



## Effects of Climate Change on the Grasslands

Rüştü Hatipoğlu<sup>1,a,\*</sup>, Mustafa Avcı<sup>2,b</sup>, Selahattin Çınar<sup>3,4,c</sup>

<sup>1</sup>Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Çukurova University, 01330 Adana, Turkey

<sup>2</sup>Department of Plant Production and Technologies, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Ömer Halisdemir University, 51240 Niğde, Turkey

<sup>3</sup>Faculty of Agriculture, Kyrgyz Turk Manas University 720038 Cal/Bişkek, Kyrgyzstan

<sup>4</sup>Department of Plant and Animal Production, Vocational School of Technical Sciences, Kilis 7 Aralık University, 79000 Kilis, Turkey

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 30/10/2019 Accepted : 21/11/2019</p> <p><b>Keywords:</b> Climate change Grasslands Temperature Carbondioxide Precipitation</p>	<p>Climate change refers to the increase in greenhouse gases and changes in all kinds of climate with global warming. Concentration of CO<sub>2</sub>, one of the greenhouse gases, in the atmosphere increased over the 30% during the last 50 years, and this increase is expected to increase more rapidly at the next century. Climate change can lead to changes in temperature and precipitation. Flora is also varying in parallel to the climate change. In some part of the world, the number of plant species is decreasing, and it is expected that the number of the plant species adapting cool climates will decrease even further since these species cannot adapt to high temperatures. Climate change is importantly affecting yield of the grasslands. Higher increase in productivity in the western hemisphere in compared to the Eastern Hemisphere shows vulnerability of the grassland in North America, Central Asia, Central Africa and Oceania to the climate change. Global warming in areas with high summer temperatures affects feed consumption efficiency, live weight gain, milk yield and reproduction of the animals negatively. In cool regions, the effect of global warming is less felt. Intensive efforts are being made to investigate and predict the effects of climate changes on the grasslands. Detailed modeling studies are needed to make high predictions about the future. According to the forecasts made, it is predicted that global warming will be effective especially in Turkey. For this reason, drought tolerant varieties of forage plants should be developed and forage plant species with C<sub>4</sub> photosynthesis adapting to different ecological regions of our country should be determined as well as the researches on the growing and breeding techniques of those plants should be conducted.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(12): 2282-2290, 2019

## İklim Değişikliğinin Çayır-Meralar Üzerindeki Etkileri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 30/10/2019 Kabul : 21/11/2019</p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b> İklim değişikliği Çayır meralar Sıcaklık Karbondioksit Yağış</p>	<p>İklim değişikliği küresel ısınma ile birlikte sera gazlarının artışı ve iklimde meydana gelen her tür değişikliği ifade eder. Son 50 yılda sera gazlarından CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun %30'un üzerinde arttığı, gelecek yüzyılda ise bu artışın daha hızlı olacağı tahmin edilmektedir. İklim değişikliği yıl içerisinde ve yıllar arasında önemli sıcaklık ve yağış farklılıklarına neden olabilmektedir. İklim değişikliğine paralel olarak flora da değişmektedir. İklim değişikliği nedeniyle bazı alanlarda tür sayısının azaldığı saptanmış ve özellikle serin iklim türlerinin yüksek sıcaklıklara adapte olamamasından dolayı daha da azalacakları öngörülmektedir. İklim değişikliği meralarda verimi önemli derecede etkilemektedir. Batı yarım kürede verim artışı Doğu yarım küreden daha yüksek olurken, Kuzey Amerika, Orta Asya, Orta Afrika ve Okyanusya'daki meraların iklim değişikliğine karşı hassasiyeti ortaya çıkmıştır. Yaz sıcaklıklarının yüksek olduğu alanlarda küresel ısınma hayvanlarda yem tüketim etkinliğini, canlı ağırlık artışı, süt verimini ve üremeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Serin bölgelerde ise küresel ısınmanın etkisi daha az hissedilmektedir. İklim değişikliklerinin çayır meralar üzerindeki etkilerini araştırmak ve tahminlerde bulunmak için yoğun çaba harcanmaktadır. Gelecekle ilgili yüksek güvenilirlikli tahminler yapabilmek için detaylı modelleme çalışmalarına ihtiyaç vardır. Yapılan tahminlere göre özellikle ülkemizde küresel ısınmanın etkili olacağı öngörülmektedir. Bundan dolayı çayır-mera yem bitkilerinde kurağa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, farklı ekolojik bölgelerimize adapte olabilecek C<sub>4</sub> yem bitkisi türlerinin belirlenmesi ve bu türlerin yetiştirme tekniği ve ıslah çalışmalarına ihtiyaç vardır.</p>

<sup>a</sup> rhatip@cu.edu.tr

<sup>b</sup> <http://orcid.org/0000-0002-7977-0782>

<sup>b</sup> mavci@ohu.edu.tr

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6704-8947>

<sup>c</sup> scinar01@hotmail.com

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9049-0044>



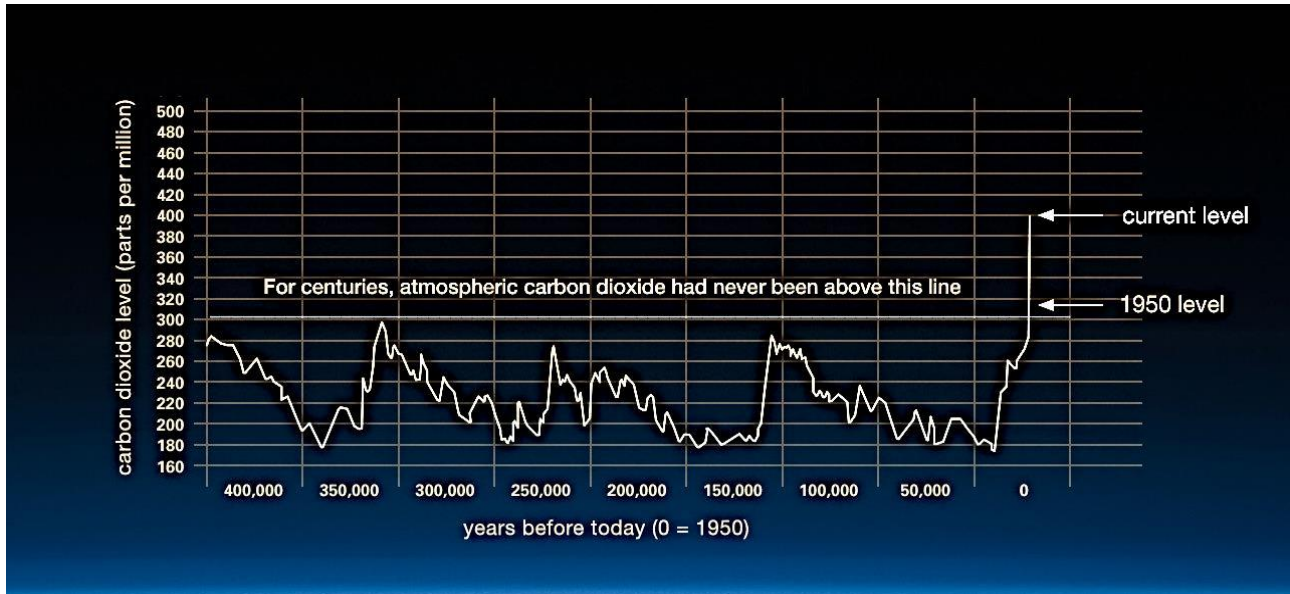
This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Giriş

İklim, bir yerde uzun dönemdeki atmosfer hareketlerini (sıcaklık, nem, hava basıncı, rüzgâr, yağış, yağış şekli) ifade eder (NASA, 2019). İklim değişikliği ise, çok genel anlamıyla iklim sisteminin istatistiksel özelliklerinde (ortalama ve dağılımı) farklı nedenlerle uzun dönemli olarak ortaya çıkan değişiklikler olarak tanımlanmaktadır (Solomon ve ark., 2007). Bu tanıma göre 10 yıldan daha kısa dönemdeki iklimsel dalgalanmalar iklim değişikliği olarak kabul edilmemektedir. Bazen iklim değişikliği denildiğinde, yalnızca insan aktivitelerinin neden olduğu iklim değişikliği anlaşılmalıdır. Buna karşılık yeryüzündeki doğal süreçler de iklim değişikliğine neden olabilmektedir.

