

## Bitki Gelişiminin Benzetimi (Simülasyonu) (Ceres-Wheat Modeli)

Senih YAZGAN      Dilruba TATAR

Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bursa (senyaz@uludag.edu.tr)

Geliş Tarihi : 31.05.2002

**ÖZET:** Tarımsal üretimdeki girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi belirlemek için uzun yıllardır çeşitli yöntemler kullanılmış ve geliştirilmiştir. Özellikle son yıllarda bilgisayar olanaklarının gelişmesiyle bitki gelişimini benzetim (simüle eden) modeller önem kazanmıştır. Atmosfer-bitki-toprak ilişkisini daha iyi analiz etmek için kullanılan Bitki Gelişimi Benzetim Modelleri ile toprak, bitki ve iklim bileşenlerinin bitki gelişimine ve verime olan etkilerini belirlemek mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, bitki gelişim benzetim modellerinin dünyada ve ülkemizde kullanımından bahsedilmiş, bitki gelişim benzetim modeli olan CERES-Wheat modeli örnek olarak verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tarımsal üretim, Bitki gelişimi benzetim modelleri, CERES-Wheat

### Simulation of Crop Growth (Ceres-Wheat Model)

**ABSTRACT:** Determination of relation between input-output in agricultural production are developed and used different methods for many years. Particularly simulation models used for plant development are became important by new computer technology. It is possible to determine the effects of atmosphere-plant and soil on plant development and crop yield using simulation models based on analysis of atmosphere-plant-soil relation. The aim of this study is to explain the use of simulation models in our country and the world and CERES-Wheat model is given.

**Key Words:** Agricultural production, Plant development simulation model, CERES-Wheat

### GİRİŞ

Dünyada çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş birçok model mevcuttur ve bu modeller genel olarak, bitki gelişimi sırasında meydana gelen olayları, bitki verimini, toprak, bitki ve iklim bileşenlerinin bitki gelişimine olan etkilerini ve bitki gelişimini sınırlayıcı etkileri belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Bu modeller sonucunda gerçek hayatta çok uzun zaman gerektiren araştırmaların sonuçlarını kısa sürede elde etmek mümkün olabilecektir.

Dünya üzerinde çeşitli ülkelerde, bitki verimini arttırabilmek, verimi azaltıcı etkileri belirlemek ve bunlara çözüm yolları bulmak amacıyla araştırmalar yapılmaktadır. Bu amaçla meteoroloji bilimi içerisinde, tarımsal meteoroloji dalında oldukça yoğun çalışmalar bulunmakta, özellikle atmosfer-toprak-bitki ilişkisini daha iyi analiz edebilmek için bitki-iklim benzetim modelleri kullanılmaktadır. Bitki-iklim modellerinin kullanılması ile, meteorolojik değişimlerin tarımsal faaliyetlerde etkileri daha iyi değerlendirilebilmekte, bitkinin göstereceği tepkiler önceden tahmin edilebilmektedir. Bu durum toprak, bitki ve atmosfer arasındaki karmaşık ilişkileri daha iyi anlamaya yardımcı olmakta ve birim alandan alınan verimin arttırılmasına katkıda bulunmaktadır (Şaylan ve ark. 1998).

Ülkemiz açısından bitki gelişimine ilişkin bu tür modellerle ilgili çalışmaların yaygın hale getirilmesi ve yapılacak çalışmaların belirli bir amaca hizmet edecek şekilde planlanması gerekmektedir. Yapılan bir çok çalışma emek, zaman, iş gücü ve para gerektirdiğinden modeller sayesinde bu çalışmalarda kaynaklardan tasarruf etme imkanı sağlanmış olacaktır. Dünyada geliştirilmiş bitki gelişim benzetim modellerini

incelediğimizde bu modellerin farklı disiplinlerden araştırmacılar tarafından geliştirildiği görülmektedir. Farklı disiplinlerdeki araştırmacılar tarafından oluşan grup çalışmaları ile bu tür modellerin ülkemiz şartlarına uyum sağlayıp sağlamayacağı test edilebilir ve ülkemiz için uygun olacak model çalışmalarına başlanabilir. Bu modeller sadece sulama açısından değil; gübreleme, tarımsal mücadele gibi tarımsal faaliyetler ile evapotranspirasyon, fotosentez gibi bitki gelişiminde önemli rol oynayan olayların bitkiler üzerindeki etkilerinin farklı açılardan değerlendirilmesini sağlayacaktır (Şaylan 1995).

