

Bitki Büyüme Modelleri: CERES-Maize Örneği

Gülay PAMUK¹

Mustafa ÖZGÜREL²

Summary

Plant Growth Models: A Sample of CERES-Maize

Plant growth models are used to explain the mathematical relation among plant physiology, and the climate and soil conditions, and to predict the plant physiology from these conditions.

In this study, basic assumptions used in plant growth models are overviewed and the CERES-Maize model is evaluated. This maize growth model is a version of CERES, which has a worldwide use since it considers for a variety of plants and is updated continually.

Key words: Plant growth models, CERES, CERES-Maize (V.3.5).

Giriş

Simülasyon en genel anlamıyla bir olay veya faaliyetin benzetimidir. Bilimde bir problemin, uygulamalı veya analitik modelle formüle edilmesi de bir simülasyondur. Bilgisayar kullanımının yaygınlaşması sonucunda günümüzde bütün bilim dalları bu tekniği model geliştirmek, veri elde etmek ve varsayımları test etmek amacıyla kullanmaktadır. Öte yandan tarım sektörü beşeri faaliyetlerin en karmaşıklarından biri olarak diğer bilim dalları ile bağlantılıdır. Kullanılan materyal ve etkilendiği faktörlerden dolayı çok kompleks modeller gerektiren tarım sektörü, simülasyon yöntemlerinin uygulanması açısından ideal bir alan teşkil etmektedir (Sezgin, 1999).

Tarımsal araştırmalara yönelik olarak kurulan arazi denemelerinde çeşitli güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bu denemeler uzun zaman almakta, masraflı olmakta ve farklı uygulamaların aynı bitki örtüsü üzerinde aynı zamanda denenmesine imkan

¹ Dr., E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bornova-İzmir.
e-mail: pamuk@ziraat.ege.edu.tr

² Prof.Dr., E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bornova-İzmir.

vermemektedir. Bu amaçla, bitkilerin gelişmeleri için ihtiyaç duydukları çevre koşullarını matematiksel olarak formüle eden simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Simülasyon modeli terimi, ampirik olarak bir ekosistem ortamına benzer bir yapı oluşturmaktadır. Bu yapay sistemin farklı çevresel etmenlere, gerçek bir bitki sistemi gibi karşılık vereceği varsayımı yapılmaktadır (Evsahibioglu ve Benli, 1998).

20 yılı aşkın bir süredir araştırmacılar farklı bitki türleri için simülasyon modelleri geliştirmektedir. Bitki büyüme modelleri başta pamuk, mısır, tütün, süs bitkileri ve belli başlı yem bitkileri olmak üzere pek çok bitki türü için geliştirilmiştir. Modeller, genellikle bitkilerin büyüme, gelişme ve verim özelliklerini tanımlamaya yöneliktir. Günümüzde, mevcut bitki büyüme modellerini geliştirmek amacıyla deneysel veri toplama çalışmaları devam etmekte; bu veriler söz konusu modellerin yeni versiyonlarını test etmek amacıyla kullanılmaktadır (Tsuji ve ark. 1994).

Bitki büyüme modelleri, iklim ve toprak koşulları ile bitki fizyolojisine ilişkin dinamik olayları matematiksel ilişkilerden yararlanarak çözümleyen ve bitkiye ilişkin verilerin tahmininde kullanılan yaklaşımlardır. Olası seçeneklerin değerlendirilmesinde de yaygın olarak kullanılan modeller, belirli varsayımlara dayanmaktadır (Hoogenboom ve ark. 1991). Modellerin etkin kullanılabilirliği için bitki büyüme ve gelişiminin olduğu çevre hakkında ayrıntılı bilgilerin derlenmiş olması gerekmektedir (Tarbell ve ark. 1991; Sezen, 2000).

Bu çalışmada, bitki büyüme modellerinde kullanılan temel yaklaşımlar ile dünyada yaygın bir kullanım alanına sahip olan CERES bitki büyüme modelinin mısır bitkisi için geliştirilmiş olan CERES-Maize (V.3.5) modeli açıklanmıştır.

