

Buğday (*Triticum aestivum* L.) Veriminin Matematiksel Modellenmesi*

Metin MÜJDECİ¹

Alhan SARIYEV²

Veysel POLAT³

Geliş Tarihi: 15.03.2005

Öz: Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanında üç yıl (2000-2002) boyunca Seri-82 buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidinin yetiştirildiği bir tarla denemesi üzerinde yürütülmüştür. Çalışmada buğday bitkisi için her yıl; fizyolojik olum tarihi, maksimum yaprak alan indeksi, minimum yaprak alan indeksi, hasat indeksi, maksimum fotosentez hızı, solunum hızı ve yaprak alan indeksi sabitesi verileri belirlenmiştir. Günlük fotosentez hızı tahminine yönelik modelde; günlük brüt fotosentez, solunum hızı, maksimum ve günlük yaprak alan indeksi parametreleri kullanılmıştır. Verim tahminine yönelik olarak kullanılan iki model söz konusudur. Modellerden biri sadece fotosentez hızını esas alırken, diğerinde toplam bitki su tüketimi, toprak yüzeyinden maksimum buharlaşma hızı ve çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde miktarındaki maksimum artış hızı parametrelerinden yararlanılmaktadır. Günlük fotosentez hızı değerleri ile gözlenen değerlerin karşılaştırılması sonucu; uyumluluğun ($r=0.95$, $p<0.01$) önemli olduğu belirlenmiştir. Verime ilişkin değerlendirmede ise kullanılan modeller için sırasıyla $r=1.00$, $p<0.01$; $r=0.98$, $p<0.05$ olarak bulunmuştur. Sonuçlar söz konusu modellerin buğday verim tahmininde kullanılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: simülasyon, matematiksel modelleme, buğday verimi, fotosentez

Mathematical Modelling of Wheat Yield (*Triticum aestivum* L.)

Abstract: This study was carried out to mathematical modelling of yield for three years (2000-2002) under Seri-82 wheat plant (*Triticum aestivum* L.) on the field experiment in the university of Çukurova, Faculty of agriculture experimental area. The data of physiological development dates, maximum leaf area index, minimum leaf area index, maximum photosynthesis rate, respiration rate and leaf area index constant were determined for wheat plant each year in study. For model related to estimation of daily photosynthesis rate, daily gross photosynthesis, respiration rate maximum and daily leaf area index were used. These were two model for yield estimation. While the model based and only photosynthesis rate, the other model used total plant water consumption, maximum vaporization rate from soil surface and maximum increase rate of daily dry matter amount for flowering period. The values of model and real experimental values of the were compared to and applied statistical evaluation for daily photosynthesis rate revealed that the model results and observe values were correlated well ($r=0.95$, $p<0.01$) with each other. In addition, the evaluation related to yield indicated that the results of models were correlated with ($r=1.00$, $p<0.01$; $r=0.98$, $p<0.05$ respectively) each other. Consequently, the results of study indicated utilisation of this models for wheat yield estimation.

Key Words: simulation, mathematical modelling, wheat yield, photosynthesis

Giriş

Günümüzde hızla artan insan nüfusunun besin maddeleri gereksinimini karşılama sorunu, bitkisel üretime ayrı bir önem kazandırmaktadır. Bitkisel üretim kapsamında da en önemli yeri buğday tutmaktadır.

Bitkilerin güneş enerjisi yardımıyla klorofile sahip hücrelerde CO₂'i indirgeyerek ve topraktan aldıkları H₂O'yu yükseltgeyerek yaptıkları karbonhidratlar ile gerek duyduğu enerji için harcadıkları arasındaki farka asimilasyon denir (Kacar ve ark. 2002). Davidson ve Filip (1958), çalışmalarında ilk kez bitki büyümesinin ve kuru madde üretiminin fotosentez ve solunumdan matematiksel modelleme yardımıyla hesaplanabildiğini ifade etmişlerdir. Diğer taraftan Meksika'da nispi nemliliği düşük, sulanan ve ılıman bir iklime sahip bir arazide yetiştirdikleri 16 buğday

çeşidinde net fotosentez hızını, stoma iletkenliğini, klorofil içeriğini ve karanlıktaki solunum hızını ölçen (Reynolds ve ark. 2000), bitki gelişiminin farklı dönemlerinde ölçülen net fotosentez hızı ve stoma iletkenliği değerlerinin biomas ve elde edilen ürün ile ilişkili olduğunu vurgulamışlardır.

