

Ithentica.doc

Değişen Bazı İklim Koşullarına C3 ve C4 Bitkilerinin Tepkisi

İlkay YAVAŞ, Hakan ULUKAN

ÖZET

İklim değişikliği; yağış düzeninin değişmesine, sıcaklığın ve atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun artmasına neden olmakta; bitkisel üretimi etkileyen hastalık, zararlı ve yabancı otların yayılıp, zararlarını daha da artırmalarına yol açmakta; doğrudan ya da dolaylı olarak büyüme ve gelişimini, verim ve verim öğelerini, kalite faktörlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Sıcaklıktaki artışlar, bir dereceye kadar bitkisel üretimi artırırken, değerler ortalamalamanın üzerine çıkarsa, fenolojik dönemlerin kısalarak, erken çiçeklenme ve meyve oluşumuna, vernalizasyon ve fotosentezin azalarak, transpirasyonun ve bunların sonucunda da bitkisel üretimin giderek azalmasına neden olur. Fotosentez için optimum sıcaklık aralığı (20-30)°C iken, bu sınırların dışında (fotosentez) azalmakta; 45°C'nin üzerine çıkılırsa, solunumdaki enzimlerin etkisiz ve durağan hale gelmesinden dolayı belirgin bir yavaşlama olmaktadır. Bundan dolayı bitkilerdeki fotosentez için sıcaklık etmeni önde gelenlerden olup, en önemli etkisinin hücredeki elektron taşınımı, yaprağın sıcaklığı ve stoma iletkenliği gibi diğer faktörlerin olduğu görülmüştür. Evaporasyon arttıkça, terleme ile stomaların su kaybını azaltmak için kapanmaları kloroplastlardaki CO₂ gazı ve CO₂ asimilasyonunda belirgin azalmaya; tersinde ise solunumun artıp, tohuma giden besin maddesi miktarını azaltmasından dolayı (bitki ve tohum) gelişimin tam olmamasına; sıcaklıktaki artış ile birlikte solunum ve üretilen CO₂'in artarak, fotosentetik O₂'den daha çok olmasına; düşük sıcaklıkta ise bitkilerin metabolik süreçlerinin yavaşlamasına, tıpkı yüksek sıcaklıktaki gibi morfoloji ve büyüme olumsuz yönde etkilenecektir. Atmosferik CO₂ artışı; bitkilerde fotosentezi etkileyerek, öncelikle su kullanma etkinliğinde (WUE) artışa yol açacak; bu ise fotosentetik kapasite ile büyümede artışlar(ı) ortaya çıkaracak; C3 ve C4'lerde kardeş sayısı ile yaprak alanını etkileyen biyomas (yeşil aksam) artışları olacak; yüksek miktardaki atmosferik CO₂ konsantrasyonlarda; C3'lerin fotosentez ve büyümelerini artırmaları beklenirken, yüksek sıcaklıktaki düşük atmosferik CO₂'de ve C4'lerde fotosentezin hızlanabileceği gibi, CO₂ gazı konsantrasyonundaki artış ile birlikte stomaların kapanması paralelinde iletkenlik ve su kaybının azalması ise biyomas (yeşil aksam) artışı olabilecektir. Artan CO₂ ayrıca bitkilerin yapraklarında karbon/azot oranında, bitki boyunda, kök/sürgün oranlarında artışa, bu da daha çok mezofil hücresi ile kloroplastın oluşmasına neden olacak; hem çevreyi hem de bitkisel üretimi olumlu/olumsuz yönde etkileyecektir. Bilindiği gibi, değişik ekosistemlerin artan CO₂'e tepkisi; su, toprak, besin maddesi, ışık, sıcaklık gibi ekolojik koşullardaki değişiklikler nedeniyle farklı olmaktadır. Bunların en önemlisi ve günceli iklim değişikliği olup onbinlerce, yüzbinlerce yıllık periyotlarda çeşitli meteorolojik olayların sonucunda ve dünyanın farklı yerlerinde ortaya çıkmış değişik klimatolojik olayları kapsamaktadır. Nitekim, birbirlerinden aynı/farklı olan ekosistemlerin ortam sıcaklığı (özellikle düşük sıcaklıkta) ile atmosferik CO₂ ve toprak nemi, faktörlerindeki herhangi bir değişikliğin (azalma yönünde), bitkinin bünyesindeki tüm metabolik olayların yavaşlamasına, devamı halinde de duraklamaya uğrayarak, ölüme neden olduğu, genel olarak değerlendirilirse bitki büyümesinin bundan son derece olumsuz etkilendiği görülmüştür. Öte yandan, bitkilerdeki büyüme; sadece vejetasyon süresinde/büyüme mevsiminde alınan (ve bitkilerce kullanılabilen) toplam yağışa bağlı olmayıp, aynı zamanda miktarına, yoğunluğuna, vejetasyon süresine, dağılışına göre, toprağın yapısına ve tipine göre değişim gösterir. Büyüme ve gelişmeyi etkileyen iklim değişikliği nedeniyle, bitkilerin tolerans sınırları aşıldığında, üremeleri, yaşam döngüleri ve verimleri etkilenecek, daha da ilerlemesi halinde yok olmaları ya da ölmeleri söz konusu olabilecektir. Yapılan araştırmalar, atmosferde biriken CO₂ gazından hem metabolizmaları gereği ve hem de verim düzeylerine karbondioksit gübrelemesinin etkisi ile önce % 30-32 kadar artırıp, sonra hızla düşen C3'lerin daha çok etkileneceğini, ancak bu durumun C4'lerde daha az olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: CO₂, C3, C4, fotosentez, iklim değişikliği