Bitki Büyümesinin Modellenmesi

Model kavramı, en basit anlamda gerçek olayı basit yaklaşımlarla benzeştirmeye çalışarak olay hakkında daha fazla bilgi sahibi olmak, gelecek ile ilgili daha iyi tahminlerde bulunmak, mevcut kontrol teknikleri geliştirmek ve gelecekteki durumu görebilmektir. Model konusunda çalışırken, olayın hem pratik hem de teorik yanı göz önüne alınır. Bitki gelişimi; iklim, toprak ve su gibi parametrelerin karmaşık etkileşimleri altında meydana gelmekte, bu mekanizmaların anlaşılması arazi üzerinde yapılan deneylerin çok pahalı ve çok zaman almasından dolayı oldukça güç koşullarda gerçekleşmektedir. Söz konusu karmaşık mekanizma ancak oluşturulan bir bitki iklim modeli

ile iyi bir şekilde analiz edilip yorumlanabilir. Modeller, küçük sistemlerden elde edilen tecrübe ve deneylerle büyük sistemleri açıklamaya çalışmaktadır. Bitki iklim modellerinin uygulandığı koşullarda, karmaşık sistemde herhangi bir değişiklik meydana geldiğinde ne olacağı kolaylıkla gözlenebilmektedir (Whisler ve ark., 1986).

Bitki gelişimi; ekim, dikim, sulama, gübreleme ilaçlama gibi aktivitelerin zaman ve miktarına doğru karar verilmesi gerekliliği açısından oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Optimum gelirin elde edilebilmesi için tarımsal etkinliklerin zamanı doğru seçilmelidir. Tarımsal etkinliklerde zamanlama; gelişmiş ülkelerde belirli ölçümlere, geleneksel tarımın uygulandığı ülkelerde ise deneyimlere dayandırılır. Bitki büyümesinin modellenmesine yönelik çalışmalarda, bitkinin gelişimi sırasındaki olaylar dikkate alınmakta ve buna göre bitki gelişimi simüle edilmeye çalışılmaktadır. Bitki gelişim modellerinin oluşturulmasında amaç, “eğer olursa ne olur?” sorusuna alınacak yanıttır. Diğer bir ifade ile, atmosferik parametrelerin ve toprağın bitki gelişimine ne derecede ve nasıl etki edeceğini anılan modeller ile analiz etmek mümkündür (Şaylan ve ark. 1998). Sözü edilen amaca yönelik çalışmalar, bitkinin yetiştirildiği toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ayrıntılı olarak incelenmesi ile başlamakta, iklim verilerinin büyüme mevsimi süresince günlük olarak tanımlanması ile devam etmektedir. Öte yandan, bitki gelişimini etkileyen genetik özellikler de ayrıntılı olarak ele alınmalıdır. Modelleme çalışmalarında, bitki çeşidi, ekim tarihi, ekim derinliği, deneme öncesi ekili bitkiden arta kalan kök miktarı, bitki sıklığı, sulama ve gübreleme tarihleri, uygulanan sulama suyu miktarı ve gübre dozu, herbisit ve pestisitlerin uygulama tarihleri ve hasat zamanının da tanımlanması gerekmektedir.

Arazide uzun yıllar ve büyük masraflar gerektiren en uygun sulama zamanının belirlenmesi, yeni bitki tür ve çeşidinin o yöre iklim ve toprak koşullarına uyum sağlayıp sağlayamayacağı, tarımsal kuraklık gibi olası değişikliklerin bitkisel üretime etkisi gibi konularda kısa zamanda sonuca ulaşmak bitki büyüme modelleri ile mümkün olmaktadır. Bunun yanında bitki büyüme modelleri; su-verim fonksiyonlarının değerlendirilmesinde, sulama programı stratejilerinin belirlenmesinde, yarı kurak bölgelerde yağışlardan dolayı tarımsal üretimde oluşabilecek riskin saptanmasında, bitkinin günlük gelişiminin tahmin edilmesinde, bitkisel üretimin değişik aşamalarına karar verilmesinde, gelecekte olabilecek iklim değişikliklerinin verim üzerine etkisinin saptanmasında kullanılmaktadır.

Model Çeşitleri

Dünyada bitki büyüme modelleri farklı tiplerde geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller regresyon, mekaniksel, fenolojik, stokastik, deterministik, statik ve dinamik modeller şeklinde sınıflandırılabilir.

