği beklenmektedir. Bazı bölgelerdeyse, sucul gıda üretimine daha uygun koşullar ortaya çıkabilecektir.

Bazı çalışmalar, ürün rekolteilerinin günlük en yüksek sıcaklık ekstremleri 30°C dolayındaki ürün rekolteilerinin büyük bir negatif etkilenebilirliği olduğunu belgelemiştir. Bu düzeydeki etkilenebilirlik durumları birçok ürün ve bölge için tanımlanmakta ve bu durumun büyüme mevsimi boyunca etkili olması beklenmektedir. Ayrıca pek çok çalışmada sıcaklık eğilimlerinin iklim değişikliğinin alt kıtasaldan küresel ölçeklere kadar geniş bir coğrafi dağılımı ürün rekolteileri üzerindeki geçmiş ve gelecek etkilerinin saptanması açısından da önemli olduğu değerlendirilmektedir.

Tropikal ve ılıman iklim bölgelerindeki buğday, pirinç ve darı gibi ana ürünler açısından, yerel hava sıcaklığı 21. yüzyılın son dönemlerine göre 2°C ve daha fazla arttığında uyum olmaksızın iklim değişikliği üretimi negatif olarak etkileyecektir. Öngörülen etkiler ürün ve bölgeler ile uyum senaryolarına göre değişir. Örneğin: 20. yüzyılın son dönemiyle karşılaştırıldığında, 2030-2049 dönemi için gerçekleştirilen kestirimlerin yaklaşık % 10'u ürün rekolteilerinde % 10'dan daha fazla artış gösterirken, kestirimlerin yaklaşık % 10'u % 25'ten daha fazla rekolte kaybının olacağını göstermektedir. 2050 dönemi sonrasında daha şiddetli etki riski artacaktır. Afrika, Avrupa, Asya ve Orta ve Güney Amerika için yapılan çalışma ve değerlendirmelere göre, gelecekte alçak enlem ülkelerinde tarımsal üretim iklim değişikliğinden negatif olarak etkilenecektir. İklim değişikliğinin gelecekte Kuzey Yarımküre ülkelerinde pozitif ya da negatif etkilerinin olabileceği değerlendirilmektedir. Kuşkusuz iklim değişikliği, iklim sisteminin yıllar arası değişkenliğindeki değişikliklere koşut olarak, Dünya'nın birçok bölgesinde ürün rekolteilerindeki yıllar arası değişkenliği de giderek artırabilecektir.

Ortalama koşullarda, agronomik uyumun var olduğu ürün rekolteilerinde yaklaşık % 15-18

düzeylerinde iyileşme sağlayabilecek olmakla birlikte, uyumun sağlayabileceği etki potansiyel yüksek düzeyden ihmal edilebilecek kadar düşük düzeye kadar değişmektedir. Uyumla bağlantılı öngörülen yararlar ılıman kuşakta tropikal kuşak ürünlerinden daha büyüktür. Buğday ve pirinç temelli sistemler darıya dayalı sistemlere göre daha yüksek uyum kapasitesine sahiptir. Bazı uyum seçenekleri ise diğerlerinden daha etkilidir.

2000'li yıllardan beri gerçekleştirilmiş olan çalışmalardan elde edilen bulgular CO₂'nin birçok durumda uyarıcı/canlandırıcı etkisini ve artan troposferik ozonun (O₃) ürün rekolteileri üzerindeki zararlı etkilerini doğrulamaktadır. Deneysel ve model bulguları da CO₂ ve O₃, ortalama sıcaklık, ekstremler, su ve azot arasındaki etkileşimlerin doğrusal olmadığını ve öngörülmesinin de bu yüzden kolay olmadığını göstermektedir. İklimdeki ve CO₂ birikimindeki değişiklikler agronomik olarak önemli ve istilacı türlerin dağılımını etkileyecek ve rekabet artışına yol açacaktır. Atmosferdeki artan CO₂ birikimi bazı herbisitlerin etkisinde azalmaya neden olabilecektir. İklim değişikliğinin hastalıkların gıda üretimi üzerindeki baskısına ilişkin etkileri belirsizliğini korumaktadır. Zararlı ve hastalıkların coğrafi dağılım desen ve aralıklarındaki değişiklikler belirgin olmasına karşın, hastalık şiddetindeki değişiklikler daha az belirgindir.

Gıda güvenliğinin -gıdaya erişim, gıda kullanımı/tüketimi ve fiyat kararlılığını da içeren- tüm yönleri ya da öğeleri potansiyel olarak iklim değişikliğinden etkilenir. Geriye gıda güvenliğinin üretim dışı öğelerinin niceliksel olarak nasıl etkileneceği konusunun ve bu öğelerdeki uyum olasılıklarının sınırlı bir düzeyde anlaşılması konusu kalmaktadır. Protein ve mikro besin elementlerini içeren gıda ve hayvan yeminin besin kalitesi, artan CO₂ birikimlerinden negatif etkilenmekle birlikte, bu etkiler iklim değişikliğinin diğer etkilerince zıt yönde olabilir.

