4. İklim Değişimine Bitki Ekosistem Tepkileri: Buğday

4. İklim Değişimine Bitki Ekosistem tepkileri: Buğday

4. İklim değimine Bitki Ekosistem tepkileri: Buğday 3
4.1. Giriş 3
4.1.1. Küresel Buğday Üretimi 3
4.1.2. Küresel Çevresel Değişim 5
4.1.3. Küresel Çevre Değişiminin Buğday Üretimi Üzerindeki Etkilerinin Halihazır Değerlendirilmesi 5
4.2. Küresel Çevresel Değişikliği İnceleme Metotları 6
4.3. [CO_2] ve Sıcaklığın Temel İşlevler Üzerine Etkisi 8
4.3.1. [CO_2] 'in Fotosentez Üzerine Etkisi 8
4.3.2.Yükseltilmiş [CO_2] 'in Stoma İletkenliğine Etkisi 11
4.3.3. Sıcaklığın Fotosentez Üzerine Etkileri 11
4.3.4. [CO_2] ve Sıcaklığın Respirasyon (Solunum) Üzerine Etkisi 11
4.3.5. [CO_2] ve Sıcaklığın Bitki Üzerine Etkisi 12
4.3.6. Sıcaklık Ekstremlerinin Etkileri 13
4.4. [CO2] ve Sıcaklığın Biyomas ve Tane Verimi Üzerine Etkisi 13
4.4.1 [CO2] 'in Biyomas ve Tane Verimi Üzerine Etkisi 13
4.4.2. Sıcaklığın Biyomas ve Tane Verimi Üzerine Etkisi 15
4.5. Atmosferik [CO_2] x Sıcaklık İnteraksiyonları 15
4.6. [CO_2] 'in Suyun Kısıtlı Olduğu Koşullardaki Etkileri 16
4.7. Atmosferik Kirleticiler, [CO_2] ve Sıcaklık 17
4.8. Buğday Kalitesi 18
4.9. Küresel Çevresel Değişim için Buğday Varyetesi Dizaynı 19
4.10. Model Oluşturma 20

4. İklim değimine Bitki Ekosistem tepkileri: Buğday

4.1. Giriş

Buğday toplam hasat edilen ağırlık ve insan ve hayvan beslenmesinde kullanılan miktar açısından Küresel anlamda tek ve en önemli üründür. Küresel çevresel değişim (GEC)'in buğday üretimi ve de insanoğlunun gıda stokunda en fazla etkiye sahip olması muhtemeldir. Halihazırda yıllık olarak 600 milyon ton buğday üretilmektedir ve buğday 6.6. milyarlık dünya nüfusunun enerji gereksinmesinin tahminen % 20'sini protein gereksinmesinin de % 25'ini sağlamaktadır. Buna ek olarak buğday insanoğlunun beslenmesine et ve sütü ekleyen hayvanların beslenmesine de en büyük katkıyı yapmaktadır. Buğday üretimini ve maliyetini etkileyecek faktörlerin herhangi biri tüm toplumları etkileyecektir. Çünkü buğday uluslararası ticarette yer alan tüm dünya üretiminin en büyük kısmını oluşturarak, en fazla ticareti yapılan tarımsal üründür. Buğday üretimini ve kullanımını ele alan derlemeler buğday ürününün çevreyle olan ilişkisini ve insanlık bakımından önemini daha detaylı bir şekilde açıklamaktadır. Bu bölüm, buğdayın GEC ile ilişkili olarak artan atmosferik CO_2 konsantrasyonu ve beklenilen Küresel ısınma gibi belli başlı faktörlere olası tepkilerini incelemektedir. Bu bölüm özellikle 1990 sonrası yapılan çalışmalar üzerinde yoğunlaşmaktadır ve okuyuculara daha öncesi çalışmaları incelemeleri önerilmektedir.

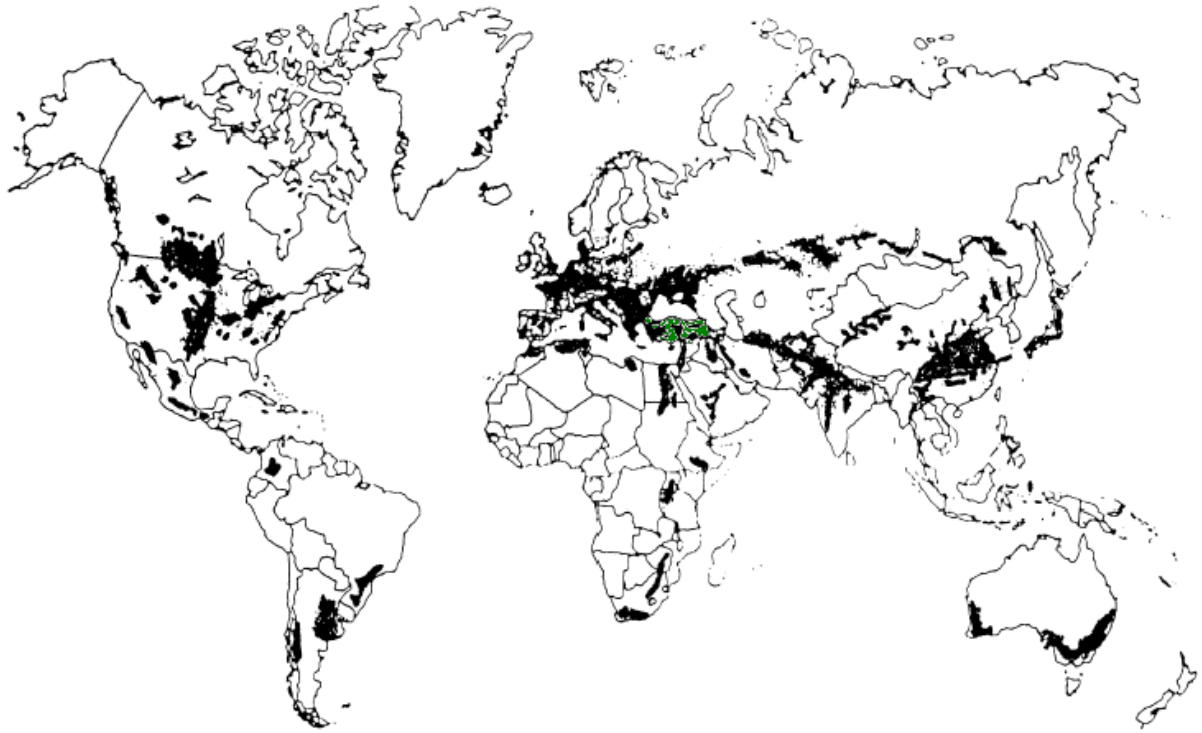
4.1.1. Küresel Buğday Üretimi

Buğday üretimi kuzey kutbundan ekvatora kadar (Şekil 4.1.) geniş bir alanda (Deniz seviyesinden 3000 m yükseğe kadar) yapılmaktadır. Bununla birlikte 30-50 derece kuzey yada 25-40 derece güney enlemleri arasında en iyi uyum göstermiştir.

Buğday üretimi son yüzyılda herhangi diğer bir üründen daha fazla artmıştır. 1900 yıllarında 90 milyon ton olan üretim, 1954'te üretim alanı 90 milyon hektardan 190 milyon hektara artması nedeniyle 200 milyon ton olmuştur.

1990'lı yılların başında toplam üretim 600 milyon ton olup, bu üretim artışına verimlilik artışı ile ulaşılmıştır. Üretimin büyük bir çoğunluğu, büyük ölçüde Asya'dan (Çin 120 milyon ton, Hindistan 50 milyon ton, eski Sovyetler birliği 100 milyon ton, Kuzey Amerika (ABD 65 milyon ton, Kanada 23 milyon ton) ve Avrupa topluluğu (Fransa dahil 65 milyon) dan gelmektedir.

Kuzey Afrika'da çok önemli bir ürün olmasına karşın Afrika'da çok az bir üretim yapılmaktadır. Halihazırda 2.2×10^9 hektarlık alan buğday üretimi için kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. Buğday Tarımının Küresel Dağılımı (siyah boyalı) Briggle ve Curtis 1987 ve Anon. 1996.

5 Büyük ihracatçı ülke (ABD, Kanada, Avrupa Topluluğu, Avustralya ve Arjantin) Dünya ticaretini elinde tutmaktadır. Nispeten bazı küçük üreticilerde önem kazanmaktadır, çünkü bu ülkelerin ihracatları diğer bölgelerdeki kötü, zayıf hasat koşullarını dengelemektedir.

Buğday artan dünya nüfusunun belli başlı gıda kaynağıdır. 1900'lü yıllarda 1.5 milyar, 1993'te 5.5. milyar olan dünya nüfusu muhtemelen 21. yüzyılın sonunda da 11 milyara ulaşacaktır.