Yeryüzündeki sıcaklık artışı küresel ısınma olarak tanımlanır. İklim değişikliği ise küresel ısınma dahil sera gazlarındaki artışın etkilediği her türlü iklim değişikliklerini kapsamaktadır. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), azot oksit (N<sub>2</sub>O), hidrofloro karbonlar (HFCs), perfloro karbonlar (PFCs) ve heksaflorid olmak üzere altı ana sera gazı bulunmaktadır. Ayrıca su buharı da sera gazı olarak kabul edilmektedir. Aslında bu gazlar

yaşam için gerekli gazlardır. Eğer bu gazlar olmaz ise güneşten gelen sıcaklık, uzaya geri döner ve yeryüzü daha soğuk olurdu. Yani bu gazlar yeryüzünün ısınmasını sağlar. Fakat bu gazların atmosferdeki konsantrasyonu arttığında, atmosferde daha fazla sıcaklık tutulur ve yeryüzü insan, hayvan ve bitkilerin yaşamı için daha az uygun hale gelir. Sera gazları içinde karbondioksit en etkin sera gazı olmamasına karşılık en önemli sera gazıdır. İnsan aktiviteleri sera gazı etkisinin doğal döngüsünde ve bu döngü ile ilgili süreçlerde dengesizliğe neden olmuştur. Önemli miktarlardaki sera gazının atmosfere salımı endüstri çağında başlamıştır ve günümüzde bu gazların salımı hızla artmaktadır (Şekil 1). 1950'li yıllara kadar 300 ppm'in üzerine çıkmayan CO<sub>2</sub> konsantrasyonu 1980-2014 yılları arasında 338 ppm'den 398 ppm'e çıkmıştır. Eylül 2019'da atmosferdeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 408,55 ppm olduğu bildirilmektedir (Anonymous, 2019). 2100 yılında farklı senaryolara göre atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonunun 421-936 ppm arasında değişeceği tahmin edilmektedir (Dumont ve ark., 2015).



Şekil 1 Atmosferde CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi (Kaynak: NASA, 2019)

## İklim Değişikliğinin Göstergeleri

Atmosferde sera gazlarının ve özellikle de CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun artışı yeryüzü sıcaklığında, yağışın miktar ve dağılımında ve diğer iklim olaylarında değişikliğe neden olmaktadır (Dumont ve ark., 2015).

Yeryüzündeki küresel ısınma 1880 yılından beri devam etmektedir (NASA, 2019). En fazla ısınma son 35 yılda ortaya çıkmıştır. En sıcak 16 yılın 15'i 2001 yılından sonraki yıllara rastlamıştır. 2015 yılında 1880-1899 yılına göre küresel ortalama sıcaklık ilk defa 1°C artmıştır. Sıcaklık artışı devam etmektedir. Ayrıca, okyanusların sıcaklığı da artmıştır. 1969 yılından beri okyanusların 700 m derinliğinde sıcaklık 0.16°C artmıştır.

Türkiye'de ise 1950-2010 yılları arası iklim verileri değerlendirildiğinde; istatistiksel açıdan anlamlı ısınma eğilimlerinin genel olarak Akdeniz Bölgesi'nde egemen olduğu, çok azı istatistiksel açıdan anlamlı olmak üzere,

soğuma eğilimlerinin Karadeniz Bölgesi ile iç ve batı bölgelerinde görüldüğü, ilkbahar ortalama hava sıcaklıklarının, birkaç istasyon dışında, Türkiye'nin çok büyük bölümünde artma eğilimi gösterdiği anlaşılmıştır (Anonymous, 2012).

Özellikle Marmara, Ege, Akdeniz, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde gözlenen ısınma eğilimlerinin istatistiksel açıdan önemli olduğu, ısınma eğilimlerinin kentleşmenin hızlı ve yaygın, buna bağlı kentsel ısı adası etkilerinin kuvvetli olduğu İstanbul yöresinde, Ege ve Akdeniz bölgelerinin kıyı istasyonlarında ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi istasyonlarında çoğunlukla %1 anlamlılık düzeyinde önemli ve klimatolojik olarak dikkat çekici olduğu, yazın, eğilim çözümlerinde kullanılan tüm istasyonların, birkaçı dışında %1 anlamlılık düzeyinde önemli belirgin

artış eğilimleri sergilediği saptanmıştır (Anonymous, 2012). Sonbahar ortalama hava sıcaklıkları da, çoğunlukla ısınma eğilimi göstermiştir.

2100 yılında atmosferdeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 538 ppm olacağı kabul edildiğinde en fazla sıcaklık artışının Kuzey yarımkürede olması beklenmektedir. Kuzey-Batı Avrupa'da kışın sıcaklık artışının 3-7°C olacağı tahmin edilmektedir. Lelievre ve ark. (2010), Güney Fransa'da Akdeniz ikliminin sınırlarının 1980'den beri her 10 yılda 30-40 km kuzey ve kuzeybatıya doğru kaydığını belirtmektedirler. İklim modellerinin çoğunluğuna göre Akdeniz Bölgesinde kışın sıcaklık artışının 1-2°C olacağı tahmin edilmektedir.

2011-2040 yılları için tüm Türkiye'de yüzey sıcaklığının artacağı tahmin edilmiştir (Anonymous, 2012). Ancak bu artışların genelde düşük oranlarda olacağı (kışın 0,5°C'den ve yazın 1,0°C'den düşük) beklenmektedir. Türkiye'de yüzey sıcaklıklarındaki önemli artışların ikinci dönemde (2041- 2070) ortaya çıkması beklenmektedir. Bu artışın, kışın yaklaşık 1,5°C, yazın ise yaklaşık 2,4°C olacağı tahmin edilmektedir. 21. yüzyılın sonuna doğru yüzey sıcaklıklarının kışın yaklaşık 3,5°C, yazın ise 6°C'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir. Model simülasyonu, Türkiye'deki yüzey sıcaklığı artışlarının eşit olmayacağını öngörmektedir. Türkiye'nin doğu ve iç kısımlarında kış sıcaklıklarında daha fazla artış, güney ve güneydoğu kesimlerinde ise yaz sıcaklıklarında daha fazla artış beklenmektedir. Yaz mevsimi yüzey sıcaklığı değişimindeki kuzey-güney gradyanı yüzyılın sonuna doğru daha belirgin hale gelmeye başlayacaktır. Son dönemde yaz sıcaklığı artışları, Türkiye'nin güneydoğu ve güneybatı kesimlerinde yaklaşık 6°C'ye ulaşırken, Karadeniz ve Marmara Bölgeleri'nde sadece 3°C civarında kalacağı tahmin edilmektedir.

İklim değişikliğinin bir diğer yönü ise iklimin yıl içerisinde ve yıllar arasında büyük değişim göstermesidir ve bu değişim ekolojik açıdan çok büyük öneme sahiptir. 2100 yılında atmosferdeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 538 ppm olacağı varsayımını kabul eden modele göre Kuzey Avrupa'da hem yaz döneminde ve hem de kış döneminde yağışın %10-20 artacağı tahmin edilmektedir. Buna karşılık Akdeniz bölgesinde kış dönemindeki yağışın %10, yaz dönemindeki yağışın ise %10-20 azalacağı tahmin edilmektedir.

Türkiye'de 1950-2010 yılları arası iklim verilerinin değerlendirilme sonuçlarına göre, genel olarak kış ve ilkbahar yağış toplamlarında, Marmara, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ile İç ve Doğu Anadolu bölgelerinin iç ve güney bölümlerinde belirgin bir azalma eğiliminin (kuraklaşma) olduğu ortaya çıkmıştır.

2011-2040 yılları arasında Türkiye'nin çoğu bölgesinde kış ve ilkbahar yağışlarında %30'a varan bir artış olacağı, ancak ikinci dönemde (2040-2070), kış yağışlarının Türkiye'nin güney ve batı kesimlerinde %20'ye varan bir düşüş göstereceği tahmin edilmektedir. Benzer şekilde, ilkbahar yağışlarının da Türkiye'nin iç ve güney kısımlarında azalacağı tahmin edilmektedir. Buna karşılık, yağışların her iki mevsimde de Türkiye'nin kuzey kesimlerinde artacağı tahmin edilmektedir. 2070-2099 döneminde kış mevsimi yağış değişiklikleri, 2040-2070 dönemi ile benzerlik göstermesi beklenmektedir. En temel farkın değişikliklerin güçlenmesi şeklinde olacağı tahmin edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, 2070-2099 döneminde

yağış düşüşlerinin olduğu bölgelerin çok daha kuru, yağışlarda artışın olduğu bölgelerin ise çok daha nemli olması beklenmektedir. Ayrıca, 2070-2099 döneminde ilkbahar yağışlarında azalmanın olduğu alanların Türkiye'nin büyük bir bölümünü kapsamaması, sadece Karadeniz Bölgesi'nde yağışların artması beklenmektedir.

