



Araştırma Makalesi/Research Article

FAO AquaCrop Modeli Kullanılarak Farklı Sulama Programı Koşullarında Patates Bitkisinde Verim Tahmini

Derya Beyhan Yiğit^{1*}

Burak Nazmi Candoğan²

¹Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa

²Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa

*Sorumlu yazar: derya.byhn@gmail.com, deryabeyhan@dsi.gov.tr

Geliş Tarihi: 30.01.2019

Kabul Tarihi: 21.03.2019

Öz

AquaCrop, 2009 yılında Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilmiş farklı sulama stratejileri ve doğal koşullarda bitki gelişimini ve gelişim sonunda elde edilebilecek verimi tahmin eden bir simülasyon modelidir. AquaCrop'un geliştirilme felsefesi su odaklıdır. Model, bitki su tüketimi ve verimin tahmin edilmesinde, atmosfer, bitki, toprak ve yönetim (sulama, gübreleme vb.) bileşenlerini girdi olarak kullanmaktadır. Bitki su tüketiminin tahmin edilmesinde, bitki terlemesi ve topraktan buharlaşmayı ayırmakta ve bitki gelişiminin simüle edilmesinde yaprak alan indeksi yerine örtü yüzdesi parametresini kullanarak sonuca ulaşmaktadır.

Bu çalışmada, AquaCrop modeli kullanılarak Güney Marmara Bölgesinde geniş çaplı yetiştiriciliği yapılan Hermes patates çeşidi için damla sulama yöntemi altında iki farklı sulama programı oluşturulmuş ve kuru verim tahmin edilmiştir. Birinci sulama programı (S1), toprak su içeriğinin patates bitkisi için stomaların kapanmaya başladığı toprak suyu tüketim seviyesine düştüğünde, tarla kapasitesine tamamlayacak miktarda sulama suyu uygulanması şeklinde modele tanımlanmıştır. İkinci sulama programı (S2) toprak su içeriğinin S1 sulama programında belirtilen kritik düzeyin yarısına düşüncü tarla kapasitesine tamamlayacak miktarda sulama suyu uygulanması şeklinde oluşturulmuştur. Sonuç olarak, S1 ve S2 sulama programları için sırasıyla 9.685 t ha⁻¹ ve 9.535 t ha⁻¹ olmak üzere birbirine yakın kuru verim değerleri tahmin edilmiş ve suyun tasarruflu kullanımı bakımından S1 sulama programı öne çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Verim tahmini, Sulama, Patates, FAO AquaCrop

Estimation of Potato Yield Using FAO AquaCrop Model Under Different Irrigation Schedules

Abstract

AquaCrop simulates attainable yields of major herbaceous crops as a function of water consumption under different irrigation strategies and natural conditions that was developed by United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) in 2009. The growth engine of AquaCrop is water-driven. Input consists of weather data, crop and soil characteristics, and management practices (irrigation, fertilization etc.) that define the environment in which the crop will develop. The model separate evapotranspiration which into soil evaporation and crop transpiration avoids the confounding effect of the non-productive consumptive use of water (soil evaporation) and instead of leaf area index AquaCrop uses green canopy cover to express foliage development.

In this study, two different irrigation schedules were created under the drip irrigation method for the Hermes potato variety grown in the Southern Marmara Region using the AquaCrop model and the dry yield was estimated. The first irrigation schedule (S1) is described as the application of irrigation water to the field capacity, when the soil water content falls below the soil water depletion level at which the stomata closure begin for the potato plant. The second (S2) is defined as the application of irrigation water that will meet the field capacity to half of the critical level specified in the S1 irrigation schedule. As a result, close dry yield values of 9 685 t ha⁻¹ and 9 535 t h⁻¹ were estimated for S1 and S2 irrigation schedule, respectively. S1 irrigation schedule came to the fore in terms of water saving use.

Key words: Yield estimation, Irrigation, Potato, FAO AquaCrop

Giriş

Patates üretimi, Türkiye'de 1970 yılı ve sonrasında ivme kazanmış ve üretimin %80'i Bursa'nın da aralarında bulunduğu 14 ilde gerçekleşmektedir (Arioğlu ve ark., 2006). Ülkemizde



patates üretimi yapılan tarım alanı azalırken, verim artmış ve 2006 yılında 4.366.000 ton olan toplam patates üretimi, 2015 yılında 4.760.000 ton' a ulaşmıştır. Patates üretiminin talep doğrultusundaki yeterlilik derecesi ise %100'e yakınlık göstermektedir. Patates tohumu üretim miktarı ise 2002 yılında 21.375 ton civarında iken 2015 yılında sekiz kat artış göstererek 175.397 ton' a ulaşmıştır (GTHB-BUGEM, 2016).

