

# Sulu ve Kuru Koşullar Altında Kışlık Buğday İçin FAO-AQUACROP Modelinin Performansının Değerlendirilmesi

S. Kale<sup>1</sup>, A.F.Tarı<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Isparta

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Şanlıurfa

**Özet:** Kısıtlı su kullanımında temel amaç, optimum bitki verimi elde edilmesinde sulama suyunu daha az ve etkin kullanmaktır. Farklı su koşullarının verim üzerine etkilerinin değerlendirilmesinde bitki gelişme modelleri önemli bir araçtır. FAO-AQUACROP (Ver. 3.1 plus) bitki modeli; yeterli, kısıtlı veya tamamlayıcı sulama suyu uygulamaları ile kuru koşullar altında, su tüketiminin fonksiyonu olarak verim tahmini yapmaktadır. AquaCrop modeli evapotranspirasyonu, bitki tarafından tüketilen su (transpirasyon) ve toprak yüzeyinden olan buharlaşma (evaporasyon) olarak tahmin ederek, günlük biyokütle verimini hesaplarken günlük transpirasyonu kullanmaktadır. Bu çalışmanın amacı; İç Anadolu Bölgesi gibi yarı kurak iklim koşullarına sahip alanlarda tam ve kısıtlı su koşullarında kışlık buğday için verim tahmininde AquaCrop modelinin kullanılabilirliğinin test edilmesidir. Model Bala Tarım İşletmesinde arazi şartlarında sulu ve susuz koşullar altında elde edilen buğday verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Model tarafından tahmin edilen ve arazide ölçülen değerler istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Ortalama sapma ( $\alpha$ ), standart hata (RMSE) ve model etkinlik katsayısı (E) sırasıyla, biyokütle için 1.16, 1.17 t ha<sup>-1</sup> ve 0.67 ve verim için ise 0.320, 0.326 t ha<sup>-1</sup> ve 0.83 olarak saptanmıştır. Model tarafından kök bölgesindeki toprak nemi, bitki örtü yüzdesi ve dane verimi değerleri doğru bir şekilde tahmin edilirken, biyokütle değerleri yüksek bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** AquaCrop, buğday verimi, su kullanım etkinliği, Bala

## Evaluation of FAO-AQUACROP Model Performance for Winter Wheat under Irrigated and Rainfed Conditions

**Abstract:** The main purpose of deficit irrigation is high water productivity with lesser water supplies to optimum crop yield. Accurate crop development models are important tools in evaluating the effects of different water applications on crop yields. The FAO-AQUACROP model (Ver. 3.1 plus) simulates attainable yields of major herbaceous crops as a function of water consumption under rainfed, supplemental, deficit, and full irrigation conditions. AquaCrop model predicts evapotranspiration as plant water consumption and bare soil evaporation while calculating daily biomass yields uses daily transpiration. The aim of this study; validation and testing of the AQUACROP model for winter wheat under full and deficit irrigated conditions in semi arid condition such as Central Anatolia. Model was evaluated with crop yields which were obtained under rainfed and irrigated condition in Bala Agricultural Enterprise fields. Model prediction and actual results were compared. According to statistical evaluation; average deviation ( $\alpha$ ), standard error (RMSE) and modeling efficiency (E) for biomass and for crop yield was found as 1.16, 1.17 t ha<sup>-1</sup> and 0.67 and 0.320, 0.326 t ha<sup>-1</sup> and 0.83 respectively. Model predicted soil water content in root zone, canopy cover and grain yields with high accuracy but biomass were predicted higher than actual results.

**Key Words:** AquaCrop, wheat yield, water use efficiency, Bala

### GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması nedeniyle endüstri ve içme suyu talebinin de artması tarım sektörüne ayrılan suyun daha etkin kullanımını gerekli kılmaktadır. Bundan dolayı tarım sektöründeki kullanılabilir suyun yönetimi ve planlanması ile ilgili stratejilerin belirlenmesi ulusal ve uluslararası düzeyde önemli hale gelmiştir (Smith, 2000).

Birçok çalışma, teşvik edilen sulama tekniklerinden birinin, bitki gelişme dönemi boyunca gerekli olan sudan daha az suyun kullanıldığı

kısıtlı sulama yöntemlerinin olması gerektiğini göstermektedir (Farre ve Faci, 2009; Kipkorir, 2002; Pereira vd., 2002; Debaek ve Aboudrare, 2004; Fereres ve Soriano, 2007; Ali ve Talukder, 2008; Behera ve Panda, 2009; Blum, 2009; Geerts ve Raes, 2009). Kısıtlı su koşulunda bitkinin strese girmesi ve verimin düşmesi gibi riskler olması kaçınılmaz gibi bir durum gibi görünse de; bitkinin suya hassas olduğu dönemlerde yeterli suyun verilmesi ve daha dayanıklı olduğu dönemlerde su kısıtına gidilmesi bu sorunun çözümü olarak verilebilir

<sup>1</sup>Sorumlu yazar : Sema Kale  
E-posta : semakale@sdu.edu.tr

(Blum, 2009; Geerts ve Raes, 2009). Arazi koşullarında farklı su uygulamalarının bitkiye olan etkisinin incelenmesi çoğu zaman pahalı ve iş gücü gerektirmektedir. Bu gibi durumlarda kısıtlı sulama stratejilerinin geliştirilmesi ve irdelenmesinde bilgisayar modellerinin kullanımı oldukça faydalıdır (Zairi vd., 2000; Kipkorir vd., 2001; Lobell ve Ortiz-Monasterio, 2006; Benli vd., 2007; Heng vd., 2007; Lorite vd., 2007; Pereira vd., 2009; Blum, 2009; Geerts ve Raes, 2009).

Bazı modeller, çeşitli sulama senaryolarında verimi etkileyen farklı faktörleri de bir arada ele alarak optimum su miktarını belirlemede kullanılmaktadır. Ayrıca kısıtlı su koşullarında yüksek su kullanım etkinliğini sağlayan mekanizmaların açığa çıkmasına yardımcı olan farklı alt modeller (Raes vd., 2006, 2009a; Geerts vd., 2009; Steduto vd., 2009) kullanılarak evapotranspirasyondan transpirasyon ve evaporasyonun ayırımı da yapılabilmektedir.

Model kullanılmadan önce kalibrasyon testlerinin yapılması gerekmektedir. Bunun için modeldeki çeşitli girdiler belirli sınırlar içinde değiştirilerek araziden alınan gerçek gözlem değerleri ile karşılaştırılır ve en doğru sonucu veren parametreler elde edilmeye çalışılır (Addiscott vd., 1995; Power, 1993; Nain ve Kersebaum, 2007). Aynı zamanda modelde kullanılan parametreler veya kodlar herhangi bir değişiklik yapılmadan bağımsız girdi olarak kullanılır ve model çalıştırılarak modelin doğruluğu kontrol edilir (Nain ve Kersebaum, 2007; Andarzian vd., 2008; Salazar vd., 2009).

FAO AquaCrop modeli, kısıtlı su koşullarında verim, su gereksinimi ve su kullanım etkinliğini tahmin etmede kullanılmaktadır (Raes vd., 2009b). Model, birçok bitki için çeşitli çevre koşullarında (mısır, pamuk, ayçiçeği, quinoa, buğday vb.) test edilmiştir (Hsiao vd., 2009; Heng vd., 2009; Farahani vd., 2009; Garcia-Via vd., 2009; Todorovic vd., 2009; Geerts vd., 2009; Adarzian vd., 2011). Hepsi modelin bitki verimi ve biyokütlesinin yanı sıra toprak bitki besin elementi stresinde, tam ve kısıtlı sulama

koşulları altında toprak su dinamiğini de doğru bir şekilde tahmin ettiğini belirtmektedir.

Bu çalışmanın amacı; İç Anadolu Bölgesi gibi yarı kurak iklim koşullarına sahip alanlarda sulu ve kuru koşullarda kışlık buğday için verim tahmininde AquaCrop (Ver. 3.1 plus) modelinin kullanılabilirliğinin test edilmesidir.