Modellemeye yönelik araştırmalarda gerçek değerlerin tahmininde başarılı sonuçlar alınmaktadır. (Aksoy ve Sarıyev 1997), Çukurova koşullarında Diyarbakır-81 buğday çeşidinde potansiyel verimlilik ve aktif transpirasyon değerlerini belirlemek amacıyla, Cropsyst bitki gelişim modelini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, modelde belirlenen potansiyel verimlilik, yaprak alan indeksi, spesifik yaprak alanı, sap-yaprak oranı, solar radyasyondan yararlanma katsayısı gibi

* Doktora Tezi'nden hazırlanmıştır.

¹ Süleyman Demirel Üniv. Ziraat Fak. Toprak Bölümü, Isparta

² Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Toprak Bölümü, Balcalı, Adana

³ Çukurova Üniv. Adana Meslek Yüksek Okulu, Adana

parametrelerde Cropsyst modeli hassas bulunmuştur. Yine Çukurova ve Harran ovası koşullarında buğdayda azot-su-verim ilişkilerini belirleyen ve CERES-Wheat bitki büyüme modelini test eden (Sezen 2000), modelin çiçeklenme ve fizyolojik olgunluk değerlerini gerçek değerlere yakın tahmin ettiğini belirtmiştir. Diğer taraftan (Jamieson ve ark. 2000), Arizona eyaletinde farklı N miktarlarının ve atmosferik CO₂ konsantrasyonlarının uygulandığı buğday denemelerinden elde edilen sonuçlarla günlük zaman aralıklı buğday simülasyon modellerinden (AFRCWHEAT2, FASSET ve SIRIUS) elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Modeller yardımıyla tahmin edilen ürün miktarı değerleri ile gerçek ürün miktarı değerleri benzer bulunmuştur.

Bu araştırmada Çukurova bölgesinde yüksek bir verim potansiyeli gösteren Seri-82 buğday çeşidi için toplam bitki su tüketimi, toprak yüzeyinden maksimum buharlaşma hızı, çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde miktarındaki maksimum artış hızı ve fotosentez hızı verileri kullanılarak geliştirilen alt modeller sistemli bir biçimde ilişkilendirilip verim tahmini için öneriler geliştirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü deneme alanında (37° 01' 08"-37° 01' 18" kuzey-35° 21' 45"-35° 21' 33" doğu) Menzilat serisi Alüvyal ana materyal üzerinde oluşmuş Entisol ordosunun Typic Xerofluent alt ordosunda sınıflandırılan bir toprakta üç yıl (2000-2002) boyunca yürütülen ve farklı buğday çeşitlerinin yetiştirildiği bir tarla denemesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Seri-82 ekmeleklik buğday çeşidinin yer aldığı ve tesadüf blokları deneme desenine göre 4

tekerrürlü olarak yürütülen denemede, ekim metrekaresine 450 tohum gelecek şekilde ayak arası mesafe 15 cm olan parsel mibzeri ile 8.0 m uzunluğundaki parsellerde yapılmıştır. Ekimden önce toprağa 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ düzeyinde triple süper fosfat (%42-44) karıştırılmıştır. Azotlu gübre (NH₄NO₃, %33) ekimde, kardeşlenmede, sapa kalkmada ve karınlamada olmak üzere toplam 200 kg ha⁻¹ N olarak 4 eşit parçaya bölünerek uygulanmıştır.