Bitki gelişim benzetim modellerinin dünyada ve ülkemizde kullanılmalarının incelendiği bu çalışmada, ayrıca günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanan ve gerçek sonuçlara yakın değerler veren bitki gelişim benzetim modeli olan CERES-Wheat modeli tanıtılmıştır.

### Bitki Gelişimi Benzetim Modelleri ve Ceres-Wheat Modeli

Model kullanımı bilim dünyasında, herhangi bir doğal olayın matematiksel ifade edilmesi ve buna bağlı olarak çözümlenmesiyle önem kazanmıştır. Yirminci yüzyılın ortalarına doğru, araştırma konularında tahminsel yaklaşımlar oluşturma düşüncesiyle gelişen model kullanımı, incelenen konunun zaman, ölçek ve boyut olarak çözümünün karmaşık olması nedeniyle tercih edilmiştir. Özellikle bazı bilim dallarında olayların karmaşık davranışlar göstermesi, model kullanımını zorunlu hale getirmiştir (Şaylan ve ark. 1998).

Model, çözümlenmesi ön görülen olaya ilişkin ardışık işlem sıralarından oluşur. Kullanıcı, modelin mantığını yani algoritmalarını hazırlar, veriler girilir, model bu verileri işler ve verilere bağlı çıktıları oluşturur. Dolayısıyla oluşturulan ardışık işlem sıralarında bir mantık ve işlem hatası yapılmamış ise, modelin işleyişi oldukça basittir. Model, gerek olayların işleyişini basitleştirmesi, gerek kullanıcıyı amaca kısa sürede ulaştırması nedeniyle, günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Modelin işlevi, genel anlamda, gerçek olayı basit yaklaşımlarla benzetmeye çalışıp, olay hakkında daha fazla bilgi sahibi olmak ve gelecek ile ilgili tahminlerde bulunmaktır (Çaldağ 2000).

Modellerde kullanılan eşitlikler ve sabitler, yersel veya zamansal olarak değişebildiği için, yapılan kabuller, modeller için sınırlayıcı faktörlerdir.

Bitki gelişimi benzetim modelleri; bitki gelişiminde meydana gelen karmaşık olayları inceleyen ve bu olayları matematiksel ifadelerle ortaya koyan, bilgisayar programları olarak tanımlanabilir. Burada amaç, gerçek bitki gelişimine benzer sonuçları veren modelleri oluşturmaktır. Bu modeller genelde iki grupta toplanır; birinci gruptaki modeller, tanımlamalı ve açıklamalı modeller, ikinci gruptaki modeller ise statik ve dinamik modellerdir (Penning de Vries ve ark. 1989, Anonim 1990).

Tanımlamalı modeller, bitki sistemindeki davranışların nedenlerini dikkate almadan açıklar. Bu tür modeller bir veya birkaç matematiksel eşitlikten oluşur. Genelde bu eşitlikler sınırlı koşullar için kullanılabilirler ve geliştirildikleri şartların dışında sağlıklı sonuçlar vermeyebilirler.

Açıklamalı modellerde ise, sistemin davranışlarının yanı sıra, bu davranışlara etki eden olaylar da incelenir. İkinci adımda ise sisteme etki eden temel faktörler belirlenir.

Statik modellerde zaman faktörü göz önüne alınmazken, dinamik benzetim modellerinde, sistemin davranışları zamana bağlı olarak incelenir (Şaylan 1995).

İlk bitki gelişimi benzetim modelleri altmışlı yılların sonu ve yetmişli yılların başlangıcında geliştirilmiştir. Brouwer ve Wit (1969), bitki benzetim modellerini geliştiren ilk araştırmacılarıdır. Bundan iki yıl kadar sonra Curry ve Chen (1971), geliştirdikleri bir dinamik benzetim modeli ile bu gelişimi takip etmişler ve bilgisayarların gelişmesi ile birlikte çalışmalar hız kazanmıştır (Franzini 1993). Bitki fizyolojisindeki olayların da matematiksel olarak ifade edilmesiyle, bitki gelişimi modelleri bir ivme kazanmıştır. Bu çalışmalar sırasında genel bitki gelişimi benzetim modelleri ve özel bitki gelişimi benzetim modelleri geliştirilmiştir. Genel bitki gelişimi benzetim modellerinde birçok bitki parametresi göz önüne alınırken, özel bitki gelişimi benzetim modellerinde sadece tek bir bitki göz önüne alınmaktadır (Çaldağ 2000).