20. yüzyılın sonlarına oranla gıda sistemindeki artışlarla birlikte gelecekteki yaklaşık 4°C ve daha fazla küresel sıcaklık artışları, küresel ve bölgesel ölçeklerde gıda güvenliği için büyük riskler doğuracaktır. Gıda güvenliğindeki riskler genel olarak düşük enlem bölgelerinde daha yüksektir. CO₂ etkisi dikkate alınmadığında, sıcaklıklarda ve yağışlarda beklenen değişiklikler, % 3 ile % 84 arasında değişen öngörülen artışlarla birlikte, 2050 yılına kadar küresel gıda fiyatlarındaki artışları destekleyecektir. CO₂ değişikliklerinin etkilerini içeren ancak O₃ ve hastalık ve zararlıların etkilerini dikkate almayan model çalışmalarında, küresel fiyat artışlarının 2050 yılına

kadar yüzde -30 ile yüzde +45 aralığında değişeceği kestirilmiştir.

Balıkçılık, hayvancılık ve su ürünleri üretimlerindeki uyum, negatif etkileri en aza indirmeye yönelik çok etmenli ya da düzeyli uyum stratejilerinin kabul edilmesiyle potansiyel olarak kuvvetlenebilecektir. Ekosistemleri sürdürebilmeye yönelik olmak üzere, politika ve yönetim ile birlikte balıkçılık ve su kültürü için gerekli olan anahtar uyum seçenekleri, değişikliklere karşı direngenliğin, esnekliğin ve ekstrem olaylar için erken uyarı sistemlerinin geliştirildiği bir duruma karşılık gelmelidir. Hayvancılık ve hayvan üretim sistemleri, var olan kaynakların yönetiminin yeniden düzenlenmesi, egemen iklime uygun yavrulama tekniklerinin kullanılması ve uyum için kullanılabilir olan iyileştirilmiş krediye erişim olanakları gibi konulardaki engellerin kaldırılmasına odaklanmalıdır.

Potansiyel uyum seçenekleri spektrumu (izgesi), yalnızca gıda üretiminde değil, tüm gıda sistemi etkinliklerinde vardır. Bu aralığa gıda işleme, paketlenme, taşımacılık ve depolama da dahildir. Gıda ticareti ise henüz yeterli düzeyde araştırılmamıştır. Gıda sisteminin tüm düzeylerindeki uyum etkinliklerinin etkili olma durumu konusunda daha fazla gözlemsel kanıtlara gereksinim vardır.

Kaynakların sınırlı ve tarihsel olarak da eşitsiz bir ekonomik 'paylaşımın' egemen olduğu günümüzde, özellikle en az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus büyümesi ile iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme, biyolojik çeşitliliğin ve ormanların azalması ve yok edilmesi gibi küresel ve bölgesel değişiklikler, söz konusu çarpıklığı daha da kuvvetlendirmektedir. Küresel ve bölgesel ölçeklerde gerçekleştirilen birçok çalışma, özellikle gelecek iklim değişiklikleri ve değişkenliğinin, günümüze göre tarım, su ve toprak kaynakları üzerindeki olumsuz etkisinin kuvvetleneceğini göstermektedir (ör. An ve ark., 2020; Cline, 2008; Dellal ve ark., 2011; IPCC, 2014, 2018; Müller ve ark., 2009; Sen ve ark., 2012; Türkeş, 2014a; 2014b, 2016b, 2018, 2019, vb.). Gıda ve su güvenliği ile iklim değişikliği arasındaki yakın bağlantı nedeniyle, iklim değişikliği, büyük olasılıkla gıda güvenliğinin, gıdanın varlığı, erişim, tüketim ve sürdürülebilirliğinden oluşan dört boyutunu da etkileyecektir.

Bu çerçevede, özellikle son 20 yıllık dönemde, hem gıda güvenliğini geliştirip kuvvetlendirerek yoksulluğun ve açlığın sona erdirilmesi, hem de çoğu yapay dış kaynaklar (kimyasal gübreler, tarım hastalık ve zararlılarıyla mücadele ilaçları, genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO) yoluyla elde edilen tohumlar, vb.) ve enerji kullanımı en düşük olduğu için, başta iklim

değişikliği gelmek üzere, küresel ve bölgesel çevresel değişiklik sorunlarıyla savaşım ve uyum düzenekleri ve süreçleri açısından önemli bir potansiyel sunan, geleneksel ve uygulanagelen ekosistem bilgisine dayalı 'agroekoloji' giderek önem kazanmıştır.

Bir başka yakıcı ve 2020 yılına damgasını da vurmuş olan önemli bir küresel ve bölgesel konu, pandemik COVID-19 salgını (kısaca COVID-19 pandemisi) ve bunun kısa-orta ve uzun erimde toplumların sosyolojik ve psikolojik durumları ile sosyoekonomik sektörlerde, bu arada tarımsal üretim ve gıda güvenliği üzerinde yaratacağı olası negatif etkilerdir. COVID-19 salgınının başlaması ve yayılmasında, insanın doğaya müdahalesinin, örneğin, küresel, bölgesel ve bölgesel ölçeklerde hava, su ve toprağın kirlenmesi, ormanların ve diğer ekosistemlerin azalması ve yok edilmesi, yaşam ortamlarının (habitatlar) ve yaşam birliklerinin azalması ve yok edilmesi, biyoçeşitliliğin azalması ve çok sayıda türün yok olması, sınırlarötesi hava kirliliği ve iklim değişikliğinin önemli bir rolünün olduğu dikkate alınmalıdır. Kuşkusuz önümüzdeki aylarda ve yıllarda, iklim değişikliği ile COVID-19 pandemisinin alansal yayılış ve şiddeti arasındaki olası bağlantılar konusundaki çalışmalar da çok hızlı bir biçimde artacak ve konu daha iyi anlaşılacaktır.