Patates bitkisinde sulama çalışmaları üzerine literatür incelendiğinde; Doorenbos ve Kassam (1979) patates bitkisinde sulama sezonu boyunca toprağın kullanılabilir su tutma kapasitesinin (TAW) %50'den fazla tüketilmesi durumunda verimde kayıpların yaşanabileceği ve patatesin su tüketiminin (ET_c) koşullara bağlı olarak 500-700 mm arasında değişebileceğini belirtmişlerdir. Konya Ovası'nda yürütülen patates bitkisinde sulama yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmada, 3 farklı sulama yöntemi (damla, yağmurlama ve karık sulama) altında yetiştiricilik yapılmış, en az ET_c değeri damla sulama yöntemi için ortalama 572 mm olarak bulunmuştur (Yavuz, 2011). Bursa İli Yenişehir İlçesinde yetiştiriciliği yapılan Hermes patates çeşidinde, damla sulama yöntemi ile uygulanan kısıntılı sulamanın verime etkisinin belirlenmesi amacıyla iki yıl süreyle yürütülen çalışma sonucunda, kısıntılı sulamanın bitki verimi üzerinde önemli etkileri gözlenmiştir (Ayas, 2007). Hindistan'da yürütülen diğer bir çalışmada, TAW'nın %60 ve %75'i tüketildiğinde eksilen suyun tarla kapasitesine ulaştırıldığı deneme konularında patates veriminde önemli azalmalar meydana gelmiştir (Kashyap ve Panda, 2003).

Diğer taraftan arazi çalışmaları yanında, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle, bitki gelişim süreçlerini simüle eden (tasvir eden) bilgisayar programları giderek önem kazanmıştır. Bitki gelişimi simülasyon modelleri olarak tanımlanan bu programlar sulama zamanının belirlenmesinde ve bitki gelişim süreçlerinin izlenebilmesinde kullanılmaktadır. Atmosfer-bitki-toprak-su ilişkisini daha iyi analiz etmek için kullanılan bitki gelişim simülasyon modelleri ile toprak, bitki ve iklim bileşenlerinin bitki gelişimine ve verime olan etkilerini belirlemek mümkün olmaktadır (Yazgan ve Tatar, 2003). Bu amaçla, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), 2009 yılında, AquaCrop adında tam, kısıntılı, destekleyici sulama koşulları ve yağışa dayalı koşullarda bitki gelişimini ve elde edilebilecek verimi tahmin eden bir simülasyon modeli geliştirmiştir (Steduto ve ark., 2009). Model ET_c'den yola çıkarak, elde edilmesi beklenen verimi tahmin edebilen ve bitki gelişimini görsel olarak simüle edebilen bir bitki gelişim benzeşim modelidir. AquaCrop, mısır (Hsiao ve ark., 2009), pamuk (García-Vila ve ark., 2009), ayçiçeği (Todorovic ve ark., 2009), kinoa (Geerts ve ark., 2009), arpa (Araya ve ark., 2010), kolza (Zeke ve ark., 2011) ve kışlık buğday (Kale ve Tarı, 2012) bitkileri için test edilmiş ve verim doğru olarak tahmin edilebilmiştir. Bununla birlikte, AquaCrop modelinin farklı iklim, toprak ve bitki koşullarında alternatif sulama programları altında test edilerek uygunluğunun belirlenmesi önemlidir.

Bu çalışmada temel olarak, Marmara Bölgesi'nin güney-doğusunda yer alan yarı-nemli iklim koşullarının hüküm sürdüğü, Türkiye patates üretiminde büyük bir paya sahip Bursa İli (Ayas, 2007) baz alınarak, AquaCrop 5.0 modeli ile farklı sulama programlarının oluşturulması, patates bitkisi verim tahminlerinin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

AquaCrop Modeli

Bu çalışmada, damla sulama yöntemi ve farklı sulama programı koşullarında patates ET_c değerleri, sulama suyu ihtiyacı ve verim tahmini için FAO resmi internet sitesinden edinilen AquaCrop 5.0 modeli (FAO, 2015) kullanılmıştır. AquaCrop 5.0 modelinin bilimsel temeli Steduto ve ark. (2009), Raes ve ark. (2009) ve Hsiao ark. (2009) tarafından açıklanmıştır.