Tarımsal disiplinler içerisinde bitkisel üretim; toprak, iklim, yönetim uygulamalarıyla, bitki genotipi arasındaki

karmaşık etkileşimi içermekte ve geçmişten günümüze değin bu konu üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Dolayısıyla bitki gelişim modelleri, uygun veri kaynakları ile birleştirildiği zaman bilgi teknolojisi içerisindeki gelişmeler ve tarımsal araştırmalar için büyük bir potansiyel oluşturmaktadır (Ritchie 1998a).

Tarımsal yetiştiricilikteki birçok soruna yanıt aramak için oluşturulan modeller; bitki gelişimi sırasında meydana gelen olayların analizi (sulama, hava ve toprak sıcaklığındaki değişimler, kuraklık, toprak nem içeriğindeki azalma vb), bitki veriminin önceden tahmini, toprak, bitki ve meteorolojik faktörlerin bitki gelişimine olan etkisinin belirlenmesi, son derece karmaşık olan bitki sistemi ve reaksiyonları ile ilgili eğitim çalışmaları, tarımsal politik kararların alınması gibi amaçlara hizmet eder.

Bitki gelişimi benzetim modelleri, çeşitli bitkilerin fizyolojik gelişme aşamalarındaki ilişkilerini temel almaktadır. Koşulların değiştiği durumlarda çok az veya hiçbir düzeltme yapmaksızın bitki gelişimini, fizyolojik temellere bağlı olarak tahmin eden bu gibi programların uygulamada belirli bir potansiyeli vardır. Bu modeller belirli bir zamanda, mevcut verilere göre veya hasat zamanına kadar ki verilere bağlı olarak verimin tahminine olanak sağlamaktadır (Hodges ve ark. 1987).

Jones ve Ritchie (1990), bitki gelişim modelleri geliştirilirken genellikle bir veya iki stres faktörünün dikkate alındığını, diğer faktörlerin en iyi koşullarda etkisinin olmadığını varsayarak, bitki gelişim modelini; bitkilerin iklimten, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısından, zararlılardan, hastalıklardan, yabancı otlardan ve bunların kombinasyonlarından etkilenen, karmaşık ve dinamik olayları matematiksel ilişkilerden yararlanarak çözümleyen ve bitkiye ilişkin verilerin belirlenmesinde kullanılan modeller olarak tanımlamışlardır (Hoogenboom ve ark. 1991).

Carberry ve ark. (1989), bitkinin günlük gelişimini tahmin eden çok sayıda model geliştirdiğini belirtmekte ve genellikle, aynı kriterleri bulunan modellere ek yeni bir model geliştirmek yerine, mevcut olan modeli kullanmanın daha kolay olduğunu ifade etmektedirler. Yazar (1991), benzetim modellerinin bitkisel üretim konusunda karar vermenin değişik aşamalarında yaygın olarak kullanıldığını belirtmiştir.

Modeller aracılığıyla, bitki gelişimini etkileyen faktörlerin derecesi, sulama zamanının belirlenmesi, toprak neminin değişimi, gübreleme, ilaçlama ve diğer faaliyetlerin en uygun zamanlarının belirlenmesi, tarımsal kuraklık ve benzeri etkilerin saptanması gibi oldukça fazla işgücü ve yatırım gerektiren sorunların tahmini mümkündür (Wit ve Keulen 1975).

Modellerin en önemli yararlarından biri de, çok uzun zaman gerektiren araştırmaların sonuçlarının kısa zamanda elde edilmesini sağlamasıdır. Herhangi bir tarımsal uygulamanın verim üzerine etkisini belirlemek amacıyla çalışan bir araştırmacının amacı, yapılan herhangi bir tarımsal faaliyetin ürün üzerine etkilerini

önceden belirlemek, onların bitki gelişimi gibi son derece karmaşık olan canlı sistemini daha iyi analiz edecek sonuçları elde etmektir (Şaylan 1995).

Dünyada özellikle Amerika'da ve Avrupa'da bitki gelişimini analiz etmek amacıyla kullanılan çeşitli modeller vardır. Bu modellerden bazıları Çizelge 1'de verilmiştir. Model kullanımında en etkili örnek, Avusturya'da soya, mısır ve bakla bitkilerinin farklı çeşitlerinin ülke iklimine uygunluğunun modellerle belirlenmesi gösterilebilir (Şaylan ve ark. 1998).

Bu modeller içerisinde, güvenilirliği birçok araştırma ile test edilen ve USDA tarafından geliştirilen CERES-Wheat (Crop Estimation through Environment Synthesis) modeli de kullanılmaktadır.