Regresyon modelleri, değişkenler arasında ilişki kurma imkanı sağlar; bu ilişkiler bilinen fiziksel ve biyolojik olaylar değildir. Bu tür modeller, sadece gözlem düzeylerine göre değerlendirme yapılabildiği için olayları anlamada daha az etkili olmaktadır

Mekaniksel modeller, değişkenler ile ilgili ilişkileri daha iyi açıklamakta, çevresel etmenlerin bitki gelişimine etkilerini esas almaktadır. Mekaniksel modeller bir çok çevre koşulu için çalışabildiklerinden regresyon modelleri gibi sadece özel koşullarda kullanılan modellere oranla daha üstündür.

Fenolojik modeller, genellikle sıcaklık toplamına dayanan ve bitki gelişiminde meydana gelen olayları aşamalar halinde inceleyen modellerdir.

Stokastik modeller, bazı olayların meydana gelme ihtimaline göre değerlendirilir. Mekaniksel alt çözümlerden oluşabilen bu modellerde atmosferle ilgili değişkenler için kesin kestirim yapılamamaktadır. Stokastik modeller kesinlikle güvenilirliği olmayan, farklı zamanlarda, farklı olaylar için tahmin edilen kural dışı değerleri içermektedir. Bu tip modeller daha çok kısa vadeli planlama kararları için uygundur.

Deterministik modeller, kontrol edilebilir çevresel, fiziksel ve fizyolojik yaklaşımlar ile incelenebilir. Belirli matematiksel ilişkilere dayanan deterministik modellerle, olaylar hakkında daha gerçekçi kestirimler yapılabilmektedir. Anılan modeller daha çok uzun vadeli planlama kararları için uygun olan yöntemlerdir. Kuramsal olarak, bir modelin stokastik veya deterministik olduğu giriş verilerine ve model yapısına bağlıdır. Deterministik modellerin en önemli özelliği, olasılık yüzdeleri belirtilmeksizin olayların kesin tahminlerini verebilmeleridir.

Statik modeller, açıklayıcı ya da tanımlayıcı olabilir. Tanımlayıcı modeller özel çalışmalarda kullanılırken, açıklayıcı modeller daha geniş kullanım alanına sahiptir. Statik modellerde oluşumlar için gerekli zaman dilimi değil, oluşumların nedenleri ve etkileri dikkate alınır.

Dinamik modeller ise bitki gelişiminde bilinen fiziksel, kimyasal ve fizyolojik işlemler ile meteorolojik etmenlerin bitki üzerine etkilerini incelemektedir. Dinamik modeller genellikle etkilerin

ve reaksiyonların zamanla değişim gösterdiği biyolojik sistemler için kullanılır. Günümüzde kullanılan bitki büyüme modellerinin büyük çoğunluğu dinamik modellerdir (Topçu ve Tekinel, 1994; Şaylan ve ark. 1998).

CERES-Maize Bitki Büyüme Modeli

Bitki büyüme modelleri içerisinde çok sayıda bitkiyi içine alması ve yeni versiyonları ile sürekli olarak geliştirilmesi nedeniyle CERES modeli yaygın olarak kullanılmaktadır. CERES; Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis kelimelerinin baş harflerinden oluşmuştur.