AquaCrop, suya verim tepkisini kestirmek için diğer simülasyon modellerine göre nispeten daha az sayıda parametre ve girdi verisine gereksinim duyan su odaklı çalışan bir modeldir. Bitkinin yetiştirileceği çevreyi tanımlamada yardımcı iklim verileri, toprak ve bitki özellikleri ile bitki yönetim uygulamaları girdi verilerini oluşturmaktadır. Girdiler; iklim, bitki, toprak ve yönetim dosyalarında saklanmakta ve kolayca kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir (Raes ve ark., 2011).

İklim Verileri

Bursa İli Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'ne ait merkez meteoroloji istasyonu uzun yıllar aylık ortalama meteorolojik verileri Çizelge 1'de verilmiştir (MGM, 2013). Yıllık toplam yağış miktarı (698.1 mm) dikkate alındığında, bölgede yarı-nemli iklim koşulları hüküm sürmektedir



(Jensen, 1980). Ayrıca Bursa İli Aydeniz, Erinç ve Thornthwaite iklim sınıflandırmalarına göre yarı nemli, DeMartonne iklim sınıflandırmasına göre de yarı kurak-nemli arası bir iklime sahiptir (MGM, 2018).

Çizelge 1. Çalışma alanına ilişkin uzun yıllar aylık ortalama iklim verileri (1970-2012)

Aylar	En düşük sıcaklık (°C)	En yüksek sıcaklık (°C)	Nispi nem (%)	Ortalama rüzgar hızı (m s ⁻¹)	Günlük toplam güneşlenme süresi (saat)	Yağış (mm)
Ocak	1,6	9,6	72	2,3	4,0	80,3
Şubat	2,0	10,7	71	2,4	3,2	72,2
Mart	3,6	13,8	70	2,3	4,1	67,4
Nisan	7,3	18,8	68	2,1	5,5	66,7
Mayıs	11,2	23,7	66	2,0	7,8	45,1
Haziran	15,1	28,5	59	2,0	9,9	33,4
Temmuz	17,5	30,8	58	2,2	10,6	17,1
Ağustos	17,3	30,7	60	2,1	9,7	16,5
Eylül	13,7	27,1	66	1,8	7,7	40,4
Ekim	10,1	21,6	72	1,6	5,3	75,2
Kasım	5,6	15,9	73	1,7	5,0	80,6
Aralık	3,3	11,3	73	2,2	2,9	103,2
Ort./Top.	9,0	20,2	67	2,1	6,3	698,1

AquaCrop'un iklim bileşeni ve girdi olarak kullanılan diğer meteorolojik değişkenler (CO₂ konsantrasyonu vb.) modelin iklimsel verilerini oluşturmaktadır (Steduto ve ark., 2009). AquaCrop'u çalıştırmak için; referans bitki su tüketimi (ET_o), en düşük ve en yüksek hava sıcaklıkları, yağış ve atmosferdeki yıllık ortalama CO₂ konsantrasyonu olmak üzere 4 atmosferik girdi kullanılmaktadır. CO₂ konsantrasyonu Hawaii Maura Loa Rasathanesi kayıtlarından elde edilmektedir (Raes ve ark., 2011). AquaCrop 5.0, referans bitki su tüketimi (ET_o) hesaplamasını içermemektedir. Çalışmada, FAO'nun resmi internet sitesinden sağlanan ET_o hesaplayıcı ile uzun yıllar aylık ortalama en düşük sıcaklık, en yüksek sıcaklık, nispi nem, ortalama rüzgar hızı ve günlük güneşlenme süresi iklim verilerinden yararlanarak her bir ay için günlük ortalama ET_o değerleri hesaplanmıştır (Raes, 2012).