Model, Amerika Birleşik Devletleri Tarımsal Araştırma Servisi tarafından, hükümetin yurtiçindeki ve yurtdışındaki buğday alanlarına yönelik gelişmelere destek vermesi sonucunda 1977 yılında geliştirilmiştir (Ritchie 1998b).

Meydana gelen gelişmelere ve modelin güvenilirliğinin artmasına bağlı olarak, CERES-Wheat modelinin yeni versiyonları geliştirilmiş ve değişik çalışma grupları tarafından çeşitli amaçlar için kullanılmıştır. Model 1982'de IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer)'in desteğiyle, USAID (United States Agency for International Development) ve Hawai Üniversitesinin birlikte çalışması sonucunda günümüzde kullanılan son haline getirilmiştir.

CERES-Wheat (buğday) ve Maize (mısır) modelleri, IBSNAT tarafından geliştirilen modeller arasındadır. IBSNAT, CERES-Maize ve CERES-Wheat modellerinin

ayrıntısında, çeltik, sorgum, arpa ve darı gibi tahıl bitkilerinin modelleri, Florida Üniversitesi'nde BEANGRO (fasulye), PNUTGRO (yerfıstığı), SOYGRO (soya) baklagil modelleri de geliştirilmiştir (Ritchie 1998b).

Dünyada çoğu tarım alanlarındaki su kaynaklarının yıldan yıla ve bölgeden bölgeye değişmesi, bitkilerin yetiştirme mevsimini ve alanlarını sınırlamaktadır. Su kaynağıyla beraber iklimde de görülen değişimler, çiftçiler için risk oluşturmaktadır. İklim, bitki ve toprak parametrelerini toprak-su dengesine ilişkilendiren modeller, tarımdaki riskleri en aza indirmede ön bilgiler sunmaktadır. Söz konusu modellerden CERES-Wheat; tarımsal işleme ilişkin karar vermede, stratejik planlamaların risk analizinde, yetiştirme mevsimi içindeki tarımsal faaliyetlerin belirlenmesinde, büyük alanların verim tahmininde ve araştırma gereksinimlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Ritchie 1985).

CERES-Wheat bitki gelişim modeli; çeşit, ekim sıklığı, iklim, toprak nemi ve bitki üretimi için başlıca besin maddesi olan azotun buğday bitkisinin gelişimi ve verim üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Modelin amacı, verim ve verim bileşenlerini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen alternatif yetiştirme tekniklerini değerlendirerek, verimi tahmin etmektir. Model, yıl içerisinde seçilecek çeşide karar vermede ve geleceğe yönelik üretim tahminlerinin analizlerinde risk faktörünü hesaplayıp karar vermede kullanılabilir. Kolayca ulaşılabilen iklim, toprak ve bitki genetiği girdilerini kullanması, tahmin süresinin çok kısa olması ve iyi bilinen bir bilgisayar dilinde yazılmış olması bu modelin kullanımını kolaylaştırmaktadır.