Zoonoz, veterinerlik ve hayvan bilimlerinde omurgalı hayvanlardan insanlara geçen (zooantroponoz) ve insanlardan omurgalı hayvanlara geçen (antropozoonoz) herhangi bir enfeksiyon hastalığını tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Hayvanlar ve insanlar arasında yayılan zoonoz hastalıklar, bilim insanlarının yarasalardan ya da genel olarak kemirgenlerden geçtiğine inandıkları COVID-19 gibi yeni ve yayılma eğilimi yüksek olan hastalıkların oransal olarak en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Çeşitli bilimsel çalışma ve değerlendirme raporlarına dayanarak, söz konusu hastalıkların büyük bölümünün, çeşitli ekosistemlerde özellikle ormanlardaki habitatları bozulan, hatta bazı bölgelerde tarım, hayvancılık ya da çiftlik hayvanlarını beslemeyi amaçlayan hayvansal yem üretimi için dönüştürülen ya da yok edilen, yaban hayvanlarından kaynaklandığını söyleyebiliriz. Daha da kötüsü, Dünya nüfusu ve onunla koşut olarak gıda istemi artmayı sürdürükçe, özellikle gelişmekte olan ve az gelişmiş Dünya'daki (ör. Afrika, Hindistan, güneydoğu Asya, vb.) yaban hayvanlarının yaşam ortamları ve yaşam birliklerinin değişmesi ya da ortadan kalkması da sürecektir. Bilimsel çalışmalara göre, bu dönüşen ve bozulan arazilerde (ekosistemlerde, yaşam ortamlarında, vb.) yaşayan hayvan türleri, özellikle yarasa ve fareler ölümcül virüsleri taşıma konusunda

eşsiz bir başarıyı göstermektedir. Başka sözlerle, büyüyen küresel gıda gereksinimi ve sektörü yeni ve ölümcül virüsleri bize taşıyacak şekilde evrimleşmiş olan bazı hayvan türlerinin popülasyonlarının belirli alanlarda toplanmasına da yol açabilmektedir.

İklim değişikliği, örneğin artan ve şiddetlenen kuraklıklar, taşkın ve seller ve giderek daha değişken dolayısıyla öngörülmesi zorlaşan şiddetli hava ve iklim olayları ve afetleri yoluyla, küresel gıda üretimi ve gıda güvenliğine yönelik en büyük tehditlerden biridir. İklim değişikliği ayrıca -var olan tarımsal sorunlara ek olarak- tarımsal etkinlikleri yani üretimi bazıları tarım açısından çeşitli yönlerden marjinal olan yeni alanlara girmeye zorlayacaktır. Bu ise daha fazla doğal ekosistemin ve habitatın tarım alanına dönüşmesi anlamına gelecektir. Küresel nüfusun 2100 yılında 11 milyara ulaşmasının beklendiği düşünüldüğünde (UN, 2019: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf), insan toplulukları daha fazla gıdaya ve bu gıdayı üretebilmek amacıyla daha fazla araziye gereksinim duyacak ve çoğu potansiyel olarak negatif etkiye yol açan arazi kullanımı değişikliklerinin önünü açacaktır. Başka bir deyişle arazi kullanımı değişikliği, iklim değişikliği tehdidi ile birlikte en büyük risk sürücüsü ya da denetleyicisi olamaya adaydır. Bu ise insanı zoonoz hastalıklardan (ör. virüs salgınları) korumaya yardımcı olan biyoçeşitlilik kaybını hızlandırmaktadır.

Birleşmiş Milletler Hükümetlerarası Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri Bilim-Politika Platformu (IPBES) geçen yıl küresel ekosistem ve biyoçeşitlilik konulu önemli bir rapor yayımlamıştı (IPBES, 2019: <https://ipbes.net/global-assessment>). Raporda önümüzdeki on yıllarda 1 milyon türün yok olabileceği öngörüsünde bulunulmuş ve COVID-19'u yaşayıp tartıştığımız 2020 yılında çok daha anlamlı bir saptamayla, "biyoçeşitlilik kaybının Yerküre için iklim değişikliği kadar önemli bir tehdit", tarımı (asıl olarak

arazi kullanımı değişikliği) ise ana sürücü olarak değerlendirilmişti. İklim değişikliği ise durumu daha da karmaşıklaştırmaktadır. Uluslararası düzeyde kullanılan bir terminoloji olarak, iklim değişikliği bir stres kaynağı ya da stres yapıcıdır. Eğer türlerin biyocoğrafi dağılışı (yayıma alanı), habitat dönüşümü ve parçalanması ya da iklim değişikliği nedeniyle daralır ya da genişler ve türler başka alanlara göç etmek zorunda kalırsa, alışık olmadıkları çevre koşulları ve iklim koşullarıyla karşı karşıya kalırlar. Bu durum, örneğin ilkbaharın daha erken gelmesi gibi bir değişiklik onların ekolojik toleransının dışında kalabilir ve bu durumda iklim değişikliği biyoçeşitlilik kaybının başlıca sürücüsü ya da denetleyici etmeni olabilir.