Bitki Verileri

Modelde, Güney Marmara'da ve Bursa İli ve ilçelerinde yetiştiriciliği yapılan patates bitkisi (*Solanum tuberosum* L.) özellikleri kullanılmıştır. Bu özellikler Çizelge 2'de verilmiştir (Stern ve Donald, 1963, Ayas, 2007; Mazurczyk ve ark., 2009). Yapılan literatür araştırması sonucu patates için en uygun yaprak alan indeksi (LAI) değeri 3,5 (Harper, 1963) olarak belirlenmiş ve bu değer kullanılarak en yüksek örtü yüzdesi değeri (CC_x) %91 olarak bulunmuştur (Ritchie 1972; Belmans ve ark., 1983; Ritchie ve ark., 1985; Farahani ve ark., 2009). Referans hasat indeksi (HI_o) oranı ise %75 (Mazurczyk ve ark., 2009) olarak dikkate alınmıştır.

Çizelge 2. Patates bitkisine ait özellikler

Bitkinin ekim zamanı ¹	13 Nisan
Bitki yoğunluğu ¹	71 429 bitki ha ⁻¹
Bitki filizlenme zamanı ¹	20 gün
En geniş durumunda CC yüzdesi ¹	% 91
Bitki örtü yaşlanması dönemine ulaşma zamanı ¹	60. gün
Bitkinin olgunluğa ulaşma zamanı ¹	132. gün
Bitkinin çiçeklenme zamanı ¹	72. gün
Etkili kök derinliği ¹	60 cm
Referans HI yüzdesi ²	%75

¹Değişken parametre, ²Sabit parametre

Toprak Verileri

Çalışmada patates bitkisi için sulama programı oluşturulacak ve verim tahmini yapılacak toprakların, orta bünye sınıfında olduğu varsayılmış ve modelde 0-120 cm toprak derinliği için, 30 cm'lik toprak katmanları dikkate alınmıştır. Seçilen toprak bünyeleri için model tarafından varsayılmış



toprak fiziksel özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir. Toprak profilindeki infiltrasyonun ve derine sızmanın model tarafından tanımlanabilmesi için doymuş hidrolik iletkenlik (Ksat) ve toprağın drenaj katsayısı (τ) olarak modelde var olan değerler dikkate alınmıştır.

Çizelge 3. Seçilen toprak bünyeleri için model tarafından varsayılmış toprak fiziksel özellikleri

Toprak Derinliği (cm)	Bünye	Tarla kapasitesi ¹ (%)	Solma noktası ¹ (%)	SAT ² (%)	TAW (mm m ⁻¹)	Ksat ³ (mm gün ⁻¹)	τ (Tau) ⁴
0-30	T _{in}	31,0	15,0	46,0	160	500,0	0,76
30-60	Siltli T _{in}	33,0	13,0	46,0	200	575,0	0,80
60-90	Siltli T _{in}	33,0	13,0	46,0	200	575,0	0,80
90-120	T _{in}	31,0	15,0	46,0	160	500,0	0,76

¹Hacim yüzdesi cinsinden, ²Doygun toprakta hacim yüzdesi cinsinde su içeriği, ³Doygun toprakta hidrolik iletkenlik, ⁴Drenaj katsayısı

Kök bölgesindeki toprak su içeriğini (W_r) ve buna bağlı toprak su stresini takip etmek için AquaCrop her bir zaman adımında toprak su dengesini güncellemektedir. Toprak su dengesi çalışmalarında kök bölgesi genellikle bir rezervuar (hazne) olarak düşünülmektedir. W_r değişimi giren ve çıkan su akılarını takip ederek izlenmektedir. Yağış (P) ve sulama (I) ile toprağa su eklenmektedir. P 'nin bir kısmı yüzey akıştan dolayı kaybedilebilmektedir. Su ayrıca, sığ bir yeraltı su tablasından kılcal yükselme (CR) ile kök bölgesine ulaşabilmektedir. Toprakta buharlaşma (E), bitkiden terleme (Tr) ve derine sızma kayıpları (DP) gibi işlemler, toprak rezervuarından suyu uzaklaştırmaktadır. Böylece model tarafından kullanılan toprak su dengesi hesabı aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir (Raes, 2017).

$$Wr_{t+1} = Wr_t + (P - RO) + I + CR - E - Tr - DP \quad (1)$$

Eşitlikte; W_r ve $W_{r,t+1}$ sırasıyla t ve $t+1$ zamanda kök bölgesinde su içeriğini göstermektedir. Önemli yağışlardan veya aşırı sulamadan sonra, W_r tarla kapasitesini (W_{rFC}) aşarsa, derin sızma kayıpları (DP) meydana gelecektir.