Deneme başlangıcında toprağın hacim ağırlığı (Blake ve Hartge 1986), tekstür (Bouyoucos 1951), toprak su karakteristikleri (Klute 1986), kireç (CaCO₃) (Schlichting ve Blume 1966), tuz (Anonim 1954), toprak pH'sı (Schlichting ve Blume 1966), total azot (Bremmer 1960), yarayışlı fosfor (Olsen ve Watanabe 1957) ve organik madde (Schlichting ve Blume 1966) miktarı belirlenmiştir. Deneme alanı toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile toprak su karakteristik değerlerine ilişkin veriler Çizelge 1 ve 2'de gösterilmiştir.

Buğdayın morfolojik ve fizyolojik özelliklerine ilişkin olarak; bitki gelişme dönemleri, Zadoks büyüme skalasına (ZBS) göre (Zadoks ve ark. 1974); yaprak alan indeksi, birim alandan farklı zamanlarda alınan örneklerde yaprak yakacağından kesilerek elde edilen yaprak ayalarının iz düşüm alanlarının ölçülmesi (LI-3200, Licor Inc.); yaprak fotosentez hızı, ana sapta gelişimini tamamlamış en üst yaprağın orta bölümünde LCA-3 (Carbondioxide Leaf Chamber Analysis System) infrared gaz analiz sistemiyle, biyolojik verim, parsellerden alınan bitki örneklerinin farklı kısımlarının ağırlıklarının ayrı ayrı belirlenmesi ve toplamının bulunması; dane verimi, bitki örneklerinden elde edilen dane ağırlıklarının esas alınması ve hasat indeksi, dane veriminin biyolojik verime oranlanması yoluyla belirlenmiştir. Buğdayın bazı morfolojik ve fizyolojik özellikleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme alanı toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Tekstür sınıfı	Tuz (%)	pH (1:2.5)	CaCO ₃ (%)	Organik madde (%)	P ₂ O ₅ (kg da ⁻¹)
1.30	23.67	22.41	53.92	C	0.07	7.49	26.54	1.17	6.16

Çizelge 2. Deneme alanı toprağının toprak su karakteristik değerleri

0.001 (bar)	0.1 (bar)	0.333 (bar)	1 (bar)	5 (bar)	10 (bar)	15 (bar)
Hacimsel nem (%)						
61.36	42.37	37.73	36.43	27.38	25.20	23.01

Çizelge 3. 2000-2002 yıllarına ait biyolojik verim, dane verimi, hasat indeksi, maksimum yaprak alan indeksi (L_{max}) minimum yaprak alan indeksi (L_{min}) ve maksimum brüt fotosentez hızı (F_{max}) değerleri

Yıl	Biyolojik verim (kg da ⁻¹)	Dane verimi (kg da ⁻¹)	Hasat indeksi (%)	L _{min}	L _{max}	F _{max} (kg ha sa ⁻¹)
2000	1663	649	0.39	0.2	7	29
2001	1152	369	0.32	0.2	7.5	29
2002	1416	637	0.45	0.2	8	29

Modelin sayısal çözümü : Bitki gelişim modeli için bitki türü, ekim tarihi, fizyolojik olum tarihi, maksimum yaprak alan indeksi, minimum yaprak alan indeksi, hasat indeksi, maksimum fotosentez hızı, solunum hızı ve yaprak alan indeksi sabitesi verilerinin gerektiği DELPHI 5.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Söz konusu program meteorolojik verilerin girilerek matematiksel modellenmesi (Poluektov ve ark. 1989 ve Sarıyev 1991) ve istenilen herhangi bir zaman dilimindeki biyomasın (bitki kuru maddesi) bulunması ve bunun hasat indeksi ile çarpılması sonrasında (Bastiaanssen ve Ali 2003) buğday veriminin belirlenmesi esasına göre çalışmaktadır. Meteorolojik verilerin matematiksel modellenmesi kapsamında kısa dalga boylu ışınların intensitesini hesaplamak için Brelyand ilişkisi kullanılmıştır (Brejnev 1992).