Küresel ısınma buzulların erimesine neden olmaktadır. NASA (2019)'nın bildirdiğine göre 2002-2006 yılları arasında Grönland'da yılda 150-250 km<sup>3</sup>, Antartika'da ise 2002-2005 yılları arasında 152 km<sup>3</sup> buzul kaybı olmuştur. Buzullardaki erime deniz seviyesinde artışa neden olmuştur. 20. Yüzyılda deniz seviyesi küresel düzeyde 17 cm yükselmiştir. Deniz seviyesinde artış hızı son on yılda 20. yüzyıldakinin iki katına çıkmıştır (NASA, 2019).

## İklim Değişikliğinin Çayır-Meralar Üzerindeki Etkileri

Dünya tarihi içerisinde yeryüzündeki vejetasyon çok önemli derecede değişime uğramıştır. Bu değişimin en önemli nedeni iklimde ortaya çıkan farklılıklar olmuştur. Çünkü yeryüzünde bitki topluluklarının dağılımını belirleyen en önemli faktör iklimdir. İklim değişikliği kendisini mera-orman dengesi olarak ifade eder.

Günümüzden 66-144 milyon yıl önceki dönemde, yani dinazorların yeryüzünde yaygın olarak bulunduğu dönemde buğdaygiller ve çift çenekli bitkiler ortaya çıkmıştır (Mannetje, 2007). Günümüzden 144-206 milyon yıl önceki dönem aralığında iklimin günümüze göre çok daha üniform bir şekilde sıcak ve nemli olduğu ve tropikal ormanların çok yaygın olduğu bildirilmektedir. Zaman içerisinde iklimde farklılaşma ortaya çıkmış, belirgin kurak mevsimler ve sıcaklık düşmesi ortaya çıkmış ve günümüzden 20 milyon yıl önce nemli tropik ormanlar gittikçe daralarak buğdaygil meraları genişlemiştir. Günümüzden 1,8-65 milyon önceki dönemde yeryüzü daha serin ve kurak hale gelmiş ve buğdaygil meraları daha da yaygınlaşmıştır. Günümüzden 2,5 milyon yıl önce yeryüzündeki soğuma artmış ve Avrupa kıtasındaki subtropik vejetasyon yerini ılıman iklim türlerine bırakmıştır. 18000 yıl önce Kuzey-Batı Avrupa kısmen buzullarla kaplı hale gelmiştir. Kutup ikliminin hüküm sürdüğü Batı Avrupa'da tundra vejetasyonu, Akdeniz bölgesi ise steplerle kaplanmıştır. Yalnızca Balkanlar'da iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçların yaşayabileceği bir ortam oluşmuştur. Kuzey Amerika'daki bugün 400-600 mm yağış alan büyük ovaların (Great plains) günümüzden 12000-14000 yıl önce ladin ve yaprağını döken ağaçlarla kaplı olduğu bildirilmektedir. Bu ovalar 8000-10000 yıl önce ağaçsız hale gelmiştir (Trimble, 1980). 1990-1992 yılları arasında Grönland'da yerin 3000 metre derinliğinden alınan buzul örnekleri Kuzey yarımküredeki sıcaklık değişimlerini açıkça göstermiştir (Mannetje, 2007). Günümüzde olduğu gibi 9000 yıl önce buzullarda kitle halinde erimeler olmuştur. Bu dönemde küresel ısınma 20 yıldan fazla sürmemesine karşılık buzulların erimesi aşırı yağışlara ve deniz ve akarsuların seviyelerinin yükselmesine neden olmuştur. Deniz ve nehir seviyelerindeki artış çok büyük yaşam kaybına neden olmuştur. Dünyanın kuzey bölgelerinin buzlarla kaplı olduğu dönemde Amazon bölgesinde iklimin çok kurak olduğu ve bu alanların seyrek bir şekilde ağaçların bulunduğu geniş savan bölgeleri olduğu anlaşılmıştır. Amazon bölgesinin kapalı ormanlarla kaplı hale gelmesi

günümüzden 10000 yıl önce olmuştur. Günümüzde ekstrem kurak bir bölge olan Sahara bölgesinin oluşumu günümüzden 5000 yıl önce başlamış ve daha sonra çöl hızlı bir şekilde Sahel bölgesine uzamıştır. 5000 yıl öncesinde Sahara bölgesinin steplerle kaplı bir bölge olduğu ortaya çıkmıştır. 900-1000 ile 1200-1300'lü yıllar arasında yeryüzünde ortalama sıcaklık ortalamasının üzerinde seyretmiştir. 1000-1300 yılları arasında İngiltere'nin güney kısmında yaygın olarak üzüm bağlarının bulunduğu bildirilmektedir (Mannetje, 2007). Bu üzüm bağı sınırı bugün Fransa ve Almanya'daki üzüm bağı yetiştiriciliği sınırının 500 km Kuzey enlemlerine uzaması anlamına gelmektedir. Küçük buzul çağı yaklaştıkça (1550-1700 yılları arası) sıcaklık sürekli düşmüştür. Buzulların daha kuzeye doğru ilerlemesiyle Arktik Okyanus buz miktarı artmıştır. Bir zamanlar verimli tarım arazileri olan İzlanda'daki araziler buzullarla kaplanmıştır. İzlandalılar öyle bir iklim değişikliği yaşamışlar ki Danimarka tüm İzlandalıları oradan uzaklaştırmış ve Avrupa'ya yerleştirmiştir. Grönland'da bitkiler hasat edilememiş ve çiftlikler terk edilmiştir. Küçük buzul çağında küresel sıcaklık ortalama 1-2 derece düşmüş ve bu yüzyıllarca devam etmiştir. Baltık denizi ve Thames nehri donmuştur. Avrupa'da açlık ve yokluk hüküm sürmüştür.

Yukarıda yeryüzünde tarih içinde iklim değişikliği ile ilgili olarak açıklananlara karşılık Mann ve ark., (1998) yıllık ağaç halkaları, buz çekirdeği, mercan ve silt örneklerine dayalı olarak son 1000 yılın iklim olaylarını incelediklerinde, kuzey kutbunda yaklaşık son 900 yılda sıcaklığın oldukça stabil olduğu, daha sonra yaklaşık 1900 yılında sıcaklığın aniden yükselmeye başladığı sonucuna varmışlardır. McIntyre ve McKittrick (2005), Mann ve ark. (1998)'nin yönteminde hatalar bulunduğunu, Mann ve ark. (1998)'in iddia ettiği gibi yeryüzünde sıcaklık yükselmesinin 20. yüzyılda değil 15. yüzyılda olduğunu açıklamışlardır.

Bugün dünyanın her yerinde ortalama sıcaklığın arttığı kabul edilmektedir. İklim değişikliğine bağlı olarak flora da değişmiştir. Son 30 yılda Avrupa'nın bazı kesimlerinde tür sayısı azalmıştır ve bu durumun habitat kaybı ve iklim değişikliğinden kaynaklandığına inanılmaktadır. Buna karşılık Hollanda'yı da içeren batı Avrupa'nın bazı bölümlerinde artan sıcak iklim nedeniyle tür sayısı artmıştır. Buna karşılık serin iklim türlerinin sayısında azalma olmuştur (Mannetje, 2007). Serin iklim türlerinin yüksek sıcaklıklara adapte olamaması nedeniyle 21. yüzyılda Avrupa'da tür sayısının daha da azalacağı tahmin edilmektedir. Nitekim Hollanda'da bitkilerin büyüme mevsimi son 30 yılda 10-14 gün uzamıştır.