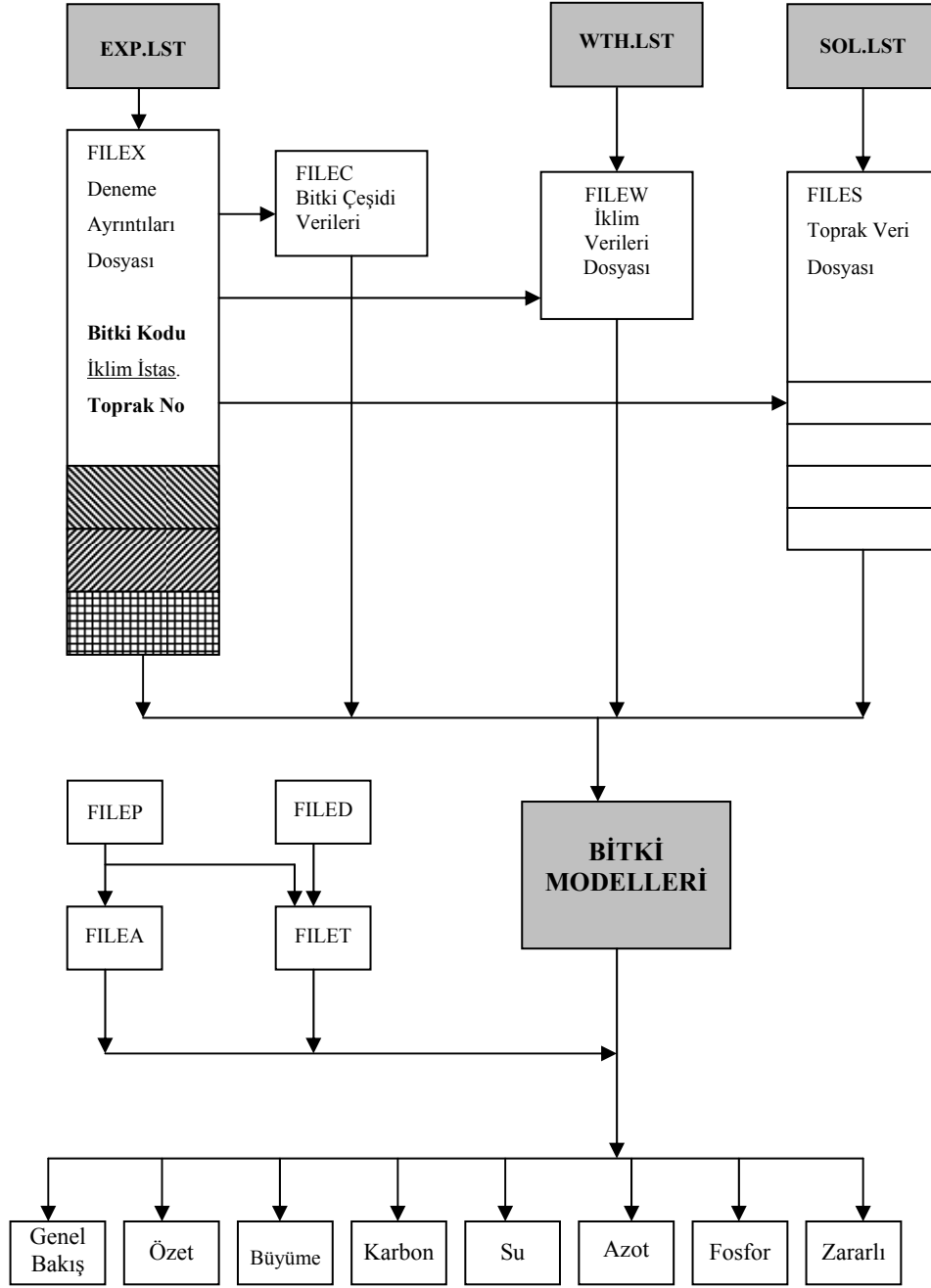
CERES-Maize modeli, Uluslararası Agroteknoloji Transfer Birimi olan **IBSNAT** (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) tarafından geliştirilmiştir.

CERES bitki büyüme modeli içerisinde tanımlanan bitkilerin; iklim, toprak, bitki yetiştirme tekniği ile bitki genetiğinin fonksiyonu olarak büyüme, gelişme ve verim değerleri tahmin edilebilir.

Dünyada mısır üretiminin yapıldığı herhangi bir yerde kullanılmak üzere hazırlanan CERES-Maize modeli, yarı mekanistik bir yapıya sahip olup günlük bazda çalıştırılabilir.

Modelin doğru tahminler yapabilmesi için iklim, çevre ve bitki genetiğine ilişkin çok sağlıklı ölçümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Araştırmada ele alınan konuların verim ve verim öğeleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için CERES-Maize bitki büyüme modelinin V.3.5 no.lu geliştirilmiş tipine ait akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.

Model içerisinde yer alan dosyalar girdi, çıktı ve deneme performans verileri olmak üzere düzenlenmiştir. Deneme performans dosyaları, yalnızca simülasyon sonuçlarını belirli bir denemeye ilişkin sonuçlarla karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Modeldeki çıktı dosyaları kullanıcıya seçilen bir uygulama için gerekli bilgiyi sağlamakta, benzer şekilde girdi dosyaları belirli modellerin kullanımında kısmi esneklik imkanı sunmaktadır.



Şekil 1. CERES-Maize bitki büyüme modelinde kullanılan girdi ve çıktı dosyalarına genel bakış (Tsuji et al, 1994).