## MATERYAL VE METOT

Deneme, Ankara Bala Ovası sınırları içerisinde yer alan (39° 30'N ve 32° 53'E, yükseklik 927 m) Bala Tarım İşletmeleri Müdürlüğü'ne ait tarım arazisinde yürütülmüştür. Deneme alanı olarak her biri 10 dekar olan iki büyük parsel kullanılmıştır. Araştırma alanı Şekil 1'de verilmiştir.

### Araştırma yerinin toprak özellikleri

Kızılırmak, Sakarya Havzaları ile kısmen Konya Havzalarına ait topraklar üzerinde yer alan Ankara ili, Orta Anadolu'ya özgü tepelik arazi görünümündedir. Bu tepelerin içinde yer yer yükselerek Ankara'yı kuzeyden ve güneyden çevreleyen genç ve kıvrımlı dağlar, volkanik kökenli olup bölgenin toprak özelliğine etkileri büyüktür. Arazinin kuzeyi daha yüksek ve engebeli olup güneye doğru gittikçe alçalır ve düzleşir. Bu şekilde kuzeyin dağlık görünüşünden güneyin dalgalı yayla ve ovalarına geçilir. Yörenin büyük bir bölümünde toprak kalınlığı



Şekil 1. Araştırma alanı

orta ile sığ arasında değişmektedir (Topraksu 1972). Yine aynı kaynağa göre ilde, Kahverengi topraklar 1.714.542 ha, Kahverengi orman toprakları 252.345 ha, Alüvial topraklar 168.869 ha ve Kolüvial topraklar ise 106.486 ha alan kaplamaktadırlar. Deneme alanına ilişkin bazı toprak özellikleri analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

### Araştırma yerinin iklim özellikleri

Araştırma yöresi denizden uzak ve dağlarla çevrili olduğundan iklim tipik kara iklimidir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Günlük sıcaklık farkları oldukça yüksektir. Bölgede ölçülen en yüksek sıcaklık 40,8 °C, en düşük sıcaklık -21,5 °C’ dir. En sıcak aylar ise Temmuz ve Ağustostur. Ortalama yıllık toplam yağış miktarı 398,6 mm olup, bunun büyük bir kısmı kış aylarında düşer. Yıl içerisinde en düşük yağış Temmuz ve Ağustos aylarında görülür.

Ankara ve yöresinde don olayı oldukça şiddetli bir şekilde seyredir. Donlu günlerin sayısı ortalama 85 gündür. İlkbahar ve sonbaharın erken ve geç donları belli takvim günlerine rastlar. Bu günlerin ilkbaharda 20 Nisan, sonbaharda ise Kasım ayı içinde her gün olması olasıdır. Dolu genellikle ilkbaharda, Nisan ve Mayıs aylarında düşer. Meyve ve diğer ürünlere zarar verecek irilikte ve şiddette olabilir. Bala Meteoroloji

istasyonundan temin edilen deneme alanına ilişkin uzun yıllık ortalama iklim verileri Çizelge 2’de verilmiştir (DMİ, 2011).

### Tarımsal yapı

Ankara ilinde tarım yapılan topraklar toplam arazinin yaklaşık % 48,8’idir. Bu toprakların % 8,5’ inde sulu, % 91,5’ inde kuru tarım yapılmaktadır. Ankara’da hububat-nadas tarım sistemi uygulanmaktadır. Ankara İlinde 901.354 ha alanda tarla ürünleri ekilmektedir. Bunun 807.481 ha’ı tahıldır. Bölgede 43.538 ha alanda sebze, 4.238.977 ha alanda meyve yetiştiriciliği yapılmaktadır (DİE 2002).

Denemede Bayraktar ekmeklik buğday çeşidi kullanılmıştır. Orta Anadolu ve Geçit Bölgelerine uygun, kışlık buğday çeşididir. Orta boylu (100-110mm), kışa dayanıklılığı iyi, kardeşlenmesi orta, erkenci ve yatmaya dayanıklı bir çeşittir. Sarı pas, sürme ve rastık gibi hastalıklara dayanıklıdır.

### AquaCrop (Version 3.1 plus) modelinin tanımlanması

FAO bitki modeli olan AquaCrop (Steduto vd., 2009 ve Andarziana vd., 2011), yeterli, kısıtlı veya tamamlayıcı su uygulamaları ile kuru koşullar altındaki su tüketiminin fonksiyonu olarak elde edilebilecek verimini tahmin etmektedir. AquaCrop modeli ile ayrıca Evapotranspirasyonu

**Çizelge 1.** Deneme alanına ilişkin bazı kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları

| Derinlik  | pH   | EC    | KDK   | CaCO <sub>3</sub> | TK | SN | Sat. | Hac. Ağ. | K <sub>sat</sub> | Bünye sınıfı |
|-----------|------|-------|-------|-------------------|----|----|------|----------|------------------|--------------|
| 0-0,3     | 7,91 | 1,128 | 32,64 | 13,25             | 41 | 22 | 52   | 1,18     | 116              | SiCL         |
| 0,3-0,50  | 7,95 | 0,728 | 35,17 | 12,74             | 39 | 21 | 50   | 1,15     | 110              | CL           |
| 0,50-1,80 | 8,12 | 0,697 | 34,29 | 13,21             | 43 | 23 | 54   | 1,26     | 79               | C            |

Derinlik; Toprak derinliği (m), EC dS m<sup>-1</sup>; Elektriksel İletkenlik, KDK; Katyon Değişim Kapasitesi (me 100 g<sup>-1</sup>), CaCO<sub>3</sub>; Kireç (%), TK; Tarla Kapasitesi (g/g), SN; Solma Noktası (g/g), Hac.Ağ; Hacim Ağırlığı (g cm<sup>-3</sup>), K<sub>sat</sub>.-Doymuş koşullardaki hidrolik iletkenlik (mm gün<sup>-1</sup>), Sat.; Saturasyon SiCL: siltli killi tın (%), CL: Killi tın (%) C: Kil (%).

**Çizelge 2.** Yöreyle ilişkin uzun yıllık ortalama iklim verileri (1975 – 2010)

| İklim verileri                 | AYLAR |      |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      | Ort. Top. |
|--------------------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-----------|
|                                | I     | II   | III  | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX   | X    | XI   | XII  |           |
| Ort. sıcaklık °C               | 0,3   | 2,1  | 6,2  | 11,3  | 16,0  | 20,2  | 23,5  | 23,2  | 18,7 | 13,0 | 6,8  | 2,2  | 11,9      |
| Max. sıcaklık, °C              | 4,3   | 6,7  | 11,9 | 17,2  | 22,2  | 26,6  | 30,2  | 30,2  | 26,0 | 19,6 | 12,3 | 6,1  | 17,7      |
| Min. sıcaklık, °C              | -3,1  | -2,0 | 1,1  | 5,7   | 9,7   | 13,1  | 16,1  | 15,2  | 11,9 | 7,5  | 2,3  | -0,9 | 6,8       |
| Yağış, mm                      | 39,2  | 33,6 | 36,1 | 50,0  | 49,7  | 35,1  | 16,0  | 12,4  | 18,9 | 32,5 | 36,0 | 42,6 | 402,1     |
| Ort. güneş. süresi, h          | 11,1  | 10,4 | 10,6 | 12,1  | 12,3  | 9,3   | 4,1   | 3,2   | 4,2  | 7,5  | 8,9  | 11,0 | 8,7       |
| Nispi nem, mm                  | 72,0  | 71,0 | 60   | 58    | 58    | 50    | 37    | 35    | 41   | 57   | 70   | 79   | 57        |
| Buharlaştırma, mm              | -     | -    | -    | 103,0 | 146,6 | 200,0 | 254,2 | 244,0 | 167  | 95,2 | 44,3 | -    | 1255      |
| Rüzgar hızı, m s <sup>-1</sup> | 1,2   | 1,3  | 1,4  | 1,2   | 1,3   | 1,2   | 1,2   | 1,2   | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,3  | 1,2       |

(ETa) oluşturan transpirasyon (Tr) ve evaporasyonunun (Ea) ayrılmasında da kullanılabilir. Modelin tahmin yaparken kullandığı en önemli anahtar özelliklerinden birisi yaprak alan indeksi (LAI) yerine yeşil örtü yüzdesi (CC) değerlerini kullanmasıdır. Su kısıtının etkisinin ortaya konmasında LAI değerinin varyasyonu etkili olmaktadır. Bu varyasyon bitki modellerinde kritik bir durum oluşturur (Duchemin vd., 2008). Bu nedenle AquaCrop modeli LAI yerine bitki örtüsü değerlerini kullanır. Modelde iklim, bitki, toprak, yönetim (sulama, toprak işleme vb.) ve başlangıç toprak su içeriği değerleri girdi olarak kullanılmaktadır (Raes vd., 2009a). Modelde zaman içerisinde değişmeyen bazı parametreler sabit olarak alınmıştır. Ancak iklim verileri, sulama programı ve bitki ekim yoğunluğunun yanı sıra bölgesel ve kültürel bağımlı değişkenler modelde kullanıcı parametreleri olarak belirtilmektedir ve kullanıcı tarafından girdi olarak modelde kullanılmaktadır.