#### *Karbondioksit Konsantrasyonu Artışının Çayır-Meralar Üzerindeki Etkisi*

Karbondioksit fotosentezde hammaddedir. CO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki artış bitkilerde ve bitki topluluklarında daha yüksek fotosentez ve sonuçta da daha yüksek toprak üstü primer üretime neden olur (Morgan, 2005). Bununla beraber CO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki artışa bitkilerin tepki derecesi türlere ve çevre koşullarına bağlı olarak değişir. Nitekim, İsviçre ve Yeni Zelanda'da sürdürülen araştırmalar baklagiller ve diğer çift çenekli bitkilerin buğdaygillere göre yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna daha fazla tepki gösterdiğini ortaya koymuştur (Lüscher ve ark., 2005). Diğer taraftan, fotosentez mekanizmaları arasındaki farklılıklar, bitkilerin

CO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki artış karşısında gösterdikleri tepkide ortaya çıkan farklılıkların en önemli nedenlerinden birisidir. C<sub>3</sub> fotosentez sistemine sahip olan bitkiler yeryüzünde en fazla bulunan ve en fazla yayılım gösteren bitki grubudur. Bu bitkiler yeterli ışıklandırma koşullarında 800-1000 µmol /mol CO<sub>2</sub>'e gereksinim duyarlar (Jones, 1997). Bu nedenle bu bitkiler mevcut atmosferik karbondioksit konsantrasyonu koşullarında doymamış fotosentez metabolizmasına sahip bitkilerdir. Buna karşılık fotosentez mekanizması açısından ikinci büyük bitki grubunu oluşturan C<sub>4</sub> bitkileri ise 370 ppm'lik mevcut atmosferik CO<sub>2</sub> konsantrasyonu koşullarında doymuş fotosentez metabolizmasına sahip bitkilerdir. Bitkiler arasındaki artan karbondioksit konsantrasyonlarına tepkime farklılığı nedeniyle gelecekte CO<sub>2</sub> açısından zenginleşmiş atmosfer koşullarının C<sub>3</sub> bitkileri için C<sub>4</sub> bitkilerine göre daha avantajlı olacağı tahmin edilmektedir. Nitekim, CO<sub>2</sub> konsantrasyonu 370 ppm'den 550 ppm'e artırıldığında kuru madde verimi artışı C<sub>3</sub> bitkilerinde %10-20, C<sub>4</sub> bitkilerinde ise %0-10 olmuştur (Tubiello ve ark., 2007). Cullen ve ark. (2009), Güney Avustralya'da üç farklı iklim senaryosunda başka iklim değişikliği olmadığında atmosferdeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 380 ppm'den 550 ppm'e çıkması ile C<sub>3</sub> bitkilerinin dominant olduğu meralarda ortalama mera veriminin %24-29, C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub> bitkilerinin karışık olarak bulunduğu meralarda %17 ve C<sub>4</sub> bitkilerinin baskın olduğu meralarda ise %9 artış göstereceğini tahmin etmişlerdir. Bitkilerin CO<sub>2</sub> artışına kuru madde verimi tepkilerinin linear olduğu kabul edildiğinde, atmosferdeki CO<sub>2</sub>'in 1 µmol /mol artışı kuru madde veriminde %0,1-0,12 artışa neden olacaktır (Jones, 1997). Bu durum dikkate alındığında, endüstri devriminin başladığı yıldan 1990'lı yıllara kadar olan dönemde C<sub>3</sub> bitkilerinin kuru madde verimi CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 280 ppm'den 355 ppm'e çıkması nedeniyle %7,5-9,0 artmış olması gerekir. Ancak, İngiltere'deki Rothamsted araştırma istasyonunda 100 yıldır otlatılmayan bir meradan elde edilen veriler CO<sub>2</sub> artışının herhangi bir kuru madde verimi artışına neden olmadığını ortaya koymuştur (Jenkinson ve ark., 1994).

Bazı araştırmalar C<sub>4</sub> bitkilerinin artan karbondioksit konsantrasyonuna fotosentetik ve büyüme olarak ortalama tepkilerinin C<sub>3</sub> bitkilerine göre daha düşük olmasına karşılık bu farklılıkların beklendiği kadar yüksek olmadığını göstermiştir (Bowes, 1993; Wand ve ark., 1999). Bu duruma neden olarak, CO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki artışın fotosentez mekanizmasına bağlı olmaksızın otsu bitkilerin çoğunluğunda stoma kapanmasına neden olduğu gösterilmektedir (Wand ve ark., 1999). Stoma kapanması transpirasyonu azaltmakta ve daha yüksek bitki ve toprak su potansiyeline neden olarak su kullanım etkinliğini artırıp daha yüksek biyomas verimine neden olmaktadır (Morgan ve ark., 2001). Özellikle suyun en önemli kısıtlayıcı faktör olduğu doğal meralarda bu durum biyomas üretiminde çok etkili olabilmektedir. Diğer taraftan, uzun süre yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna maruz kalan C<sub>3</sub> bitkilerinin fotosentez kapasitelerini düşürerek fotosentetik uyum sağlaması bu bitkilerin yüksek CO<sub>2</sub> koşullarında gösterdikleri fotosentez artışını azaltabilir ve hatta artışı tamamen ortadan kaldırabilir (Lee ve ark., 2001). Yüksek CO<sub>2</sub> koşullarına fotosentezin uyum sağlaması C<sub>3</sub> ve C<sub>4</sub> bitkileri arasındaki yüksek karbondioksit karşı gösterilen tepki farklılığını azaltır.

Bazı bitkiler karbon asimilasyonu ve bu asimilatların büyüme ve gelişmelerinde kullanımı arasındaki denge stratejilerindeki farklılıklar nedeniyle yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna daha fazla tepki gösterebilmektedirler. Otsu C<sub>3</sub> kültür bitkilerinin yabani C<sub>3</sub> bitkilerine göre karbondioksit konsantrasyonu artışına tepkisinin daha fazla olduğu bildirilmektedir (Poorter, 1993). Ayrıca, hızlı büyüyen yabani C<sub>3</sub> bitkilerinin yavaş büyüyen yabani C<sub>3</sub> bitkilerine göre CO<sub>2</sub> konsantrasyon artışına tepkisi daha fazla olmaktadır.

Baklagiller CO<sub>2</sub>'e en fazla reaksiyon gösteren bitki grubudur. Bunun nedenlerinden birisi bu bitkilerin atmosferik azotu fikse edebilmeleridir. Yetersiz azot bitkilerin yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonu koşullarına fotosentetik uyum göstermesi ve düşük büyüme yapmasının en önemli nedenlerinden birisidir. Bu nedenle baklagil bitkilerinin atmosferik azotu organik bileşiklere dönüştürmesi baklagil dışındaki bitkilere göre bir avantajdır. Ancak, baklagil bitkileri fosforca fakir topraklarda ve fazla miktarda azot uygulanan topraklarda bu avantajlarını kaybederler (Geeske ve ark., 2001).

Geniş yapraklı bitkiler buğdaygillere göre yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna daha fazla reaksiyon gösterirler (Teyssonneyre ve ark., 2002). Ancak bunun nedeni tam olarak açıklanamamıştır.

Yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda büyüyen bitkilerin solunumu da etkilenebilir. Bu durum hem atmosfer ve hem de bitki açısından önem taşır. Çünkü, C<sub>3</sub> fotosentez mekanizmasında fikse edilen C'nun yarısı solunumla atmosfere geri verilebilir. Yüksek CO<sub>2</sub> koşullarında solunumun azaldığı ile ilgili bazı araştırma sonuçları mevcuttur (Rogers ve ark., 1997). Bununla beraber CO<sub>2</sub> genellikle kök/sürgün oranını artırdığı için ve kök sisteminin spesifik solunum oranı sürgünlerden daha yüksek olduğu için CO<sub>2</sub> konsantrasyonu arttıkça bitki solunumu artma eğilimi gösterir (Rogers ve ark., 1997).

#### *Küresel Isınma ve Yüksek CO<sub>2</sub> Konsantrasyonunun Çayır-Meralar Üzerindeki Etkisi*

Sıcaklık, bitkinin büyüme sezonunu ve bitki topluluklarının sınırlarını belirleyen önemli bir faktördür. Sıcaklık aynı zamanda bitkide büyüme hızını, bitki gelişmesini ve su, radyasyon, besin maddeleri gibi kaynakların elverişliliğini ve kullanımını belirleyen bir faktördür. Sıcak iklim büyüme sezonunu uzatır ve gelişmeyi hızlandırır. Bitki büyüme hızı bitki optimum sıcaklığına kadar artar, optimum sıcaklık aşıldığında büyüme hızı düşer. Rustad ve ark. (2001), küresel ısınmanın 21. Yüzyılda tundra, çayır-mera ve orman biyomlarında primer üretimi %19 artıracığını tahmin etmişlerdir. Primer üretimin özellikle tundra gibi serin ekosistemlerde daha fazla olabileceği tahmin edilmiştir. Yüksek karbondioksit konsantrasyonu ve yüksek sıcaklığın bitkiler üzerindeki etkisi eklemeli değildir (Morgan, 2005). Örneğin, yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun bitki büyümesi üzerindeki olumlu etkisi sıcaklık arttıkça artar (Greer ve ark., 2000). C<sub>3</sub> bitkilerinde yüksek sıcaklıklarda CO<sub>2</sub> artışı ile büyümenin teşvik edilmesi fotorespirasyondaki değişim ve CO<sub>2</sub>'i fikse eden RuBisCo enziminin aktivitesi ile ilgilidir. Birçok bitkide yüksek sıcaklık karbonhidrat yapımında kullanılacak CO<sub>2</sub> talebini

artırır ve böylece büyüme teşvik edilir. Bu nedenle, yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun ılıman bölge çayır-meralarında primer üretime etkisinin büyük ölçüde mevsime bağlı olması olasıdır (Nösberger ve ark., 2000).