$$DP = W_{rFC} - W_r \quad (2)$$

Kök bölgesi tüketimi (Dr) ise W_{rFC} seviyesi ile kök bölgesinde su eksilişi sonrasında oluşan toprak su düzeyi (W_r) arasındaki farkı ifade etmektedir.

$$Dr = W_{rFC} - W_r \quad (3)$$

Sulama Yönetimi Verileri

Sulama programları AquaCrop içerisinde kullanıcı tarafından belirlenmiş zaman ve derinlik kriterleri yardımıyla planlanmaktadır (Raes, 2017). Derinlik kriteri olarak, W_r 'yi tarla kapasitesi düzeyine ulaştırmak için gereksinim duyulan sulama suyu miktarı esas alınmıştır. Zaman kriteri olarak kullanıma hazır su miktarının (RAW) iki farklı yüzdesi kabul edilmiştir. Bu amaçla, %100 RAW ve %50 RAW tüketim düzeyleri sırasıyla S1 ve S2 sulama seviyeleri olarak modelde incelenmiştir. Çalışmada başlangıç W_r düzeyinin tarla kapasitesinde olduğu kabul edilmiştir.

Net sulama suyu ihtiyacı belirlenirken, belirlenen kök bölgesi tüketim eşiği (p) aşıldığında sulama uygulaması gerçekleştirilmektedir. Kök bölgesinde izin verilen su tüketim eşiği kullanıma hazır toprak suyu (RAW) değerini belirlemektedir. Model tarafından RAW değerinin tarla kapasitesi ile stomaların kapanmaya başladığı tüketim seviyesi (p_{sto} , TAW) arasında yer aldığı varsayılmaktadır. Ayrıca stomal kapanma için toprak su tüketiminin üst eşiği (p_{sto}) TAW ile çarpıldığında kök bölgesi tüketiminin üst eşiği ($Dr_{sto,upper}$) bulunmaktadır (Raes ve ark., 2012a). Modelde sabit (conservative) parametrelerden biri olarak varsayılan p_{sto} patates bitkisi için 0.55 kabul edilmiştir (Raes ve ark., 2012b).

S2 sulama programı için modele aktarılan zaman kriteri S1 programından farklı olarak RAW değerinin %50'si tüketildiğinde kök bölgesi toprak su içeriği tarla kapasitesine tamamlanacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışmada optimum verime yönelik sulama planlaması yapılırken iklim, bitki, toprak ve sulama verileri dışındaki bileşenler modelin varsaydığı şekilde kabul edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma Referans Bitki Su Tüketimi

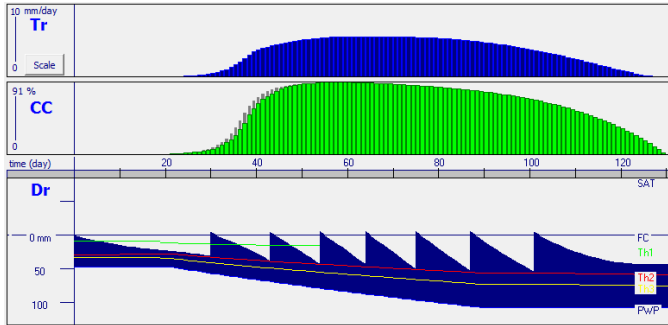
ETo hesaplayıcı kullanılarak uzun yıllar aylık ortalama iklim verilerine göre hesaplanan her bir ay için günlük ortalama ETo değerleri Çizelge 4’de verilmiştir. En yüksek ETo değeri Temmuz ayı için 5.9 mm gün⁻¹ bulunurken, en düşük değer Aralık ayı için 1.0 mm gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama ETo değeri ise 1095.5 mm bulunmuştur.