COVID-19 pandemisi gıda güvenliğinin bir kez daha ve çok açık bir biçimde toplumsal yaşamın birinci konusu olduğunu, öteki gereksinim ve ilişkilerin yeniden tarım ve gıda güvenliği bağlamında biçimlendirilmesinin yaşamsallığını başta BM ve FAO gelmek üzere uluslararası kuruluşların, ülkelerin ve toplumlarının önüne serdi. Yukarıda açıkladığımız şekilde, doğa, toprak, su, hava ve iklimin önemi ile doğanın yasalarına uygun yaşamın önemi yeniden ortaya çıktı. COVID-19 ve benzeri salgın hastalıklara karşı vücut direnci ve bağışıklık sisteminin önemi de yeniden daha kuvvetli bir biçimde dillendirilir oldu. Bu durum, yeniden tarım ve gıda güvenliği, gıda kalitesi ve gıdanın sürdürülebilirliği konusundaki uğraş ve etkinliklerimizi planlamamızı gerektiriyor. Ulusal ve uluslararası ilişkilerde tarım ve gıda güvenliği stratejik öncelikli olacaktır ve ilişkiler bu çerçevede yürütülecektir. Toprak varlığı, tohum çeşitliliği ve niteliği, su kullanımı daha koruyucu, daha toplumcu ve ulusalcı bir duyarlılıkla ele alınacaktır. Doğa-insan ve sağlıklı beslenme ile çevre eksenli bir ilerleme ve kalkınma hedeflenecektir.

REFERANSLAR

- Altınsoy, H., Öztürk, T., Türkeş, M., Kurnaz M. L. 2012. Simulating the climatology of extreme events for the central Asia domain using the RegCM 4.0 regional climate model. pp. 365-370: C.G. Helmis and P. Nastos (eds.), *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*. Springer-Verlag, Berlin.
- An, N., Turp, MT., Türkeş, M., Kurnaz, ML. 2020. Climate change effects on agricultural production: A Short Review. *Curr Inves Agri Curr Res* 8(3). CIACR.MS.ID.000288. DOI: 10.32474/CIACR.2020.08.000288.
- Asseng, S., I. Foster, N.C. Turner. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17, 997-1012.
- Barati, F., B. Agung, P. Wongsrikeao, M. Taniguchi, T. Nagai, and T. Otoi. 2008. Meiotic competence and DNA damage of porcine oocytes exposed to an elevated temperature. *Theriogenology*, 69, 767-772.

- Burke, M.B., D.B. Lobell, and L. Guarino. 2009. Shifts in African crop climates by 2050, and the implications for crop improvement and genetic resources conservation. *Global Environmental Change*, 19, 317-325.
- Cannon, R.J.C. 1998. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species. *Global Change Biology*, 4, 785-796.
- Ceccarelli, S. et al. 2010. Plant breeding and climate changes. *The Journal of Agricultural Science*, 148, 627-637.
- Challinor, A.J., E.S. Simelton, E.G. Fraser, D. Hemming. 2010. Increased crop failure due to climate change: assessing adaptation options using models and socio-economic data for wheat in China. *Environmental Research Letters*, 5(3), 034012.
- Chakraborty, S. and A.C. Newton. 2011. Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*, 60, 2-14.
- Chen, C., E. Wang, Q. Yu, and Y. Zhang. 2010. Quantifying the effects of climate trends in the past 43 years (1961-2003) on crop growth and water demand in the North China Plain. *Climatic Change*, 100, 559-578.
- Cline, W.R. 2008. Global warming and agriculture. *Finance and Development*, March 2008: 23-27.
- Craufurd, P.Q., T.R. Wheeler. 2009. Climate change and the flowering time of annual crops. *Journal of Experimental Botany*, 60, 2529-2539.
- DaMatta, F.M., A. Grandis, B.C. Arenque, M.S. Buckeridge. 2010. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. *Food Research International*, 43, 1814-1823.
- Dellal, D., McCarl, B.A., Butt, T. 2011. The Economic Assessment of Climate Change on Turkish Agriculture. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 12(1), 376-385.
- DGC. 2018. *Hazelnut Report for 2017* (in Turkish). Republic of Turkey Ministry of Customs and Trade, Directorate General of Cooperatives (DGC): Ankara.
- Dikmen, S., Hansen P.J. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*, 92, 109-116.
- Erlat, E., Türkeş, M. 2008. Türkiye’de don olaylı gün sayılarındaki değişiklikler ve Arktik Salınım ile bağlantısı. *IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*: 426-436. 25-28 Mart 2008, İstanbul.
- Erlat, E., Türkeş, M. 2012. Analysis of observed variability and trends in numbers of frost days in Turkey for the period 1950–2010. *International Journal of Climatology*, 32(12), 1889–1898. DOI: 10.1002/joc.2403
- Erlat, E., Türkeş, M. 2013. Observed changes and trends in numbers of summer and tropical days, and the 2010 hot summer in Turkey. *International Journal of Climatology* 33(8), 1898–1908. DOI: 10.1002/joc.3556
- Erlat, E., Türkeş, M. 2016. Dates of frost onset, frost end and the frost-free season in Turkey: trends, variability and links to the North Atlantic and Arctic Oscillation indices, 1950–2013. *Climate Research* 69, 155–176. doi: 10.3354/cr01397
- Erlat, E., Türkeş, M. 2017. Türkiye’de tropikal gece sayılarında gözlenen değişimler ve eğilimler. *Ege Coğrafya Dergisi* 26(2), 95-106.
- FAO, WFP, IFAD. 2012. *The State of Food Insecurity in the World 2012. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition*. FAO, Rome.
- Feng, J., M. Zhang, S. Zheng, P. Xie, A. Ma, 2008. Effects of high temperature on multiple parameters of broilers in vitro and in vivo. *Poultry Science*, 87, 2133-2139.
- Fleisher, D.H., D.J. Timlin, V.R. Reddy. 2008. Interactive effects of carbon dioxide and water stress on potato canopy growth and development. *Agronomy Journal*, 100, 711-719.
- Garrett, K.A. et al. 2011. Complexity in climate-change impacts: an analytical framework for effects mediated by plant disease. *Plant Pathology*, 60(1), 15-30.
- Gregory, P.J., B.E. Marshall. 2012. Attribution of climate change: a methodology to estimate the potential contribution to increases in potato yield in Scotland since 1960. *Global Change Biology*, 18, 1372-1388.
- Hasegawa, T. et al. 2013. Rice cultivar responses to elevated CO₂ at two free-air CO₂ enrichment (FACE) sites in Japan. *Functional Plant Biology*, 40, 148-159.