Similasyon modellerinin çoğunluğunda atmosferin CO<sub>2</sub> içeriğinin artması ve yüzey sıcaklığı artışının çayır-meraların birçoğunda primer üretimi artıracığı tahmin edilmektedir (Riedo ve ark., 2001). Bununla beraber primer üretim artışının derecesi ekosistemlere ve diğer çevre koşullarına bağlı olarak değişecektir. Yüksek sıcaklığın primer üretimi artırıcı etkisi özellikle düşük sıcaklıkların yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna tepkiyi azalttığı yüksek yerlerde ve yüksek ve orta enlem derecelerindeki bölgelerde bulunan çayır-meralarda olabilir.

#### *Yağış, Sıcaklık ve Yüksek CO<sub>2</sub>'in Çayır-Meralar Üzerindeki Etkisi*

Çayır-meralarda primer üretimdeki varyasyonun %90'ının nedeni yıllık yağıştaki değişimdir. Gao ve ark. (2016), 1982-2011 yılları arasındaki sıcaklık ve yağış değerlerini değerlendirerek iklim değişikliğinin yeryüzündeki meraların %40'ında verimi önemli derecede etkilediğini, söz konusu dönemde iklim değişikliğinin çayır-meraların verimliliğindeki varyasyona katkısının %15,2-%71,2 olduğunu, uzun dönemde özellikle Kuzey Amerika, Orta Avrasya, Orta Afrika ve Okyanusya'daki meraların iklim değişikliğine karşı hassas olduğunu, iklim değişikliğinin çayır-meraların verimindeki varyasyona katkısının batı yarım kürede doğu yarım küreye göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Fazla nemli ve verimli meralarda yağış miktarındaki değişim muhtemelen çok fazla değişime yol açmayacaktır. Ancak, mevsimlik üretim yağışın miktar ve dağılımına bağlı olduğu için iklim değişikliği ile ilgili yağış rejimi değişimi bu tip meralarda da önemli olacaktır (Knapp ve ark., 2001). Yağış miktarındaki artış genellikle çayır-meralarda verim artışına neden olur. Ancak, küresel ısınma sonucu fazla yağışın etkisinin su kaybıyla bastırılması söz konusu olacaktır. Yağışın mevsimlik dağılımı ve yoğunluğu mevsimlik toprak su dinamiğini ve bitki su kullanım etkinliğini etkileyeceği için meralar üzerinde yağış miktarından daha fazla etkiye sahip olacaktır (Giorgi ve ark., 1998). Şiddetli yağışlar yüzey akışı ve erozyon artışına neden olacaktır. Küresel ısınmanın kurutucu etkisi iklim değişikliği ile yağışın fazla etkileneceği veya azalacağı dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerinde özellikle önemli olacaktır. Bununla beraber CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun yükselmesi su kullanım etkinliğinin artışına neden olacaktır. Sonuç olarak küresel iklim değişikliği sonucu yağış miktar ve dağılımında ortaya çıkacak değişime hidrolik ve bitkisel üretim açısından tepki yağışın sıcaklık ve karbondioksitle olan karmaşık interaksiyonlarına bağlı olacaktır. Reeves ve ark. (2014), iklim değişikliği sonucu ABD meralarında ortalama yıllık net primer üretimin %0,26 artacağını, fakat bu artışın 2030 yılına kadar belirgin olarak ortaya çıkmayacağını ve artışın bölgelere göre önemli derecede farklılık göstereceğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, ABD'nin güneybatı bölgelerindeki meralarda 2100 yılına kadar net primer üretimde %7 azalma olacağını, kuzey ve güney ovaları, iç batı ve doğu ovalarındaki meralarda primer üretimin %25 artacağını tahmin etmişlerdir.

### *İklim Değişikliğinin Çayır-Meralarda Bitki Üremesine Etkisi*

Atmosferdeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki artış ve iklim değişikliği bitkinin büyümesi yanında bitki üremesi üzerindeki etkisi vasıtasıyla da çayır-meralarda üretimi, tür kompozisyonunu ve özellikle biyoçeşitliliği etkiler (Grünzweig ve Körner, 2001). CO<sub>2</sub>'in bitki topluluğunda yeni bireylerin ortaya çıkması üzerine etkili olduğu birkaç mekanizma vardır. Artan CO<sub>2</sub> konsantrasyonu genellikle tohum sayısında ve tohum büyüklüğünde artışa neden olur (Grünzweig ve Körner, 2001). Fakat bu durum türlere ve çevre koşullarına bağlıdır. Çoğu zaman artan CO<sub>2</sub> konsantrasyonu üreme ile ilgili bir özelliği olumlu etkilerken diğerini olumsuz etkiler. Bu durum tohum sayısı ile tohum iriliği arasında ortaya çıkar. CO<sub>2</sub> konsantrasyonundaki artışın tohum sayısı, büyüklüğü ve dağılımı üzerindeki etkisi kurak ve yarı kurak bölge meralarında olduğu gibi fide oluşumunun tohum sayısına bağlı olduğu durumlarda önemli olabilir. Nemli meralarda bu durum daha az önemlidir (Turnbull ve ark., 2000). Tohum iriliği üreme başarısının iyi bir göstergesi olmayabilir. Özellikle yüksek karbondioksit koşullarında üretilen büyük tohumlar bazen yedek besin maddelerinin tamamen tükenmesine neden olabilir. Bitkiler arasındaki rekabet ve tohumlara başka canlıların zarar vermesi tohum sayısı, büyüklüğü ve fide oluşumu arasındaki ilişkiyi karmaşıklarlaştırır. Çimlenme ve fide gelişimi için uygun toprak sıcaklığı ve nem mera bitkilerinin gelişmesinde önemli faktörlerdir. Bu nedenle toprak su dinamiğini etkileyen sıcaklık ve yağıştaki herhangi değişiklik çimlenme ve fide gelişimini de etkiler. Yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonu da bitki transprasyonunu azaltması sonucu toprak su içeriğini olumlu yönde etkileyerek dolaylı olarak fide gelişimini etkiler.

### *İklim Değişikliğinin Çayır-Meralarda Bitki Kök Büyümesine Etkisi*

Doğal çayır-meralarda bitkisel üretimin çoğunluğu toprak altında ortaya çıkar ve kök biyokütlesi genellikle toprak üstü biyokütlesini aşar (Arnone ve ark., 2000). Verimli çayır-mera sistemlerinde CO<sub>2</sub> artışına büyüme tepkisi genellikle daha fazladır ve bu fazla büyüme toprak altı organlarında toprak üstü organlara göre daha fazladır (Rogers ve ark., 1997). Diğer taraftan besin maddelerinin uzun dönemli dolanımı, bu elementlerin bitki için elverişliliği ve topraktaki süreçlerin dinamik kök faaliyetlerine bağlı olması ekosistemlerin atmosferik CO<sub>2</sub> artışına ve iklim değişikliğine uzun dönemdeki tepkilerini büyük ölçüde kontrol edebilir (Arnone ve ark., 2000). Küresel sıcaklığın artışı toprak sıcaklığını artırır. Bunun sonucu toprak su besin maddeleri düzeyi yeterli düzeyde olduğu kabul edildiğinde kök üretimi ve ölümü artar (Norby ve Jackson, 2000). Doğal ekosistemlerde su ve besin maddeleri çoğu zaman yeterli düzeyde olmadığı için artan sıcaklıklara kök aktivitesinin tepkisini tahmin etmek güçtür. Kök aktivitesinin mevsimlik değişimi de iklim değişikliği ile etkilenebilir (Reeder ve ark., 2001). Bitki biyokütle üretiminin çoğunlukla su tarafından kısıtlandığı meralarda yıllık yağışın miktar veya dağılımının değişmesi ile doğrudan veya sıcaklık artışı ve CO<sub>2</sub> artışı ile dolaylı olarak kök aktivitesi değişecektir. Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki meralarda yağış artışı kök aktivitesini artıracaktır. Nemli meralarda yağışın artışı kök

aktivitesinde hem negatif ve hem de pozitif sonuçları ortaya çıkarabilir. Kurak koşullarda artan yağışa toprak altı sisteminin tepkisi besin maddeleri mineralizasyonunun ve kök aktivitesinin artması şeklinde olacaktır. Nemli koşullarda köklerle ilgili olumsuz etkiler mobil elementlerin yıkanması, azotun denitrifikasyon ile kaybı ve toprak erozyonu olabilir.