Modelde tanımlanması gereken dosyalar; denemeye ilişkin bilgiler, iklim, toprak ve genotip özellikler olmak üzere dört farklı gruba ayrılmıştır.

Modelde tanımlanması gereken en önemli dosya FILEX' dir. Simüle edilecek her bir denemeye ilişkin tanımlamalar bu dosya içinde belirtilmelidir. FILEX içinde yer alan değerler gözlenmiş değerler ya da simülasyon için tanımlanmış varsayıma dayalı değerlerdir. Dosyada denemenin adı, denemede kullanılan konuların tanımı, kullanılan bitki çeşidi, bitki kodu-adı, denemenin yürütüldüğü yerdeki toprak ve iklim istasyonunun tanımı, toprak analiz sonuçları, ekim tarihi, bitki sıklığı, denemenin başlangıcındaki toprak profilinde bulunan mevcut su, azot durumu, sulama tarihleri, uygulanan sulama suyu miktarı, gübreleme tarihi, herbisit ve pestisitlerin uygulama tarihleri, hasat tarihi, toprak işleme biçimi ve simülasyona başlama tarihinin tanımlanması gerekmektedir (Sezen, 2000).

Model içerisinde yer alan WTH.LST dosyaları denemenin yürütüldüğü dönemlerdeki iklim verilerini içermektedir. Modelde yer alan iklim dosyasında; iklim istasyonunun adı, enlem, boylam, yükseklik, yıllık ortalama sıcaklığın yanı sıra DSSAT V.3.5 için gereken günlük bazda minimum veriler; günlük maksimum ve minimum hava sıcaklığı, yağış miktarı ve solar radyasyon değeridir. İklim dosyasında gerekli olan günlük verilerin ekim tarihinden önce ve olgunluktan sonraya dek yer alması modelin ekim sırasındaki toprak koşullarının tahmin edilmesini mümkün kılmaktadır. Toprak verilerinin yer aldığı dosyada (SOL.LST), yalnızca simülasyonla etkisi gözlenecek parametrelere ait veriler yeterli olmaktadır.

CERES-Maize bitki büyüme modeli için gerekli olan bir diğer parametre genotip veya genetik katsayı olarak adlandırılan bitki genetiği ile ilgili katsayılardır. Modelin içerdiği genetik katsayılar, fenolojik ve büyüme aşaması olmak üzere ikiye ayrılır. Fenolojik aşamayı içeren katsayılar kendi arasında **P1** (8°C' nin üstündeki büyüme-derece-gün değeri), **P2** (fotoperiyod duyarlılık katsayısı min. 12.5 saat) ve **P5** (püsküllenme ile fizyolojik olgunluk dönemine ilişkin derece-gün değeri) olmak üzere 3'e ayrılırken; büyüme olarak isimlendirilen katsayılar da **G2** (bitkideki tane sayısı) ve **G3** (optimum koşullarda tanenin gelişimi) olmak üzere kendi arasında 2' ye ayrılmaktadır. PHINT, phylochron aralığı olarak tanımlanmaktadır (Tsuji ve ark. 1994).

Modelde yer alan her bir genotipin fizyolojik ve morfolojik karakteristikleri ile ilgili üç dosya bulunmaktadır. Bunlardan (FILEG)

belirli bir çeşidin özelliklerini, (FILEE) belirli bir çeşidin ekotipik karakteristiğini, (FILEC) ise belirli ekotipik gruplar içerisinde belirli bir çeşidin karakteristiğini ifade etmeye yardımcı olmaktadır. Bu dosyalar simülasyon için gerekli tüm genotipik verileri içermektedir. Bu verilerin düzenlenmesi, içeriği ve kullanımı bitkiden bitkiye değişmektedir.

Ayrıca, her bir bitki çeşidine ait genetik katsayıların model içerisinde tanımlanmasında Hunt ve ark. (1993) tarafından geliştirilen GENCALC (Genotype Coefficient Calculator) bilgisayar programı kullanılmıştır. Program, özellikle model içerisinde yer verilmeyen yeni veya yöresel çeşitlere ilişkin genotip katsayıların hesaplanmasında oldukça yararlı olmaktadır. Çıktı dosyalarının sayısı, simülasyon yapılan denemenin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Simülasyon sonuçlarının büyüme mevsimi boyunca günlük ya da daha farklı aralıklardaki değişimini izlemek mümkündür.