C3 and C4 Plant Responses to Some Changing Climatic Conditions

ABSTRACT

Climate change causes changes in precipitation patterns and increases in temperature and CO₂ concentration in the atmosphere. Disease, pests and weeds affecting plant production cause them to spread and increase their damages even more. It directly or indirectly affects growth and development, yield and yield parameters and quality factors negatively. Elevated temperature increases vegetative production to a certain extent, if the values exceed the average, it causes shortening of phenological periods, early flowering and fruit formation, decrease in vernalization and photosynthesis, and decrease in transpiration and consequently vegetative production. While the optimum temperature range for photosynthesis is (20-30)°C, it decreases outside these limits (photosynthesis), and if it is exceeded 45 °C, there is a significant slowdown due to the

ineffective and stagnation of the enzymes ² respiration. Therefore, the temperature factor is one of the leading factors for photosynthesis in plants, and it has been seen that the most important effect is other factors such as electron transport in the cell, temperature of the leaf and stomatal conductivity. As the evaporation increases, the closure of the stomata with respiration to reduce the water loss, decreases the CO₂ gas and CO₂ assimilation in the chloroplasts, on the contrary, the respiration increases and the nutrient amount going to the seed decreases (plant and seed). With the increase in temperature, respiration and CO₂ produced will increase, and photosynthetic O₂ will increase, and the metabolic processes of plants will slow down at low temperature, morphology and growth will be adversely affected, just like in high temperatures. The increase in atmospheric CO₂ will affect photosynthesis in plants, primarily leading to an increase in water use efficiency (WUE), this will reveal increases in photosynthetic capacity and growth (1), there will be increases in the number of tiller and biomass (green parts) affecting the leaf area in C3 and C4. In high atmospheric CO₂ concentrations, C3s are expected to increase photosynthesis and growth, while photosynthesis can be accelerated in low atmospheric CO₂ and C4 at high temperatures, With the increase in CO₂ gas concentration, the decrease in conductivity and water loss in parallel with the closure of the stomata, the biomass (green parts) increase. The increased CO₂ will also cause an increase in the carbon/nitrogen ratio in the leaves of the plants, the plant height, the root/shoot ratio, and this will cause the formation of more mesophyll cells and chloroplasts. It will affect both the environment and vegetative production positively/negatively. As it is known, the response of different ecosystems to increasing CO₂ is different due to changes in ecological/environmental conditions such as water, soil, nutrient, light, temperature. The most important and current of these is climate change, and it includes various climatological events that have occurred as a result of various meteorological events and in different parts of the world throughout tens of thousands of years. Any change (in the direction of decrease) in the factors of ambient temperature (especially at low temperature), atmospheric CO₂ and soil moisture of ecosystems that are identical/different from each other causes the slowdown of all metabolic events in the plant and in the case of their continuation they pause and cause death. Overall, it has been observed that plant growth is extremely adversely affected by this. On the other hand, the growth of plants depends not only on the total rainfall received (and can be used by the plants) during the vegetation period / growing season, but also varies according to the amount, density, vegetation period, distribution, soil structure and type. Due to climate change affecting growth and development, when the tolerance limits of the plants are exceeded, their reproduction, life cycle and yield will be affected. And if it progresses, it may be destroyed or die. Researches show that C3's, which increase by 30-32% first and then decrease rapidly, will be affected more by the CO₂ gas accumulated in the atmosphere, both due to their metabolism and the effect of carbon dioxide fertilization but this situation is less in C4.