Buğdayın arazi yüzeyini kaplamasından başlayarak maksimum yaprak alan indeksine ulaşıldığı döneme (çiçeklenme dönemi) kadar geçen süreye ilişkin yaprak alanı indeksinin (L_t) modellenmesinde Poluektov (1991) tarafından geliştirilen model temel alınmış ve bazı değişikliklerle elde edilen

$$L_t = \frac{L_{\max} * L_{\min} * e^{r_{\max} * t}}{L_{\max} + L_{\min} * (e^{r_{\max} * t} - 1)} \quad [1]$$

eşitliğinden yararlanılmıştır.

Eşitlikte; t ; gün sayısı; L_{\max} ; maksimum yaprak alan indeksi ($m^2 m^{-2}$); L_{\min} ; minimum yaprak alan indeksi; r_{\max} ; yaprak alanı sabitesini (2000, 2001 ve 2002 yılları için sırasıyla 0.0855, 0.0155, 0.0555) belirtmektedir.

Maksimum yaprak alan indeksine ulaşılmamasından sonraki döneme ilişkin yaprak alan indeksinin belirlenmesinde ise

$$L_t = \frac{L_{\max} * L_{\min} * e^{r_{\min} * t}}{L_{\min} + L_{\max} * (e^{r_{\min} * t} - 1)} \quad [2]$$

eşitliğinden yararlanılmıştır.

Eşitlikte; r_{\min} ; maksimum yaprak alanına ulaşılmamasından sonrası için kullanılan sabite (0.0002199).

r_{\max} ve r_{\min} değerleri model değerlerinin ölçüm değerleri ile karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir. r_{\min} değerinin eşitlikte sonuca katkısı gözönüne alındığında her yıl için ayrı belirlenmesi anlamlı olmadığından ortalama bir değer kullanılmıştır.

Bitki stoma direncinin belirlenmesinde, toprak suyunun matrik potansiyeli ve havanın nispi nemi dikkate alınarak geliştirilen yarı ampirik model

$$R_{st} = R_{st\max} * \left(\frac{\psi_s}{\psi_{sk} - a \cdot \psi_s} \cdot \frac{\phi_a}{100 - b \cdot \phi_a} \right) \quad [3]$$

kullanılmıştır (Müjdecı ve ark. 2004).

R_{st} ; stoma direnci ($s \text{ cm}^{-1}$), $R_{st\max}$; maksimum bitki stoma direnci ($s \text{ cm}^{-1}$), ψ_s ; toprak matrik emişi (bar), ψ_{sk} ; kritik toprak matrik emişi ($\psi_{sk}=15$ bar), a ; stoma direncinin matrik emiştenden etkilenme (hassasiyet değeri) katsayısı ($a=0.01$), ϕ_a ; havanın nispi nemi (%), b ; bitki stoma direncinin havanın nispi nemine karşı hassasiyetini belirten değerdir (1.12).

Toprak suyunun matrik potansiyeli, toprak rutubet karakteristik eğrisi modelinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir.

$$P_i = P_D * \exp(A * (\Theta_D - \Theta_i)) \quad [4]$$

burada,

P_i ; matrik potansiyel ($\text{cm H}_2\text{O}$), P_D , toprağın doyunluktaki hacimsel su içeriği, ($15 \text{ cm H}_2\text{O}$), A ; toprak bünyesine bağlı bir katsayı, (24); Θ_D ; doyun durumdaki toprak su içeriği ($0.51 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); Θ_i ; toprağın başlangıç hacimsel su içeriği ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) dir.