- Hawkins, E., T.M. Osborne, C.K. Hoa, A.C. Challinor. 2012. Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: an idealised case study over Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 19-31.
- Hellmann, J.J., J.E. Byers, B.G. Bierwagen, J.S. Dukes. 2008. Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*, 22, 534-543.
- Högy, P., et al. 2009. Effects of elevated CO₂ on grain yield and quality of wheat: results from a 3-year free-air CO₂ enrichment experiment. *Plant Biology*, 11(Suppl. 1), 60-69.
- IPBES. 2019. *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (eds). IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F., et al. (eds.): Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- IPCC. 2014. *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*. Field, C.B. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. 2018. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte, V. et al. (eds.). In Press
- Iqbal, M.M., M.A. Goheer, A.M. Khan. 2009. Climate-change aspersions on food security of Pakistan. *Science Vision*, 15(1), 15-23.
- Izaurrealde, R., D. Adams, R. Alig, C. Betz, C. Hutchins, B. McCarl, K. Skog, B. Sohngen, 2001. Assessing socioeconomic impacts of climate change on US forests, wood-product markets, and forest recreation. *BioScience*, 51, 753-764.
- Jadadish, K., P.Q. Craufurd, T.R. Wheeler. 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza Sativa* L.). *Journal of Experimental Biology*, 58, 1627-1635.
- Jaggard, K., A. Qi, and M.A. Semenov. 2007. The impact of climate change on sugarbeet yield in the UK: 1976-2004. *The Journal of Agricultural Science*, 145, 367-375.
- Jamieson, P.D., et al. 2000. Modelling CO₂ effects on wheat with varying nitrogen supplies. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82: 27-37.
- Jones, P.G., Thornton, P.K. 2009. Croppers to livestock keepers: livelihood transitions to 2050 in Africa due to climate change. *Environmental Science & Policy*, 12, 427-437.
- Kartum, Ş., Koç, T., Türkeş, M. 2011. Türkiye’de kar yağışlarının başlangıç ve bitiş tarihlerinde gözlenen değişiklikler ve eğilimler. *V. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*: 195-200, 27-29 Nisan 2011, İstanbul.
- Krishnamurthy, P.K. Lewis, K., Choularton, R.J. 2014. A methodological framework for rapidly assessing the impacts of climate risk on national-level food security through a vulnerability index. *Global Environmental Change*, 25, 121-132.
- Knox, J., T. Hess, A. Daccache, T. Wheeler. 2012. Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. *Environmental Research Letters*, 7, 034032, doi:10.1088/1748-9326/7/3/034032.
- Kuglitsch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P.M., Zerefos, C. S., Türkeş, M., Luterbacher, J. 2010. Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. *Geophysical Research Letters*, 37, L04802.
- Leakey, A.D.B. 2009. Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the future of C₄ crops for food and fuel. *Proceedings of the Royal Society B*, 276(1666), 2333-2343.
- Li, S., T. Wheeler, A. Challinor, E. Lin, H. Ju, Y. Xu. 2010. The observed relationships between wheat and climate in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 1412-1419.
- Liu, Y., E. Wang, X. Yang, J. Wang. 2009. Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s. *Global Change Biology*, 16(8), 2287-2299.