Buğday eski Sovyetler, Çin, Japonya, Endonezya dahil bir çok ülke tarafından ithal de edilmektedir. Bir çok gelişmekte olan ülke hızla büyüyen nüfuslarıyla azalan buğday üretimine duyarlı hale gelecektir. Tahıl üretiminin % 35-40'lık bir oranda artmasına gerek duyulacaktır ve buğday diğer tahıllardan daha büyük bir oranı kapsamalıdır.

Buğday verimi 20. Yüzyılın ilk yarısında dünya ortalaması olarak 100 kg/da iken bu gün bu değer 250 kg/da'a yükselmiştir. Batı Avrupa gibi serin nemli uzun büyüme mevsimi ve günlü ve verimli topraklı modern üretim yöntemlerinin kullanıldığı yoğun üretim koşulları altında (gübre, zararlı ve hastalık kontrolü) yarı cüce varyetelerle iklim olarak uygun koşulların olduğu alanlarda verim 1000 kg/da'a ulaşmaktadır. En yüksek verim 1200 kg/da ve

ülke verimliliği açısından da en yüksek verim 700 kg/da'dır. Bununla birlikte dünya ölçeğinde bu ürün ekstansif koşullarda sınırlı girdi kullanımıyla yetiştirilmekte olup verim oldukça düşüktür. Son 10 yılda verimlilikteki artan oran yavaşlamış olup üretim alanı da % 8 azalmıştır. Eğer bu eğilim devam ederse buğday üretiminde sıkıntı ortaya çıkacaktır. Son 20 yılda tarımdaki yatırım ve üreticinin eline geçen para miktarı azalmıştır. Bu iki faktörün her ikisi de üretimden uzaklaştırıcı faktörlerdir. Buğday üretiminin tüm depolanan kısmı 1980'li yılların başında hükümetlerin araştırma geliştirme ve çiftçilere verdikleri desteklemeler nedeniyle verimlilikteki dünya ölçekli artışın kümülatif etkisi nedeniyle toplam üretimin 35'i kadar idi. Şimdilerde ise stoklar FAO'nun önerdiği % 15'lik rakamın biraz üzerinde tüketimin yaklaşık % 18'lik civarında bir değerdedir. Dolayısıyla Dünya nüfusunun bilinen artışı ve GEC'in olası etkilerini karşılamak için buğday üretiminde daha büyük yatırımı teşvik etmek için acil bir gerek vardır.

4.1.2. Küresel Çevresel Değişim

Küresel CO_2 endüstri devriminin başında 280 μmol/mol iken günümüzde 360 μmol/mol'a çıkmıştır. 2050 yılında bu değerin 550 μmol/mol' a çıkması hatta 2100 yılında 700 μmol/mol' a ulaşması beklenebilir. 1983-94 yılları arasındaki 10 yıllık dönemde CO_2 artışı ortalama yıllık 1.5 μmol/mol düzeyinde olmuştur. GEC buğday üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmaların esas konusu CO_2 ve sıcaklık gibi primer koşullardaki değişikliklerin büyüme ve verim üzerine etkilerini tanımlamaya yöneliktir. İkinci derecedeki etkilerin üretim üzerindeki büyüklüğü daha büyük olabilirse de bu konuya daha az önem verilmiştir. Buğday üretimine çok büyük alanlar tahsis edildiği için buğday yetiştiriciliği değişen küresel karbon dengesine katkıda bulunabilir (örneğin organik karbonun oksidasyonunun artması ile yada köklerden karbon birikmesiyle) bununla birlikte bu etkiler burada dikkate alınmamıştır.

4.1.3. Küresel Çevre Değişiminin Buğday Üretimi Üzerindeki Etkilerinin Halihazır Değerlendirilmesi

GEC'in buğday üretimi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi zaruri olarak bitki tepkileri konusunda sınırlı düzeyde bilgi kullanan modellemeye dayanmaktadır. Etkilerin birkaç tahmini yapılmıştır. İklim değişimi üzerine hükümetler arası panelin (IPCC) 1995 özeti, endüstri öncesi CO_2 oranının 2 katının ve 4 °C artan sıcaklığın etkilerini değerlendirmede önemli bir belirsizliği ortaya koymaktadır. Bu yazarlar ülkeler arasında tahmini verim etkilerindeki, analiz metotlarındaki ve ürünlerdeki varyasyonun diğer bölgeler için ve farklı iklim senaryoları için sonuçları genelleştirmeyi güçleştirdiğini bildirmektedirler.

Bununla birlikte deneysel olarak buğday üretiminin önemli ölçüde azalacağı kanısına varmışlardır. Genellikle modelleme çalışmaları buğdayın daha yüksek enlem derecelerinde yetiştirileceğini (yani esas itibariyle daha kuzey) ve ekvatora yakın bölgelerdeki üretimin azalacağını tahmin etmektedirler. Bazı yazarlar ise buğday üretiminde ABD'de önemli azalış beklemektedir. Bir başka araştırıcının çalışmasında ise 2060 yılına kadar CO_2'te 550 μmol/mol'luk değerin ve yaklaşık sıcaklıktaki 4 °C artışın etkilerinin incelemesi belli başlı tahıl ürünlerinin Küresel tarımsal üretiminin azalacağını simule etmiştir. Bu tahminde çiftlik düzeyinde adaptasyon ve gelecek teknolojik ilerlemelerde hesaba katılmış durumdadır. 2 °C derecelik bir ısınma verimleri % 12 kadar arttırabilir (daha uzun bitki büyüme süresi nedeniyle) ancak 4 °C' lik bir ısınma Küresel üretimi azaltacaktır, bu bulgu daha önce söylenilen bulgularla çelişen bir bulgudur. Şöyle ki, GEC'ten kaynaklanan azdan orta dereceye bir negatif etki ortaya çıkmaktadır. GEC'in, ve dünya nüfus artışının sonucu olarak, açlık riski altındaki nüfusun oranı % 6-50 arasında artabilir. GEC gelişmiş ve gelişmemiş tarım arasındaki oransızlığı daha da artıracaktır. Biz de tüm buğday üretiminin değerlendirilmesi için mevcut simülasyon modellerinin güvenilebilirliği konusunda bazı şüphelere sahibiz. Fakat herhangi bir durumda GEC'in niteliği hakkındaki belirsizlikler muhtemelen bitki tepkisindeki belirsizlikten daha önemli olacaktır ve bizde diğer yazarlarla paralel olarak büyük ölçüde artan insan nüfusunun beslenmesinin mümkün olabileceğini fakat bunu yapabilmek için iklimsel değişikliklerdeki görünümün sosyal ve iklimsel eşitliksizlikteki görünümün insanlığın çözmesi gerek en önemli görev olarak durduğu kanısındayız.

4.2. Küresel Çevresel Değişikliği İnceleme Metotları

Buğdayın CO_2 ve sıcaklığa olan tepkisini incelemede kullanılan metotlar değişik yazarlar tarafından incelenmiştir. Artan CO_2 düzeylerinin etkilerini incelemek için en ilişkili agronomik metot serbest havadaki CO_2 zenginleştirilmesi (FACE) metodudur. Bu durumda diğer tarla koşulları değiştirilmeden yani sabit tutulmaktadır. Tesis ücreti ve önemli miktarda CO_2 miktarına gerek duyulması, ABD'de Arizona'daki çalışmaları bir bölgede sınırlamıştır. Bu FACE denemelerinin sonuçlarını atmosferik ve toprak koşullarının farklı olduğu diğer alanlara genelleştirmek zor olmaktadır. En belli başlı sınırlayıcı faktör CO_2 ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi test etmekteki yetersizliktir. Gelişme oranını hızlandıran ve CO_2'in etkisinin anlaşılmasını etkileyen 1992-1993 ve 1994-1995'teki FACE denemelerinde kontrol parsellerinde ventilasyonun ihmal edilmesi nedeniyle, kontrol ve yükseltilmiş CO_2

uygulamaları arasındaki küçük fakat önemli sıcaklık farklılıkları ortaya çıkmıştır. Daha sonraki (1995-1996 ve 1996-1997) denemeler etkisiz olmuştur.