Keywords: CO₂, C3, C4, photosynthesis, climate change

1.GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği; fosil yakıtların tüketilmesi, tarlaların kullanım değişiklikleri, ormanların yok edilmesi, rafineriler ve otomobil fabrikaları ile çeşitli insan etkinlikleri (=antropojenik) sonucunda, atmosfere salınan CO₂, CH₄, N₂O, su buharı, kloroflorokarbonlar, aerosol kaynaklı sera gazlarının (GHGs) adeta battaniye gibi dünyayı sararak, bu gazların uzaya geri gitmelerini önleyip, birikmelerine neden olması, dolayısıyla da dünya sıcaklığının yükselmesine yol açarak, yerkürenin ortalama sıcaklığında belirgin bir yükselişe, iklimlerde bölgeden bölgeye değişen şiddet ve sıklıkta ki yaşamsal olgulara neden olmaktadır (Anonim 1, 2021).

Bilindiği gibi, insanın fosil yakıt tüketimini konu alan çeşitli aktivitelerinden kaynak alan GHGs salımına en büyük katkısı su buharı ile CO₂ gazı yapmakta; doğrudan doğruya iklim değişikliği ise yağış, güneş radyasyonu, sıcaklık, CO₂, H₂O gibi çeşitli iklimik parametrelerdeki değişimlere bağlı olmaktadır. Ayrıca, verim kaybına neden olan önemli faktörlerin (hastalıklar, zararlılar, yabancı otlar gibi) çoğalmasına yol açarak, üretimi olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan çeşitli çalışmalar, iklim değişikliği için kabul edilen bilgisayar destekli (HadGem2 gibi...) senaryolarla 2100 yılında atmosferdeki CO₂ miktarının 538 ppm'e (RCP4.5 senaryosu), RCP4.5 senaryosuna göre ise 670 ppm ve RCP8.5'e göre 936 ppm'e ulaşacağı, sıcaklık değerlerinin ise bu senaryolara göre sırasıyla 1.8 °C, 2.2 °C ve 3.7 °C'lik bir artış göstereceği, ve yağış rejimlerinde ise değişiklikler olabileceği ifade edilmektedir (Ayala vd., 2016; Shrestha ve Lohpaisankrit, 2017).

Dünya nüfusu 2050 yılına kadar 9 milyara ulaşacağından artan nüfusun beslenebilmesi için % 60-100 daha çok besin maddesi üretilmesi gerekmekte (Hussen, 2020); ayrıca, fotosentetik karbon asimilasyonundaki değişikliklerin bitki büyümesi ile gelişimini etkilemesinden dolayı; CO₂'nin karbonhidratlarla diğer organik bileşiklere fotosentetik yolla dönüşümü sağlanabilirse iklim değişikliğinin de azalabileceği belirtilmiştir (da Silva ve diğ., 2020).

Bu makalede, genel hatlarıyla değişen bazı iklim koşullarına C3 ve C4 bitkilerinin tepkisi irdelenerek, bir sonuca varılmaya çalışılmıştır.

1.1.CO₂'in bitkilere etkisi

Karbondioksit; bitkisel üretimdeki fotosentezde önemli bir girdi olup, atmosferik konsantrasyonundaki artış, tarımsal ekosistemlerin verimliliğini de artırma potansiyeline sahiptir (Taub, 2010). Buna karşılık, CO₂ miktarındaki artışla birlikte bitki kök kütlesi ve yaprak alanı ve buna bağlı olarak verimin artması, ayrıca da bitkinin kimyasal bileşimi ile topraktaki besin döngüsünde değişme beklenir (Hussen, 2020).

Yüksek CO₂ koşulları ile birlikte sorgumun (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) kuraklık stresine uğraması; stoma iletkenliğinin % 32 azalmasına (Conley ve diğ., 2001), net asimilasyon oranının % 23 artmasına neden olur (Wall ve diğ., 2001). Aynı araştırmacılar bir başka çalışmalarında, CO₂ artışı ile beraber C3 ve C4'lerdeki net CO₂ asimilasyon oranlarının sırasıyla % 33 ve % 25 oranlarında artış göstermesine karşın, stoma iletkenliğinin sırasıyla % 24 ve % 29 azaldığını; artan CO₂ ve kuraklık koşullarda ve sorgumda tane veriminin etkilenmediğini belirlemişler; Ottman ve diğ., (2001) ise sadece yüksek CO₂ koşullarında sorgum verimin % 11 kadar azaldığını saptamışlardır.