Atmosferik CO<sub>2</sub>'in artışı yüksek verimli meralarda toprak altı organlarının verimini önemli ölçüde artırabilmesine karşılık, düşük verimli meralarda bu artış sınırlıdır (Nösberger ve ark., 2000).

### *İklim Değişikliğinin Çayır-Meralardaki Besin Maddeleri Döngüsü ve Toprak Üzerindeki Diğer Etkileri*

İklim değişikliğinin toprak üzerindeki etkileri ekosistemin CO<sub>2</sub> artışı ve iklim değişikliğine tepkisini belirler. Bunun en belirgin delili yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında yapılan ve CO<sub>2</sub>'e bağlı verim değişikliğinin ortaya çıktığı çalışmalarda bitki toprak üstü aksamında azot içeriğinin düşük olmasıdır. Bunun kısmi nedenlerinden birisi yüksek CO<sub>2</sub> koşullarında bitkinin kaynak kullanım etkinliğinin artması olabilir. Bu durumda toprak biyokütle artışını dengeleyecek düzeyde azot sağlayamamaktadır (Zak ve ark., 2000). Yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonu nedeniyle verimin artması toprağa daha fazla karbonlu madde girişine neden olur. Bu durumda mikrobiyal büyümeyi sağlar ve başlangıçta toprak besin maddeleri hareketsiz kalır. Ancak, mikrobiyal biyomasın artışı sonucu daha fazla besin maddesi mineralizasyonla toprağa geri döner. Uzun dönemde toprak besin maddesi döngüsü organik madde girişindeki değişime uyum sağlayabilir ve bitkilerin alabileceği formdaki besin maddeleri miktarı CO<sub>2</sub> zenginleşmesi sonucu ortaya çıkan talebi karşılayacak düzeye gelebilir. Azot ve diğer elementlerin dolanımının CO<sub>2</sub> zenginleşmesi sonucu ortaya çıkan verim değişikliği nedeniyle değişme derecesi ekosistemler arasındaki CO<sub>2</sub> zenginleşmesine tepki farklılığının ölçüsüdür. Örneğin, çoğu denemelerde CO<sub>2</sub> zenginleşmesi sonucu kök-sürgün oranının artışı karbondioksit zenginleşmesi sonucu bitkide oluşan azot açığına dolaylı bir tepki olarak yorumlanmıştır. Bu koşullarda bitki topraktan daha fazla azot almak için toprak altı organlara daha fazla karbonhidrat göndermektedir (Rogers ve ark., 1997). Uzun süreli karbondioksit zenginleşmesi koşullarında bitkinin bu duruma uyum sağlayarak zaman içerisinde karbondioksit zenginleşmesine fotosentetik ve büyüme açısından daha az tepki göstermesinin bitkinin azot eksikliği koşullarında karbonhidrat depolaması ile ilgili olduğu ortaya çıkmaktadır (Sage, 1994).

Yüksek sıcaklıklar nemli bölgelerdeki çayır-meralarda daha fazla organik madde ayrışmasına neden olabilir. Fakat bu durum kurak bölge meraları için geçerli değildir. Genel olarak sıcak bölgelerde soğuk bölgelere göre toprak solunumu ve organik madde ayrışmasının daha yüksek olduğu bilinir (Epstein ve ark., 2002). Bununla beraber organik maddenin ayrışması sıcaklık ve toprak suyu ile ilişkilidir. Su kısıtlandıkça çürüme ve toprak solunumu üzerindeki sıcaklık etkisi azalır (Epstein ve ark., 2002). Atmosferik karbondioksit konsantrasyonu artışı toprak su dinamiğini etkilediği ölçüde organik madde ayrışmasını da etkileyecektir.

### *İklim Değişikliğinin Çayır-Mera Bitki Topluluğuna Etkisi*

Bitki topluluğu üretiminin CO<sub>2</sub> ve iklim değişikliğine tepkisinin ekosistemlerin çoğunluğunda önemli olduğu tahmin edilmiş olmasına karşılık, bitki topluluğunun kompozisyonunda uzun dönemde ortaya çıkacak değişiklikler ekolojik etkiler ve ekosistem üretkenliği üzerindeki etkiler açısından çok daha önemlidir.

Bitkilerin dağılımı yağışın miktar ve dağılımı ile sıcaklıktan çok önemli derecede etkilenir. Su, bitkilerin coğrafi dağılımını ve bitkisel biyokütle üretimini etkileyen en önemli faktördür. Toprak-su dinamiğini etkileyen herhangi bir iklim değişimi bitki topluluklarını önemli derecede etkileyecektir. İklim değişikliği ile yeryüzünün önemli bir bölümünde yağışın artacağı tahmin edilmesine karşılık yağış şiddetinin artması nedeniyle suyun arazi üzerindeki dağılımı düzensiz olacak ve bazı bölgeler daha kurak olacaktır. Yağış şekli çayır-meralarda suyun düşey dağılımını ve yüzeysel kök sistemine sahip bitki/ derin köklü bitki oranını önemli derecede değiştirecektir.

Bitki topluluklarının dağılımında sıcaklıkta önemli bir faktördür. Halen tropikal enlem derecelerinde C<sub>4</sub> buğdaygilleri daha fazla bulunur (Pyankow ve ark., 2000). İklim değişikliğinin hem sıcaklık ve hem de yağış yönünü dikkate alan iklim modelleri Kuzey ve Güney Amerika çayır-meralarında C<sub>4</sub> buğdaygillerinin artacağını ve C<sub>3</sub> buğdaygillerinin azalacağını öngörmektedir (Epstein ve ark., 2002).

Çalı tipi vejetasyonlarda iklim değişikliği sonucu bitki topluluğunda hangi değişikliklerin olacağı ile ilgili tahminler çayır-meralardaki tahminlere göre daha az kesindir. Sıcaklık veya yağıştaki artış veya her ikisi birlikte olduğunda subtropikal biyoiklim kuşağındaki çalılıkların artacağı, ılıman bölge çalılıklarının ise azalacağı tahmin edilmektedir (Epstein ve ark., 2002).

Çayır-mera bitki topluluklarının küresel ısınma ve yağış değişikliklerine uzun dönemdeki tepkileri büyük ölçüde toprak besin maddeleri döngüsü ve su dinamiği tarafından belirlenecektir. Bitki topluluklarının dağılımının değişimi iklim değişikliğinin derecesine bağlı olacaktır.

### *Atmosferik CO<sub>2</sub> Konsantrasyonu Artışının Bitki Topluluğuna Etkileri*

Atmosferik karbondioksit konsantrasyonunun artışına bitkilerin bireysel tepkileri konusunda çok sayıda araştırma yapılmıştır. Ancak, kompleks bitki topluluklarında yapılan araştırmalar bireysel bitkilerin CO<sub>2</sub> artışına tepkisinin söz konusu bitkinin kompleks bitki topluluğundaki tepkisinin iyi bir göstergesi olmadığını göstermiştir (He ve ark., 2002). Örneğin, baklagiller CO<sub>2</sub>'e karşı çok iyi tepki veren bitkilerdir. Buna karşılık, He ve ark. (2002), yüksek tür zenginliği gösteren bitki topluluklarında N fikse eden bitkilerin yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında daha düşük biyomas ürettiğini saptamışlardır. Bitki topluluklarındaki rekabet toprak kaynaklarının dinamiğini değiştirebilir ve türlerin yüksek CO<sub>2</sub>'e tepkisini etkileyebilir (Geeske ve ark., 2001). Fazla çeşitlilik gösteren ekosistemlerin artan CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna daha iyi adapte olduğu ve daha yüksek reaksiyon gösterebildiği açıklanmıştır. İklim değişikliğinde olduğu gibi atmosferik karbondioksit artışının su ve besin maddesi döngüsü üzerindeki uzun dönemdeki etkileri türlerin ve ekosistemlerin bu değişime tepkisini belirleyecektir.