Bitki stoma direncinin belirlenmesi sonrası brüt fotosentezin hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Penning De Veries ve Van Laar, 1982).

$$F = \left(\frac{R_{st}}{C} + \frac{1}{\varepsilon * Q_{PAR}} + \frac{1}{F_{\max}} \right)^{-1} \quad [5]$$

Eşitlikte; F ; brüt fotosentez ($\text{kg ha}^{-1} \text{ sa}^{-1}$); R_{st} ; yaprak stoma direnci ($s \text{ cm}^{-1}$); C ; atmosferdeki CO_2 miktarı (610 mg cm^{-3}); ε ; $\sim 0.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ sa}^{-1} \text{ joule m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$, Q_{PAR} ; fotosentetik aktif radyasyon (PAR) miktarı (W m^{-2}); F_{\max} ; maksimum fotosentezi ($\text{kg ha}^{-1} \text{ sa}^{-1}$) belirtmektedir.

F , brüt fotosentez verilerinden yararlanarak solunum miktarının hesaplanması için

$$R = F * K \text{ eşitliği kullanılmıştır.}$$

Burada R ; solunum miktarı, K ; hava sıcaklığına göre 0.1-0.3 aralığında değişen solunum oranı değeri (0.1 olarak alınmıştır).

Net fotosentez miktarının hesaplanması için yukarıdaki eşitliklerden yararlanılarak buğdayın günlük yaprak alan değişimine dayalı aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir.

$$F_n = (F - R) * e^{(b * (L_{\max} - L_t))} \quad [6]$$

Eşitlikte; F_n ; net fotosentez; b ; 0.24 (model değerlerinin ölçüm değerleri ile karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir), L_{\max} ; maksimum yaprak alan indeksi; L_t ; günlük yaprak alan indeksini belirtmektedir.

Buğdayın transpirasyon hızının belirlenmesi için (Poluektov 1991) ve (Bondarenko ve ark. 1982) tarafından geliştirilen eşitlik

$$T = D_q * (q_L(T_L) - q_a(T_a)) * L_t * \rho a \quad [7]$$

kullanılmıştır.

Eşitlikte; T; transpirasyon hızı; D_q; nem iletim katsayısı; q_L; yaprak ortamındaki nispi nem; q_a; havanın nispi nemi; T_L; yaprak sıcaklığı; T_a; hava sıcaklığı; ρa; havanın yoğunluğu (1.2*10⁻³ gr cm⁻³), L_t; yaprak alanı indeksini belirtmektedir.

Biyomas miktarı iki modelle tahmin edilmiştir. Birincisinde [8], bitki tarafından vejetasyon sonuna kadar buharlaştırılan toplam su, topraktan olan maksimum buharlaşma miktarı ve çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde miktarındaki maksimum artış hızı değerlerinin dikkate alındığı aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Hanks ve Ashcroft 1985).

$$V = f * \frac{T}{E_{s_{max}}} \quad [8]$$

Burada; T, bitki tarafından vejetasyon sonuna kadar buharlaştırılan toplam su (cm); f, çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde miktarındaki maksimum artış hızı (115 kg da⁻¹gün⁻¹) (Penning De Veries ve Van Laar 1982); E_{s_{max}}; toprak yüzeyinden maksimum buharlaşma hızı (0.5 cm gün⁻¹); V, tahmin edilen biyomas miktarı (kg da⁻¹).

Biyomasın [9] nolu modelle tahmini, günlük net fotosentez miktarlarının toplanmasıyla gerçekleştirilmiştir.

$$V = \sum_{i=1}^n F_n \quad [9]$$

F_n: Net fotosentez hızıdır.

Her iki modelde'de biyomas değerinin, hasat indeksi ile çarpılmasıyla, tahmin edilen verim hesaplanmıştır.

Model değerleri (tahmin edilen değerler) ile gözlenen değer arasındaki korelasyonun önem testi yapılarak modelin uyumluluğu test edilmiştir (Özçelik, 1994).