Üstü açık büyüme odaları (OTC_s) ayrıca tarlada yetiştirilen ürün için CO2'i belli çevrelerde tutmak için yaygın olarak kullanılmıştır. Bu tür odalar genellikle ürün üzerine düşen radyasyonu azaltmakta, nemi artırmakta, hava hareketini yavaşlatmakta ve en önemlisi yüksek radyasyon yüklerinde dış havadan daha sıcak bir ortam yaratmaktadır. Bitkileri dışarıda ve OTC içerisinde yetiştirmek suretiyle [CO_2] ile ilişkisi değil ama sıcaklık etkisi değerlendirilebilir. Bir araştırıcı grubu [CO_2]'in oransal etkilerinin ve ayrıca mutlak buğday üretiminin Arizona'daki serin iklimlerdeki OTC ve FACE denemelerinde benzer olduğunu göstermiştir. Buğdayın [CO_2]'e ve sıcaklığa tepkileri ve bunların birbirleri ile ilişkileri kontrollü çevre koşullarında (CE) detaylı olarak araştırılmıştır. Bazı çalışmalarda dış tarla sıcaklığını simule edilmiş, bazıları da sabit sıcaklık farklılıklarına müsaade edilmiştir. Dereceli sıcaklık tünelleri bitkilerin daha geniş bir sıcaklık rejimi içerisinde yetiştirilmesine olanak sağlamıştır. Farklı sıcaklıklar kullanmak yorumu komplike hale getirebilmektedir. Bununla birlikte regüle [CO_2] ile sonuçlar birleştirildiğinde elde edilen bilgiler daha faydalı olmaktadır. Genellikle, ortalama ve en üst ışık yoğunlukları azaltılmakta ve spektrum tüm kapalı çevrelerde ve OTC'lerde değişmektedir. Nem potansiyel önemine rağmen (kontrol edilmesi güç ve pahalı olduğu için) çoğunlukla ihmal edilmiştir. Deneme koşullarının gerçek anlamda tekrarlanması mümkün olmayabilir. Sahte tekrarlamaların uygulanması gereklidir, bu da temel uygulamaların sık transferi ve bitkilerin yetiştirildiği konteynırların kontrollü çevrelerde odalar arasında taşınmasını kapsar böylece ön yargı en aza indirilmiş olur. En önemli olan konuda bitkilerin kök genişliği ve derinliğidir. Çünkü sınırlı büyüme su ve besin maddesi arzını etkileyebilir ve asimilasyon ürünleri için depo kapasitesini sınırlar. Çok farklı metotlar olmasına karşın buğdayın farklı sistemlerde nicel olarak önemli farklılıklar bulunmakla birlikte, nitel olarak benzer tepkiler veren geniş bir ortak anlaşma zemini sağlamışlardır.

Bu bölümde biz ilk önce GEC'in en önemli hususları olan CO_2'teki ve sıcaklıktaki artışa temel işlevlerin tepkilerinin değerlendirdik. Bunlar daha sonra; buğday yükseltilmiş [CO_2] ve artan ısı seviyelerinde yetiştirildiğinde gözlenen biyomas üretiminde ve tane verimindeki değişimlerle ilişkilendirildi. Daha sonra bu işlevleri ve ürünleri çevrenin diğer hususları ile özellikle GEC'in bir parçası olarak da değişmesi muhtemel olan ve herhangi bir bölge için halen belirsiz bir kavram olan su durumuyla ilişkilendirilmeye girişildi.. Son olarak

ta, olarak bilgilerin buğday üretimini simüle eden modellere yerleştirilmesi ve modellerin olası gelişmeleri değerlendirildi.

4.3. [CO_2] ve Sıcaklığın Temel İşlevler Üzerine Etkisi

4.3.1. [CO_2] 'in Fotosentez Üzerine Etkisi

Yükseltilmiş CO_2 buğday gibi, C_3 bitkilerinde net fotosentez oranını (P_n) artırmakta fotorespirasyon (P_r) oranını azaltmaktadır. Bunun nedenleri gayet iyi anlaşılmıştır. CO_2'in ribuloz bi fosfat (RuBP) ile reaksiyondan sorumlu enzim ribuloz bi fosfat karboksilaz oksigenazdır (Rubisco). Reaksiyon mevcut CO_2 seviyelerinde doygunluğa ulaşmamıştır; ayrıca oksijen RuBP ile reaksiyona girmekte bu reaksiyon sonucu metabolize olan fosfoglisolat üreterek sonunda P_r'de CO_2 açığa çıkmaktadır. Mevcut [CO_2]' i 2 katına çıkarmak Rubisco'yu doygunluğa ulaştırmakta ve P_r'i büyük ölçüde azaltmaktadır, ve böylece de P_n % 30-40 (açık güneşli bir havada 25-30 °C'de), ve bitkiye karbon asimilayon ürünleri (şeker ve nişasta) sağlama oranı artmaktadır. Yükseltilen CO_2 ayrıca stoma iletkenliğini (g_s) azaltmasına karşın (su kaybını büyük ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir) artan atmosferik [CO_2] bunu gidermede çok daha etkilidir. Böylece dahili $[CO_2]_i$ konsantrasyonu büyük ölçüde artmakta dolayısıyla da (P_n) artmaktadır. Farklı ışık ve sıcaklık değerleri için yaprak net fotosentezinin (Pn) dahili $[CO_2]_i$'e tepkisi bu işlevin standart modeli ile iyi bir şekilde tahmin edilmektedir.

Buğday bu tür tipik tepkiler sergilemektedir ve çeşitsel farklılık çok azdır. C_3 bitkilerinde, net fotosentezin (P_n) nin başlangıç uyarımı yükseltilmiş CO_2'te yetiştirilen bitkilerde çoğu kez azalmaktadır. Bu yükseltilmiş [CO_2]'te yetiştirilen bitkilerin foto sentetik kapasitelerinin genel bir kaybı ile ilişkilidir; yani, herhangi belli bir [CO_2] düzeyinde ölçülen net fotosentez (P_n) dış [CO_2]'te yetiştirilen bitkilerinkinden daha düşüktür. Bu durum genellikle iklime uyma olarak adlandırılmaktadır, fakat, artışlarda oluşabildiği için, pozitif yada negatif iklime uyma olarak isimlendirilmek daha uygun olur. Böyle bir iklime uyma işlevinin olası mekanizmaları değişik yazarlar tarafından incelenmiştir ve bunun iki açıklaması bulunmaktadır.(i) Foto sentetik bileşenlerin kaybı veya (ii) Bileşenlerin azalan aktivasyonu (aşağı regülasyon). Her ikisi de Rubisco'yu etkilemektedir. Yukarı regülasyon ise daha az gözlenen bir olgudur.

Yükseltilmiş [CO_2] altında yetiştirilen buğday üzerinde yapılan çalışmalarda, farklı fotosentetik kapasite değişim sınırları gözlenmiştir. Kontrollü çevre koşullarında yetiştirilen tek bitkiler Rubisco'nun azalan miktarı ve aktivasyon durumu ile fotosentetik kapasitelerini

kaybetmektedirler. Daha sonra yapılan bir FACE çalışmasında yükseltilmiş [CO_2] altında büyüme nedeniyle herhangi bir iklime uyma tepkisi gözlenmemiştir. Bu itibarla, yükseltilmiş [CO_2] altında ölçüm yapıldığında fotosentez stimule edilmektedir. Daha önceki çalışmalar iyi sulanmış ve gübrelenmiş bitkilerde, CO_2 380 μmol'e kıyasla 550 μmol/mol 'e çıkarılırsa yaprakların net fotosentezinin (P_n) önemli ölçüde (% 31) arttığını göstermektedir. Yeni çıkmış genç yapraklar için, büyüme sırasında yükseltilmiş CO_2 fotosentetik kapasite üzerine yada incelenen herhangi bir yapraktaki belli başlı proteinlerin miktarı üzerine herhangi bir etkide bulunmamıştır. Tane doldurma sırasında bayrak yapraklar için ise fotosentetik kapasite üzerine bariz bir etki gözlenmiştir. Kontrol yapraklarda Rubisco % 45 azalırken yükseltilmiş CO_2' te %60 artmıştır. Bununla birlikte bu çalışmaları yorumlarken, yükseltilmiş CO_2 muameleleri ile serin kontrol karşılaştırıldığında üfleyicilerin ihmalinden kaynaklanan durum konusunda deneyimli olunmalıdır. Doğru kontrollerle CO_2'in etkisi yalnızca geç tane doldurma periyodu sırasında özellikle azot noksanlığı durumunda görülmüştür. Ayrıca karboksilasyon etkinliği azalmış, ancak farklı yapraklarda farklı miktarlarda azalmıştır. Benzer sonuçlar, birçok Avrupa ülkesinde yazlık buğday çeşidi Minaret üzerinde yürütülen OTC denemelerinden de elde edilmiştir. Burada, ayrıca, antesis'ten önce yükseltilmiş [CO_2] 'in fotosentetik kapasite üzerine herhangi bir etkisi görülmemiştir, ancak tane doldurma periyodu sırasında özellikle az azot verilen bitkilerde bayrak yaprakların fotosentezinde azalma ortaya çıkmıştır. Başka bir araştırıcı herhangi bir iklime uyma durumu gözlememiştir. Bununla birlikte aynı varyete üzerindeki bir başka çalışmada geç oluşan yapraklarda fotosentetik kapasitede önemli bir azalma Rubisco kaybı gözlenmiştir. Buda çevrede çok hafif bir değişikliğin yükseltilmiş CO_2'te fotosentetik kapasite tepkisini etkileyebileceğini göstermektedir.