Atmosferdeki CO₂ düzeyi son 60 yılda hızla artmış olup, gelecekte de artışı devam edecektir (Bierwirth, 2019). CO₂ gazı, sıcaklığı dünya yüzeyine (troposfer tabakasının yeryüzüne en yakın katmanında) hapsedmekte, bu da sıcaklıkta artışa, sonuçta da bölgelere göre şiddet ve şekilleri birbirinden farklı iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Yüksek CO₂ koşullarında büyüyen bitkiler, besin maddelerinin alımı ve taşınması gibi süreçleri yürütmek için yeterli adenozin trifosfat'a (ATP)'ye sahip olmadıkları için, beslenme kalitelerinin bozulup, yetersiz kalmasına yol açmaktadır. Benzer şekilde, artan miktardaki CO₂ gazı, bitkilerde topraktan nitratların köklere doğru daha az hareketine ya da kök yapısında değişime neden olarak, daha az yaprak azot içeriğine yol açmakta (Li ve diğ., 2019a); bitki büyümesini değiştirmesinin yanında üretilen çok miktardaki şeker ile simbiyotik ilişkideki mikorhizal funguslarla *rhizobium* bakterilerinin artışına katkı yapmaktadır (Bhargava ve Mitra, 2020).

Son yıllarda yürütülen çalışmalar, CO₂ konsantrasyonunun mevcut düzeyi aşmasıyla birlikte bitkilerde yeşil aksam ve verimin önemli ölçüde arttığını (buğday, çeltik ve soya gibi); bitki büyümesi ile verimini artıran yüksek atmosferik CO₂ konsantrasyonlarının, buğday (*Triticum* spp.), çeltik (*Oryza sativa* L.) ve soya (*Glycine max* Merril) gibi C3'lerde WUE değerlerini artırdığı; mısır (*Zea mays* L.), sorgum, tropikal çayır mera yem bitkileri ve şeker kamışı (*Saccharum* spp) gibi C4'lerde ise bu etkinin belirsiz olduğu; antropojenik (=insan kaynaklı) etkinliklere bağlı olan atmosferik CO₂ düzeyinin bitkilerde fotosentez, terleme ve solunumu doğrudan etkilediği anlaşılmıştır (Kirschbaum, 2004).

Benzer şekilde, yapılan çalışmalarla; yüksek düzeydeki CO₂ konsantrasyonunun, bitkilerde fotosentezi uyatarak verimliliğinin artmasına, su ve besin döngülerinin değişmesine neden olduğu; bazı bitkilerde ise mezofil hücre, kloroplast, sap uzunluğu ve çapı, gelişmiş kök yapısı ile yan köklerin oluşumu ve kök/sürgün oranlarında artışa yol açtığı bilinmektedir.

Yapılan çalışmalar; 380 ppm'lik CO₂'e göre, 550 ppm'lik CO₂ konsantrasyondaki stressiz koşullarda verimin C3'lerde % 10-20; C4'lerde de % 0-10 arttığını; yüksek düzeydeki

CO₂'in bazı bitkilerde stoma açıklığı ile transpirasyon oranını azalttığı ancak fotosentezin arttığı ve WUE değerlerinin de yükseldiği saptanmış; yüksek CO₂'nin tek başına birçok bitkide büyüme ve verimi artırıcı etki yaptığı; örneğin bu koşullardaki tilki kuyruğu darısında (*Setaria italica*), fotosentez, yeşil aksam ve tane veriminin arttığı (*Li ve diğ., 2019b*); ancak, mısırdaki fotosentez oranının artmayıp, yeşil aksam ile toplam veriminde değişiklik olmadığı örnekleriyle belirlenmiştir (*Anonim 2, 2021*). CO₂'nin bitki yeşil aksamına etkisinin besin maddesi ile su düzeyine bağlı olarak değiştiği; 2050 yılına kadar % 57' ye varan artışlarla bu durumun süreceği, yüksek CO₂ düzeylerinin (600-800 ppm) C3'lerin yararına iken C4'lerin RuBisCO enziminin olduğu yerdeki CO₂ düzeyini 2000 ppm'e kadar çıkaran doğal bir yoğunlaştırmaya sahip olmaları nedeni ile yüksek CO₂'e daha az tepki verdikleri gözlenmiştir (*Hussen, 2020*). Ortamdaki CO₂'nin 370 ppm'i aşacağı öngörülmekte ve bu durumun C4'lerin fotosentez kapasitesini çok fazla etkilemeyeceği (*Qaderi ve Reid, 2009*); yüksek CO₂ koşullarında C3 soya ile C4 olan mısır bitkisi karşılaştırıldığında, sadece soyadaki fotosentezin % 39 oranında uyarıldığı anlaşılmaktadır (*Tuong ve Bouman, 2003*).