Çizelge 4. ETo hesaplayıcı ile hesaplanmış referans bitki su tüketimi (ETo) değerleri

Aylar	ETo değerleri (mm gün ⁻¹)
Ocak	1,1
Şubat	1,4
Mart	2,0
Nisan	2,9
Mayıs	4,1
Haziran	5,4
Temmuz	5,9
Ağustos	5,2
Eylül	3,6
Ekim	2,0
Kasım	1,3
Aralık	1,0

Sulama Programları Simülasyon Sonuçları

S1 sulama programı için simülasyon sonuçlarına göre patates bitkisi biyokütle ve kuru verim değerleri sırasıyla 12.636 t ha⁻¹ ve 9.685 t ha⁻¹ olarak bulunmuştur. Terleme (Tr), örtü yüzdesi gelişimi (CC) ve farklı renklerde stres eşik düzeylerini içeren (bitki örtüsü genişlemesi (Th1), stomal kapanma (Th2) ve erken olgunlaşma (Th3) stres eşikleri) kök bölgesi suyu tüketimi (Dr) simülasyonları Şekil 1’de gösterilmiştir. S1 sulama programı için kök bölgesi su tüketimine bağlı olarak patates bitkisi yetişme dönemi başlangıcında bitki örtüsü gelişiminin %12 oranında azaldığı Şekil 1’den görülmektedir. S1 sulama programı için topraktan buharlaşma (E) ve bitkiden terleme (Tr) değerleri sırasıyla 108,4 mm ve 377,7 mm olarak tahmin edilmiştir. Sulama programı simülasyon sonuçları Çizelge 5’de sunulmuştur. S1 programında 7 sulama olayı gerçekleşmiş ve toplam net sulama suyu miktarı 340.7 mm olarak tahmin edilmiştir.

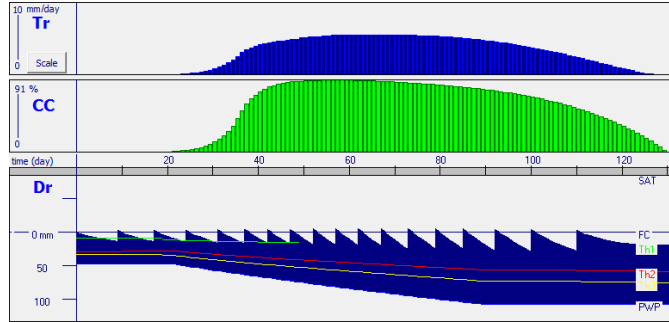


Şekil 1. S1 sulama programı bitki gelişimi simülasyonu

Çizelge 5. S1 sulama programı simülasyon sonucu

Sulama sayısı	Sulama tarihleri	Net sulama suyu miktarı (mm)
1	13 Mayıs	33,2
2	26 Mayıs	42,1
3	6 Haziran	47,5
4	16 Haziran	47,9
5	27 Haziran	54,9
6	9 Temmuz	57,5
7	23 Temmuz	57,5
Toplam		340,7

S2 sulama programı için tahmin edilen patates bitkisi biyokütle ve kuru verim değerleri sırasıyla 13.062 t ha⁻¹ ve 9.535 t ha⁻¹ olmuş ve Tr, CC ve Dr simülasyonları Şekil 2’de gösterilmiştir. S2 için buharlaşma (E) ve terleme (Tr) değerleri sırasıyla 126.9 mm ve 387.7 mm olarak tahmin edilmiştir. Çizelge 6’dan görüleceği üzere S2 programında model 17 sulama olayı gerçekleştirmiştir. Modelde toplam net sulama suyu miktarı 401.5 mm olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 2. S2 sulama programı bitki gelişimi simülasyonu

Çizelge 6. S2 sulama programı simülasyon sonucu

Sulama sayısı	Sulama tarihleri	Net sulama suyu miktarı (mm)
1	22 Nisan	15,2
2	30 Nisan	15,0
3	7 Mayıs	16,0
4	14 Mayıs	18,3
5	20 Mayıs	20,3
6	25 Mayıs	20,1
7	30 Mayıs	21,3
8	4 Haziran	22,1
9	9 Haziran	23,1
10	14 Haziran	24,2
11	19 Haziran	24,6
12	25 Haziran	30,1
13	1 Temmuz	28,9
14	7 Temmuz	28,9
15	14 Temmuz	31,6
16	22 Temmuz	31,7
17	1 Ağustos	30,0
Toplam		401,5

AquaCrop modeli kuru verim değerini tahmin etmektedir. Bu nedenle, model hesaplamaları sonucu elde edilen kuru verim miktarları, yapılmış çalışmalar ile karşılaştırılırken, kaynak araştırmalarından elde edilen patates yumru verimi değerleri, yumru kuru madde oranı ile çarpılmıştır. Patates yumrusunda kuru madde oranı, nişasta oranı ile doğru orantılı bir kalite kriteridir (Schippers, 1976). Patates yumrularında kuru madde oranı % 17 ile % 22 arasında değişmektedir (Esendal, 1990).