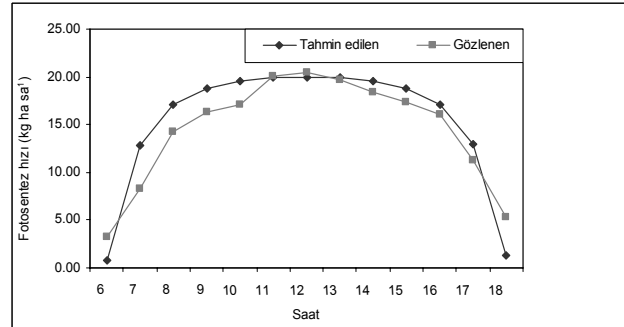
Bulgular ve Tartışma

Fotosentez ve solunum hızı : Bitki gelişiminde fotosentez ve solunum süreci oldukça karmaşık bir olaydır. Bu sürecin çevre ve bitki faktörlerinden (PAR değeri, CO₂ konsantrasyonu, stoma direnci) önemli düzeyde etkilenmesi nedeniyle söz konusu faktörlerin bu sürece yönelik ilişkilendirilmesinde matematiksel modelleme büyük bir kolaylık sağlamaktadır.

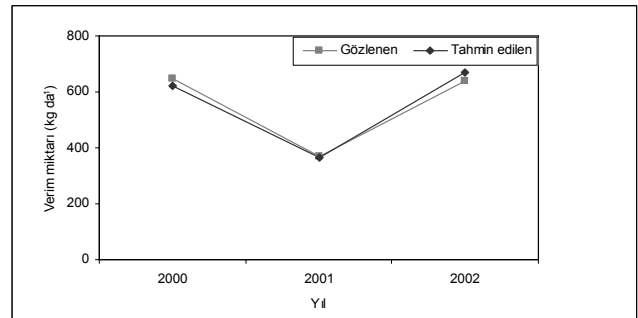
Fotosentez hızı, PAR'ın artışına paralel olarak artar ve saat 12'de maksimuma ulaşır. Çalışmada da, bulutluluk oranının 1 olduğu 06.05.2002 tarihinde gözlenen ve tahmin edilen fotosentez hızı, PAR'un artışına paralel

olarak artmış ve saat 12'de maksimuma ulaşmıştır (Şekil 1). Tahmin edilen değerler büyük bir çoğunlukla gözlenen değerlerden yüksek (0.25-4.5) bulunmuştur. Bunun ilk ve son (sabah saat 06 ve akşam 18) olarak gözlenen fotosentez hızlarının genel dağılıma göre oldukça düşük olması ile ilişkili olduğu ortadadır. Nitekim söz konusu zamanlar için tahmin edilen fotosentez hızı değerlerinin gözlenen değerlere göre daha farklı bulunması da bunu doğrulamaktadır. Fotosentez hızının, gözlenen değerleriyle tahmin edilen değerleri arasındaki korelasyon katsayısı istatistiksel olarak önemli (r=0.95, p<0.01) bulunmuştur (Şekil 1). Dolayısıyla kullanılan model [6] fotosentez hızının tahmininde duyarlı bulunmuştur. Bu bulgular fotosentez hızını, stoma iletkenliğini, klorofil içeriğini ve karanlıktaki solunum hızını ölçen Reynolds ve ark. (2000) tarafından elde edilen araştırma sonuçları tarafından da desteklenmektedir.