Günümüzde CERES modeli bir çok tarla bitkisi için kullanılabilir duruma gelmiştir. Model üzerinde çalışmalar devam etmekte, modelin duyarlılığı eklenen yeni ölçütlerle sürekli olarak artırılmaktadır. Modelin en büyük sakıncası ise mevcut eşitliklerin geliştirildiği bölgeye göre seçilmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

CERES-Maize bitki büyüme modeli, Kuzey Amerika, İtalya, Brezilya, Belçika, Fransa ve Almanya başta olmak üzere bir çok ülkede pek çok araştırmacı tarafından test edilmiş ve genel olarak, anılan modelin mısır bitkisinin büyümesini simüle etmek amacıyla kullanılabilir olduğu, ancak gözlenen ve tahmin edilen parametreler arasında çok daha sağlıklı ilişkiler kurabilmek adına daha ayrıntılı modifikasyonların gerekli olduğu vurgulanmıştır (Piper ve Weiss, 1990; Plantureux ve ark. 1991; Lahrouni ve ark. 1993; Bocchi ve ark. 1994; Rozenzweig ve Goldberg, 1998; Toit ve ark. 2000; Xie ve ark. 2001; O'Neal ve ark. 2002; Mastrorilli ve ark. 2003).

Saka ve ark. (1994) 3 ayrı bölgede yürüttükleri çalışmada, CERES-Maize bitki büyüme modelinin deneme süresi boyunca hüküm süren iklim koşullarına ve toprak özelliklerine paralel olarak mısır tane verimini tahminleme de başarılı olduğunu vurgulamışlardır.

CERES-Maize (V.3.0) büyüme modeli, Akdeniz bölgesinde 3 farklı sulama konusu üzerinde test edilmiştir. Tam sulanan konuda büyüme ve verim parametreleri model tarafından doğru bir şekilde simüle edilirken, uygulanan su stresine bağlı olarak gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki fark artmıştır (Nouna ve ark., 2000). Yichuan (Çin) bölgesinde farklı ekim tarihlerine yönelik olarak yapılan bir diğer

çalışmada model test edilmiş, gözlenen ve tahmin edilen değerler arasında iyi bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır (Chen ve ark., 1997).

Mısır bitkisinin kısıtlı sulamaya tepkisini irdelemek amacıyla yürütülen bir çalışmada ise modelin yarı kurak çevre koşullarına daha iyi uyum sağlayabilmesi adına bir takım modifikasyonların gerekli olduğunu belirtilmiştir (Karam ve Rouphael, 2000).

Mastrorilli ve ark. (2000) tarafından tarla denemesinden elde edilen sonuçlarla CERES-Maize modelinin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla yürütülen bir çalışmada; su kısıntısı uygulanmayan koşullarda, kuru madde miktarı, tane verimi ve yaprak alan indeksinin gözlenen ve simüle edilen değerleri arasında % 10 oranında bir fark olduğu gözlenmiş ve anılan modelin bu koşullarda iyi tahmin ettiği belirtilmiştir. Diğer yandan; kısıtlı su uygulaması durumunda, CERES-Maize modeli ile gözlenen ve simüle edilen değerleri arasında yaprak alan indeksi için %26-46; kuru madde için %23-29; tane verimi için %15-23 oranında bir fark saptanmıştır. Panda ve ark. (2004), mısır tane verimi, kuru madde miktarı ve yaprak alan indeksinin ölçülen ve tahmin edilen değerleri arasında birbirine oldukça yakın değerler elde edildiğini ifade etmişlerdir. Aynı çalışmada model performansı tane verimi, kuru madde ve yaprak alan indeksi için, sırasıyla, 0.958, 0.966 ve 0.972 olarak bulunmuştur.

Köksal (1995), Ceres-Maize (V.2.1) bitki büyüme modelinin mısır bitkisinde verim parametrelerinin tahmini için kullanılabileceğini, ancak model içerisine bazı katsayılarının eklenmesinin yararlı olabileceğini ifade etmiştir. Gençoğlu (1996) Ceres-Maize modelini (V.2.1) Çukurova koşullarında; Pamuk (2003) ise anılan modeli (V.3.5) Ege Bölgesi koşullarında test etmiş ve modelin bazı verim parametrelerini tam olarak tahmin edemediğini belirlemişlerdir.