Her iki sulama programında da model tarafından tahmin edilen kuru verim değerleri birbirine yakınlık göstermiştir. Ayas (2007) tarafından patates bitkisinde dönemsel kısıntılı sulamanın verim ve kalite özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada, tam sulama konusunda patates yumru verimi ortalama olarak 5000 kg da⁻¹ bulunmuştur. Yaklaşık kuru verim, % 20 kuru madde oranına göre 10 t ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Mazurczyk ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada patates kuru verimi 11 t ha⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar, AquaCrop modeli ile tahmin edilen sonuçlarla paralellik göstermiştir.

S1 ve S2 sulama programları arasındaki 60.8 mm net sulama suyu miktarı farkının, temelde model tarafından simüle edilen sulama olayı sayıları arasındaki farklılıktan kaynaklandığı söylenilebilir. S1 ve S2 programları için model tarafından tahmin edilen ET değerleri sırasıyla 485.8 mm ve 513.7 mm olmuştur. Yavuz (2011) tarafından Konya Ovasında yürütülen çalışmada patates bitkisi için mevsimlik bitki su tüketimi 572.17 mm bulunmuştur. Doorenbos ve Kassam (1979),



patates su tüketiminin, iklim ve bitki koşullarına bağlı olarak 500-700 mm arasında değişebileceğini belirtmişlerdir. AquaCrop modeli ile sulama programlarına göre tahmin edilen ET değerleri yukarıdaki çalışmalarda elde edilen ET değerlerine yakınlık göstermiştir.

Sonuç ve Öneriler

AquCrop 5.0 modeli simülasyon sonuçlarına göre, patates bitkisi için suyun tasarruflu kullanımı bakımından S1 sulama programı (zaman kriteri %100 RAW tüketim düzeyi) öne çıkmıştır. Bu sulama programında model tarafından tahmin edilen patates bitkisi ET, biyokütle ve kuru verim değerleri sırasıyla 485.8 mm, 12.636 t ha⁻¹ ve 9.685 t ha⁻¹ olmuştur. S1 sulama programının, çalışmada öngörülen iklim, toprak ve bitki koşullarında patates bitkisi için uygulanabileceği söylenilebilir. Fakat, ileri aşamada yürütülecek bir arazi çalışması girdilerinin modele aktarılarak, arazi çalışması sonuçlarıyla, simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması ve modelin test edilmesi önerilmektedir.

Not: Bu çalışma, Derya BEYHAN YİĞİT'in Yüksek Lisans tezinden özetlenmiştir.

Teşekkür

Sorularımı ilgi ile yanıtlayan Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nden Prof. Dr. Mehmet SİNCİK ve Leuven Üniversitesi Biyobilim Mühendisliği Fakültesi Yer ve Çevre Bilimleri Bölümü'nden Prof. Dr. Dirk RAES ile Araştırma Görevlisi Hanne Van GAELLEN'a teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