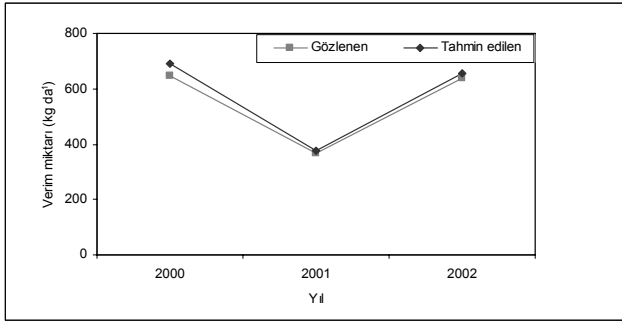
Verim tahmini : Deneme yıllarına ilişkin verim miktarlarının tahmininde kullanılan [8] modele ilişkin veriler Şekil 2' de gösterilmiştir. 2001 yılına ilişkin tahmin edilen ve gözlenen verim miktarları birbirine çok yakın bulunmuştur. 2000 ve 2002 yıllarında ise ortaya çıkan farklılıklar, yaprak alan indeksi modelinde kullanılan L_{max} değerlerinin yıllara göre farklılık göstermesi ve Γ_{max} değerlerinin de modelleme ile elde edilmesi ile ilgilidir. Nitekim modelde kullanılan transpirasyon hızı değerinin belirlenmesine ilişkin eşitlikte yer alan L_t değeri söz konusu bu iki değerden etkilenmektedir. 2000, 2001 ve 2002 yıllarında gözlenen ve tahmin edilen verim miktarları arasındaki korelasyon katsayısı istatistiksel olarak önemli (r=0.98, p<0.05) bulunmuştur (Şekil 2).



Şekil 1. 06.05.2002 tarihinde gözlenen ve tahmin edilen fotosentez hızı değerleri arasındaki ilişkiler (n=13, p<0.01)



[9] nolu modelin kullanılmasıyla üç yıl için de tahmin edilen verim değerleri ölçülen verim değerlerinden biraz daha yüksek bulunmuştur. Gözlenen ve tahmin edilen verim miktarları arasındaki korelasyon katsayısı istatistiksel olarak önemli ($r=1.00$, $p<0.01$) bulunmuştur (Şekil 3). Modellerle tahmin edilen değerler arasında farklılıklar olmakla birlikte modellerde yer alan transpirasyon ve fotosentez hızı parametrelerinin birbiri ile çok yakın ilişkili olması nedeniyle her iki modelin de gözlenen değerlere oldukça yakın değerler verdiği görülmektedir. Benzer bir çalışmada da Aksoy ve Sarıyev (1997) tarafından potansiyel verimlilik, yaprak alan indeksi, spesifik yaprak alanı, sap-yaprak oranı, solar radyasyondan yararlanma katsayısı için Cropsyst bitki gelişim modeli duyarlı bulunmuştur. Modelleme ile gerçek değerlerin tahmininde başarılı sonuçlar alan Jamieson ve ark. (2000), buğday denemelerinde ürün miktarlarını günlük zaman aralıklı buğday simülasyon modelleriyle (AFRCWHEAT2, FASSET ve SIRIUS) tahmin etmişlerdir.



Şekil 3. 2000-2002 yıllarında gözlenen ve tahmin edilen verim miktarları arasındaki ilişkiler (n=3, p<0.01)

Sonuç

Sonuç olarak bu çalışmada buğdayın, fotosentez hızı ve verim tahmini önerisinde ortaya konulan yaklaşımlar büyük çoğunlukla gözlenen değerlere çok yakın değerler vermiştir.

Kaynaklar

- Aksoy, H. ve A. Sarıyev. 1997. Çukurova bölgesinde Arık ve Menzilat toprak serilerinde Cropsyst modeli aracılığıyla Diyarbakır-81 buğday çeşidinde potansiyel verimliliğin hesaplanması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (8):151-158. Adana.
- Anonymous, 1954. Diagnosis and improvement of soil saline and alkaline soils. Agricultural Handbook No: 60.
- Bastiaassen, W. G. M. ve S. Ali. 2003. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements Applied Across the Indus Basin, Pakistan. Agriculture, Ecosystems and Environment 94:321-340.
- Blake, G. R. ve K. H. Hartge. 1986. Bulk density in: Methods of soil analysis, part 1, physical and mineralogical methods. (Ed: A. Klute) Agr. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison WI.p.363-375.
- Bondarenko, H. F., E. E. Jukovsky, I. G. Muskin, S. V. Nerpin, R. A. Poluektov, and I. B. Uskov. 1982. Simulation of agroecosystem productivity. Russia.
- Bouyoucos, G. J. 1951. Hydrometer method improved for marking particle size analysis of soils. Agronomy J. 54:464-465.