Hem C3 ve hem de C4'lerde yüksek düzeydeki CO₂ gazı, stoma iletkenliğini azaltarak, WUE değerini artırmaktadır (*Ainsworth ve Rogers, 2007*). Bu durum C3 tipinde fotosentez yapan bitkilerin, verimlerinde, özellikle serin iklim tahıllarında, % 8-70 arasında (*Korres ve diğ., 2016*) artış meydana getirecek olup, bu düzeydeki CO₂'de bitkilerin kalitesi de olumsuz yönde değişecektir. Yine, artan CO₂ miktarı, bazı bitkilerde tohum verimini artırıcı etki yapmakta, ancak tahılın kalitesi, değişen iyon profilleri, baklagil olmayan bitkilerin tohumlarında da azot ve protein içeriğinin azalmasına neden olmaktadır (*Hussen, 2020*).

Bilindiği üzere, su ve sıcaklık gibi çevresel faktörler CO₂ artışı ile ilişkilidir. *Triticum turgidum* var. durum L.'da su stresi ve yüksek CO₂ koşullarına tepkinin; genotipe, su stresinin şiddetine, özellikle de katalaz ve süperoksit dismutaz gibi enzimlerin baskılanmasına bağlı olduğu gözlenmiştir (*Medina ve diğ., 2016*). Soyada artan CO₂ koşullarına 327 genin duyarlı olduğu saptanmış, çevresel koşulların karbonhidrat yıkımını uyararak, yaprak genişlemesi, büyümesi ve enerji üretimini artırıcı etkide bulunduğu anlaşılmıştır (*Ainsworth ve diğ., 2006*).

C4'lerde verim, bünyelerindeki metabolik süreçlerden önemli ölçüde etkilenmekte (*Kellogg, 2013*); C4'lerde bu bakımdan önemli unsurların mevsimler ve sıcaklığın olduğu; ek olarak da iklim kaynaklı parametrelerin dikkate değer etkide bulunduğu görülmüştür (*Hadi ve diğ., 2020*). Karbondioksit miktarındaki artış; şeker kamışı (*Saccharum officinarum* L.) ve sorgumda fotosentezin artmasına, mısırdaki terleme ile "glikoz", "mannoz", "galaktoz" gibi metabolitlerin üretiminde değişikliğe neden olmakta (*Vu ve diğ., 2006*; *Souza ve diğ., 2008*; *Vara Prasad ve diğ., 2009*; *Prins ve diğ., 2011*); fitokimyasal ve fitohormon üretiminin azalmasından dolayı bitkilerde hastalık ve zararlılara karşı duyarlılık artmaktadır (*Vaughan ve diğ., 2014*; *Vaughan ve diğ., 2016*).

Fotorespirasyonun sıcaklık ve CO₂ artışına bağlı olması nedeni ile artan sıcaklık ve minimum düzeydeki CO₂'de; C4 bitkilerindeki fotosentez, maksimum düzeyde olmaktadır (*Brooks ve Farquhar, 1985*). C4'ler düşük CO₂ koşullarında iken ılıman sıcaklıklar istemektedirler. Yüksek sıcaklık ve düşük CO₂'de, C4'lerin fotosentezi artarken C3'lerde ise durum tersinedir (*Hadi ve diğ., 2020*). RuBisCo enzim etkinliğinin sıcağa duyarlı olması nedeni ile sıcaklık artışıyla etkinlik artmakta, ayrıca bitkideki fotorespirasyonda buna katılmaktadır. Fakat sıcağa duyarlı olmadığından karboksilaz aktivitesi için aynı durum oluşmamakta; yüksek ışık dozunda ve C3 bitkilerinin fotosentetik aktivitelerinde önemli ölçüde azalma ortaya çıktığı gibi (*Hadi ve diğ., 2020*); her ne kadar fotosentez metabolizması farklı grupta da olsa sorgum bitkisi fotorespirasyon göstermediği için CO₂'e karşı duyarlılık göstermemektedir (*Leakey, 2009*).

CO₂ artışı tüm bitkilerde morfolojik, fizyolojik özellikler ile verimi etkilemektedir (Taub ve diğ., 2008). Örneğin, yaprak alanı mısır bitkisinin vejetatif dönemdeyken 550 ppm CO₂'de % 50'nin üzerinde (Mina ve diğ., 2019); şeker kamışında 720 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ CO₂'de % 30 (Vu ve diğ., 2006) ve sorgumda 900 $\mu\text{L L}^{-1}$ CO₂'de % 25 artmıştır (Khanboluki ve diğ., 2018). Yine, bir başka çalışmada ve yüksek CO₂ koşullarında mısır, şeker kamışı, sorgumda yeşil aksam artışı olmuş (da Silva ve diğ., 2020); mısır ve sorgum tane verimleri artmazken (Ottoman ve diğ., 2001; Leakey ve diğ., 2006), şeker kamışında (*Saccharum officinarum* L.) sükrozun gövdeye iletiminin artması nedeni ile yüksek verim alınmıştır (Souza ve diğ., 2008; Singels ve diğ., 2014).

