



**FAO AQUACROP MODELİ KULLANILARAK
FARKLI SULAMA PROGRAMI KOŞULLARINDA
PATATES BİTKİSİNDE VERİM TAHMİNİ**

Derya BEYHAN



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FAO AQUACROP MODELİ KULLANILARAK FARKLI SULAMA
PROGRAMI KOŞULLARINDA PATATES BİTKİSİNDE VERİM TAHMİNİ**

Derya BEYHAN

Doç. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2016

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Derya BEYHAN tarafından hazırlanan “FAO AquaCrop Modeli Kullanılarak Farklı Sulama Programı Koşullarında Patates Bitkisinde Verim Tahmini” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN

Başkan: Prof. Dr. Erhan AKKUZU

Ege Üniversitesi

Ziraat Fakültesi

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

İmza

Üye: Doç. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN

Uludağ Üniversitesi

Ziraat Fakültesi

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Doç. Dr. Hayrettin KUŞÇU

Uludağ Üniversitesi

Ziraat Fakültesi

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

16.06.2016 (Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

07/06/2016

Derya BEYHAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FAO AQUACROP MODELİ KULLANILARAK FARKLI SULAMA PROGRAMI KOŞULLARINDA PATATES BİTKİSİNDE VERİM TAHMİNİ

Derya BEYHAN

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN

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

Bu çalışmada, uzun yıllar aylık iklim verileri ve Güney Marmara Bölgesinde geniş çaplı yetiştiriciliği yapılan Hermes patates çeşidine ait veriler kullanılarak damla sulama yöntemi altında iki farklı tam sulama programı oluşturulmuş ve meyve verimi AquaCrop modeli ile tahminlenmiştir.

İlk sulama programında (S1) sulama zamanı, stomaların kapanmaya başladığı toprak suyu tüketim seviyesinde su uygulanacak şekilde belirlenmiştir. Sulama miktarı ise, toprakta tüketilen su her sulamada tarla kapasitesine çıkarılacak şekilde planlanmıştır. İkinci sulama (S2) topraktaki su S1 sulama programında belirtilen kritik düzeyin yarısına düşünce tarla kapasitesine kadar su uygulanacak şekilde planlanmıştır. Gözlenen sonuçlar doğrultusunda suyun tasarruflu kullanımı bakımından S1 sulama programı öne çıkmıştır. Verim değerlerinin yakınlığı ise modele aktarılan bitki gelişim değerlerinin aynı olmasından kaynaklanmaktadır.

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

2016, x + 69 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

ESTIMATION OF POTATO YIELD USING FAO AQUACROP MODEL UNDER DIFFERENT IRRIGATION SCHEDULES

Derya BEYHAN

Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Burak Nazmi CANDOGAN

AquaCrop simulates attainable yields of major herbaceous crops as a function of water consumption under rain-fed, supplemental, deficit, and full irrigation 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 scheduling made by using the average long term monthly climate data and inputs of the potato cultivation which has got large-scale farming in South Marmara and aimed to develop irrigation schedules and yield estimation under drip irrigation method.

In the first irrigation schedule (S1), the irrigation were made whenever the water level in root zone depletes to the stomata closure level which was determined before and the water was added up to field capacity. In the second (S2), the irrigation were made whenever the water level in root zone depletes to the half of the critical water level of S1 to field capacity. According to water conservation, irrigation schedule of S1 have come into prominence than S2. The proximity of yields was due to the same values of crop growing periods which is transferred the model.

Keywords: Yield estimation, Irrigation, Potato, FAO AquaCrop

2016, x + 69 pages

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamı ynlendirerek bana rehberlik eden sayın hocam Do. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN'a, sorularımı ilgi ile yanıtlayan sayın Prof. Dr. Dirk RAES ve araőtırma görevlisi Hanne Van GAELEN'a, Nursen BEKTAŐ baőta olmak üzere tüm bölümümüz çalıőanlarına, eğitim hayatım boyunca ıőıđıyla yolumu aydınlatan tüm öğretmenlerime ve kıymetli ailemin fertleri sevgili babam İrfan BEYHAN, güzel annem Fethiye BEYHAN, canım kardeőim Ahmet Hamdi BEYHAN ve sevgili niőanlım Cem YİĞİT' e bana duydukları inanç için en içten teőekkürlerimi sunarım.