- Lobell, D.B., C.B. Field. 2007. Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2, 014002, doi:10.1088/1748-9326/2/1/014002.
- Lobell, D.B., M.B. Burke. 2008. Why are agricultural impacts of climate change so uncertain? The importance of temperature relative to precipitation. *Environmental Research Letters*, 3, 034007, doi:10.1088/1748-9326/3/3/034007.
- Lobell, D.B., W. Schlenker, J. Costa-Roberts. 2011a. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620.
- Lobell, D.B., M. Banziger, C. Magorokosho, B. Vivek. 2011b. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. *Nature Climate Change*, 1(1), 42-45.
- Lobell, D.B., A. Sibley, J.I. Ortiz-Monasterio. 2012. Extreme heat effects on wheat senescence in India. *Nature Climate Change*, 2(3), 186-189.
- Lobell, D.B., G.L. Hammer, G. McLean, C. Messina, M.J. Roberts, W. Schlenker. 2013a. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature Climate Change*, 3, 497-501.
- Met Office. 2012: <http://www.metoffice.gov.uk/climate-change/guide/impacts/food>.
- Moriondo, M., C. Giannakopoulos, M. Bindi. 2011. Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation. *Climatic Change*, 104, 679-701.
- Müller, C., Bondeau, A., Popp, A., Waha, K., Fader, M. 2009. *Climate Change Impacts on Agricultural Yields: Background Note to the World Development Report 2010, Development and Climate Change*. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK).
- Oerke, E.C. 2006. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144, 31-43.
- Ortiz, R., et al. 2008. Climate change: can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126, 46-58.
- Ozturk, T., Altinsoy, H., Türkeş, M., Kurnaz M. L. 2012. Simulation of temperature and precipitation climatology for central Asia CORDEX domain by using RegCM 4.0. *Climate Research*, 52, 63-76.
- Özdoğan, M. 2011. Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. *Agric. Ecosyst. Environ.* 141, 1-12.
- Özkan, B. and Akcaöz, H. 2002. Impacts of climate factors on yields for selected crops in the Southern Turkey. *7 Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 367-380.
- Önol, B., Semazzi, F.H.M. 2009. Regionalization of climate change simulations over the Eastern Mediterranean. *Journal of Climate*, 22, 1944-1960.
- Önol, B., Unal, Y. 2014. Assessment of climate change simulations over climate zones of Turkey. *Regional Environmental Change*, 14(5), 1921-1935.
- Öztürk, T., Türkeş, M., Kurnaz, L. 2014. RegCM4.3.5. İklim modeli benzetimleri kullanılarak Türkiye'nin gelecek hava sıcaklığı ve yağış klimatolojilerindeki değişikliklerin çözümlenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi* 20(1), 17-27.
- Öztürk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M., Kurnaz, M. L. 2015. Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled global climate model outputs. *International Journal of Climatology*, 35, 4276-4292. DOI: 10.1002/joc.4285
- Palmer, M.A., C.A. Reidy Liermann, C. Nilsson, M. Florke, J. Alcamo, P.S. Lake, N. Bond. 2008. Climate change and the world's river basins: anticipating management options. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 81-89.
- Pautasso, M., et al. 2010. Plant health and global change – some implications for landscape management. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 85, 729-755.
- Porter, J.R., et al. 2014. *Food security and food production systems. 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*. Field, C.B. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485-533.
- Rosenzweig, C., Hillel, D. 1998. *Climate Change and the Global Harvest: Potential Impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture*. Oxford University Press, Oxford.