Azot arzı fotosentetik kapasite tepkisini belirlemede kritik bir faktör olmaktadır. Ilık ve sınırsız azot ortamlarında yetiştirilen genç bitkilerde yükseltilmiş CO_2'e tepki açısından artan fotosentetik kapasite ve rubisco içeriği gözlenmiştir. Muhtemeldir ki bu tür koşullar ekstra kök büyümesini ve azot alımını stimule etmektedir. Yükseltilmiş CO_2'te büyüme değişik azot gübrelemesi ile yetiştirilen genç buğday yapraklarında fotosentetik kapasite üzerine etkide bulunmamaktadır. Fakat yapraklar yaşlandıkça azaltmaktadır. Bu etki düşük azot dozlarında daha yüksek olmaktadır. Bu çalışma, ayrıca, kritik faktörün, yaprak azot içeriğinde azot uygulamalarının fark yaratıp yaratmamasına bağlı olduğunu göstermiştir. Bu niçin yükseltilmiş CO_2'in her zaman hatta düşük azot dozlarında bile fotosentezin azalan kapasite ile sonuçlanmadığını açıklamaktadır.

Fotosentetik kapasite üzerine CO_2'in etkilerine dair iki açıklamayı ayırt edebilmek için bazı çalışmalar yapılmıştır. Yüksek ışıkta fotosentetik kapasitenin aşağı regulasyonuna ilişkin az sayıda kanıt mevcuttur. Bazı araştırıcılar Rubisco'nun aşağı regulasyonunu P_n üzerinde diğer bazı sınırlamalarla karşılaştırıldığında, aşırı olduğunda ortaya çıktığı yorumunu getirmişlerdir. Dolayısıyla fotosentetik bileşenlerin özellikle Rubisco'nun miktarındaki değişiklikler fotosentetik kapasitenin kaybından sorumlu olmaktadır.

Tüm yukarıdaki kanıtlardan, yükseltilmiş [CO_2] 'in buğdaydaki fotosentetik kapasite üzerine gözlenen etkilerin pek çoğu kapasite kaynak dengesindeki değişiklikler açısından açıklanabilir. Yani daha fazla karbon asimilasyonunun sonucudur. Örneğin eğer azot arzı fiks ise yeşil aksam büyümesi ve yaprak alanı yükseltilmiş CO_2'te stimule edilmektedir. Yaprak azot içeriği ve fotosentetik kapasite kaçınılmaz bir şekilde mutlaka azalmaktadır. Eğer yükseltilmiş CO_2 başak ve tane oluşumunu stimule ederse bunlar tane doldurma sırasında foto sentetik dokulardan azotun taşınması için daha büyük bir kapasite yaratmaktadırlar. Böylece yeşil alanın yaşlanması da hızlanabilmektedir. Ayrıca yükseltilmiş CO_2'te azalan stoma iletkenliğinin karışmış etkisi de vardır. Bu etki yaprak sıcaklığını artırabilir ve yaşlanmayı hızlandırabilir. Azot verildiğinde yüksek CO_2 seviyesinde ilave kök büyümesi daha fazla azot tutabilir (ayrıca daha fazla asimilant kullanır) ve çok farklı sonuçlarda elde edilmektedir yada yükseltilmiş CO_2'in yaprak azotu üzerine etkisi azalmamaktadır. Dolayısıyla yükseltilmiş azota fotosentetik kapasite tepkisi yükseltilmiş CO_2'in genel sonucunun kapasite kaynak ilişkisini değiştirdiği hipotezini desteklemektedir. Rubisco içeriği Thylacoid ATP sentezi ve yaprak azotu arasındaki ilişki yükseltilmiş CO_2 ile yetiştirilen buğday yapraklarında değişmemektedir. Bir CO_2'e özel tepkinin tercihan Rubisco'yu azaltması beklenmektedir.

Yaprak azotu ve fotosentetik kapasitedeki değişikliklerle ortaya çıkan mekanizma halen belirsizliğini korumaktadır. Bunun bir kısmı artan karbonhidratlarla (heksoz yada özellikle glikoz) gösterilen feedback regulasyonu sonucu olarak gen tezahürü üzerinde ortaya çıkar. Bununla birlikte, bir FACE denemesinde, Rubisco'nun büyük ve küçük alt birimleri de dahil bir kaç adet fotosentetik bileşenler için mRNA kopya kodları karbondioksit uygulamaları arasında farklı değerler alan karbonhidrat konsantrasyonu (yani glikoz 6 fosfat, sukroz ve nişasta) ile zayıf olarak ilişkili bulunmuştur. Ayrıca kontrollü bir deneme çevresindeki buğdayda, Rubisco miktarındaki değişiklikler yapraklardaki ve saplardaki karbonhidrat konsantrasyonları ile ilişkili bulunmamıştır. Bu nedenle, foto sentetik iklime uymanın şeker repression (bastırma) modeli yükseltilmiş CO_2 ile yetiştirilen buğdayda basit

bir şekilde ceryan etmemektedir. Gözlenen bu kompleks etkilerin, azot ve karbon için, değişen talep ve arzları dengelemeye çalışan bir çok dinamik ilişkili mekanizmaların sonucu olması muhtemeldir.

4.3.2.Yükseltilmiş [CO_2] 'in Stoma İletkenliğine Etkisi

Yükseltilmiş [CO_2]'in en çok bilinen diğer bir etkisi stoma iletkenliği (g_s) üzerinedir. Net fotosentezin (P_n) üzerine olan etkisinin aksine bunun moleküler mekanizması iyi bilinmemektedir. Buğday üzerine yapılan çalışmalarda mevcut [CO_2] konsantrasyon düzeyini iki katına çıkarmakla g_s tipik bir şekilde % 30-40 azalmıştır. Bu durum stoma açıklığındaki değişimler nedeniyledir. Zira stoma sıklığı (stoma/birim yaprak alanı) ve stoma indeksi (stoma oranı/yaprak epidermal hücresi) tek bir mevsim içerisinde etkilenmemektedir. Yükseltilmiş [CO_2] 'te sürekli büyümeden kaynaklanan etkiler nesiller boyunca incelenmemiştir. Yükseltilmiş [CO_2] 'e g_s'nin alışmasına dair bir kanıt bulunmamaktadır. Bu itibarla iç $[CO_2]_i$ /[CO_2] oranı büyüme sırasında simule edilmiş tarla koşullarında veya FACE çalışmalarında [CO_2] 'ten etkilenmemektedir.

4.3.3. Sıcaklığın Fotosentez Üzerine Etkileri

Bir çok çalışma buğdayda net fotosentezin (P_n) 5 °C'de küçük (maksimumun % 25'i) olduğunu, sıcaklık arttıkça geniş bir optimum aralığında arttığını yüksek sıcaklıkta (>25°C 'ta) azaldığını ve 40 °C civarında durduğunu göstermiştir. Net fotosentezin (P_n) [CO_2] duyarlılığının Rubisco'nun özelliği nedeniyle sıcaklıkla büyük oranda arttığı belirlenmiştir. Optimum sıcaklık yükseltilmiş [CO_2] ile bir kaç derece artmaktadır. Bu da Rubisco'nun kinetik parametrelerinin sıcaklığa bağımlılığı ve CO_2 ve oksijenin (O_2) oransal çözünebilirliği nedeniyledir. Bunun anlamı fotorespirasyonun sıcaklıkla artması demektir. Daha yüksek sıcaklığın en önemli etkisi yaprak olgunlaşması ve yaşlanmasını hızlandırması dolayısıyla aktif fotosentez süresini kısaltmasıdır.

4.3.4. [CO_2] ve Sıcaklığın Respirasyon (Solunum) Üzerine Etkisi

Karanlık respirasyonu bitki verimliliğinin en önemli bileşenidir. Tahminen fotosentez ile elde edilen toplam asimilantların % 50'si solunumla harcanmaktadır. GEC'e ilişkin olarak Respirasyonun olan en beklenmedik niteliği birim kuru madde başına ifade edildiğinde bariz şekilde azalmasıdır. Böyle bir azalma yükseltilmiş [CO_2] ile yetiştirilen bitkilerde sıklıkla gözlenmiştir. Bu azalan respirasyonun bir kısmı yada tamamı muhtemelen karbonhidrat

biriktikçe birim kuru madde başına metabolik bileşenlerin azalan oranı nedeniyledir. Bununla birlikte bu durum niçin yükseltilmiş [CO_2]'in ayrıca karanlıkta yetişen genç buğday fidelerinin respirasyon oranını da azalttığını açıklamamaktadır.

Buğdaydaki respirasyon sıcaklığa kısa sürede önemli tepki verirken duyarlılık uzun dönemde çok daha azdır. Bu durum solunumun büyüme ve süreklilik bileşenlerine yani hayatını devam ettirme bileşenlerine (hayli sıcaklığa bağlı) bölünmesinin sıcaklık bağımlılığını arttırma eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır. Solunumu sabit kabul edersek sıcaklık yada CO_2'i dikkate almadan fotosentez oranı daha doğru olabilirdi.