#### Arazi çalışmaları

AquaCrop modelinin performansını değerlendirmek amacıyla 2001–2002, 2002–2003 yılları arasında Bala Tarım İşletmeleri Müdürlüğü arazisinde sulu ve kuru koşullar altında yetiştirilen kışık buğdaydan elde edilen veriler kullanılmıştır. Buğday ekim işlemleri ekim ayı içerisinde yapılmıştır. Bitki sıra aralığı 17 cm alınarak ekim yapılmış ve metrekaresine ekilen dane sayısı 430 dane m<sup>-2</sup> olmuştur. Toprak analiz sonuçlarına göre gereksinim duyulan azotlu gübrenin ilk yarısı (200 kg ha<sup>-1</sup> Amonyum sülfat, %21 lik) ekimle birlikte uygulanmıştır. Azotlu gübrenin diğer yarısı takip eden yılın Mart ayı içerisinde yapılmıştır (250 kg ha<sup>-1</sup> Amonyum sülfat). Fosforlu gübrenin tamamı (160 kg ha<sup>-1</sup> DAP 18-46-0) ekimle birlikte verilmiştir. Hasat sonrası toplam verim, dane verimi ve biyokütle olarak alınmıştır.

Sulama konusunda bitkinin büyüme dönemleri esas alınmıştır. Sulama uygulaması bitki gelişme dönemlerine göre Çizelge 3’de verildiği şekilde yapılmıştır.

#### Toprak su içeriğinin belirlenmesi

Topraktaki nem izlemeleri gravimetrik yöntemle yapılmıştır. Bu amaçla parsel orta noktalarından alınan toprak örneklerinden nem tayinleri yapılmıştır. Nem izlemeleri, 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm ve 90-120 cm derinliklerde yapılmıştır.

#### Model girdileri

Bitki gelişme dönemi içerisinde kaydedilen ekilen tohum miktarı (bitki yoğunluğu), dane ve biyokütle verimi, çiçeklenme, sararma ve olgunlaşma gibi bitki fenolojik dönemlerine ait tarihleri içeren parametreler bitki girdileri olarak kullanılmıştır. Deneme alanına ait toprak özellikleri (başlangıç toprak nem içeriği, tarla kapasitesi, solma noktası, hidrolik iletkenlik) modelde kullanılmıştır. Kök bölgesindeki toprak nem içeriği düzeyleri gelişme dönemi içerisinde belirli aralıklarla ölçülmüştür. İklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğüne bağlı Bala Meteoroloji İstasyonundan temin edilmiştir. FAOET hesaplama modeli (Version 3 Ocak 2009; Raes vd., 2009b) ile iklim verilerinden günlük maksimum ve minimum hava sıcaklığı (°C), ortalama nispi nem (%), güneşlenme süresi (h gün<sup>-1</sup>) ve 2 m deki ortalama rüzgar hızı (m s<sup>-1</sup>) kullanılarak referans evapotranspirasyon (ET<sub>0</sub>) hesaplanmıştır. Çizelge 4’de ortalama aylık iklim değerleri verilmiştir.

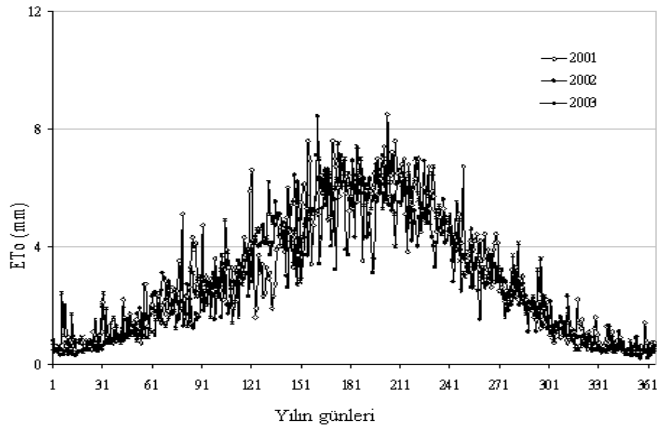
FAO<sub>ET</sub> hesaplama modelinde ET<sub>0</sub> in hesaplanmasında Penman-Monteith eşitliğini kullanılmaktadır. Yıllar itibarıyla deneme alanına ait günlük referans evapotranspirasyon (ET<sub>0</sub>) değerleri Şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 3. Sulama konuları

| Konular                 | Buğday gelişme dönemleri |             |                | Sulama Sayısı |
|-------------------------|--------------------------|-------------|----------------|---------------|
|                         | Ekim                     | Sapa Kalkma | Başak çıkartma |               |
| I <sub>1</sub> (Susuz)  | -                        | -           | -              | 0             |
| I <sub>2</sub> (Tam su) | X                        | X           | X              | 3             |

**Çizelge 4.** Bala, ortalama aylık sıcaklık, nispi nem, rüzgar hızı, güneşlenme süresi ve yağış değerleri

| Aylar   | Sıcaklık (°C) |         | Nispi nem<br>% | Rüzgar hızı<br>m s <sup>-1</sup> | Güneşlenme süresi<br>h gün <sup>-1</sup> | Yağış<br>mm |
|---------|---------------|---------|----------------|----------------------------------|--|-------------|
|         | Maksimum      | Minimum |                |                                  |  |             |
| Ekim    | 20,8          | 4,5     | 56,5           | 0,8                              | 8,2                                      | 0,5         |
| Kasım   | 11,5          | 1,4     | 72,0           | 1,2                              | 4,7                                      | 76,2        |
| Aralık  | 5,6           | -0,7    | 77,0           | 1,3                              | 1,9                                      | 1,7         |
| Ocak    | 7,5           | -2,1    | 72,5           | 0,8                              | 4,1                                      | 3,0         |
| Şubat   | 9,6           | -1,8    | 67,5           | 1,5                              | 3,9                                      | 21,9        |
| Mart    | 18,1          | 3,9     | 58,9           | 1,6                              | 6,3                                      | 20,5        |
| Nisan   | 19,1          | 5,3     | 60,5           | 1,4                              | 7,7                                      | 30,4        |
| Mayıs   | 21,0          | 7,8     | 61,4           | 1,1                              | 7,6                                      | 76,0        |
| Haziran | 29,1          | 12,5    | 47,2           | 1,6                              | 12,4                                     | 1,0         |
| Temmuz  | 33,8          | 17,8    | 51,6           | 1,7                              | 12,0                                     | 0,0         |

**Şekil 2.** Simülasyon periyodu süresince deneme alanına ait günlük referans evapotranspirasyon (ETo)

AquaCrop uygulama kılavuzunda verildiği üzere (Raes vd., 2009b), bazı parametrelerin sabit (conservative) olduğu varsayılmıştır (Çizelge 5). Aynı girdi seti modelin, performans ve geçerliliğinin değerlendirilmesine geçilmeden önce yapılması gerekli olan validasyon (doğrulama) aşamasında kullanılmıştır. Bu parametreler; bitki örtüsü kaplama ve bitki örtüsünün azalma katsayısı, yüzeyin tamamen bitki ile kaplı olduğu durumdaki transpirasyon için bitki katsayısı, biyokütle için su kullanım etkinliği veya su verimliliği (WP), yaprakların büyümesini, stoma iletkenliğini engelleyecek ve bitki örtü yüzeyinin sararmasını hızlandıracak düzeydeki toprak su içeriği eşiği, hasat indeksi katsayısını içermektedir. Bu parametrelerin verilen çok spesifik durumlar dışında geniş aralıklarda kabul edilebilir olduğu varsayılmaktadır. Bu sabit parametrelere ek olarak; özel toprak işleme, bazı yönetim ve çevresel koşullara bağlı durumlar ve çok geniş kullanımları olma-

yan uygulamalarda değişken (non-conservative) parametreler olarak modele kullanıcı tarafından eklenmektedir (Çizelge 6).