- Rosenzweig, C. et al. 2013. The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 166-182.
- Rosenzweig, C., J. Elliott, D. Deryng, A.C. Ruane, C. Müller, A. Arneth, J.W. Jones. 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201222463.
- Sakurai, G., T. Lizumi, M. Yokozawa. 2012. Varying temporal and spatial effects of climate on maize and soybean affect yield prediction. *Climate Research*, 49, 143-154.3
- Sánchez, B., A. Rasmussen, J.R. Porter. 2014. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. *Global Change Biology*, 20, 408-417.
- Savary, S., A. Mila, L. Willocquet, P.D. Esker, O. Carisse, N. McRobert. 2011. Risk factors for crop health under global change and agricultural shifts: a framework of analyses using rice in tropical and subtropical Asia as a model. *Phytopathology*, 101, 696-709.
- Schaeffleitner, R., J. Ramirez, A. Jarvis, D. Evers, R. Gutierrez, M. Scurrah. 2011. *Adaptation of the potato crop to changing climates*. In: Crop Adaptation to Climate Change [Yadav, S., et al. (eds.)]. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, pp. 287-297.
- Schroth, G. et al. 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14, 605-626.
- Semenov, M., R. Mitchell, A. Whitmore, M. Hawkesford, M. Parry, P. Shewry. 2012. Shortcoming in wheat yield productions. *Nature Climate Change*, 2, 380-382.
- Sen, B., Topcu, S., Türkeş, M., Sen, B., Warner, J. F. 2012. Projecting climate change, drought conditions and crop productivity in Turkey. *Climate Research*, 52, 175-191.
- Shimono, H., M. Okada, Y. Yamakawa, H. Nakamura, K. Kobayashi, T. Hasegawa. 2008. Rice yield enhancement by elevated CO₂ is reduced in cool weather. *Global Change Biology*, 14, 276-284.
- Supit, I., C.A. van Diepen, A.J.W. de Wit, P. Kabat, B. Baruth, F. Ludwig. 2010. Recent changes in the climate yield potential of various crops in Europe. *Agricultural Systems*, 103, 683-694.
- Tatlı, H., Türkeş, M. 2008. Türkiye'deki 2006/2007 kuraklığı ile geniş ölçekli atmosferik değişkenler arasındaki bağlantının lojistik regresyonla belirlenmesi. *IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*: 516-527, 25-28 Mart 2008, İstanbul.
- Tatlı, H., Türkeş, M. 2011. Examinaton of the dry and wet conditions in Turkey via model output statistics (MOS). *IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*: 219-229, 27-29 Nisan 2011, İstanbul.
- Teixeira, E., G. Fischer, H. van Velthuizen, C. Walter, F. Ewert. 2013. Global hot-spots of heat stress on agricultural crops due to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 206-215.
- Trnka, M. et al. 2011. Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology*, 17, 2298-2318.
- Trigo, R. ve ark. 2006. *Relations between variability in the Mediterranean region and mid-latitude variability*. Pp. 179-226: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., and Boscolo, R. (eds.), *Chapter 3, Mediterranean Climate Variability*. Elsevier Developments in Earth & Environmental Sciences 4, Amsterdam.
- Turkes, M. 2020. *Climate and Drought in Turkey, Chapter 4*. In Harmancioglu, N. B., Altinbilek, D. (eds.), *Water Resources of Turkey*. *World Water Resources*, vol 2. Springer, Cham, pp 85-125.
- Turkes, M., Turp, M. T., An, N., Ozturk, T., Kurnaz, M. L. 2020. *Impacts of Climate Change on Precipitation Climatology and Variability in Turkey, Chapter 14*. In Harmancioglu, N. B., Altinbilek, D. (eds.), *Water Resources of Turkey*. *World Water Resources*, vol 2. Springer, Cham, pp 467-491.
- Turp, M. T., Öztürk, T., Türkeş, M., Kurnaz, M. L. 2014. RegCM4.3.5 bölgesel iklim modelini kullanarak Türkiye ve çevresi bölgelerinin yakın gelecekteki hava sıcaklığı ve yağış klimatolojileri için öngörülen değişikliklerin incelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(1), 1-24.
- Türkeş, M. 1996. Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16, 1057-1076.
- Türkeş, M. 1998. Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 18, 649-680.

- Türkeş, M. 1999. Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 23, 363-380.
- Türkeş, M. 2012a. *Küresel İklim Değişikliği ve Çölleşme*. S: 1-42. Ed. N. Özgen. *Günümüz Dünya Sorunları – Disiplinlerarası Bir Yaklaşım*. Eğiten Kitap, Ankara.
- Türkeş, M. 2012b. Kuraklık, çölleşme ve Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Savaşım Sözleşmesi'nin ayrıntılı bir çözümlemesi. *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi, Çevre Özel Sayısı*, 20, 7-56.
- Türkeş, M. 2013a. Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32.
- Türkeş, M. 2013b. *İklim Verileri Kullanılarak Türkiye'nin Çölleşme Haritası Dokümanı Hazırlanması Raporu*. Birinci Baskı, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayını, ISBN: 978-6054610-51-8, 57 sayfa: Ankara.
- Türkeş, M. 2014a. Türkiye'deki 2013-2014 kuraklığının ve klimatolojik/meteorolojik nedenlerinin çözümlenmesi. *Konya Toprak Su Dergisi*, 2, 20-34.
- Türkeş, M. 2014b. İklim Değişikliğinin Tarımsal Gıda Güvenliğine Etkileri, Geleneksel Bilgi ve Agroekoloji. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 2(2), 71-85.
- Türkeş, M. 2016a. *Küresel İklim Değişiklikleri ve Başlıca Nedenleri ile Dünya'da ve Türkiye'de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişiklikleri ve Değişkenliği*. İçinde: "Küresel İklim Değişikliği ve Etkileri" Engin Ural Anısına (Ed: M. Somuncu), s. 71-115. Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara.
- Türkeş, M. 2016b. İklim değişikliğinin tarımsal gıda güvenliğine etkileri. *Tarım ve Mühendislik (Gürol Hocanın Ardından)*, 113-115, 6-10.
- Türkeş, M. 2017. Türkiye'nin iklimsel değişkenlik ve sosyo-ekolojik göstergeler açısından kuraklıktan etkilenebilirlik ve risk çözümlemesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 26(2), 47-70.
- Türkeş, M. 2018. *İklim Değişikliğinin Etkileri, Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Gereksinimleri, Etkilenebilirlik ve Risk Değerlendirmeleri. İklim Değişikliği ve Kalkınma* (Ed. İzzet Arı). T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Ankara.
- Türkeş, M. 2019. İklim değişikliği ve kuraklığın tarıma etkileri. *Tarım Gündem Dergisi, Temmuz-Agustos*, 21-25.
- Türkeş, M., Akgündüz, A.S. 2011. Assessment of the desertification vulnerability of the Cappadocian district (Central Anatolia, Turkey) based on aridity and climate-process system. *International Journal of Human Sciences*, 8, 1234-1268.
- Türkeş, M., Erlat, E. 2003. Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2000. *International Journal of Climatology*, 23, 1771-1796.
- Türkeş, M., Erlat, E. 2005. Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic oscillation during the period 1930-2001. *Theoretical and Applied Climatology*, 81, 45-69.
- Türkeş, M., Erlat, E. 2018a. *A scientific assessment of observed changes and trends in extreme weather and climate events in the world and Turkey*. In Meltem Ucal (Ed.), *Climate Change and Green Perspective: Green Economy, Green Growth* (pp. 5-38). Istanbul, Turkey: Heinrich Böll Stiftung Foundation.
- Türkeş, M., Erlat, E. 2018b. Variability and trends in record air temperature events of Turkey and their associations with atmospheric oscillations and anomalous circulation patterns. *International Journal of Climatology*, 38, 5182-5204.
- Türkeş, M., Sümer, U.M. 2004. Spatial and temporal patterns of trends and variability in diurnal temperature ranges of Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 77, 195-227.
- Türkeş, M., Tatlı, H. 2009. Use of the standardized precipitation index (SPI) and modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29, 2270-2282.
- Türkeş, M., Yıldız, D. 2014. Gözlenen Bugünkü ve Benzeştirilen Gelecek Yağış Değişimleri ve Kuraklık Olayları Perspektifinde Türkiye'de Hidroelektrik Santrallerin Geleceği. 22 Ocak 2014. *Hidropolitik Akademi İklim Değişikliği ve Kuraklık Çalışmaları*, Ankara.
- Türkeş, M., Sümer, U. M., Demir, İ. 2002. Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999. *International Journal of Climatology*, 22, 947-977.