4.3.5. [CO_2] ve Sıcaklığın Bitki Üzerine Etkisi

[CO_2]'in bitki gelişmesi üzerine doğrudan (Birim se başına CO_2) dolaylı (daha küçük g_s nedeniyle sıcaklık artar) etkilerini birbirinden kesin olarak ayırmak güçtür. Bununla birlikte [CO_2] tin buğdayın herhangi bir dönemdeki gelişme oranına etkisine dair çok az kanıt bulunmaktadır. Yaprak, başak, çiçek ve kardeşin biraz daha hızlı gelişmesi yükseltilmiş [CO_2] ile yetiştirilen buğdayda sıkça gözlenmektedir ve muhtemelen dolaylı etkidir. Nispeten düşük radyasyon koşullarında buğday fenolojisi üzerinde yükseltilmiş [CO_2] 'in etkisini tamamen yok oluşu bu kanıyı desteklemektedir. FACE denemelerinde, azot gübresi bitki mimarisini değiştirmekte fakat yükseltilmiş [CO_2] tüm bitki yeşil aksamının gelişme ve yaşlanma oranı üzerine minimum etkide bulunmaktadır. Bu durum daha önceki çalışmalarda sıcaklık farklılaştığında görülen hızlanmış gelişme ile kontrast teşkil etmektedir. Buda buğday gelişmesinde ve nihayetinde verim açısından sıcaklıktaki küçük artışların önemini vurgulamaktadır.

Buğdayın gelişme oranları sıcaklığın doğrusal bir fonksiyonundan ziyade sigmoidal (yani S şeklinde) bir fonksiyonudur. Gelişme çeşide bağlı olarak baz sıcaklık (1-5°C)'ın üzerinde başlar ve sıcaklık arttıkça yavaşça artar sonra yaklaşık 30 °C'de daha hızlı maksimuma ulaşır ve bundan sonra hızla yavaşlar. Dolayısıyla fenolojik dönemlerin süresi üzerine sabit sıcaklık artışlarının etkisi mutlak eski background (geri sıcaklık) sıcaklığa bağlıdır. Bununla birlikte bu etkiler termal zaman yaklaşımı (sıcaklık derece çalışmalarından elde edilen verilerden gösterildiği gibi) ile büyük bir kesinlikle (doğrulukla) modellenebilmektedir. Bu denemeler çevre sıcaklığı dolayında makul bir sıcaklık aralığı sağlamıştır. Bu çalışmalar 1 °C 'lik bir ısınmanın bitki gelişim süresini yaklaşık 21 gün (% 8 civarında) generatif gelişim süresini yaklaşık 8 gün (% 6 civarında) azalttığını

göstermektedir. Çiçeklenmeden olgunlaşmaya kadar geçen periyod yaklaşık 3 gün ve tane doldurma periyodu ise her °C için 2 gün (% 5) kısalmaktadır. Çevre sıcaklık değerinin üzerinde 4 °C' lik artışlarla tek bir sıcaklık derecesi ile yapılan denemelerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte bu tepkiler varyeteler arasında önemli bir farklılık göstermektedir. Bir araştırıcı hızlı gelişen buğday verileri ile artan radyasyon, bol su, besin maddesi ve yüksek sıcaklığın üretime yıkıcı etkisinin olmayabileceğini ileri sürmektedir. Bu tepkilerin iyi bir şekilde anlaşılması sıcak bölgelerde kullanılmak üzere değer taşıyabilir.

4.3.6. Sıcaklık Ekstremlerinin Etkileri

Sıcaklığın buğday fenolojisi üzerine etkileri ekstrem sıcaklıkların etkilerinden gayet farklıdır. Aşırı soğuklar buğdayı öldürebilir, veya geç donlar kısırlığı teşvik edebilir. Çiçeklenme sırasında donma sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklar (5 °C'den düşük) ve aşırı sıcaklıklar (30 °C'den fazla) polen oluşumuna zarar verebilir, buda sonuçta tane tutumunu azaltırken verimi de azaltabilir. Çeşitler arasında bu etkiye duyarlılık bakımından geniş değişim aralığı vardır. GEC muhtemelen ekstrem sıcaklıklar nedeniyle düşük verimlere yol açabilecektir zira, GEC ekstrem sıcaklıkların sıklığını özellikle bitki gelişiminin duyarlı olduğu kısa dönemlerde değiştirebilecektir. Bu tür koşullara dayanabilme yeteneği daha iyi adapte olan çeşitlerin ıslahı ve seçimini gerektirir.

4.4. [CO2] ve Sıcaklığın Biyomas ve Tane Verimi Üzerine Etkisi

4.4.1 [CO2] 'in Biyomas ve Tane Verimi Üzerine Etkisi

Biyomas bitkide fotosentez ve solunum arasındaki fark olarak karbonun bitkisel ürün şeklinde birikmesi, artı mineral birikiminden oluşur. Dolayısıyla biyoması artırmanın aynı andaki net fotosentezin uyarılmasına (P_n) paralel olması beklenebilir. Bununla birlikte pratikte bir çok güçleştirici faktörler bulunmaktadır. Örneğin kök ve yeşil aksam büyümesinin teşviki ilave olarak kaynak kullanımı demektir. Bunun aksine artan karbon asimilasyonu besin maddelerinin büyüme için daha sınırlayıcı olması ile sonuçlanır. Bu nedenle, belki de yatmayı ve hastalığı artırabilecek artan gübreleme gereği ortaya çıkar. Düşük sıcaklıklarda büyüme muhtemelen asimilasyonla değil, daha ziyade fotosentez kapasitesi ile sınırlanacaktır. Bu faktörler [CO_2]'i 2 katına çıkarmakla buğday biyomasındaki % 0'dan 40'a çıkan artışı izah edebilir. Önceki, tarla çalışmaları [CO_2]'i 2 katına çıkarmakla tepkinin % 30'a çıkabildiğini, 4 katına çıkarmakla ise % 20 'lik bir artışa ulaşılabildiğini

göstermektedir. İngiltere'de tarla sıcaklığını simule eden, denemelerde kışlık buğdayın biyomas değeri, [CO_2]'i 2 katına çıkarmakla % 15-27 tepki vermiştir ve eğer CO2 seviyesi dereceli sıcaklık tünellerinde 2 katına çıkarılırsa tepki % 6-34 arasında olmuştur. Avustralya'da yapılan başka bir benzer çalışmada ise elde edilen artış sıcaklığa bağlı olarak % 7-36 arasında olmuştur. Avrupa'da 9 bölgede OTC denemelerinde yazlık buğday üzerinde 25 çalışma yürütülmüş, [CO_2] 320 μmol/mol'ün % 10'nundan başlayarak 246 μmol/mol'e yani %75'e kadar zenginleştirilmiş biyomas üretimini teşvik denemeleri yürütmüşler ve bütün veriler kullanılarak yapılan regresyon analizi 100 μmol/mol'lük bir zenginleştirmeden elde edilen toprak üstü biyomas artışının % 13 olduğunu göstermiştir. FACE denemesi koşullarında biyomas üretimi, [CO_2] 'te 200 μmol/mol'luk bir artış sonucunda 2 yılda % 10 ve 15 civarında olmuştur.

Buğdayın ekstra karbon asimilasyonuna tepkisi esnektir ve bitki organlarının tamamının büyümesi stimule edilebilir. Ana saplar genellikle en az etkilenen organlardır. Kardeş büyümesi ve yaşama gücü ve kök büyümesi ise en fazla stimule edilen organlardır. Ancak yaprak genişliği başaktaki tane sayısı ve tane büyüklüğünün hepsi çeşit ve çevreye bağımlı olarak arttırılabilir. Yükseltilmiş CO_2'ten kaynaklanan tane verimi artışı her zaman olamamakla birlikte çoğu kez biyomasınkine benzerdir. Tane verimi vejetatif büyüme dönemine göre generatif dönem sırasında özellikle antesis döneminde biyomas üretimine daha duyarlıdır. Yükseltilmiş [CO_2] 'in hasat indeksi üzerine etkilerinin bu farklı dönemlerde biyomasın oransal artışı ile açıklanabildiği gösterilmiştir. Yazlık buğday çeşidi Minareti kullanarak yapılan çok bölgeli OTC denemelerinde, ortalama tane verim artışı her 100 μmol/mol [CO_2] zenginleştirilmesi başına %11 olmuştur. Bu sonuçlar kışlık buğday çeşidi Mersia üzerinde alınan sonuçlar ile benzerdir.

Bir yazar tarafından ölçülen stimulasyon değeri belirli sıcaklıkta sezonlar arasında büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Ancak ortalama 100 μmol/mol [CO_2] zenginleştirmeye karşın ortalama % 17'lik bir artış olmuştur. Tüm bu artışlar FACE denemelerindeki % 7'lik değerden daha yüksektir.