Öneriler

Model çalışmaları, ülkemizde pek çok alanda birçok problemin çözümüne ışık tutacaktır. Ancak, Dünyada bitki büyüme modelleri ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmasına karşın, ülkemizde ne yazık ki model konusunda yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Öte yandan, çalışılan modellerle ilgili bir takım sıkıntılar yaşanmakta, özellikle ilgili modelin geliştirildiği koşullar için seçilen katsayıların ülkemiz koşullarında yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle, bitki büyüme modeline yönelik çalışmalarda ilk aşamada yapılması gereken, farklı ülkelerde geliştirilmiş olan modellerin iyi bir şekilde analiz edilmesi, daha sonra uygulamalı olarak

test edilmesidir. Ayrıca, ülkemizde bitki büyüme modelleri konusunda farklı disiplinlerin bir araya gelmesi ile oluşacak bir çalışma grubunun kurulması ile bu alanda yapılacak benzer çalışmaların etkinliğinin ve sayısının artacağı düşünülmektedir.

Özet

Bitki büyüme modelleri, iklim ve toprak koşulları ile bitki fizyolojisi arasındaki matematiksel ilişkiyi açıklamak ve bitki fizyolojisini bu koşullara göre tahmin etmek için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada bitki büyüme modellerinde kullanılan temel yaklaşımlar gözden geçirilmiş ve CERES-Maize modeli irdelenmiştir. CERES-Maize modeli, çok sayıda bitkiyi ele alması ve sürekli olarak güncellenmesi nedeniyle dünyada yaygın bir kullanım alanına sahip olan CERES'in mısır bitkisi için geliştirilmiş bir versiyonudur.

Anahtar Sözcükler: Bitki büyüme modelleri, CERES, CERES-Maize (V.3.5).

Kaynaklar

- Bocchi, S., Nusiner, L., Maqqiore, T., Borin, M. and Sattin, M., 1994. Ceres-Maize (V: 2.1) : Two-year research for validating the crop growth model in the Po Valley. Proceedings of the third congress of the European society for agronomy, (18-22 September, 1994, Padova University).
- Chen, H.L., Feng, D.Y., Mao LX., Zhang, XF. and Fu, XJ., 1997. Ceres-Maize model experiment with its application in henan province. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 20 (4):522-528.
- Evsahibioğlu, N. ve Benli, B., 1998. EPIC simulasyon modeli yardımıyla bitki verim tahminleri. s. 296-301, Tarım ve Orman Meteorolojisi 98 Sempozyumu (21-23 Ekim 1998, İstanbul).
- Gençoğlan, C.,1996. Mısır bitkisinin su verim ilişkileri, kök dağılımı ile bitki su stresi indeksinin belirlenmesi ve Ceres-Maize bitki büyüme modelinin yöreye uyumluluğunun irdelenmesi (Doktora Tezi). Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana.
- Hoogenboom, G., Jones, J.W. and Boote, K.J., 1991, A decision support system for prediction of corn yield, evapotranspiration and irrigation management, irrigation and drain. p. 198-204 Proc.1991, IR DIV/ASCE, Honolulu.
- Hunt, L.A., Pararajasingham, S., Jones, J.W., Hoogenboom, G., Imamura, D.T., Ogoshi, R.M., 1993. GENCALC: Software to facilitate the use of crop models for analysing field experiment. Agronomy Journal, 85:1090-1094.
- Karam, F. and Roupael, J., 2000. Development of simulation models to estimate the irrigation water needs at scheme level through the allocation of cropping pattern. Advanced short course on new technology development for irrigation systems management, p. 273-300, (8-19 May 2000 Beirut-Lebanon).
- Köksal, H., 1995. Çukurova koşullarında II.ürün mısır bitkisi su-verim ilişkileri ve Ceres-Maize bitki büyüme modelinin yöreye uyumluluğunun saptanması (Doktora Tezi) Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana.