Artan CO₂ miktarı, bir başka C3 bitkisi olan çeltikte vejetatif dönemi kısaltarak, çiçeklenmenin erkene kaymasına ve 1 haftalık erkenciliğe neden olmuş (Ghannoum ve diğ., 2011); ayrıca, yüksek CO₂'de ve vejetasyon süresinin kısalığına bağlı olarak, bir C4 bitkisi olan mısır veriminde azalmaya yol açmıştır. Kışlık buğdayda (*Triticum aestivum* L.) vernalizasyon isteği bakımından da aynı olumsuzluk ortaya çıkmıştır (Alexandrov ve Hoogenboom, 2000). Yüksek miktarda CO₂ koşullarında, N kullanım etkinliği ile WUE değeri C4'lerde, C3'lerden daha yüksektir (Way ve diğ., 2014). Bu durum, C4 bitkilerindeki gelişmiş yaprak yapısı ile bitki WUE değeri, daha yüksek fotosentez oranı ve daha düşük stoma iletkenliğinden kaynaklandığı şeklinde açıklanmış (Hussen, 2020); ayrıca, bu koşulların tohum sayısı ile toplam bitki yeşil aksamın da artışa yol açtığı, hasat indeksini etkilemediği, hem yabani ve hem de kültür bitkilerinin tohumlarındaki N içeriğinin azalmasına neden olduğu saptanmıştır (Bhargava ve Mitra, 2020).

Yukarıda ifade edildiği gibi, yüksek CO₂ koşullarında kültür bitkilerinde hem WUE ve hem de köklerin su alma kapasitesi artmakta; bu nedenle doğal yağışlarla yetişen bitkilerin verim düzeyleri sulananlardan daha çok olmaktadır (Ugarte ve diğ., 2007). Nitekim, atmosferik CO₂ miktarında öngörülen artışların; bitki büyümesi ile azot alımını artırıp, üretimi maksimum düzeye çekmek için gübrelemeye olan gereksinmeyi artıracığı gibi (Hatfield and Prueger, 2015); çayır bitkilerinin toprak üstü aksamında yüksek oranda N saptanarak, bu durum her yıl topraktan daha çok azot alındığı şeklinde açıklanmıştır (Qaderi ve Reid, 2009).

C3'lerdeki artan CO₂ miktarı, optimumun üzerindeki sıcaklık değerlerinde yetişen bitkiler hariç fotosentezde sıcaklığa toleransı artırmakta; CO₂ miktarının daha da artması fotosentezi ya etkilememekte ya da azaltmaktadır (Ziska ve diğ., 2016). C4 bitkilerinde artan CO₂, optimuma yakın sıcaklıklarda ve optimumun üzerindeki sıcaklıklarda fotosentetik termotoleransı azaltmaktadır (Hussen, 2020).

1.2.Sıcaklığın bitkilere etkisi

Yukarıdaki başlıktan da anlaşılacağı üzere, sıcaklık faktörü bitkilerde hem büyümeyi ve hem de gelişimi çok yakından etkilemektedir (Mondal ve diğ., 2016). Tahıllarda verim kaybı ile ilgili olarak sıcaklık stresi için en önemli faktörler, bitki büyüme döneminin kısılması, ışık alımının azalması ve karbon asimilasyonu (terleme, fotosentez ve solunum) ile bunlarla ilişkili olan süreçlerin bozulma ve aksamalardır. Öyle ki, bitkinin yetişme dönemindeki yüksek sıcaklıklar, buğdayda büyüme dönemlerinin kısalıp, fenolojisinin değişmesine yol açmaktadır. Bu durumda bitki büyümesini özendirici/düzenleyici (*rhizobium*) bakterilerin (PGRB) kullanılması, sıcaklık stresinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Sıcaklık artışı, yaprak gelişimi, çiçeklenme, hasat ve meyve oluşumunda değişime neden olmakta, vernalizasyon periyodunu kısaltarak, çiçeklenme ve tozlayıcılar arasında zaman uyum bozukluğu oluşturmakta, solunum hızının artmasına, tohum bağlama döneminin kısılmasına, yeşil aksam üretiminin azalmasına dolayısıyla verim düşüklüğüne neden olmaktadır (Bunce 2005; Kanno ve Makino, 2010; Forrest, 2015; Hatfield and Prueger, 2015; Larmure ve Munier-Jolain, 2019; Nam ve Kim, 2020).