Yükseltilmiş [CO_2]'ten kaynaklanan verim artışlarının azot noksanlığı durumunda daha az olması beklenmektedir. Bu durum FACE ve çok yerde yapılan OTC denemelerindeki interaksiyon yönündedir, ancak önemli bir farklılık yoktur. CO_2 kök büyümesini stimule ettiği için bitkilerin tarlada daha fazla azot alması mümkündür. Bununla birlikte toplam azot miktarı sıkı bir şekilde kontrol edildiğinde, önemli interaksiyon bulunmuştur. Örneğin, kontrollü bir

çevrede yükseltilmiş [CO_2]'ten kaynaklanan yazlık buğday verim artışları 4, 9 ve 24 g/m^2 azot gübrelemesine paralel olarak sırasıyla %5, 10 ve 18 olmuştur. Bu teori ayrıca stimulasyon derecesinin düşük ışık yoğunluklarında daha az olacağını tahmin etmektedir. Ancak bu buğday üzerinde hassas bir şekilde test edilmemiştir. Sıcaklık ve su durumu ile ilgili interaksiyonlar daha kompleks olup aşağıda incelenmiştir.

4.4.2. Sıcaklığın Biyomas ve Tane Verimi Üzerine Etkisi

Daha yüksek sıcaklıklar tüm gelişme devrelerini kısaltmaktadır. Bu itibarla, ışık su ve besin maddesi gibi kaynakları alabilmek için daha az zaman kalmaktadır ve sıcaklığın artmasıyla biyomas üretiminin azalması sürpriz olmamalıdır. Etkinin büyüklüğü hangi büyüme devresinin etkilendiğine bağlıdır. Çünkü maksimum büyüme oranı periyodunun kısalması ilk büyüme devrelerinin kısalmasına göre nihai biyomas üretimi üzerine daha fazla etkiye sahip olacaktır. İngiltere'deki bir çalışmada, tüm büyüme sezonu boyunca 3.5 °C'lik sabit bir artış uygulaması, kışlık buğdayın nihai biyomasını %16 tane verimi ise %35 azalmıştır, ancak erken büyüme dönemi ise büyük ölçüde stimule edilmiştir. Genellikle, çevre sıcaklığının farklı değiştiği çok katlı tünel denemelerinde artan sıcaklığın biyomas üzerindeki etkileri daha olumsuz bulunmuştur (muhtemelen değişikliklerin sezon sonunda daha büyük olma eğilimi nedeniyle). Bununla birlikte bu mevsimler ve çeşitler arasında büyük farklılık gösterdi.

Artan sıcaklığın tane verimi üzerindeki olumsuz etkisi biyomas üzerine olan etkisinden daha büyük olma eğilimi göstermektedir. Yani hasat indeksi daha yüksek sıcaklıkla azalmaktadır. Bu da tane veriminin tane doldurma periyodunun süresine olan özel duyarlılığı nedeni iledir. Tane doldurma periyodu sırasında sıcaklıktaki 1 °C artış süreyi % 5 civarında kısaltmakta ve hasat indeksi ve tane verimini oransal olarak azaltmaktadır. Eğer çiçeklenme dönemindeki yüksek sıcaklıklar kısmi steriliteyi teşvik ederse bu da verimi azaltmaktadır. 9 farklı yörede (258 verim gözlemi) OTC denemelerinde yazlık buğday çeşidi Minaret kullanılarak yapılan denemelerin istatistik analizleri yetişme sezonu boyunca(çıkıştan olgunluğa kadar) her 1 °C'lik artışın tane verimi ve biyomasda % 6'lık bir azalmayı ortaya koyduğunu göstermektedir. Bu etki simulasyon modelleri (sıcaklığın yegane etkisinin fenoloji üzerinde olduğu model) ile gayet iyi bir şekilde tahmin edilebilmektedir.

4.5. Atmosferik [CO_2] x Sıcaklık İnteraksiyonları

P_n (net fotosentez)'nin kısa süreli stimulayonu yüksek sıcaklıklarda arttığı için artan [CO_2] 'le sıcaklığın biyomas üzerindeki etkileri arasında büyük ve olumlu bir interaksiyon

beklenebilir. Bazı araştırıcılar tarafından yürütülen buğday denemelerinde oldukça sabit bir pozitif ilişki ölçülmüşken, bazı araştırıcılar böyle bir ilişki saptayamamışlardır. Çok yerde yapılan OTC denemelerinde [CO_2]'in mevsimsel günlük sıcaklık artışları ile önemsiz, olumlu bir ilişki bulunmuştur. Bu da simulasyon modellerinin analiz için yarayışlılığını ortaya koymaktadır. Bir araştırıcının modeli, P_n üzerinde, güçlü bir sıcaklık x [CO_2] interaksiyonu tahmin ederken, bunu alt model olarak kullanan buğday modelleri biyomas üzerindeki interaktif etkinin çoğu kez büyük olmadığını göstermektedir. Bu durum artan sıcaklığın büyüme sezonunun daha erken sona ermesi anlamına gelmesinden kaynaklanmaktadır. Bu itibarla, büyümenin daha az bir kısmı yılın en sıcak döneminde yer almaktadır. Avrupa da farklı yöreler için sıcaklık ve radyasyon konusunda 30 yıllık verilerin kullanıldığı modellerde araştırıcılar sıcaklık ve [CO_2] arasında mutlak verim değeri açısından bir ilişki belirleyememişlerdir. Avustralya iklimine olduğu gibi, eğer sıcaklıktaki mevsimsel varyasyon az ise bu orada gözlenen [CO_2] x sıcaklık interaksiyonunu açıklamaktadır.

4.6. [CO_2] 'in Suyun Kısıtlı Olduğu Koşullardaki Etkileri

Dünya buğday üretiminin büyük bir çoğunluğu suyun sınırlı olduğu koşullarda yapılmaktadır, Bu itibarla, GEC'in su varlığı üzerine etkisi kritiktir. Yükseltilmiş [CO_2] 'in stoma iletkenliği (g_s) üzerine etkisi (hatta (g_s) açısından biraz farklılık gösteren varyeteler için bile) oldukça sabitken, transpirasyon üzerine etkileri komplekstir. Daha düşük bir transpirasyon oranı ve daha az bir gizli soğuma yaprakların hücreler arasındaki boşluklardaki su buharı basıncını artırır, çevre katlardaki havadaki nemi azaltır ve sonuç olarak su buharı basıncının derecesi artar buna mukabil olarak transpirasyonda artar. Bununla birlikte yükseltilmiş [CO_2] 'e kısa süreli maruz kalma genellikle transpirasyonu azaltmaktadır. Sera denemelerinde çevre [CO_2] 'ini 2 katına çıkarmak nemli koşullarda su tüketimini % 20 azaltmakta, kurak koşullarda ise hafifçe artırmaktadır. Ayrıca kontrollü bir çevrede vejetatif büyüme devresinde 2 kat çevre [CO_2]'inde transpirasyonu yalnızca % 8 azalmıştır. Bu itibarla, transpirasyonun büyüklüğü çevreye kompleks bir bağımlılık göstermektedir. Uzun dönemde yükseltilmiş [CO_2]'ten kaynaklanan artan yaprak alanı, kök büyümesi ortaya çıkmış ve yüksek sıcaklık; su kullanımının kısa süreli kontrollü çalışmalarda öne sürülenden çok daha az azalacağı anlamına gelmektedir. Suyun kısıtlayıcı olduğu koşullarda su kaybı azalmayabilir. FACE çalışmalarında [CO_2]'te 200 μmol/mol'lük bir atış buğdayda evapotransprasyonu (ET) sulu parsellerde % 5 azaltırken, kuru parsellere ET % 3 artmıştır.

Bu daha fazla sudan istifade eden büyük kök sistemlerinden, daha büyük yaprak alanından ve/veya az daha yüksek sıcaklıklardan kaynaklanmış olabilir. Bu tür küçük farklılıkların tahmini güç olduğunu belirtmek gerekir. Çünkü metotlar farklı değerler vermektedir. Su dengesinden % 5'lik, mevcut enerji değişim ölçümlerinden % 10 ve sap akış manometrisi ile ölçülen öz su akışından % 7-23 arasında bir azalma elde edilmiştir

[CO_2]'in ET üzerine nispeten küçük etkisi olmasına karşın, yükseltilmiş [CO_2] biyoması önemli ölçüde artırmaktadır ve de su kullanım etkinliğini (WUE) FACE ile yapılan kuru denemelerinde %145, nemli denemelerde %21 artırmıştır. Avustralya da yapılan cam sera denemelerinde kurak koşullarda [CO_2] 'i 2 katına çıkarmakla su kullanım etkinliği % 64 arttırılmıştır. CO_2' in 2 katına çıkarılması nedeniyle biyomasdaki oransal artış nemli koşullara kıyasla kurak koşullarda çok daha fazla artmıştır. FACE çalışmalarında, CO_2 zenginleştirilmesinin biyomas üzerindeki etkisi kurak koşullarda iyi sulanmış koşulların aksine daha büyük olarak ortaya çıkmıştır ve bu kurak koşullarda tane veriminde % 20, sulu parsellerde % 10'luk bir artışı yansıtmaktadır (kuraklık tane verimini % 28 azaltmıştır). Sistem tarafından uyarılan sıcaklık farklılıkları problemi sonuçları etkileyebilir ancak CO_2'teki küçük artışların dikkate alınması halinde bu etki OTC çalışmalarında elde edilenler ile benzer olmuştur.