- Araya, A., Haptu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A., Dejene, T., 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agricultural Water Management*. 97(11): 1838–1846.
- Arioğlu, H., Çalışkan, M.E., Onaran, H., 2006. Türkiye'de patates üretimi, sorunları ve çözüm önerileri. IV. Ulusal Patates Kongresi, 06-08 Eylül 2006, Bildiriler Kitabı, s: 1-10, Niğde.
- Ayas, S., 2007. Kısıntılı Sulanan Patatesin Su-Verim İlişkisi. U.Ü. Fen Bil. Ens., Tarımsal Yapılar ve Sulama ABD, Doktora Tezi, 241 s.
- Belmans, C., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., 1983. Simulation model of the water balance of cropped soil: SWATRE. *Journal of Hydrology*. 63(3-4): 271–286.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield Response to Water. Irrigation and Drainage Paper No: 33, FAO Rome, Italy, 193 pp.
- Esendal, E., 1990. Nişasta Şeker Bitkileri ve Islahı Cilt: 1 Patates, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, No: 49, Samsun, 221 s.
- FAO, 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations, AquaCrop new features and updates Version 5.0, <http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html>
- Farahani, H.J., Izzi, G., Oweis, T.Y., 2009. Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. *Agronomy Journal*. 101(3): 469–476.
- García-Vila, M., Fereres, E., Mateos, L., Orgaz, F., Steduto, P., 2009. Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. *Agronomy Journal*. 101(3): 477–487.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, 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. *Agronomy Journal*. 101(3): 499–508.
- GTHB-BUGEM, 2016. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü Bitkisel Üretim Verileri, Erişim: Nisan 2016 www.tarim.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BUGEM.pdf
- Hsiao, T.C., Heng, L., 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. *Agronomy Journal*. 101(3): 448–459.
- Jensen, M.E., 1980. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. An ASAE monograph Number 3. American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Road, Michigan 49085, USA, p. 829.
- Kale, S., Tari, A.F., 2012. Sulu ve Kuru Koşullar Altında Kışlık Buğday İçin FAO-AquaCrop Modelinin Performansının değerlendirilmesi. *Toprak Su Dergisi*. 1(2): 119-131.
- Kashyap, P.S., Panda, R.K., 2003. Effect of irrigation scheduling on potato crop parameters under water stressed conditions. *Agricultural Water Management*. 59(1): 49-66.
- Mazurczyk, W., Wierzbicka, A., Trawczyński, C., 2009. Harvest index of potato crop grown under different nitrogen and water supply. *Acta Scientiarum Polonorum series Agricultura*. 8(4): 15-21.
- MGM, 2013. Bursa Merkez Meteoroloji İstasyonu, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, 1970-2012.



- MGM, 2018. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İklim Sınıflandırmaları, Erişim: 26.02.2018, <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx?m=BURSA>
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2009. AquaCrop - The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. *Agronomy Journal*. 101(3): 438–447.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2011. FAO Crop Water Productivity Model to Simulate Yield Response to Water. Reference Manual, Chapter 1 – AquaCrop, Version 3.1 plus, January 2011, Erişim: Mart 2015, <http://www.fao.org/nr/water/docs/AquaCropV31plusChapter1.pdf>
- Raes D 2012. The ETo Calculator, Reference Manual (Version 3.2, September 2012), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Division, Rome, Italy <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/en/>.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres E 2012a. Calculation procedures, Reference Manuel, Chapter 3- AquaCrop Version 4.0, June 2012, Erişim: Mart 2015, <http://www.fao.org/nr/water/docs/AquaCropV40Chapter3.pdf>
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2012b. Reference Manuel, Annex I, AquaCrop Version 4.0, June 2012, Erişim: Mayıs 2015, <http://www.fao.org/nr/water/docs/AquaCropV40Annexes.pdf>
- Raes, D., 2017. AquaCrop Training Handbooks, Book I. Understanding AquaCrop, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, <http://www.fao.org/3/a-i6051e.pdf>
- Ritchie, J.T., 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Research*. 8(5): 1204–1213.
- Ritchie, J.T., Godwin, D.C., Otter-Nacke, S., 1985. CERES-Wheat. A Simulation Model of Wheat Growth and Development. Texas A. & M Univ. press, College station.
- 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. *Agronomy Journal*. 101(3): 426–437.
- Harper, P., 1963. Optimum Leaf Area Index in the potato Crop. *Nature*. 197: 917-918
- Schippers, P.A., 1976. The Relationship Between Specific Gravity and Percentage Dry Matter in Potato Tubers. *American Potato Journal*. 53(4): 111-122.
- Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abi Saab, M., Stöckle, C., Steduto, P., 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy Journal*. 101(3): 509–521
- Yazgan, S., Tatar, D., 2003. Bitki Gelişiminin Benzetimi (Simülasyonu) (Ceres-Wheat Modeli). *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 34(2): 161-166.
- Yavuz, D., 2011. Patates Tarımında Farklı Sulama Yöntemlerinin Su Kullanımı, Verim ve Enerji Tüketimi Yönünden Karşılaştırılması. S.Ü. Fen Bil. Ens., Tarımsal Yapılar ve Sulama ABD, Doktora Tezi, 129 s.
- Zeke, K.T., Lockett, D., Cowley, R., 2011. Calibration and testing of the FAO AquaCrop model for canola. *Agronomy Journal*. 103(6): 1610-1618.