Tablo 1. Bitki-İklim Etkileşimi Üzerine Yapılmış Model Çalışmaları

Modeli geliştirenler	Modelin geliştirildiği yer	Model ismi	Bitki cinsi	Modelin dayandığı işlemler
Acock,B., V.R. Reddy, F.D. Whisler, D.N. Baker, J.M. McKinion, H.F. Hodges ve K.J. Boote	USDA-ARS Mississippi State Üni. ve Florida Üniversitesi	GLYCM	Soya fasulyesi	Fotosentez, transpirasyon ve gelişme
Angus, J.F. ve J.H. Stamper	CSIRO ve Uluslararası Çeltik Enstitüsü	IRRIMOD	Çeltik	Gelişme, evaporasyon
Arkin, G.F., J.T. Ritchie ve R.L. Vanderlip	Tektaş A&M U. USDA/SEA ve Kansas State Üni.	SORG	Sorgum	Fotosentez, transpirasyon evaporasyon
Baker, D.N., D.E. Smika, A.L. Black, W.O. Wills ve A. Bauer	USDA/SEA Mississippi, Colorado ve North Dakota Üni.	WINTER WHEAT	Buğday	Fotosentez, transpirasyon ve gelişme
Curry, R.B., G.E. Meyer, J.G. Streeter ve H.L. Mederski	Ohio Tarımsal Araştırma ve Geliştirme Merkezi	SOYMOD OARDC	Soya fasulyesi	Fotosentez, evaporasyon
Duncan, W.G.	Kentucky Üni.	SIMAIZ	Mısır	Fotosentez
Duncan, W.G.	Kentucky Üni.	MIMSOZ	Soya fasulyesi	Fotosentez
Duncan, W.G.	Kentucky Üni.	PEANUZ	Yer fıstığı	Fotosentez
Jones, C.A. ve J.T. Ritchie	USDA/SEA (Teksas) ve IFDC (Alabama)	CERES-Maize	Mısır	Bitki gelişimi, toprak su dengesi
Van kaulen, H.	Hollanda Üni. (Wageningen)	GRORYA	Çeltik	Fotosentez
Ritchie, J.T. ve S. Otter	USDA/SEA Teksas Üni.	CERES-Wheat	Buğday	Bitki gelişimi, fotosentez
Ryle, G.J.A., N.R. Brockington, C.E. Powell ve B. Cross	Grassland Araştırma Enstitüsü (İngiltere)	İsimsiz	Arpa	Fotosentez
Weir, A.H., P.L. Bragg, J.R. Porter ve J.H. Rayner	Rothamsend Araştırma İst. Bristol Üniversitesi	ARCWH-EATI	Buğday	Fotosentez, fenoloji
Wilkerson, G. G., J.W. Jones, K.J. Boote, K.T. Ingram ve J.W. Mishoc	Florida Üniversitesi	SOYGRO	Soya fasulyesi	Fotosentez, gelişme

Tarımsal işletmecilikte, CERES bitki gelişim modelinde, kullanıcılar için farklı sulama zamanları ve sulama miktarları ile elde edilecek sonuçları karşılaştırma imkanı da bulunmaktadır (Jones ve Ritchie 1990).

CERES-Wheat benzetim modelinin amaçlarından biri de kullanıcılara verim tahmini sonuçlarını vermek olduğu için modelin başarısı, verimi belirleyen temel özelliklere etki eden etmenlere bağlıdır. Bu etmenler; iklim, toprak, bitki gelişme dönemleri, genetik özellikler; bitki organlarının (sap ve yaprak) büyümesi, gelişme, sararma ve kuru madde miktarları, bitkinin büyüme ve gelişme dönemlerindeki su ve azot eksikliğidir (Gençoğlan 1996).

### **Dünyada ve Türkiye’de Ceres-Wheat Modelinin Kullanımı**

Modelin sonuçlarının doğruluğu arazi ölçümlerinin karşılaştırılması yoluyla belirlenebilir. Bitki büyüme modellerinin değerlendirilmesinde; deneme yerine, toprak özelliklerine, başlangıç koşullarına, iklim durumuna, tarımsal uygulamalara ve arazide yapılan ölçümlere gereksinim duyulmaktadır. Değerlendirme, yalnız bir uygulamanın olduğu çiftçi koşullarında yapıldığı gibi değişik iklim koşullarında ve farklı uygulamalarda da yapılabilir.

CERES-Wheat modelinin kullanımına yönelik dünyada ve ülkemizde yapılmış birçok çalışma sonucunda, modelin güvenilirliği ortaya konulmuştur. Model benzetim sonuçlarının arazi ölçümleriyle de karşılaştırıldığı çalışmalarda, CERES-Wheat modelindeki benzetim sonuçları ile gerçek değerlerin oldukça benzer olduğu görülmüştür. Oluşan birtakım farklılıkların ise, tanımlanan girdi parametrelerinden ileri geldiği söylenebilir.

Tubiello ve ark. (1995), CO<sub>2</sub> ve hava sıcaklığının CERES-Wheat modeli ile etkileşiminin belirlenmesi ve verim tahmini amacıyla yaptıkları çalışmalarında, maksimum ve minimum sıcaklıkların 2<sup>0</sup>C arttığında ve minimum sıcaklığın maksimum sıcaklığın 3 katı artması koşullarında verimdeki değişimi incelemişlerdir. Maksimum ve minimum sıcaklıklar 2<sup>0</sup>C arttığı koşulda, sulanmayan koşullarda verim % 35, sulanan koşulda ise % 16 azalmıştır. Minimum sıcaklığın maksimum sıcaklığın 3 katı artması durumunda, sulanmayan koşulda verim azalışı % 26 olurken, sulanan koşulda % 11 azalma olmuştur. Maksimum sıcaklığın 3 katı daha fazla artış gösteren minimum sıcaklıkta elde edilen benzetim sonuçlarına göre, bu değişimin gelişim üzerinde olumsuz etki yarattığı ve % 26 verim azalışına neden olduğu sonucuna varmışlardır. Aynı çalışmada kuru madde miktarı ve verim tahminlemesinde korelasyon katsayısını 0.95 olarak bulmuşlardır.