Bu parametreler, genellikle bitki gelişim periyodu içerisinde arazide ölçülen veriler kullanılarak tahmin edilmektedir. AquaCrop'ta örtü yüzdesinin kalibrasyonu oldukça önemlidir. Genellikle örtü yüzdesinin yetiştirme periyodu süresince arazide ölçülmesi gerekmektedir. Ancak veri olmadığı durumda; model ekim oranı, tohum ağırlığı, tohum sayısı ve tahmini çimlenme oranı kullanılarak başlangıçtaki örtü yüzdesini tahmin etmeye olanak sağlayacak seçeneği bulundurmaktadır. Modele ilk çıkış tarihi, maksimum bitki örtü yüzdesi, hamur olum dönemi (senecence), olgunlaşma gibi fenolojik tarihler girildiğinde bitki örtü gelişim oranı otomatik olarak hesaplanmaktadır. Çiçeklenme tarihi, çiçeklenme döneminin uzunluğu ve referans hasat indeksi değerleri verimi hesaplanmasında girdi olarak kullanılmaktadır. AquaCrop sıcaklık verilerinden hesaplanmış büyüme derece gün (Growing Degree Day; GDD) dikkate alarak simülasyonları yapmaktadır. Tarım işletmesinde uzun yıllık buğday verim değerleri dikkate alındığında hasat indeksinin % 40 ila % 45 arasında olduğu bulunmuştur. Genel ortalama alınarak HI değeri %42 olarak kabul edilmiştir.

AquaCrop modeli için buğdaya ait bitki parametreleri Çizelge 5 ve 6'da verilmiştir. Çizelge 5'te verilen parametrelere ait değerler buğday

**Çizelge 5.** Simulasyonda kullanılan sabit (conservative) parametreler (Raes vd., 2009b).

| Tanımlama   | Değerler | Birim ve anlamı  |
|---|----------|--|
| Verimin azalmaya başladığı sıcaklık                 | 26       | C  |
| %90 çıkış olduğunda örtü kaplama (CC <sub>o</sub> ) | 6,46     | cm <sup>2</sup>  |
| Örtü gelişme katsayısı (CGC)                        | 0,68     | Herbir GDD* de örtü gelişme oranı %                                      |
| Maksimum örtü yüzdesi (CC <sub>x</sub> )            | 95       | Bitki yoğunluğunun bir fonksiyonu %                                      |
| %100 örtü düzeyinde tran. için bitki katsayısı      | 1,10     | Nispi ET <sub>o</sub> için tam örtü durumundaki transp.                  |
| Hamur olum dön. örtü yüz. azalma kat.(CDC)          | 0,56     | Her GDDde CC düşüşünde CC <sub>x</sub> deki nispi az. %                  |
| Su verimliliği, 2010 değeri. göre düzeltilmiş       | 15       | g (biokütle) m <sup>-2</sup> , atmos. CO <sub>2</sub> 'in bir fonksiyonu |
| Yaprak büyüme eşiği p-üst                           | 0,20     | Toprak su içeriğinin bir fonksiyonu                                      |
| Yaprak büyüme eşiği p-alt                           | 0,65     | Yaprak büyümesinin tamamen durd. nokta                                   |
| Yaprak büyüme stres katsayısı eğim şekli            | 5,0      | Orta düzey dışbükey eğri   |
| Stomatal iletkenlik eşiği p-üst                     | 0,65     | Stomaların kapanmaya başladığı nokta                                     |
| Stomatal stres katsayısı eğim şekli                 | 2,5      | Yüksek düzeyde dışbükey eğri   |
| Sararma stres katsayısı p-üst                       | 0,70     | Bu değer altında erken sararma başlar                                    |
| Sararma stres katsayısı eğim şekli                  | 2,5      | Orta düzey dışbükey eğri   |
| Referans hasat indeksi                              | 42       | %  |

GDD, growing degree days (büyüme derece gün)

**Çizelge 6.** Deneme alanına ait değişken parametreler

| Tanımlama                                   | Değerler   | Birim ve anlamı                     |
|---|------------|-------------------------------------|
| Enlem                                       | 39° 30'    | N                                   |
| Boylam                                      | 33° 17'    | E                                   |
| Rakım                                       | 930        | m                                   |
| Ekim oranı                                  | 160        | kg tohum ha <sup>-1</sup>           |
| 1000 dane ağırlığı                          | 31,60      | g                                   |
| Çimlenme oranı                              | 85         | %                                   |
| Her bir tohumun kapladığı alan              | 1,5        | cm <sup>2</sup> bitki <sup>-1</sup> |
| Bitki yoğunluğu                             | 430,4      | Bitki m <sup>-2</sup>               |
| Ekim tarihi                                 | 15 Ekim    | tarih                               |
| Ekimden itibaren ilk çıkış tarihi           | 13 (131)   | gün(GDD)                            |
| Maksimum bitki örtü kaplama tarihi          | 177 (903)  | gün(GDD)                            |
| Kök uzamasının maksimuma ulaştığı tarih     | 140(604)   | gün(GDD)                            |
| Hamur olum dönemi başlangıcı                | 224 (1546) | gün(GDD)                            |
| Olgunlaşma dönemi ne ulaşma tarihi          | 269 (2415) | gün(GDD)                            |
| Çiçeklenme tarihi                           | 184 (992)  | gün(GDD)                            |
| HI si oluşturacak gelişme periyodu          | 75 (1210)  | gün(GDD)                            |
| Çiçeklenme safhasının süresi                | 16 (185)   | gün(GDD)                            |
| İlk çıkıştan olgun. kadar geçen toplam süre | 257 (2284) | gün(GDD)                            |
| Mimimum etkili kök derinliği                | 0,3        | m                                   |
| Maksimum etkili kök derinliği               | 1,5        | m                                   |
| Hidrolik iletkenlik                         | 25 - 7     | mm gün <sup>-1</sup>                |
| Taban sıcaklık                              | 0          | C                                   |

için daha önceden yapılan çalışmalar dikkate alınarak oluşturulmuş ve çok fazla değişken olmadığı ve sonuçları etkilemediği varsayılmıştır (Raes vd., 2009b). Çizelge 6'daki veriler arazi gözlemleri ile tespit edilerek modelde girdi olarak kullanılmıştır.

### Sulama uygulamaları

Sulamalar yüzey sulama yöntemi ile yapılmış ve her sulamada topraktaki nem tarla kapasite-

sine getirilmiştir. Tam su konusuna uygulanan sulama suyu miktarları Çizelge 7'de verilmiştir.

### Modelin kalibrasyonu

Kalibrasyon, ölçülmüş ve tahmin edilmiş system değişkenleri arasındaki optimal uyumu sağlamak için model girdi parametrelerinin değiştirilmesi işlemidir. Modelin kalibrasyonu 2001-2002 yılları arasında deneme alanından toplanan veya ölçülen veriler kullanılarak yapılmıştır.

**Çizelge 7.** Gelişme dönemlerine göre uygulanan sulama suyu miktarları (mm)

| Yetiştirme periyodu | 2001-2002 Yetiştirme periyodu |                     | 2002-2003 Yetiştirme periyodu |                     |
|---------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|
|                     | Sulama zamanı                 | Sulama suyu miktarı | Sulama zamanı                 | Sulama suyu miktarı |
| Ekim                | 17 Ekim                       | 92                  | 16 Ekim                       | 90                  |
| Sapa kalkma         | 16 Nisan                      | 110                 | 13 Nisan                      | 125                 |
| Başak çıkarma       | 20 Mayıs                      | 145                 | 18 Mayıs                      | 164                 |
| Toplam (mm)         |                               | 347                 |                               | 379                 |

### Model validasyonu

Modelin doğruluğunun saptanmasında validasyon önemli bir aşamadır. Validasyon, arazide ölçülmüş bağımsız verilerin model tarafından tahmin edilmiş verilerle karşılaştırılmasıdır (Andarzian vd. 2011).