- Brejnev, K. 1992. Kocene Sutocnix Norm Prikodyasiy Korotnovolnovori Solnecnoy radiacii. Leningrad, AFI, 76:28-31.
- Bremner, J. M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. J.Agric Sci., 55:11-33.
- Davidson, J. L. ve J. R. Philip. 1958. Light and pasture growth. Climatology and Microclimatology UNESCO, p.181-187.
- Hanks, R. J. ve G. L. Ashcroft. 1985. Applied soil physics, soil water and temperature application. Leningrad, Gidrometoizdat, (translated from Russian).
- Jamieson, P. D., J. Berntsen, F. Ewert, B. A. Kimball, J. E. Olesen, P. J. Pinter Jr, J. R. Porter, and M. A. Semenov. 2000. Modelling CO₂ effecting on wheat with varying nitrogen supplies. Agriculture, Ecosystem and Environment, 82:27-37.
- Kacar, B., V. Katkat ve Ş. Öztürk. 2002. Bitki Fizyolojisi. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No:198, Bursa.
- Klute, A. 1986. Water retention: laboratory methods. In: methods of soil analysis, part 1, physical and mineralogical methods. (Ed: A. Klute)Agr. Monogr.). ASA and SSSA Madison WI. p. 635-662.
- Müjdeci, M., A. Sarıyev, İ. Çelik, Y. Tülün ve H. Karaca. 2004. Investigation of the relationships between stoma resistance and soil water matric potential with other environmental factors in the respect of mathematical modelling of plant water consumption. International Soil Congress, Natural Resource Management for Sustainable Development, June 7-10. 2004 Erzurum-Turkey.
- Olsen, S. R., and F. S. Watanabe. 1957. A Method to Determine a phosphorus Adsorption Maximum for Soils as measured by the Langmuir Isoterm. Soil Science Society American Proc. 21:144-149.
- Özçelik, A. 1994. Ekonometri. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayın no:1323, Ders kitabı: 382, Ankara.
- Penning De Veries, F. W. T. ve H. H. Van Laar. 1982. Simulatin of plant growth and crop production. Russia.
- Poluektov, R. A. 1991. Simulasyon of agroecosystem dynamics s.312, Gidrometoizdat, St-Petersburg. Russia.
- Poluektov, R. A., G. V. Kobilyanski, L. N. Kotovich and A. L. Sarıyev. 1989. Mathematical modelling energy and mass transfer in systems soil-plant-atmosphere. Naucno-Texniceskiy Bülletinpo Agronomiceskoy Fizike AFI. 76:3-18, Leningrad-Russia.
- Reynolds, M. P., M., I. Delgado, M. Gutierrez-Rodriguez and A. Larque-Saavedra. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment I: Genetic Diversity and Crop Productivity, Field Crops Research 66:37-50.
- Sarıyev, A. L. 1991. Bitki gelişim modellerinin Seralarda Adaptasyonu, Matematiksel Modellemesi ve Deneysel Araştırılması. AFİ, Leningrad.
- Schlichting, E., ve E. Blume. 1966. Bodenkundliches Praktikum. Verlag Paul Parey. Hamburg and Berlin.
- Sezen, S. M. 2000. Çukurova ve Harran ovası koşullarında Buğdayda azot-su-verim ilişkilerinin belirlenmesi ve CERES-Wheat V3 bitki büyüme modelinin test edilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.
- Zadoks, J. C., T. T. Chang and C. F. Konzak. 1974. A Decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res., 14: 415-421.

İletişim Adresi:

Metin MÜJDECİ
Süleyman Demirel Üniv. Ziraat Fakültesi
Toprak Bölümü-Isparta
e-mail: mujdecı@ziraat.sdu.edu.tr