Rosenzweig ve Tubiello (1996), Amerika Birleşik Devletleri merkezinde gelecek buğday verimini tahmin etmek amacıyla, CO<sub>2</sub> ve sıcaklığın fizyolojik etkilerini kapsayacak nitelikte olan dinamik bir bitki gelişme

modeli olan CERES-Wheat modelini kullanmışlardır. Çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri merkezinde kuzey-güney bölgesinde yer alan Fargo, North Platte, Dodge City ve San Antonio bölgeleri ele alınmış, 4 farklı ortalama sıcaklık artışı (1-4<sup>0</sup>C) 1951-1980 yılları günlük iklim verilerine uygulanmıştır. Sıcaklık değişimlerinin iki farklı etkisi; minimum ve maksimum sıcaklıklar eşit olarak arttığı ve minimum sıcaklık maksimum sıcaklığın 3 katı arttığı koşullarında benzetim yapılmıştır. Ortalama sıcaklığın 1-4<sup>0</sup>C artmasının, 4 bölgede de verim azalmasına neden olabileceğini belirlemişlerdir. Yıllık maksimum ve minimum sıcaklıkların eşit olarak arttığı ve minimum sıcaklığın maksimum sıcaklığın 3 katı artması koşulunda elde edilen dane veriminde oldukça fazla bir azalma gözlenmiştir. Verim azalışları üç bölgede % 5-40 arasında, San Antonio bölgesinde ise % 20-80 arasında gerçekleşmiştir. Bölgelerdeki verim azalışları buğday gelişme dönemlerinde sıcaklık artışlarının direkt etkisiyle sonuçlanmıştır. Minimum sıcaklığın maksimum sıcaklığın 3 katı artması koşulunda elde edilen verim, maksimum ve minimum sıcaklıkların eşit olarak artması koşulundaki verim değerinden % 4-25 daha fazladır. Gözlemlenmiş ve benzetimi yapılmış buğday verimleri karşılaştırıldığında önemli derecede bir farklılık gözlenmemiştir (p>0.05).

Sezen ve ark. (1998), Çukurova koşullarında CERES-Wheat bitki gelişim modelini Seri-82 ekmeçlik buğday çeşidi üzerinde test etmişlerdir. Çalışmada iki farklı sulama uygulaması (0-60 mm), dört farklı azot miktarı (0-80-160 ve 240 kg/ha) üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada, evapotranspirasyon, toprak nemi, fenolojik dönemler, kuru madde miktarı, yaprak alan indeksi değerleri belirlenmiş ve programda elde edilen benzetim sonuçları ile gerçek değerler karşılaştırılmıştır. Modelde konulara ilişkin çiçeklenme ve fizyolojik olgunluk tarihleri bakımından fark görülmediğini, gözlenen dane verimi, birim dane ağırlığı benzetim sonuçlarından daha düşük olurken, tam sulama koşullarında artan azot miktarı ile arasındaki farkın arttığını belirtmişlerdir.

Chipanshi ve ark. (1999), Saskatchewan-Kanada’da yaklaşık 2 milyon ha alanda yarı-kurak bir bölgede, bitki gelişimi benzetim modeli kullanarak buğday veriminin benzetimi amaçlanan çalışmalarında, CERES-Wheat modelini kullanmışlardır. Çalışmada 1960-1990 yılları arasındaki iklim verileri kullanılarak, 1990-99 yıllarına ait iklim verileri oluşturulmuş, modelle tahmin edilen değerlerle gerçek değerler arasında korelasyon katsayısını 0.70 olarak bulmuşlardır. Çalışmada, geniş alanlarda toprak özellikleri ve arazideki bitkinin dağılımı biliniyorsa, bitki benzetim modeli ile verimin uygun olarak tahminlenebileceği sonucuna varmışlardır.