- Türkeş, M., Koç, T., Sarış, F. 2009a. Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29, 1056-1074.
- Türkeş, M., Akgündüz, A.S., Demirörs, Z. 2009b. Palmer Kuraklık İndisi'ne göre İç Anadolu Bölgesi'nin Konya Bölümü'ndeki kurak dönemler ve kuraklık şiddeti. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7(2), 129-144.
- Türkeş, M., Kurnaz, M. L., Öztürk, T., Altınsoy, H. 2011. *Climate changes versus 'security and peace' in the Mediterranean macroclimate region: are they correlated?* Pp: 625-639. *Proceedings of International Human Security Conference on Human Security: New Challenges, New Perspectives*. 27-28 October 2011, İstanbul.
- Türkeş, M., Musaoğlu, N., Özcan, O. 2018. Assessing the vulnerability of a forest ecosystem to climate change and variability in the western Mediterranean sub-region of Turkey: future evaluation. *Journal of Forestry Research*, 29(5), 1177-1186.
- UN. 2019. *World Population Prospects 2019: Highlights*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, (ST/ESA/SER.A/423).
- Vitali, A., M. Segnalini, L. Bertocchi, U. Bernabucci, A. Nardone, N. Lacetera. 2009. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 3781-3790.
- Wassmann, R., et al. 2009: *Climate change affecting rice production: the physiological and agronomic basis for possible adaptation strategies*. In: *Advances in Agronomy*, Vol. 101 [Sparks, D.L. (ed.)]. Elsevier Science and Technology/Academic Press, Waltham, MA, USA, pp. 59-122.
- WB. 2010. *WB World Development Report 2010: Overview - Changing the Climate for Development*. World Bank (WB), Washington, DC.
- Welch, J.R., J.R. Vincent, M. Auffhammer, P.F. Moya, A. Dobermann, D. Dawe. 2010. *Rice yields in tropical/subtropical Asia exhibit large but opposing sensitivities to minimum and maximum temperatures*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(33), 14562-14567, doi:10.1073/pnas.1001222107.
- Zhang, X., X. Cai. 2011. Climate change impacts on global agricultural land availability. *Environmental Research Letters*, 6, 014014, doi:10.1088/1748-9326/6/1/014014.
- Zhang, T., J. Zhu, X. Yang, X. Zhang. 2008. Correlation changes between rice yields in North and Northwest China and ENSO from 1960 to 2004. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 1021-1033.
- Zhang, T., J. Zhu, R. Wassmann. 2010. Responses of rice yields to recent climate change in China: an empirical assessment based on long-term observations at different spatial scales (1981-2005). *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 1128-1137.
- Ziska, L.H. 2010. *Global climate change and carbon dioxide: assessing weed biology and management*. In: *Handbook of Climate Change and Agro-Ecosystems: Impacts, Adaptation and Mitigation* [Rosenzweig, C. and D. Hillel (eds.)]. World Scientific Publishing, Hackensack, NJ, USA, pp. 191-208.
- Ziska, L.H., et al. 2012. Food security and climate change: on the potential to adapt global crop production by active selection to rising atmospheric carbon dioxide. *Proceedings of the Royal Society B*, 279, 4097-4105.
- Zumbach, B., et al. 2008. Genetic components of heat stress in finishing pigs: Development of a heat load function. *Journal of Animal Science*, 86(9), 2082-2088.