### *Çok Yönlü Küresel Değişimlerin Bitki Topluluğuna Etkisi*

Mevcut bilgilere göre, C<sub>3</sub> fotosentez mekanizmasına sahip olan bitkilerin, geniş yapraklıların ve baklagillerin artan atmosferik CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna daha yüksek tepki gösterecekleri ve sonuçta gelecekte CO<sub>2</sub>'ce zengin çevrelerde daha geniş alanlara yayılacağı tahmin edilmektedir. Bununla beraber, sıcaklık artışı ve yağış rejimindeki değişikliklerin bu bitkilerin yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarına tepkisini etkileyecektir. Daha sıcak ve daha kurak iklim C<sub>4</sub> metabolizmasını teşvik edecektir. Bu durumda sıcaklıktaki önemli artış C<sub>3</sub> bitkilerinin yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda ortaya çıkan avantajlarını sınırlayacaktır. Ayrıca, atmosferde ozon ve N konsantrasyonunun artması gibi diğer küresel değişimler özellikle yerleşim yeri çevrelerinde yüksek CO<sub>2</sub>'e tepkiyi etkileyecektir. Endüstriyel ülkelerin kırsal alanlarında bir kirlenici olan atmosferik ozon artışı buğdaygil-baklagil karışımlarında baklagil oranını azaltabilir (Nösberger ve ark., 2000). Hayvansal üretimin ve endüstriyel aktivitelerin bir sonucu olarak artan azot birikimi çayır-meralara azot sağlar.

### *Çayır-Meralarda Otlayan Hayvanların İklim Değişikliğine Tepkisi*

Hayvanlar optimum sıcaklığı muhafaza etmek için çabalamaları nedeniyle iklim değişikliğinin hayvanların sıcaklık dengesini nasıl etkileyeceğinin bilinmesi hayvansal üretim sistemlerinin iklim değişikliğine nasıl tepki göstereceğinin anlaşılması açısından önemlidir (Parsons ve ark., 2001).

Genellikle sıcaklık stresi hayvanlarda yem tüketimini, yemden yararlanma etkinliğini, hayvan canlı ağırlık artışını, süt verimini ve üremeyi etkiler (Baker ve ark., 1993). Ekstrem koşullar hayvanın hastalanmasına ve ölümüne neden olur. Küresel ısınmanın bu negatif etkileri özellikle yaz sıcaklıklarının yüksek olduğu bölgeler için geçerlidir ve sıcaklığın daha fazla artması hayvan performansını önemli derecede etkileyecektir. Buna karşılık serin bölgelerde küresel ısınmanın hayvansal üretime etkisi çok daha az olacaktır. Hatta yem gereksiniminin azalması, büyüme artışı, yaşama oranının artışı ve enerji masraflarının düşmesine neden olarak küresel ısınma, yararlı etki de yapabilir. Bunun yanında hayvanın cinsine ve ırkına da bağlıdır. Kuzey Avustralya'da iklim değişikliği nedeniyle 2030 yılına kadar hayvansal üretimde %3,5 azalma beklenmektedir (Whish ve ark., 2014).

İklim değişikliğinin direkt etkileri yanında üretilen yemin kalite ve kantitesindeki değişim de hayvan performansını etkileyecektir. Her ne kadar yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda daha fazla primer üretim elde edileceği tahmin edilse de bazı araştırmalar yem kalitesinin değişebileceğini göstermektedir. Yüksek CO<sub>2</sub> koşullarında eğer primer üretim artışı çok yüksek olursa bitki azot içeriği düşebilir (Körner, 2002). Buna karşılık yüksek CO<sub>2</sub> toplam yapısal olmayan karbonhidratları artırır ve bu artış yem kalitesini artırır (Lilley ve ark., 2001). Azotun hayvan performansını kısıtlamadığı koşullarda yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonu yem kalitesini artırabilir. Doğal ve yarı doğal çayır-meralarda olduğu gibi azotun kısıtlı olduğu durumda yüksek CO<sub>2</sub> koşullarında düşük N ve yüksek lif içeriği sindirilebilirliği azaltır ve hayvan performansını negatif yönde etkiler (Körner, 2002). Dumont ve ark.

(2015), iklim değişikliğinin çayır-meralarda yem kalitesine etkisi ile ilgili olarak yaptıkları meta analizde, atmosferin CO<sub>2</sub> içeriğinin artmasının yapısal karbonhidratlara ve sindirilebilirliğe etkisinin olmadığı, bitki dokularındaki yapısal olmayan karbonhidrat içeriğinde ortalama %25 artış, azot içeriğinde ise %8 azalma olduğu sonucuna varmışlardır. CO<sub>2</sub> artışı veya iklim değişikliği nedeniyle meranın tür kompozisyonunda ortaya çıkan değişiklik de yem kalitesini etkileyebilir. Diğer taraftan birçok hayvansal hastalık ve zararlı yüksek sıcaklıklarda artış gösterir.

## Sonuç

Atmosfer içeriğinin ve ikliminin değişmesinin çayır-mera vejetasyonlarının dağılımına ve fonksiyonlarına büyük etki yapacağı açıktır. Günümüzde vejetasyonun iklim değişikliğine tepkilerini araştırmak ve tahmin etmek için yoğun çabalar sarf edilmektedir. Ancak, çayır-mera vejetasyonlarında ortaya çıkacak değişiklikler küresel ölçeklidir ve bu durum problem çözümünde bilimsel yaklaşımlara önemli kısıtlamalar getirmektedir. Gelecekle ilgili tahminler yapmak için daha detaylı modeller yapılması gerekmektedir. Mevcut modellerle yapılan tahminlerin düşük güvenilirliği nedeniyle modelleme yapan araştırmacılar mevcut modellerde bulunmayan veya iyi tanımlanmamış mekanizmaları modellerine dahil etmelidirler. Tahminlerin güvenilirliğini artırmak ve hangi modelin daha kesin sonuç verdiğini belirlemek için meralarla ilgili uygun ölçümlerin yapılması gerekir. Özellikle farklı mera tipleri ile ilgili geniş alanlarda karbon ve su akışı ölçümlerinin yapılması gerekir. Farklı sıcaklık ve yağış koşullarının gerçekleştiği yıllardaki C ve su akışlarını belirlemek için sezon boyunca, periyodik olarak ve uzun yıllar ölçümler yapılması gerekir. Bu ölçümlerden alınan veriler ölçülen C ve su akışı değerlerinin modellerle tahmin edilen değerlerle uyumlu olup olmadığını kontrol etmek için kullanılabilir. Halen modelleme çalışmalarında ekosistemlerin yüksek CO<sub>2</sub> ve iklim değişikliğine tepkileri konusunda yeterli veri olmaması nedeniyle sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle deneysel ekofizyoloji ve ekosistem araştırmalarında çayır-meraların farklı sıcaklık, yağış, nem, besin maddesi koşullarında yüksek karbondioksit tepkilerinin incelenmesi gerekir.

Bu konuda ülkemiz çayır-meraları ile ilgili olarak;

- Modelleme çalışmalarında kullanılmak üzere farklı ekolojik bölgelerimizdeki farklı mera tipleri ile ilgili uzun yıllık veri toplanması,
- Yapılan tahminlerin, küresel iklim değişikliği ile ülkemizde özellikle küresel ısınmanın etkili olacağı ve kurak koşulların hakim olacağı öngörülmektedir.

Bu problemin çözümüne yönelik olarak;

- Genelde tüm kültür bitkilerinde, özelden ise çayır-mera yem bitkilerinde kurağa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi çalışmalarına hız verilmelidir,
- Çayır-meralarda ve yem bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılmak üzere farklı ekolojik bölgelerimize adapte olabilecek C<sub>4</sub> yem bitkisi türleri saptanmalı ve bu türlerle yetiştirme tekniği ve ıslah çalışmaları yürütülmelidir.