Çalıdağ (2000) çalışmasında; Türkiye’de ve Dünya’da en önemli besin kaynağı olan buğday bitkisinin gelişimine meteorolojik faktörlerin ve bu faktörlerde meydana gelmesi muhtemel değişikliklerin yapacağı etkileri tarımsal meteorolojik açıdan araştırmıştır. Kırklareli Köy Hizmetleri Atatürk

Araştırma Enstitüsü'nde uygulamalı olarak yürütülen çalışmada, buğday bitkisinin 1997-1998 ve 1998-1999 gelişme dönemlerinde ölçülen meteorolojik, toprak ve bitki gelişimi ile ilgili veriler kullanılmıştır. Modelleme kapsamında gerçekleştirilen benzetimlerde açıklamalı bitki-iklim modellerinden CERES-Wheat ve SIMWASER modelleri kullanılarak her iki ölçüm dönemi için bitki gelişimi meteorolojik faktörlerin etkisi altında analiz edilmiştir. Uygulanan benzeşimlerin sonuçları, bitki gelişimi, kuru madde miktarı, verim ve buharlaşma değişkenleri açısından ele alınmış ve bu model sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuçta açıklamalı modellerin bitki gelişimi ve verimi üzerinde oldukça tatmin edici ön tahminler gerçekleştirebildikleri bir kez daha ortaya çıkmıştır.

CERES-Wheat modeli 98-99 döneminde 1 °C sıcaklık senaryosunda dikkate değer bir ürün miktarı değişimi öngörmemiştir. Ancak sıcaklığın 2°C değişimi durumunda verimin yaklaşık % 9 oranında sapacağı belirlenmiştir. Tüm benzetimlerde bitki gelişiminin en hassas olduğu parametre güneş radyasyonu olarak tespit edilmiştir. Yine çalışmanın yapıldığı 97-98 gelişme dönemi için, güneş radyasyonunda gerçekleşmesi muhtemel % 20 oranındaki değişimin, ürün miktarında % 20 ile % 30 arasında artış veya azalış şeklinde yansıtacağı SIMWASER modeli tarafından tahmin edilmiştir.

CERES-Wheat modeli ile karbondioksit (CO<sub>2</sub>) değişimlerine yönelik benzetimlerde gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. CO<sub>2</sub>'nin özellikle radyasyon parametresi ile birlikte dikkate alındığı senaryoların bitki gelişimini önemli düzeyde etkilediği belirlenmiştir.

Tatar ve Yazgan (2001), Bursa ve yöresinde yetiştirilen Bezostaya buğday çeşidine ilişkin bitki gelişimi ve buna bağlı verim değişimlerinin CERES-Wheat modeliyle tahminlendiği çalışmalarında; 1°C, 2°C, 3°C ve 4°C sıcaklık artışları ile bitkinin sulama suyu gereksiniminin % 50 ve % 100'nün su uygulamaları ile karşılanması sonucunda, sıcaklık artışıyla bitkinin fizyolojik olarak olumsuz yönde etkilendiği, verimde azalmaların meydana geldiği, sıcaklık artışının yanında su eksikliğinin de verimi benzer biçimde etkilediği görülmüştür. Aynı çalışmada, model benzetim sonuçları ile benzetimin yapıldığı 1999 yılına ait gerçek verim değerleri arasında önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir.

Dünyada model ve model kullanımı ile ilgili yapılan birçok çalışmaya karşın ülkemizde ne yazık ki bu konuda yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Gerek ülkemiz nüfusunun büyük çoğunluğunun tarımla uğraşmasından, gerekse ülkemizin bulunduğu iklim kuşağının çeşitliliğinden, bitki-iklim modelleri ile yapılan çalışmaların önemi daha çok ortaya çıkmaktadır. Bitki-iklim modelleri ile ülkemiz koşullarında hangi bitkiden, hangi bölgemizde en fazla verim alınacağı hesaplanabildiği gibi, yeni geliştirilen çeşitlerin uzun

zaman alan adaptasyon çalışmalarının sonuçları da kısa sürede elde edilebilir. Bu çalışmada da amaçlanan, diğer ülkelerde geliştirilmiş olan bitki-iklim modellerinin ülkemizde kullanılma olanaklarının analiz edilmesi ve kullanılabilirliğinin tartışılmasıdır. Modellerin analizi aşamasında, model sonuçları arazi çalışmalarıyla desteklenmeli ve kullanılabilirliği gerçek verilerle sınanmalıdır.