Bu çalışmada, toprak su içeriği, bitki örtü yüzdesi, kuru biyokütle ve dane verimi modelin doğruluğunun belirlenmesinde kullanılmıştır. Kalibre edilmiş modelin performansı model kalibrasyonunda kullanılmamış olan 2002-2003 yetiştirme periyodundaki veriler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Modelin geçerliliğinin istatistik değerlendirmesi ölçülmüş ve tahmin edilmiş toprak su içeriği, kuru biyokütle ve dane verimi değerlerinin karşılaştırılması ile yapılmıştır. Ölçülmüş ve tahmin edilmiş değerler arasındaki ilişkinin saptanmasında ortalama mutlak sapma ( $\alpha$ ), standart hata ( $RMSE$ ) ve model etkinlik katsayısı ( $E$ ). Ortalama mutlak sapma, standart hata ve model etkinlik katsayısı eşitlik [1, 2 ve 3] kullanılarak hesaplanmıştır (Janssen ve Heuberger, 1995; Lyman, 1993; Nash ve Sutcliffe, 1970).

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - S_i|}{n} \quad [1]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} \quad [2]$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{avg})^2} \quad [3]$$

Burada n toplam gözlem sayısı,  $O_i$  i gözleme ait değer ölçüm değeri,  $S_i$  i gözleme ait değer model tahmin değeri ve  $O_{avg}$  gözlem değerlerinin ortalaması ( $i=1$ 'den  $n$ 'e kadar)'dır. E değeri negatif sonsuzdan 1'e kadardır. E değerinin 1'e yakın olması model ile gözlem değerleri arasında mükemmel uyumun olduğunu, 0 a yakın olması durumunda ise modelin kullanılmaması gerektiğinin göstergesidir. Model tahminlerini kullanılabilmesi için E değerinin 0.5 ile 1.0 arasında olması gerekmektedir.

### BULGULAR VE TARTIŞMA

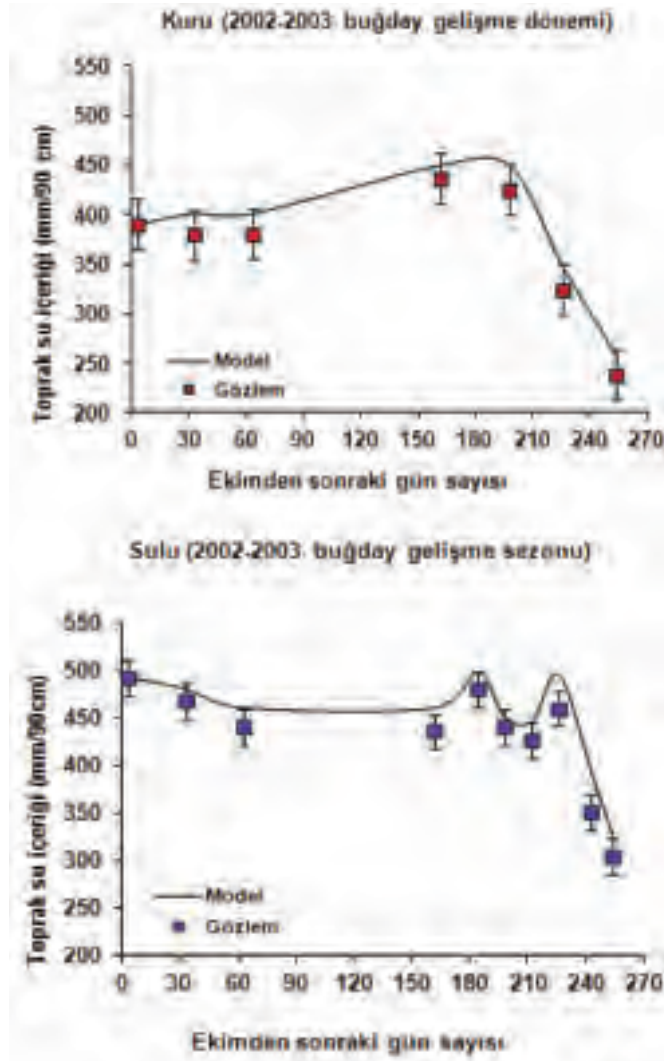
#### Toprak nem içeriği

Gözlem ile saptanan ve model tarafından tahmin edilen toprak nem içeriği değerleri karşılaştırıldığında modelin toprak su dinamiğini iyi bir şekilde tahmin ettiği ortaya çıkmıştır (Şekil 3).

90 cm'de ölçülen toprak nem değerleri ile model tarafından tahmin edilen toprak nem içeriği arasında yapılan istatistik değerlendirme sonuçlarına göre; ortalama sapma, standart hata ve model etkinlik katsayısı susuz konu için sırasıyla, 17,71, 19,41 ve 0,96, tam su konuları için ise sırasıyla 19,90, 22,74 ve 0,95 olarak bulunmuştur (Çizelge 8).

Model, toprak nem içeriği değerlerini arazide ölçülen değerlerden yüksek gösterme eğiliminde olmasına rağmen gözlemlenen toprak nem içeriği ile model tarafından tahmin edilen değerler arasında oldukça önemli bir ilişki ( $R^2$ ; 0,98) bulunmuştur (Şekil 4).

Genel olarak model, toprak nem içeriği değerlerini kabul edilebilir bir doğrulukta tahmin edebilmektedir.



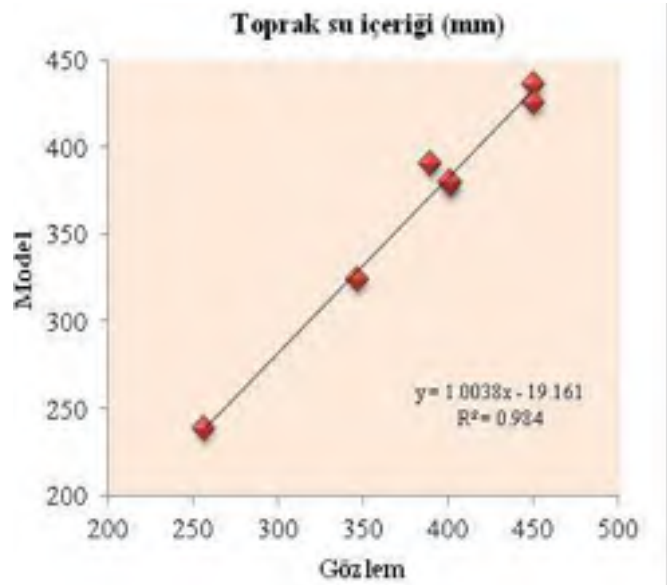
Şekil 3. Model tarafından tahmin edilmiş ve arazide ölçülmüş toprak nem içeriği değerleri

Çizge 8. Toprak nem içeriğine ilişkin istatistikî değerlendirme

| Yıllar   | Konular | $\alpha$ | RMSE  | E    |
|----------|---------|----------|-------|------|
| 002-2003 | Susuz   | 17,71    | 19,41 | 0,96 |
|          | Tam su  | 19,90    | 22,74 | 0,95 |

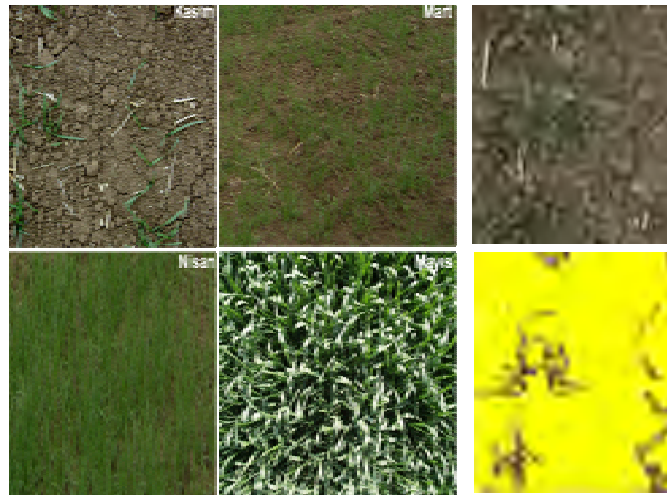
### Bitki örtü yüzdesi

Modelin tahmin yaparken kullandığı en önemli anahtar özelliklerinden birisi yaprak alan indeksi (LAI) yerine bitki örtü yüzdesi (CC) değerlerinin kullanmasıdır. Su kısıtının etkisinin ortaya konmasında LAI değerinin varyasyonu etkili olmaktadır. Bu varyasyon bitki modellerinde kritik bir durum oluşturur. Bu nedenle AquaCrop modeli LAI yerine bitki örtü-sü değerlerini kullanır.