## Kaynaklar

- Anonymous. 2012. Türkiye İklim değişikliği 5. Bildirimi. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. S: 285.
- Anonymous. 2019. Earth's CO<sub>2</sub>. <https://www.co2.earth>
- Arnone JA, Zaller JG, Spehn EM, Niklaus PA, Wells CE, Körner C. 2000. Dynamics of root systems in native grasslands: effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *New Phytologist*, 147: 73–86.
- Baker BB, Hanson JD, Bourdon RM, Eckert JB. 1993. The potential effects of climate change on ecosystem processes and cattle production on US rangelands. *Climatic Change*, 25: 97–117.
- Bowes G. 1993. Facing the inevitable: plants and increasing atmospheric CO<sub>2</sub>. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 44: 309–332.
- Cullen BR, Johnson IR, Eckard RJ, Lodge GM, Walker RG, Rawnsley RP, McCaskill MR. 2009. Climate change effects on pasture systems in south-eastern Australia. *Crop & Pasture Science*, 60: 933–942.
- Dumont B, Andueza D, Niderkorn V, Lüscher A, Porqueddu C, Picon-Cochar C. 2015. A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and Mediterranean areas. *Grass and Forage Science*, 70: 239–254.
- Epstein HE, Burke IC, Lauenroth WK. 2002. Regional patterns of decomposition and primary production rates in the U.S. Great Plains. *Ecology*, 83: 320–327.
- Gao Q, Zhu W, Schwartz MW, Ganjurjav H, Wan Y, Qin X, Ma X, Williamson MA, Li Y. 2016. Climatic change controls productivity variation in global grasslands. *Scientific Reports* | 6:26958. [www.nature.com/scientificreports](http://www.nature.com/scientificreports)
- Geeske J, Chapin FS, Chiariello NR, Thayer SS, Field CB. 2001. Species-specific responses of plant communities to altered carbon nutrient availability. *Global Change Biology*, 7: 435–450.
- Giorgi R, Meehl GA, Kattenberg A, Grass H, Mitchell JFB, Stouffer RJ, Tokioka T, Weaver AJ, Wigley TML. 1998. Simulation of regional climate change with global coupled climate models and regional modelling techniques. pp. 427–437, in: R.T. Watson, M.C. Zinyowerra, R.H. Moss and D.J. Dokken (eds). *The Regional Impacts of Climate Change: an Assessment of Vulnerability*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Greer DH, Laing WA, Campbell BD, Halligan EA. 2000. The effect of perturbations in temperature and photon flux density on the growth and photosynthetic responses of five pasture species to elevated CO<sub>2</sub>. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27: 301–310.
- Grünzweig JM, Körner C. 2001. Growth, water and nitrogen relations in grassland model ecosystems of the semi-arid Negev of Israel exposed to elevated CO<sub>2</sub>. *Oecologia*, 128: 251–262.
- He JS, Bazzaz FA, Schmid B. 2002. Interactive effects of diversity, nutrients and elevated CO<sub>2</sub> on experimental plant communities. *Oikos*, 97: 337–348.
- Jenkinson DS, Potts JM, Perry JN, Barnett V, Coleman K, Johnston AE. 1994. Trends in herbage yields over the last century on the Rothamsted long-term continuous hay experiment. *Journal of Agricultural Science* 122: 365–375.
- Jones MB. 1997. The impact off global climate change on grassland ecosystems. *Proceedings of XVIII. International Grassland Congress*, June 8-17, 1997, Winnipeg and Saskatoon, Canada, V:III: 181-188.
- Knapp AK, Briggs JM, Koelliker JK. 2001. Frequency and extent of water limitation to primary production in a mesic temperate grassland. *Ecosystems*, 4: 19–28.
- Körner C. 2002. Grasslands in a CO<sub>2</sub>-enriched world. *Grassland Science in Europe*, 7: 611–624.



- Lee TD, Tjoelker NG, Ellsworth DS, Reich PB. 2001. Leaf gas exchange responses of 13 prairie grassland species to elevated CO<sub>2</sub> and increased nitrogen supply. *New Phytologist*, 150: 405–418.
- Lelievre F, Sala S, Voltaire F. 2010. Climate change at the temperate-Mediterranean interface in southern France and impacts on grasslands production. *Options Méditerranéennes*, A-9, 187–192.
- Lilley JM, Bolger TP, Peoples MB, Gifford RM. 2001. Nutritive value and the nitrogen dynamics of *Trifolium subterraneum* and *Phalaris aquatica* under warmer, high CO<sub>2</sub> conditions. *New Phytologist*, 150: 385–395.
- Lüscher A, Fuhrer J, Newton PCD. 2005. Global atmospheric change and its effect on managed grassland systems. In: Mcgilloway D.A. (ed.) *Grassland: a global resource*. Proceedings of the XX International Grassland Congress, Dublin, Ireland 26 June–1 July 2005, pp. 251–264. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Press.
- Mann ME, Bradley RS, Hughes MK. 1998. Global scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, 392: 779–787.
- Mannetje L. 2007. Climate change and grasslands through the ages. *Grass and Forage Science* 62:113–117.
- McIntyre S, McKittrick P. 2005. Hockey sticks, principal components and spurious significance. *Geophysical Research Letters*, 32, L03710.
- Morgan JA, LeCain DR, Mosier AR, Milchunas DG. 2001. Elevated CO<sub>2</sub> enhances water relations and productivity and affects gas exchange in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> grasses of the Colorado shortgrass steppe. *Global Change Biology*, 7: 451–466.
- Morgan JA. 2005. Rising atmospheric CO<sub>2</sub> and global climate change: responses and management implications for grazing lands. In: Reynolds S.G. and Frame J. (eds) *Grasslands: developments, opportunities, perspectives*, pp. 235– 260. Rome, Italy: Food and Agricultural Organization (FAO) of the United Nations, and Plymouth, UK: Science.
- NASA 2019. Global Climate Change. <https://climate.nasa.gov/resources/global-warming-vs-climate-change/>. (Erişim tarihi, Ekim 2019)
- Norby RJ, Jackson RB. 2000. Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. *New Phytologist*, 147: 3–12.
- Nösberger J, Blum H, Fuhrer J. 2000. Crop ecosystem responses to climatic change: Productive grasslands. pp. 271–291, in: K.R. Reddy and H. F. Hodges (eds). *Climate Change and Global Crop Productivity*. Wallingford, UK, and New York, NY: CABI Publishing.
- Parsons DJ, Armstrong AC, Turnpenney JR, Matthews AM, Cooper K, Clark JA. 2001. Integrated models of livestock systems for climate change studies. *Global Change Biology*, 7: 93–112.
- Poorter H. 1993. Interspecific variation in the growth response of plants to an elevated ambient CO<sub>2</sub> concentration. *Vegetatio*, 104/105: 77–97.
- Pyankov VI, Gunin PD, Tsoog S, Black CC. 2000. C<sub>4</sub> plants in the vegetation of Mongolia: their natural occurrence and geographical distribution in relation to climate. *Oecologia*, 123: 15–31.
- Reeder JD, Franks CD, Milchunas DG. 2001. Root biomass and microbial processes. pp. 139–166, in: R.F. Follett, J.M. Kimble and R. Lal (eds). *The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. New York, NY: Lewis Publishers.
- Reeves MC, Moreno AL, Bagne KE, Running SW. 2014. Estimating climate change effects on net primary production of rangelands in the United States. *Climatic Change* 126:429–442
- Riedo M, Gyalistras D, Fuhrer J. 2001. Pasture responses to elevated temperature and doubled CO<sub>2</sub> concentration: assessing the spatial pattern across an alpine landscape. *Climate Research*, 17: 19–31.
- Rogers HH, Runion GB, Krupa SV, Prior SA. 1997. Plant responses to atmospheric carbon dioxide enrichment: Implications in root-soil-microbe interactions. In: *Advances in Carbon Dioxide Effects Research*. ASA Special Publication, No. 61. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA. 34p.
- Rustad LE, Campbell JL, Marion GM, Norby RJ, Mitchell MJ, Hartley AE, Cornelissen JHC, Gurevitch J. 2001. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia* 126, 543–562. <https://doi.org/10.1007/s004420000544>.
- Sage RF. 1994. Acclimation of photosynthesis to increasing atmospheric CO<sub>2</sub>: The gas exchange perspective. *Photosynthesis Research*, 39: 351–368.
- Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL. 2007. "Understanding and Attributing Climate Change". Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Teyssonneyre F, Picon-Cochard C, Falcimagne R, Soussana JF. 2002. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and cutting frequency on plant community structure in a temperate grassland. *Global Change Biology*, 8: 1034–1046.
- Trimble DE. 1980. *The great plains*. Geological Survey Bulletin 1493. Washington, DC: United States Government Printing Office.
- Tubiello FN, Soussana JF, Howden SM. 2007. Crop and pasture response to climate change. *PNAS* 104: 19686–19690.
- Turnbull L, Crawley M, Rees M. 2000. Are Plant Populations Seed-Limited? A Review of Seed Sowing Experiments. *Oikos*. 88. 225-238. 10.1034/j.1600-0706.2000.880201.x.
- Ward SJE, Midgley GF, Jones MH, Curtis PS. 1999. Responses of wild C<sub>4</sub> and C<sub>3</sub> grass (Poaceae) species to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations: a meta-analytic test of current theories and perceptions. *Global Change Biology*, 5: 723–741.
- Whish LW, Cowley RA, Pah L, Scanlan JC, Macleod ND. 2014. Impacts of projected climate change on pasture growth and safe carrying capacities for 3 extensive grazing land regions in northern Australia. *Tropical Grasslands* 2: 151–153.
- Zak DR, Pregitzer KS, King JS, Holmes WE. 2000. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub>, fine roots and the response of soil microorganisms: a review and hypothesis. *New Phytologist*, 147: 201–222.