Derya BEYHAN

07/06/2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Patates Bitkisi.....	3
2.2 Patatesin Su-Verim İlişkileri.....	3
2.3.AquaCrop Modeli Üzerine Çalışmalar.....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal.....	11
3.1.1. AquaCrop modeli.....	11
3.1.2. İklim özellikleri.....	14
3.1.3 ETo hesaplayıcı.....	15
3.1.4. Patates bitkisi (<i>Solanum tuberosum</i>).....	16
3.1.5 Toprak özellikleri.....	16
3.2. Yöntem.....	17
3.2.1. AquaCrop modelinin yapısal bileşenleri.....	17
3.2.2 İklim paneli ve CLI uzantılı iklim dosyasının oluşturulması.....	19
3.2.3. Toprak paneli ve toprak dosyasının oluşturulması.....	22
3.2.4. Bitki paneli ve CRO uzantılı bitki dosyasının oluşturulması.....	27
3.2.5. Yönetim paneli ve IRR uzantılı sulama dosyasının oluşturulması.....	47

4. BULGULAR.....	53
4.1. ETo Hesaplayıcı Yardımı İle Elde Edilmiş Aylık Referans Bitki Su Tüketimi Değerleri.....	53
4.2. S1 Sulama Konusu İçin Simülasyon Sonuçları.....	53
4.3. S2 Sulama Konusu İçin Simülasyon Sonuçları.....	57
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	69



SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
B	Biyokütle
CC	Yeşil örtü yüzdesi
CR	Kapılar yükselme
DP	Derine sızma
Dr	Kök bölgesi su tüketimi
E	Toprak suyu buharlaşması
ha	Hektar
HI	Hasat endeksi
I	Sulama
m	Metre
mm	Milimetre
P	Yağış
RO	Yüzey akış
t	Ton
Tr	Bitki terlemesi
WCTot	Kök bölgesindeki toplam su miktarı
Wr	Eşdeğer su derinliği
Y	Kuru verim
°C	Santigrat derece

Kısaltmalar	Açıklama
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FC	Tarla kapasitesi
GDD	Gelişim gün katsayısı
Ks	Bitki stres katsayısı
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PWP	Solma noktası
TAW	Kullanılabilir su tutma kapasitesi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Model gelişiminin şematik gösterimi (Steduto ve ark. 2009).....	6
Şekil 3.1. AquaCrop 5.0 yazılımı açılış penceresi	11
Şekil 3.2. Toprak-Bitki-Atmosfer (SPAC) sürekliliği (Steduto ve ark. 2009).....	12
Şekil 3.3 FAO ETo hesaplayıcı ara yüzü (Raes 2012).....	15
Şekil 3.4. Bitkinin geliştiği çevreyi tanımlayan paneller ve gerekli veriler.....	18
(Raes ve ark. 2011)	18
Şekil 3.5. Model ara yüzü ve mevcut paneller	19
Şekil 3.6. CLI uzantılı iklim dosyasının oluşması (Raes ve ark. 2012b).....	20
Şekil 3.7. ETo hesaplayıcı sonuç ekranı	21
Şekil 3.8. İklim paneli içeriği	21
Şekil 3. 9. Oluşturulacak <i>Bursa</i> isimli iklim dosyası içeriği.....	22
Şekil 3.10 Toprak dosyası ekranı	23
Şekil 3.11 Farklı bünye sınıflarına ait toprak fiziksel ve hidrolik özelliklerin liste ekranı	23
Şekil 3.12 Toprak bünyesi ekranı	25
Şekil 3.13 Toprak yüzeyi sekmesi	27
Şekil 3.14 CCo değeri penceresi	29
Şekil 3.15. 'Estimate' penceresi.....	29
Şekil 3.16. CCx değeri penceresi	31
Şekil 3.17. CGC ve CDC katsayılarının bitki gelişim grafiği üzerinde gösterimi (Raes ve ark 2012).....	31
Şekil 3.18 Kök derinliği gelişiminin grafiksel gösterimi (Raes ve ark. 2012b).....	32
Şekil 3.19. Patates verimi çalışmasına ait Zx değeri ekranı.....	33
Şekil 3.20. Hlo seçim ekranı	34
Şekil 3. 21. Günlük takvim ve gelişme derece gün (GDD) takvimi ile patates gelişim süreçleri.....	34

Şekil 3.22 Model içerisinde ET ayrımı	35
Şekil 3.23. B ve $\sum(T_r/ETo)$ arasındaki ilişki	37
Şekil 3.24. Patates bitkisi için biyokütle ve terleme değerlerine göre WP* simülasyonu	38
Şekil 3.25. Patates bitkisi için atmosferdeki CO2 konsantrasyonuna göre WP* simülasyonu	38
Şekil 3.26 Kök bölgesi su tüketim derecelerine göre Ks katsayı grafiği (Raes ve ark. 2012b)	41
Şekil 3.27 Yaprak genişlemesini etkileyen, alt ve üst eşikleri ile kök bölgesindeki tüketim değerleri (Dr)	42
Şekil 3.28a $K_{sexp, w}$ stres katsayısı simülasyon gösterimi	43
Şekil 3.28b K_{ssto} stres katsayısı simülasyon gösterimi.....	43
Şekil 3.28c K_{ssen} stres katsayısı simülasyon gösterimi	44
Şekil 3.28d K_{saer} stres katsayısı simülasyon gösterimi	44
Şekil 3.29 Biyokütle üretimini etkileyen hava sıcaklığı stres katsayısının (K_{sb}) GDD takvimine göre değişim grafiği (Raes ve ark. 2012a).	45
Şekil 3.30 AquaCrop tarafından patates verimini tahminleme çalışmasına yönelik oluşturulmuş biyokütle oluşumunu etkileyen hava sıcaklığı stres simülasyonu (Raes ve ark. 2012a).....	46
Şekil 3.31. Model içerisinde biyokütle oluşumunu etkileyen verimlilik ve tuzluluk stresi ekranı.....	47
Şekil 3.32. Yönetim paneli içerisinde bulunan sulama sekmesi ekranı	48
Şekil 3.33. Stoma iletkenliğini etkileyen kök bölgesi su tüketimi (Raes ve ark. 2012b).....	49
Şekil 3.34. Sulama yöntemi sekmesi	50
Şekil 3.35. S1 konusu sulama programı ekranı.....	51
Şekil 3.36. S1 sulama konusu simülasyon periyodu ekranı	51
Şekil 3.37. S2 konusu sulama programı ekranı.....	52
Şekil 4.1 S1 sulama konusu bitki gelişimi simülasyon ekranı	54