Şekil 4. Gözlemlenen ve model tarafından tahmin edilen toprak nem içeriği arasındaki ilişki

Bitki örtü yüzdesi değerlerinin belirlenmesinde 2002-2003 bitki gelişim periyodu içinde değişik zamanlarda araziden çekilen fotoğraflardan yararlanılmıştır. Çekilen fotoğraflar dijital fotoğraf işleme programı kullanılarak (GreenCrop Tracker) sayısal hale getirilmiş ve bitki örtüsünün toprak yüzeyini kaplama yüzdesi hesaplanmıştır. Şekil 5'de sulu koşulda çekilen fotoğraflara ilişkin örnek verilmiştir.



Şekil 5. Buğday gelişim döneminde arazide çekilen fotoğraflar ve program tarafından işlenmiş haline örnek



Deneme konularına ilişkin 2002-2003 buğday gelişme dönemi içerisinde ölçülen ve model tarafından tahmin edilen bitki örtü yüzdesi değerleri Şekil 6'da verilmiştir.

İstatistiki değerlendirme sonuçlarına göre ortalama sapma, standart hata ve model etkinlik katsayısı susuz ve sulu konular için sırasıyla, 9,00 mm, 11,08 mm ve 0,96 ve 5,88 mm, 6,93 mm ve 0,98 olarak bulunmuştur (Çizelge 9).

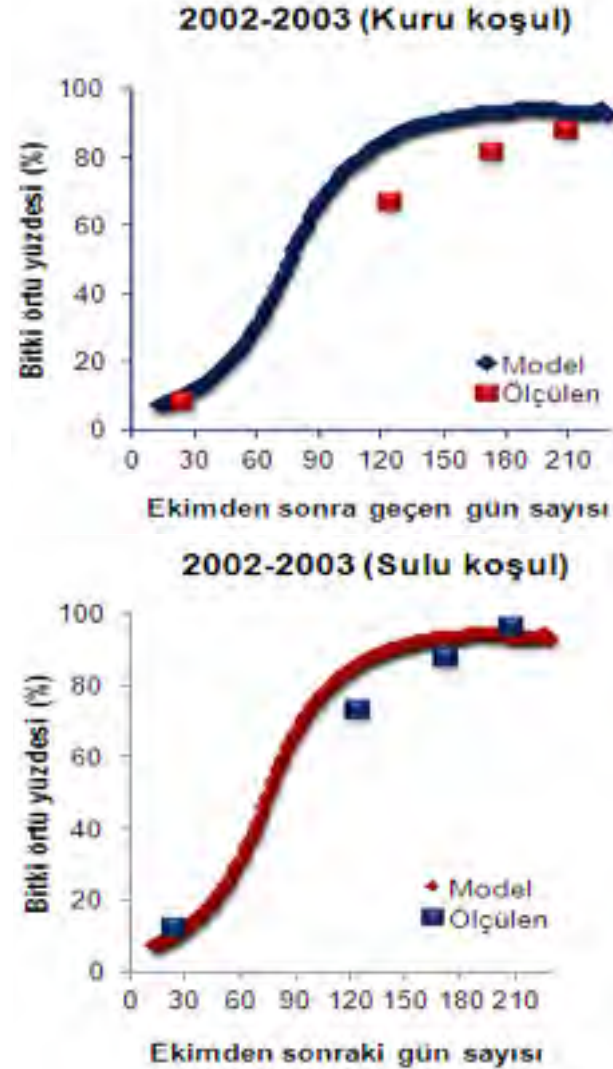
Regresyon katsayısı susuz konuda 0.94 sulu koşulda 0.96 bulunmuştur. Bu da model tahmin değerlerinin gerçek ölçüm değerleri ile uyumlu olduğunun göstergesidir.

### Verim ve biyokütle değerleri

Model tarafından tahmin edilmiş ve arazide ölçülmüş dane verimi ve biyokütle değerleri Şekil 7'de verilmiştir.

Model tahmin değerleri ile arazide hasat sonrası ölçülmüş dane verimi ve biyokütle arasındaki sapma yüzdesi ve istatistiki değerlendirme sonuçları Çizelge 10'da sunulmuştur. 2001-2002 yılı sulu konuya ilişkin veriler kalibrasyon aşamasında kullanıldığı için verim tahmininde bu yılın sulu konusu dikkate alınmamıştır.

Çizelge incelendiğinde biyokütle değerlerindeki sapma yüzdeleri verim değerlerindeki sapma yüzdelerinden yüksek çıkmıştır. Model özellikle kışlık buğday gibi uzun gelişme dönemi olan bitkilerde örtü yüzeyinin karla kaplı



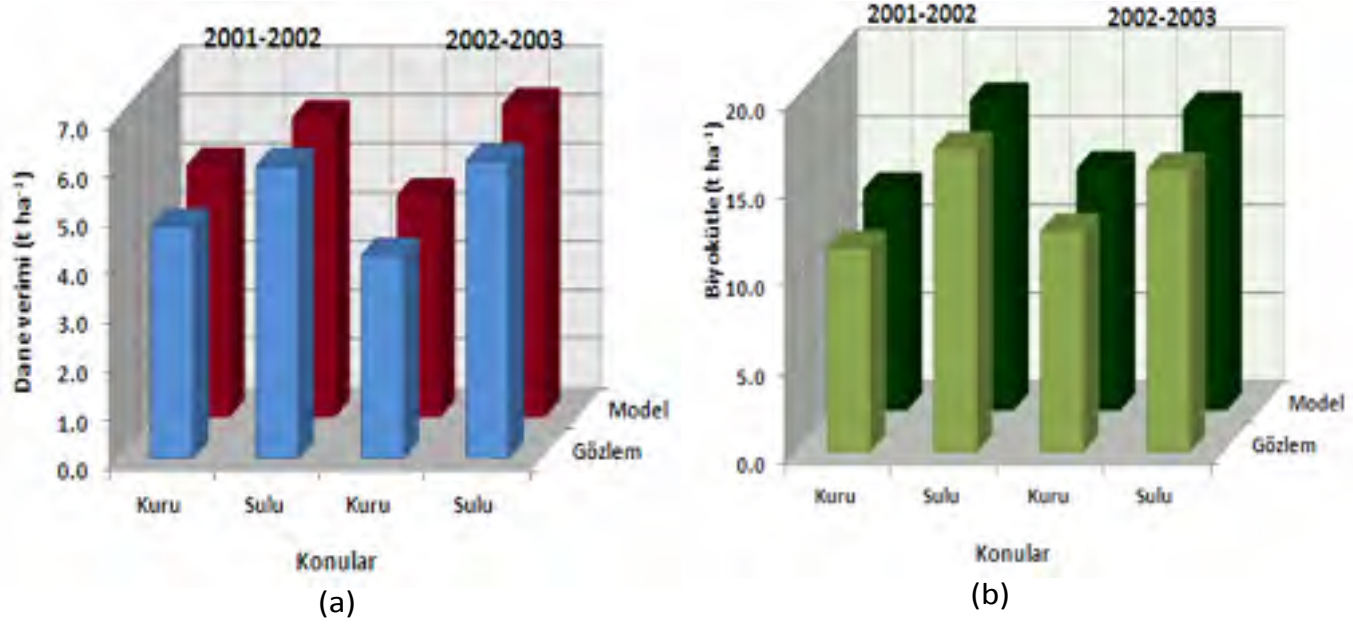
Şekil 6. Model tarafından tahmin edilmiş ve arazi verilerine göre hesaplanmış bitki örtü yüzdesi