#### KAYNAKLAR

- Anonim. 1990. Agricultural Meteorology Programme. Simulation of Primary Production. CagM Report No:33A, Geneva, p. 1-14.
- Carberry, P.S., Muchow, R.C., Mccown. R.L., 1989. Testing the CERES-Maize Simulation Model in a Semi-arid Tropical Environment. *Field-Crops- Res.* 20(4), p. 297-315.
- Chipanshi, A.C., Ripley, E.A., Lawford. R.G., 1999. Large-scale Simulation of Wheat Yields in a Semi-arid Environment Using a Crop-growth Model. *Agricultural Systems* (59), p. 57-66.
- Çaldağ, B., 2000. Meteorolojik Faktörlerin Bitki Gelişimine Etkilerinin Bitki-İklim Modelleri İle Belirlenmesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 175s.
- Franzini, E., 1993. Agrometeorologische Untersuchungen an Pferdebohne (*Vicia faba L.*) und Sojabohne (*Glycine max L.*) Anhang Zweier Pflanzenwachstumssimulationsmodelle, Dissertation, Wien, p. 4-8.
- Gençoğlan, C., 1996. Mısır Bitkisinin Su-Verim İlişkileri, Kök Dağılımı ile Bitki Su Stresi İndeksinin Belirlenmesi ve CERES-Maize Bitki Büyüme Modelinin Yöreye Uygunluğunun İrdelenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 220 s.
- Hodges, T., Botner, D., Sakamoto, L., Hays-Haung, J., 1987. Using the CERES-Maize Model to Estimate Production for the U.S. *Conbelt. Agricultural and Forest Meteorology* 40 (4), p. 293-303.
- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Boote. K.J., 1991. A Decision Support System for Prediction of Corn Yield. Evapotranspiration and Irrigation Management. *Irr. And Drain. Proc.* 1991, IR Div/ASCE Honolulu, p. 198-204.
- Jones, J.W., Ritchie. J.T., 1990. Crop Growth Models. Management of Farm Irrigation Systems. Edited by G.J. Hoffman, T.A. Howell, Solomon, ASAE, p. 68-79.
- Penning De Vries, F.W.T., Jansen, D.M., Ten Berge, H.F.M., Bakema. A., 1989. Simulation of Ecophysiological Processes of Growth in Several Annual Crops, Pudoe Wageningen, p.1-8.
- Ritchie, J.T., 1985. A User-Orientated Model of the Soil Water Balance in Wheat. *Models in Wheat Agronomy. Wheat Growth and Modelling.* Vol:86(27), p. 293-307.
- Ritchie, J. T., Singh, U., Godwin, D.C., Bowen. W.T., 1998a. Cereal Growth, Development and Yield. In *Understanding Options for Agricultural Production.* G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, and P. K. Thornton (Editors), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 79-98.
- Ritchie, J.T., Godwin. D.C., 1998b. Soil Water Balance and Plant Water Stress. *Understanding Options for Agricultural Production,* Kluwer Academic Publishers, p. 65-89 .
- Rosenzweig, C., Tubiello. F.N., 1996. Effects of Changes in Minimum and Maximum Temperature on Wheat Yields in The Central US A Simulation Study. *Agricultural and Forest Meteorology* (80), p. 215-230.
- Sezen, S.M., Yazar, A., Kanber, R., Koç. M., 1998. CERES-Wheat V3 Bitki Büyüme Modelinin Çukurova Koşullarında Değerlendirilmesi. *Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyumu,* 21-23 Ekim 1998, İstanbul, s. 301-309.
- Şaylan, L., 1995. Bitki Gelişimi Simülasyon Modellerinin Toprak, Bitki ve Su İlişkisinin Analizinde Kullanılması. 5. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri, Kültürteknik Derneği, 30 Mart-2 Nisan 1995, Kemer-Antalya, s. 311-317.

Bitki Gelişiminin Benzetimi (Simülasyonu) (Ceres-Wheat Modeli)

- Şaylan, L., Durak, M., Çaldağ, B., 1998. Dünya'da ve Türkiye'de Bitki-İklim (Bitki Gelişimi Simülasyon) Modelleri. Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyumu, İstanbul, 21-23 Ekim 1998, s. 275-283.
- Tatar, D., Yazgan, S., 2001. Uludağ Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Merkezinde Bitki-İklim Modellemesi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt :14, Sayı :2, s.23-28, 2001.
- Tubiello, F.N., Rosenzweig, C., Volk-, T., 1995. Interactions of CO<sub>2</sub>, Temperature and Management Practices: Simulations with a Modified Version of CERES-Wheat. Agricultural Systems (49), p. 135-152.

- Wit, C.T., Keulen, H., 1975. Simulation of Transport Processes in Soil. Center for Agricultural Publication And Documentation, Wageningen, p. 89-101.
- Yazar, A., 1991. Field Verification of the Soybean Crop Growth Simulation Model "Soygro" Under Çukurova Conditions. Doğa-Tr.Journal of Agriculture and Forestry 15, p. 166-180.