Öte yandan, çiçeklenmedeki birkaç günlük yüksek sıcaklıklar ile tozlanma öncesi ve sonrası 35° C'lik sıcaklıklar arpa (*Hordeum vulgare* L.), buğday ve tritikalede önemli verim kayıplarına neden olmakta (*Rahman ve diğ., 2002; USDA, 2021*); mısır, soya, buğday gibi bitkilerde benzeri durumlar görülmektedir (*Long ve diğ., 2006*). Örneğin mayoz bölünmenin başlangıcından çiçek tozu olgunluğuna kadar 30°C'nin üzerindeki sıcaklıklar buğdayda çiçek tozlarının canlılığına olumsuz etki yapmakta, bu da döllenmenin başarısız olmasına, dolayısıyla da bitkide tohum bağlamanın azalmasına neden olmaktadır (*Thomas, 2008*). Benzer şekilde, sıcaklık RuBisCo enziminin etkinliğini, dolayısıyla da fotosentetik metabolizmasını doğrudan etkilemektedir (*Lloyd and Farquhar, 2008*). Ayrıca, sıcaklıktaki artışlar, havanın buhar basıncı açığı ile kurak koşulların böylesi yerlerde olumsuz etkilere neden olabilecek şekilde terlemeyi artırabilecektir (*James, 2010*).

Tozlanmanın ortasında meydana gelen yüksek sıcaklıklar, buğday başağında tane sayısının azalmasına neden olmakta (*Ferris ve diğ., 1998*); çeltiğin çiçeklenme dönemindeki yüksek sıcaklıklar salkım fertilesini düşürmekte (*Meena ve diğ., 2015; Taub ve diğ., 2008*); yüksek nem ve düşük rüzgar hızı ile birleşen yüksek sıcaklıklar, sıcaklığın 4 °C daha artmasına neden olarak çeltikte çiçek kısırlığına da yol açmaktadır (*Trenberth ve diğ., 2007*). Yüksek sıcaklık daha hızlı bitki gelişimine yol açarak, tane dolum süresini kısaltıp, verimin düşmesine neden olmakta (*Thomas, 2008*); daha yüksek sıcaklıklara tolerans göstermelerine rağmen C4'ler ile C3'lerin fotosentez ve solunumlarını etkilemekte, ancak C4'lerdeki yüksek sıcaklığın fotosentezi biraz daha olumsuz yönde etkiledikleri belirtilmektedir (*Crafts-Brandner and Salvucci, 2002*).

Gün boyunca meydana gelen sıcaklık artışları, mevcut sıcaklığa bağlı olarak net fotosentezi artırabilir ya da azaltabilir. Geceleri meydana gelen sıcaklık artışları fotosentez için herhangi bir fayda oluşturmazken, solunumu artırmakta; sıcaklık, havanın buhar basıncında artışa yol açarak, aşırı derecede olduğunda bitki hücrelerine doğrudan zarar verebilmekte; genel olarak değerlendirildiğinde artan sıcaklıkların, yüksek atmosferik CO₂ ile birlikte, bitkilere zarar veren hastalık ve zararlıların çoğalmasına neden olabileceği bildirilmiştir (*Ziska ve diğ., 2011*).

Örneğin geceleyin meydana gelecek sıcaklık artışları, çeltik ve buğdayda verim kayıplarına neden olmakta (*Long ve diğ., 2006; Nowak ve diğ., 2008; Taub ve diğ., 2008*); çeltiğin yüksek CO₂ koşullarında daha iyi verim göstermesine rağmen, yüksek sıcaklıklarda bunun yerine önemli verim kayıpları gösterdiği saptanmıştır (*Figueiredo ve diğ., 2015*). Çeltiğin özellikle tropik ve subtropik bölgelerde yetiştirilmesinden dolayı, sıcaklıklarda meydana gelecek olan herhangi bir artış, çiçeklerde kısırlığa yol açarak verimin olumsuz yönde etkilenmesine neden olacak; yüksek sıcaklıklarda verim üzerindeki olumsuz etkisi, atmosferdeki artan CO₂ ile daha da dramatik hale gelecektir (*Taub ve diğ., 2008*). Yüksek CO₂, bitkinin sıcaklığa ve don stresine karşı direncini de artırmakta; dokuların hücre zarında şekerlerin daha çok birikmesine ve daha çok besin eksikliğine; ayrıca tanenler gibi ikincil karbon bakımından zengin kimyasalların birikmesine de yol açtığı saptanmıştır (*Niinemets, 2010*).