Özet olarak, tarla benzeri koşullar altında [CO_2] ve kuraklığın interaksiyonu konusunda nispeten az sayıda buğday çalışması şunları ortaya koymaktadır. (i) Yükseltilmiş [CO_2] uygulamasında, buğday bitkisinin su kullanımı nemli koşullarda biraz azalabilir, ancak kuru koşullarda biraz artabilir ve (ii) Biyomasın ve tane veriminin yükseltilmiş [CO_2] ile sitümilasyonu kurak koşullarda nemli koşullardan daha büyük olma eğilimindedir.

4.7. Atmosferik Kirleticiler, [CO_2] ve Sıcaklık

İnsanlığın aktiviteleri bitkilere zararlı olduğu bilinen veya sanılan kimyasalların atmosferik konsantrasyonlarını artırmaktadır. Buğday, SO_3 ve O_3 gibi gaz yapısındaki kirleticilerden konsantrasyonlarına ve özelliklerine bağlı olarak yani kuru ve ıslak olmalarına göre etkilenmektedir. Buğdayın kirleticilere tepkisi (konsantrasyon ve maruz kalış süresi) kompleks bir yapıdadır. Bununla birlikte artan [CO_2] gaz halindeki kirleticilerin etkilerini kısmen daha küçük gs nedeniyle azaltmaktadır, ayrıca detoxification (zehiri önleyici) kapasitesini artırmaktadır.

UV-B radyasyonu değişen atmosferik kimya sonucu artmaktadır. Bununla birlikte buğday yapraklara UV-B girişini azaltan flavonoit pigmentlerinin birikimi gibi aktif koruyucu

mekanizmalara sahiptir. Buğday halihazırda UV-B akımlarının büyük olduğu yüksek irtifalarda yetiştiği için gelecekteki değişiklikler için seleksiyon yapmaya izin verecek yeterli kapasite var gibi görünmektedir.

4.8. Buğday Kalitesi

Buğdayın beslenme ve endüstriyel kullanım amaçları için buğday kalitesi üzerinde büyük bir önem verilmesine karşın, mevcut koşullarda buğday tanesinin bileşimini belirleyen çevresel ve genetik faktörlerin interaksiyonunun ancak çok az bir kısmı anlaşılabilmiştir. Besin maddelerinin özellikle azotun arzı (su ve sıcaklık gibi diğer faktörlerle birlikte) nişasta ve diğer azotsuz bileşenlere oranla protein miktarını belirlemektedir. Şöyle ki besin maddesi arzı azot konsantrasyonunu değiştirmektedir, ancak amino asit ve protein bileşimini yalnızca sınırlı derecede etkilemektedir, bununla birlikte, kükürt ikinci söylenenleri yani amino asit ve proteini etkilemektedir.

Yükseltilmiş [CO_2] fotosentezden dolayı artan karbonhidrat arzı nedeniyle (ya tane doldurma döneminde yada depo maddelerinden) tane başına kitleyi artırma ve azot yüzdesini azaltma eğilimindedir. Yükseltilmiş [CO_2] karbonhidratların bileşimini yani şeker yada nişasta tiplerini, şeker/nişasta oranını büyük ölçüde değiştirmemektedir. Ayrıca protein bileşimini de etkilememektedir. Artan [CO_2] azot arzı ve sıcaklık ile ilişkiye girmektedir. Lipit bileşiminde kompleks değişimler tanımlanmıştır; ve 700 μmol/mol CO_2'in etkileri 4 °C' lik sıcaklık artışının etkisinden daha küçük olmaktadır, ancak bunun mekanizması anlaşılamamıştır. Yükseltilmiş [CO_2] seviyelerinde, sıcaklığın çevre sıcaklığının 4°C üzerinde olduğu ve azotun noksan olduğu yerlerde, polar olmayan doğal lipitler di ve mono galaktosildiaglyserol artmaktadır, ancak normal çevre sıcaklığı koşullarında azalmaktadır. Yükseltilmiş [CO_2] ve sıcaklıkla, yalnızca nişasta lipitleri etkilenmektedir. Yağ asidi bileşimi daha sıcak koşullarda etkilenmektedir. Bu durum oleat'ı azaltmakta fakat polar olmayan lipitlerin linoleat'larını artırmaktadır.

Yazlık bir buğday çeşidi olan Hereward çeşidinden alınan buğday tanesinin analizi, daha yüksek sıcaklıklarının daha az sayıda ve daha küçük A tipi nişasta granülü ve endosperm başına daha az sayıda amiloplast nedeniyle tane başına kitleyi ve nişasta içeriğini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Nişastanın jelatilasyonu sıcaklıkla artmakta fakat jelatilasyon enerjisi etkilenmemektedir. Ayrıca, toplam ve lipitsiz amiloz artmakta ancak amilolipit ve lisofosfolipitler sıcaklıktan etkilenmemektedirler. Tane doldurmaya ilişkin olarak karbon ve azot birikiminin mekanizması oldukça ayrıdır, ve nihai depo ürünlerine

neden olan biyokimyasal yol karmaşıktır ve çevre koşullarından etkilenmesi de olasıdır. İlave olarak varyete x çeşit interaksiyonu da beklenmektedir.

Bitkisel işlevlerin ve koşulların dinamik niteliği dikkate alındığında, nihai tane bileşimindeki varyasyon için önemli bir çalışma alanı bulunmaktadır. Bu tür değişimler buğday tanesinin hem beslenme kalitesini hem de endüstride kullanımını etkileyebilir, dolayısıyla dikkatin doğrudan buğday kalitesi üzerine GEC'in etkilerini değerlendirmeye yöneltilmemesi, sürpriz oluşturmaktadır. Belki de çevresel değişikliklerin görünen yavaşlığı ve son kullanıcının pragmatik yaklaşımıyla birleşen buğday özelliklerindeki var olan varyasyon kalitenin bilimsel analizine karşı çalışmaktadır.

4.9. Küresel Çevresel Değişim için Buğday Varyetesi Dizaynı

Buğday üretimini belirleyen etmenleri anlama adına çok sayıda gelişme sağlanmış olmasına karşın, tam anlamıyla anlaşılmamış fakat metabolizma içerisinde buğdayın çevreye tepkisinde anahtar rolü olan bazı temel işlevlerde bulunmaktadır. Buğday çeşitlerinin hem artan sıcaklığa hem de az derecede de olsa yükseltilmiş [CO_2] 'e tepkileri bakımından varyasyon gösterdiği bulunmuştur. [CO_2]' tin etkisindeki varyasyon bitki fenolojisindeki (görünümünde) ve fotosentez kapasitesindeki farklılıkların dolaylı bir sonucu olabilir. Bu tür çeşit farklılıkları GEC koşullarına ıslah için önemli olabilir. Daha yüksek sıcaklıkların olumsuz etkileri yetiştirme süresinin kısalmasından dolayı oluştuğu için, yavaş gelişen çeşitlerin su faktörü sınırlayıcı olmadığında bu etkinin üstesinden gelmesi beklenebilir. Buğdayın fenolojisine (gelişim seyrine) ilişkin modeller yavaş gelişen çeşitlerin daha sıcak iklimlere hızlı gelişen çeşitlerden daha iyi adapte olabileceğini ve ilkbahar geç donlarının ve kurak sezon süreçlerinden kaçınabileceğini ortaya koymaktadır. GEC koşullarında eğer kuraklık daha erken başlasaydı, bu durum oluşmayacaktı zira, daha hızlı gelişen çeşitler genellikle geç kurak periyotlara eğilimli bölgelerde seçilmişlerdir. Olgunluk tarihi yönünden farklılık gösteren buğday izohatları kullanılarak yürütülen [CO_2] x sıcaklık denemesinde, kurak periyot olmadığında, geçci hatlar erkenci hatlara göre yüksek sıcaklık rejimlerinde daha fazla verim vermektedirler. Bu durum sıcaklığın olumsuz etkilerinin ıslah yöntemiyle üstesinden gelinebileceği kavramının desteklemektedir, fakat yinede beklenen genotip/sıcaklık interaksiyonu tüm denemelerde bariz olarak ortaya çıkmamıştır.