Çizelge 9. Konulara göre bitki örtü yüzdesine ilişkin istatistiki değerlendirme

| Yıllar    | Konular | $\alpha$ | RMSE  | E    | $R^2$ |
|-----------|---------|----------|-------|------|-------|
| 2002-2003 | Susuz   | 9,00     | 11,08 | 0,95 | 0,94  |
|           | Tam su  | 5,88     | 6,93  | 0,98 | 0,96  |

Çizelge 10. Ölçülen ve tahmin edilen verim ve biyokütle değerleri

| Yıllar    | Konular                   | Biyokütle          |       |       | Dane verimi        |       |       |
|-----------|---------------------------|--------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
|           |                           | Gözlem             | Model | Sapma | Gözlem             | Model | Sapma |
|           |                           | t ha <sup>-1</sup> |       |       | t ha <sup>-1</sup> |       |       |
|           |                           | %                  |       |       | %                  |       |       |
| 2001-2002 | I <sub>1</sub>            | 11,54              | 13,45 | 16,55 | 4,75               | 5,14  | 8,21  |
|           | I <sub>1</sub>            | 12,51              | 13,98 | 11,55 | 4,15               | 4,52  | 8,92  |
| 2002-2003 | I <sub>2</sub>            | 15,97              | 18,32 | 15,72 | 6,80               | 6,37  | 4,77  |
|           | $\alpha$                  |                    | 1,16  |       |                    | 0,32  |       |
|           | RMSE(t ha <sup>-1</sup> ) |                    | 1,17  |       |                    | 0,33  |       |
|           | E                         |                    | 0,67  |       |                    | 0,83  |       |



Şekil 7. Konulara göre model tarafından tahmin edilen ve ölçülen dane verimi (a) ve biyokütle değerleri (b)

olduğu ve erime sürecini direkt olarak hesaplamaya katmamaktadır. Bu durumda bitki kök gelişimini daha erken tahmin ettiği için yeşil aksam miktarını gerçek değerlere göre daha yüksek tahmin ettiği söylenebilir. Ancak dane verimi olarak model tahmin değerleri ile arazide saptanan verim değerleri karşılaştırıldığında model performansının kabul edilebilir düzeylerde olduğu görülmektedir.

#### Evaporasyon ie transpirasyonun ayrılması

Model tahmin sonuçlarından en önemlilerinden birisi de toprak yüzeyinden olan buharlaşma (Evaporasyon) ile bitki tarafından direkt olarak tüketilen suyun (Transpirasyon) ayrı ayrı tahmin ediliyor olmasıdır. Konulara ilişkin model tarafından tahmin edilen transpirasyon ve evaporasyon yüzdeleri Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 11. Konulara göre evaporasyon ve transpirasyon yüzdeleri

| Yıllar    | Konular | Evaporasyon (%) | Transpirasyon (%) |
|-----------|---------|-----------------|-------------------|
| 2001-2002 | Susuz   | 21,72           | 78,28             |
| 2002-2003 | Susuz   | 30,91           | 69,09             |
|           | Tam su  | 15,89           | 84,11             |

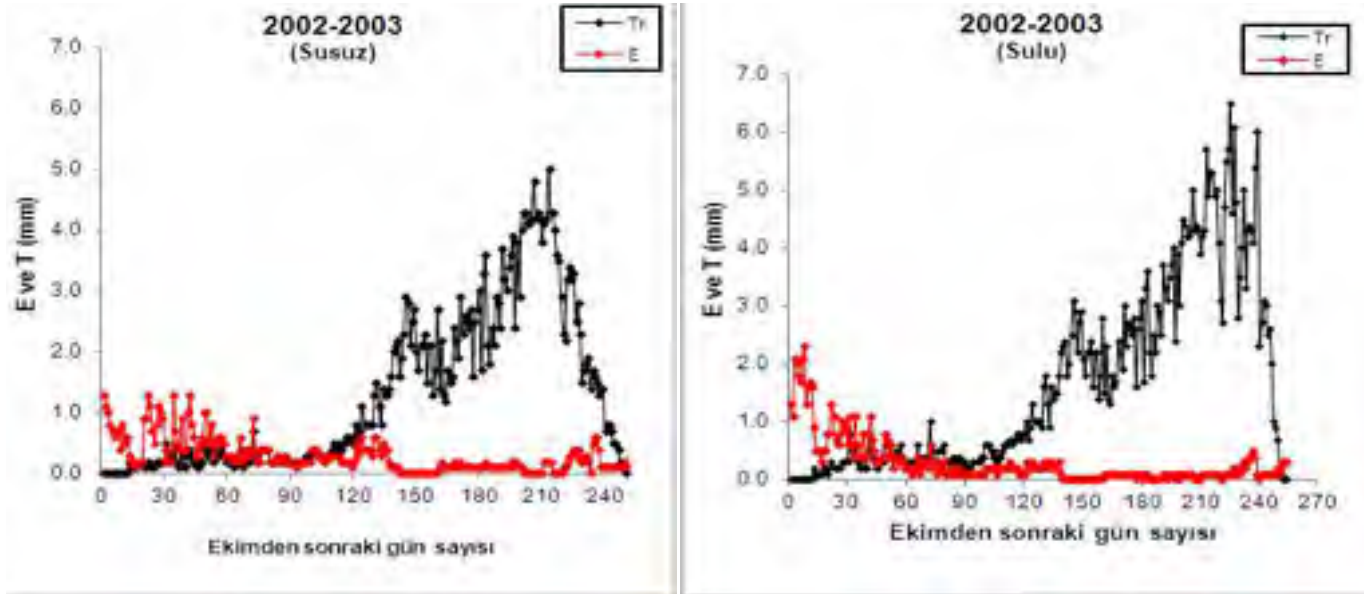
Buğday gelişim periyodu için 2002-2003 yıllarına ait transpirasyon ve evaporasyon değerlerini içeren grafik Şekil 8'de verilmiştir. Buradan da görülebileceği üzere toprak yüzeyinin çıplak olduğu dönemde yüzeyden olan buharlaşma yüksek iken, bitkiden olan terleme düzeyi sifıra yakın, bunun tersi olarak bitki gelişiminin toprak yüzeyini iyice kapladığı dönemde ise toprak yüzeyinden olan buharlaşma sifıra yakın düzeyde seyretmektedir.

Tam su konusunda evaporasyon, transpirasyon ve bitki örtüsü gelişimi arasındaki ilişki ise Şekil 9'da verilmiştir.

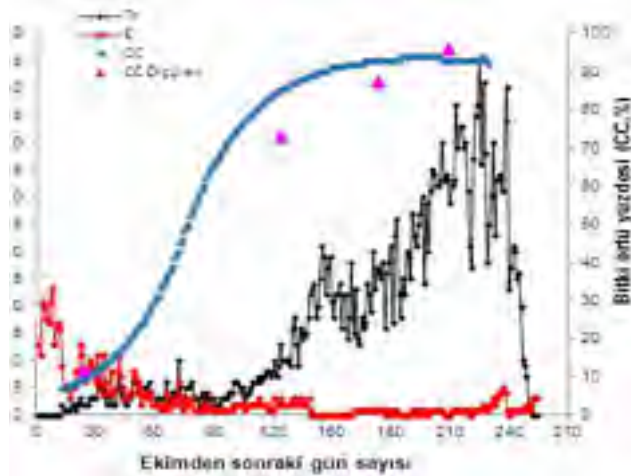
Şekilden bitki örtü yüzdesinin artması ile transpirasyon miktarındaki artışın uyumu açıkça görülebilmektedir.

#### SONUÇ

Yapılan değerlendirmeler; FAO-AQUACROP modelin bitki kök bölgesindeki toprak nemini, bitki örtü yüzdesini ve dane verimini doğru bir şekilde tahmin ettiğini ortaya koymuştur.