- Lahrouni, A., Ledent, J.F., Cazanga Solar, R. and Mouraux, D., 1993. Testing the Ceres-Maize model in Belgian conditions. *European Journal Agronomy*, 2:193-203.
- Mastrorilli, M., Katerji, N. and Nauna, B., 2000. Evaluation of Ceres-Maize model in semi-arid Mediterranean environment. 3rd International Crop Science Congress 2000, (17-22 August 2000 Germany).
- Mastrorilli, M., Katerji, N., Nouna, B. B., 2003. Using the Ceres-Maize model in a semi-arid Mediterranean environment: validation of three revised versions. *European Journal Agronomy*, 19:125-134.
- Nouna, B.B., Katerji, N. and Mastrorilli, M., 2000. Using the Ceres-Maize model in a semi-arid mediterranean environment: evaluation of model performance, *European Journal of Agronomy* 13: 309-322.
- O'Neal, M.R., Frankenberger, J.R., Ess, D.R., 2002. Use of Ceres-Maize to study effect of spatial precipitation variability on yield. *Agricultural Systems* 73: 205-225.
- Pamuk, G., 2003. II. Ürün mısır bitkisinin su-verim ilişkileri ve Ceres-Maize bitki büyüme modelinin bölge koşullarına uygunluğunun irdelenmesi (Doktora Tezi) E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, İzmir.
- Panda, R. K., Behera, S. K., Kashyap, P. S., 2004. Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agricultural Water Management*.
- Plantureux, S., Girardin, P., Fovguet, D. and Chapot, J.Y., 1991. Evaluation and sensitivity analysis of the Ceres-Maize model in North-Eastern France. *Agronomic*, 11 (1): 1-8.
- Piper, E.L. and Weiss, A., 1990. Evaluation Ceres-Maize for reduction in plant population of leaf area during the growing season. *Agric. Syst*, 33 (3):199-213.
- Rosenzweig, C. and Goldberg, R., 1998. The effects of climate variability on corn and soybean in the us midwest: a simulation study, national institute for global environmental change. Annual Progress Report for fy 97/98.
- Saka, A.R., Kumvendo, J., Thornton, P.K., Singh, U., Dent, J.B., Craswel, E. (ed.) and Simpson, J., 1994. Modelling of maize growth and development in Malawi, soil fertility and climatic constraints in dryland agriculture. Proceeding of ACIAR-SACCAR workshop, p. 39-43, (30 August-1 September 1993 Harare, Zibabwe).
- Sezen, M., 2000. Çukurova ve Harran ovası koşullarında buğdayda azot-su-verim ilişkilerinin belirlenmesi ve Ceres-Wheat v.3 modelinin test edilmesi (Doktora Tezi) Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana.
- Sezgin, F., 1999. Simülasyon tekniği ve tarımda uygulanişı. 3. Tarımda Bilgisayar Uygulamaları Sempozyomu (TBUS-3) (4-6 Ekim 1999, Adana).
- Şaylan, L., Durak, M. ve Çaldağ, B., 1998. Dünya'da ve Türkiye'de bitki iklim (bitki gelişimi simulasyon) modelleri. s. 275-283, Tarım ve Orman Meteorolojisi'98 Sempozyomu, (21-23 Ekim 1998, İstanbul).
- Tarbell, K. A., Tchong, D. K., Reid, J. F., 1991. Corn growth and development attributes using inductive learning techniques. *Tran. ASAE*, 34(5):2264-2271.
- Toit, A.S, Prinslos, M.A., Westgate, M.E. and Boote, K.J, 2000. Incorporating prolificancy into Ceres-Maize prediction of kernel number, physiology and

- modeling kernel set in maize. Proceeding of a Symposium of the CSSA and ASA, (18-22 October 1998 USA), Crop Science Society of America.
- Topçu, S. ve Tekinel, O., 1994. Bitki büyümesinin modelleştirilmesi, model tipleri ve kullanım alanları. Toprak-Su, Sayı: 1, Ankara.
- Tsuji, G., Uehara, G. and Balas, S., 1994. DSSAT version 3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Whisler, F. D., Acock, B., Baker, D.N., Fye, R.E., Hodges, H. F., Lambert, J. R., Lemmon, H. E., McKinion, J. M., Reddy, V. R., 1986. Crop simulations models in agronomic systems. *Advanced in Agronomy* (40): 140-207.
- Xie, Y., Kiniry, J. R., Ndbalek, V., Rosenthal, W. D., 2001. Maize and sorghum simulations with Ceres-Maize, SORKAM and ALMANAC under water-limiting conditions. *Agronomy Journal*, 93: 1148-1155.