Artan [CO_2] ıslahçılara seçenekler sunabilmektedir, belki de muhtemelen onların yapraklardan köklere doğru asimilantların dağılımına dair seçim yapmalarına olanak verecektir. [CO_2] teki artış dereceli veya kademeli olduğu için bu muhtemelen basit olarak verim için seçimin gözleme dayalı olarak yapılması ile başarılabilir. Potansiyel olarak GEC'in ekstrem sıcaklıklar yada evaporatif talep gibi diğer konularındaki hızlı değişimler daha fazla problem yaratacak gibi görünmektedir. Eğer, GEC buğday bitkisinin ıslah limitlerini aşan sıcaklıklara yol açarsa, o zaman üretime zarar vermesi beklenebilir. Kış aylarındaki yüksek sıcaklıklar gelişmeyi ve aşırı kardeşlenmeyi hızlandıracak ve bitkiyi don zararına daha fazla maruz bırakacaktır. Dolayısıyla büyümeyi yavaşlatarak ve gelişmeyi sınırlayarak daha uygun elverişli koşullara doğru ürünü kontrol edecek güçlü fotoperyodik ve vernalizasyon kontrolü olan buğday çeşitlerini geliştirmek gerekli olabilecektir. Ayrıca büyüme yavaşladığında foto inhibitör zararından kaçınmak için uygun koruyucu sistemlere sahip olan bitkiler elde etmek gereği de ortaya çıkacaktır. Benzer olarak Çiçeklenme dönemi civarında yüksek sıcaklıkların çıkış sıklığının artması toleranslı bitkilerin seçilmesi ile üstesinden gelinebilecek problemler ortaya çıkarabilecektir. Bitkisel karakterlerin genetik olarak değiştirilmesi halihazırda moda durumundadır ve buğday bu değişim için en önemli hedefi oluşturmaktadır. Bu konuda önemli gelişmelerde sağlanmasına karşın, diğer türlerle kıyasla buğdayın bu tür bir değişime en aksi en karşı gelen bir tür olduğu da kanıtlanmıştır. Tek bir iç gene müdahele ve yeni genlerin (hastalığa dayanıklılık yada tane bileşimi gibi) introdüksiyonuna ilişkin, bu metotların aşırı yada eksik tebarüz etmesi olasıdır. Fotosentez yada büyüme gibi sıcaklıkla etkilenen temel metabolizmalara ilişkin değişiklerin daha fazla zamana ihtiyaç göstermesi olasıdır.

4.10. Model Oluşturma

GEC'in olası etkilerini değerlendirmek amacıyla çok geniş çevre koşullarına uygulanabilir güvenilir ve güçlü buğday üretim modellerine gerek duyulmaktadır. Burada, buğday modelleri kontrollü çevrelerde yada FACE denemelerinde yükseltilmiş [CO_2] ve veya sıcaklık uygulamaları kullanılarak test edilmektedir. Etkileri uygun şekilde tahmin edilmek için bu modeller modifiye edilmektedir. [CO_2] seviyeleri için bu iş yalnızca 2 eylem sahası belirlenerek başarılmaktadır: fotosentez ve stoma iletkenliği. Tarla denemelerinde biyomas ve verim üzerinde [CO_2] 'in etkilerindeki büyük deneysel varyasyon modellerle açıklanamazken, ortalama etkiler ve sıcaklık

bağımlılıkları uygun şekilde tahmin edilebilmektedir. Sıcaklık çoğunlukla bitkisel fenoloji üzerindeki etkileri ve muhtemelen bir miktar artan bir solunum maliyeti ile etkisini gösterir yaratır buna karşın bu son zamanlarda kabul edilmemektedir. Yazlık bir buğday çeşidinde çok yerde tekrarlanan OTC denemelerinde, artan sıcaklığın tane verimi üzerindeki olumsuz etkileri (-% 6/ 1 °C) sıcaklığın solunum üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını birde hayati solunum üzerine büyük etkisi olduğunu farzeden bir modelle gayet iyi bir şekilde tahmin edilebilmiştir. Sıcaklık artışlarının suyun kısıtlayıcı olduğu koşullardaki etkilerini tahmin etmek için buğday modellerinin kapasite testleri konusunda herhangi bir bilgi mevcut değildir. Burada bitki fenolojisi ve evoporatif istek üzerinde 2 dominant etki olacaktır. Bu tür bir uyarlama (geçerlilik) denemesi çok faydalı olacaktır.

Buğday modellerine makul bir güvenlik sınırı ile CO_2 etkilerininde dahil etmek olası gibi görünürken mevcut buğday modellerinin GEC'in büyük ölçekli etkilerini tahmin etmekteki genel uyumu konusunda çok şüphe vardır. Bitki modelleri büyük ölçüde deneye, görgüye dayalı olup, stoma iletkenliği ve asimilant dağılımı gibi tam anlamıyla anlaşılmamış özelliklerin altında yatan bitkisel işlevlerin kompleksliği nedeniyle hızlı değişmemektedir. O halde arayış, GEC'in etkilerini tahmin etmek için özel belli uygulamaların en uygun formülleri için olacaktır. Tarla denemelerinden geliştirilen ve bir çok değişkeni tahmin edebilen mevcut buğday modelleri bir deneme alanında tamamen kontrollü uygulamalar ile test edildiğinde gayet uygun performans göstermektedir. Bununla birlikte, geniş bir çevrede test edildiğinde çoğu kez karşılaştırılabilir sonuçlar vermemekte ve toprak su kapasitesi gibi çevresel koşullara farklı duyarlılıklar sergilemektedir. Dahası, dominant iklim veya hava koşulu etkilerinin hastalık yönetimi üzerinde olması fizyoloji üzerinde olmaması nedeniyle modeller İngiltere'deki denemelerden elde edilen buğday verimlerindeki varyasyonu tahmin edememişlerdir. Mevcut ürün simulasyon modellerinin kalibre edilmedikleri çevreler için tahminlerde bulunması olası değildir. Yukarıdaki bilgilerin ışığında buğday modellerinin GEC'in etkilerini değerlendirmede kullanılacak sosyo ekonomik modellerle paralel yada ilişkili çalışması hemen hemen premature bir çocuk durumundadır. Biz GEC alanında buğday modellerinin geleceğini buğday veriminin olumsuz iklim, toprak çevrelerine, çeşide ve yetiştirme yöntemlerine göre geniş ölçekli duyarlılığını tahmin etme yeteneğini artırması olarak görmekteyiz. Bu durum modelleri tek bölgeye dayalı denemelerden ziyade büyük verim setlerinin ve uzaktan algılama

verilerinin test edildiği daha az sayıda parametresi olan en aşağıya doğru modeller oluşturmaya mecbur bırakmaktadır.

4.11 Özet ve Sonuçlar

Diğer çevresel değişikliler olmaksızın, buğday verimliliği (biyomas ve tane verimi) iyi gübreleme ve sulama koşullarında her 100 μmol/mol CO_2 artışı başına % 7-11 artacaktır, ancak besin maddeleri sınırlayıcı olduğunda bu artış daha düşük olacaktır. Suyun sınırlı olduğu koşullarda, üretime olan faydası muhtemelen su kullanımı etkilenmemekle birlikte, su kullanım etkinliğini artırarak, potansiyel olarak daha büyük olacaktır. Bununla birlikte. Buğdayın yükseltilmiş [CO_2] 'e gözlenen tepkilerinin tamamı 2 doğrudan etki ile açıklanabilir; (i) Artan fotosentez ve azalan fotorespirasyon, (ii) Azalan stoma iletkenliği

Yükseltilmiş [CO_2] 'in kardeşler, yaprak alanı, başaklar, tane, fotosentetik kapasite ve gelişme üzerine olan etkileri bunların sonuçları olarak tümüyle izah edilebilir ve diğer doğrudan etkileri belirtmek gereksizdir. Tüm sezon boyunca sıcaklıkta 1 C'lik sabit artış verimde bitki büyüme süresinin daha kısalması nedeniyle % 6-10'luk bir azalma ile sonuçlanacaktır. Suyun sınırlayıcı olmadığı bölgelerde yavaş gelişen çeşitlerin seçilmesi ile bu etkinin üstesinden gelebilir. Ancak böyle çeşitler günümüz çevrelerinde arzu edilmeyecektir. GEC 'in buğday verimi üzerine tüm genel etkisi herhangi bir kesinlikle tahmin edilememektedir. Çünkü kısmen radyasyondaki evoporatif talepteki yerel değişikler değişiklikler ve değişen teknoloji ile oluşan interaksiyonlar bilinmemektedir. GEC'in verimliliği azaltacağını destekleyen ortaya koyan buğday modelleri kullanılmaktadır. Ancak bu modellerin buğday verimi üzerindeki çevresel etkilerin geniş değişen bir çevreye, çeşitlere, toprağa ve kültürel tarımsal uygulamalara göre etkilerini tahmin etmedeki güvenilirliği henüz kanıtlanmamıştır. GEC'e olan tepki, ayrıca buğday üretiminde ıslah metodu ile yeni genetik kaynakların dahil edilmesiyle ve agronomik tekniklerle teknolojik düzenlemelere ihtiyaç duyacaktır. Eğer GEC problemi ile ve nüfustaki büyük artışlardan doğan taleplerle karşılaşılması halinde bu tür değişikliklere dünya çapında ihtiyaç duyulacaktır.