1.3.Yağış değişimlerinin bitkilere etkisi

İklim değişikliği senaryolarına göre yağıştaki değişikliklerin sıcaklıktan daha az tutarlı ve bölgeler arasında daha değişken olacağı, kimi alanların çok daha nemli ve bazılarının daha kurak olacağı öngörülmektedir (*NJ ve diğ., 2020*).

Kurak koşullarda şeker kamışı bitkisinde fotosentetik süreçte, bitkinin strese tepki mekanizmasında 1600'den fazla gen tanımlanmıştır (*Rodrigues ve diğ., 2013*). C3 ve C4 bitkilerinin, çevresel koşullara tepkilerinde doğrudan dahil olan birkaç gen tanımlanmıştır (*Wang ve diğ., 2003*). Bitkilerin kuraklık stresine karşı fizyolojik tepkileri karmaşık olup türe,

kuraklığın süresine ve şiddetine göre değişmektedir (Bodner ve diğ., 2015). Kurak koşullarda stomaların kapanması ve yapraklardaki CO₂/O₂ oranında düşmeler nedeniyle fotosentez engellenmektedir (Griffin ve diğ., 2004).

Kuraklık stresinin bitkilerde çiçek oluşumu, tozlanma ve döllenme ile tohum oluşumu üzerinde önemli etkileri vardır. Bu stres nedeni ile yaprak alanı, protoplazma aktivitesi, CO₂ kararlılığı, protein yapımı, klorofilde azalma ve gözeneklerde tıkanmalar oluşarak, fotosentez yavaşlamakta ve üretilen glikoz miktarı azalmaktadır. Öte yandan, kuraklığın, çiçeklere olan etkisinin azalması sonucu tohum sayısında önemli ölçüde düşme meydana gelmektedir. Çiçeklenmede ortaya çıkan su stresinin, çiçeklerin ve tanelerin dökülmesine ya da steril tane oluşumuna neden olması sonucu, verim düzeyini de önemli ölçüde (olumsuz yönde) etkilemektedir. Yine, kuraklık stresinde, bitkinin hemen tüm organlarında kuru madde birikiminin azalması ile vejetasyon süresindeki kısalık nedeni ile verim kayıpları olmaktadır. Su stresi koşullarında pamuk (*Gossypium* spp.) bitkisinde boğum sayısı, kuru sap ağırlığı, bitki boyu ve yaprak alanının azaldığı da ortaya çıkmıştır (Peng ve diğ., 2004).

2.SONUÇ

Türkiye'nin son 25 yıllık döneminde “hava sıcaklıkları” ile “şiddeti” artış göstermiş; bölgelere göre alınan yağışlarda “azalma” olmuş, bu ise beraberinde getirdiği “sıcaklıklardaki artış” ve öncelikle tarım olmak üzere hemen tüm sektörleri son derece olumsuz yönde etkileyen “kuraklığı” egemen kılmıştır.

Öte yandan yapılan çeşitli çalışmalar ülkemizin iklim değişikliğinden olumsuz yönde etkileneceğini göstermektedir (Bağdatlı ve Bellitürk, 2016; Bozoğlu ve diğ., 2019; Türkeş, 2020) Yukarıda değinildiği gibi tüm bu iklimik eksenli olaylar, ülkenin önemli lokomotif sektörlerinden tarım kesimini de etkileyerek, çoğu olumsuz yönde olmak üzere pek çok değişime neden olacaktır. Yüksek CO₂ koşullarında, çeltik ve buğday gibi C3’lerde daha çok fotosentez gerçekleşecek ve bu bitkilerin sıcaklık ile don stresine karşı dirençleri de artacaktır. Ayrıca, sıcaklık ve CO₂ düzeyleri birlikte artış gösterdiğinde, bu bitkilerin solunumları da artacak; ancak, olası sıcaklık artışı kuraklık olgusu ile gerçekleştiğinde hem yapraklardaki toplam klorofil içeriği azalacak hem biyokimyasal süreçler değişecek (örneğin iyon değişimi...) (Morison ve Lawlor, 1999; Sehgal ve diğ., 2017) ve sonuçta fotosentezleri azalacaktır.

1 %

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	Philander. Encyclopedia of Global Warming and Climate Change	19 words — < 1 %
	Publications	
2	dergipark.org.tr	8 words — < 1 %
	Internet	
3	External Factors Affecting Growth and Development / Aussenfaktoren in Wachstum und Entwicklung, 1961.	6 words — < 1 %
	Crossref	

EXCLUDE QUOTES OFF
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY OFF

EXCLUDE MATCHES OFF