Şekil 8. AquaCrop tarafından tahmin edilen evaporasyon ve transpirasyon değerleri



Şekil 9. Tam su konusunda evaporasyon, transpirasyon ve bitki örtüsü gelişimi arasındaki ilişki

### Modelin kullanılması ile;

- Belirli bir alandaki, bir işletmedeki veya bir bölgedeki verim açığının ortaya konması,
- Kıyaslama aracı olarak, verilen bölgede ulaşılabilecek maksimum verim ile mevcut koşullarda veya çeşitli kısıtlar altında elde edilen verimin karşılaştırılmasının yapılması,
- Kurak koşullarda elde edilen uzun yıllık verimin değerlendirilmesi,

- Maksimum verimin elde edebilecek sulama programlarının (dönemsel ve işletimsel kararların alınması) geliştirilmesi,
- Farklı iklim senaryolarının karşılaştırılması,
- Kısıtlı ve tamamlayıcı sulama programlarının oluşturulması,
- Oluşturulmuş sulama programlarının verime olan etkilerinin değerlendirilmesi,
- Geleceğe yönelik iklim senaryolarının analizlerinin yapılması,
- Kısıtlı su kaynaklarının optimizasyonu (ekonomik, yeterlilik ve sürdürülebilirlik kriterleri gibi),
- Verim üzerine yetersiz gübreleme etkilerinin ve su gübre etkileşiminin değerlendirilmesi,
- Su dağıtımı ve diğer su politikası ile ilgili olaylarda karar vericilere kolaylık sağlanması mümkün olabilecektir.

## KAYNAKLAR

- Addiscott T, Smith J, Bradbury N (1995). Critical evaluation of models and their parameters. *J. Environ. Qual.* 24, 803–807.
- Ali M.H, Talukder M.S.U (2008). Increasing water productivity in crop production. A synthesis. *Agric. Water Manage.* 95, 1201–1213.
- Andarzian B, Bannayanb M, Steduto P, Mazraeha H, Baratid M.E, Baratie M.A., Rahnamaa A (2011). Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agric. Water Manage.* 100; 1– 8.
- Andarzian B, Bakhshandeh A.M, Bannayan M, Emam, G, Fathi, G, Alami Saeed G (2008). WheatPot: a simple model for spring wheat yield potential using monthly weather data. *Biosyst. Eng.* 99, 487–495.
- Behera S.K, Panda R.K (2009). Integrated management of irrigation water and fertilizers for wheat crop using field experiments and simulation modeling. *Agric. Water Manage.* 96, 1532–1540.
- Benli B, Pala M, Stockle C, Oweis T (2007). Assessment of winter wheat production under early sowing with supplemental irrigation in a cold high land environment using CropSyst simulation model. *Agric. Water Manage.* 93, 45–53.
- Blum F. A (2009). Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Res.* 112, 119–123.
- Debaek P, Aboudrare A (2004). Adaptations of crop manage to water-limited environments. *Eur. J. Agron.* 21, 433–446.
- DİE. Tarımsal Yapı ve Üretim (2002). Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü Yayınları No: 2614.
- DMİ (2011). Meteoroloji Bülteni, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Duchemin B, Maisongrande P, Boulet G, Benhadj I (2008). A simple algorithm for yield estimates: calibration and evaluation for semi-arid irrigated winter wheat monitored with groundbased remotely-sensed data, *Environ. Modell. Softw.*, 23, 876– 892.
- Farahani H.J, Izzi G, Oweis T.Y (2009). Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. *Agron. J.* 101, 469–476.
- Farre F, Faci J.M (2009). Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. *Agric. Water Manage.* 96, 384–394.
- Fereres E, Soriano M.A (2007). Deficit irrigation for predicting agricultural water use. *J. Exp. Bot.* 58, 147–159.
- Garcia-Via M, Fereres E, Mateos L, Orgaz F, Steduto P (2009). Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. *Agron. J.* 101, 477–487.
- Geerts S, Raes D (2009). Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agric. Water Manage.* 96, 1275–1284.
- Geerts S, Raes D, Gracia M, Miranda R, Cusicanqui J.A, Taboada C, Mendoza j, Huanca R, Mamani A, Condori O, Mamani J, Morales B, Osco V, Steduto P (2009). Simulating yield response of Quinoa to water availability with AquaCrop. *Agron. J.* 101, 499–508.
- Heng L.K, Asseng S, Mejahed K, Rusan M (2007). Optimizing wheat productivity in two rainfed environments of the west Asia-North Africa region using a simulation model. *Eur. J. Agron.* 26, 121–129.
- Heng L.K, Hsiao T.C, Evett S, Howell T, Steduto P (2009). Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agron. J.* 101, 488–498.
- Hsiao T.C, Heng L.K, Steduto P, Rojas-Lara B, Raes D, Fereres E (2009). AquaCrop-the FAO crop model to simulate yield response to water III parameterization and testing for maize. *Agron. J.* 101, 448-459.
- Janssen P.H.M, Heuberger P.S.C (1995). Calibration of process- oriented models. *Ecol Model* 83, 55-66.
- Kipkorir E.C (2002). Optimal planning of deficit irrigation for multiple crop systems according to user specified strategy. *Dissertations de Agricultura No. 514. Fac. of Agr. Sciences. K.U. Leuven University, Belgium.*
- Kipkorir E.C, Raes D, Labadie J (2001). Optimal allocation of short-term irrigation supply. *Irrig. Drain. Syst.* 15, 247–267.
- Lobell D.B, Ortiz-Monasterio J.I (2006). Evaluating strategies for improved water use in spring wheat with CERES. *Agric. Water Manage.* 84, 249–258.

- Lorite I.J, Mateos L, Orgaz F, Fereres E (2007). Assessing deficit irrigation strategies at the level of an irrigation district. *Agric. Water Manage.* 91, 51–60.
- Lyman O.R (1993). An introduction to statistical methods and data analysis. Duxbury Press, Belmont, CA, USA. pp. 247-250.
- Nain A.S, Kersebaum K.Ch (2007). Calibration and validation of CERES-wheat model for simulating water and nutrients in Germany. In: Kersebaum, K.Ch., et al. (Eds.), *Modeling Water and Nutrient Dynamics in Soil-Crop Systems*. Springer, pp. 161–181.
- Nash J.E, Sutcliffe J.V (1970). River flow forecasting through conceptual models: Part I - A discussion of principles. *J. Hydrology* 10, 282-290.
- Pereira L.S, Oweis T, Zairi A (2002). Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manage.* 57, 175–206.
- Pereira L.S, Paredes P, Sholpankulov E.D, Inchenkova O.P, Teodor P.R, Horst M.G (2009). Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. *Agric. Water Manage.* 96, 723–735.
- Power M (1993). The predictive validation of ecological and environmental models. *Ecol. Model.* 68, 33–50.
- Raes D, Geerts S, Kipkorir E, Wellens J, Sahli A (2006). Simulation of yield decline as result of water stress with a robust soil water balance model. *Agric. Water Manage.* 81, 335–357.
- Raes D, Steduto P, Hsiao T.C, Fereres E (2009a). AquaCrop-the FAO crop model to simulate yield response to water. II. Main algorithms and software description. *Agron. J.* 101, 438–447.
- Raes D, Steduto P, Hsiao T.C, Fereres E (2009b). AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: Reference Manual Annexes., [www.fao.org/nr/water/aquacrop.html](http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html).
- Raes D, Steduto P, Hsiao T.C, Fereres E (2009b). Crop Water Productivity. Calculation Procedures and Calibration Guidance. AquaCrop version 3.0. FAO, Land and Water Development Division, Rome.
- Salazar O, Wesstrom I, Youssef M.A, Wayne Skaggs R, Joel A (2009). Evaluation of the DRAINMOD-N II model for predicting nitrogen losses in loamy sand under cultivation in southeast Sweden. *Agric. Water Manage.* 96, 267–281.
- Smith M (2000). The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. *Agric. Forest Meteorol.* 103, 99–108.
- Steduto P, Hsiao T.C, Raes D, Fereres E (2009). AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water. I. Concepts and underlying principles. *Agron. J.* 101, 426–437.
- Todorovic M, Albrizio R, Zivotic L, Abi saab M, Stwckle C, Steduto P (2009). Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agron. J.* 101, 509–521.
- Topraksu (1972). Ankara İli Toprak Kaynağı Envanter Raporu. TOPRAKSU Genel Müdürlüğü Yayın No: 162.
- Zairi A, El Amami H, Satni A, Derouiche A, Pereira L.S, Rodrigues P, Texeria J.L (2000). Irrigation scheduling strategies for horticultural field crops under limited water availability. *Acta Hortic.* 537, 503–510.