Şekil 4.2. S1 sulama konusu iklim ve su dengesi sonuç ekranı	55
Şekil 4.3a. S1 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri.....	55
Şekil 4.3b. S1 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri (devamı)....	56
Şekil 4.3c. S1 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri (devamı) ...	56
Şekil 4.4. S2 sulama konusu bitki gelişimi simülasyon ekranı	58
Şekil 4.5. S2 sulama programı iklim ve su dengesi sonuç ekranı	58
Şekil 4.6a S2 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri.....	59
Şekil 4.6b S2 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri (devamı).....	59
Şekil 4.6c S2 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri (devamı)	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfalar

Çizelge 3.1. Çalışma alanına ilişkin uzun yıllar aylık ortalama iklim verileri (1970-2012) (MGM 2012).....	14
Çizelge 3.1. Çalışma alanına ilişkin uzun yıllar aylık ortalama iklim verileri (1970-2012) (MGM 2012) (Devamı)	14
Çizelge 3.2. Patates bitkisine ait özellikler (Ayas 2007, Mazurczyk ve ark. 2009, Stern ve Donald 1963).....	16
Çizelge 3.3. Seçilen toprak bünyeleri için model tarafından varsayılmış toprak fiziksel özellikleri.....	17
Çizelge 3. 4. AquaCrop modelinde mevcut Ksat sınıflandırması (Raes 2015)	26
Çizelge 3.5 Toprak verimlilik katsayıları ve bitki gelişimine etkileri (Raes ve ark. 2012b)	46
Çizelge 4.1. ETo hesaplayıcı ile hesaplanmış çalışma alanına ait değerler	53
Çizelge 4.2. Patates bitkisine için S1 sulama programı	57
Çizelge 4.3. Patates bitkisine için S2 sulama programı	60
Çizelge 4.3. Patates bitkisine ait S2 sulama programı (devamı).....	61
Çizelge 4.4. S1 ve S2 sulama konuları için bitki gelişim simülasyonu boyunca toprak su dengesi parametrelerine ait sayısal değerler	62

1. GİRİŞ

Dünya genelinde tarımsal üretim için ayrılan temiz su payı (%72) giderek azalmaktadır (Cai ve Rosegrant 2003). Bu nedenle, tarım sektörüne ayrılan suyun daha etkin kullanımı ve bitki su kullanım etkinliği yıllar içerisinde önem kazanmıştır (Debaeke ve Aboudrare 2004). Dolayısıyla tarım sektöründeki kullanılabilir suyun yönetimi ve planlanmasına yönelik stratejilerin belirlenmesi, uluslararası düzeyde önem taşımaktadır (Smith 2000).

Uzun yıllar boyunca araştırmacılar, toprak su bütçesi esaslı çerçevesinde sulama zamanını belirleyebilmek için çeşitli yöntemler geliştirmiştir. Su kullanım etkinliğinin artırılmasına yönelik yapılan araştırmalarda çoğunlukla arazi çalışmalarından faydalanılmaktadır ancak arazi çalışmaları iklimsel farklılıklar göz önünde bulundurulacağından dolayı birkaç yıl sürmektedir. Bu sebeple arazi çalışmalarına alternatif olarak oluşturulan simülasyon modelleri de su kullanım etkinliğinin artırılmasına yönelik olarak kısa zamanlı sonuç alınmasını sağlamaktadır (Raes 2015).

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 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). İlk bitki gelişim modelleri altmışlı yılların sonu ve yetmişli yılların başında geliştirilmiştir. Brouwer ve de Wit, 1969 yılında ilk bitki gelişim modellerini geliştiren araştırmacılarıdır. Bundan iki yıl kadar sonra, Curry ve Chen, geliştirdikleri bir dinamik benzetim modeli ile bu gelişimi takip etmişler ve bilgisayarların teknolojisinin gelişmesi ile çalışmalar hız kazanmıştır (Franzini 1993).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), 2009 yılında, AquaCrop adında tam, kısıntılı, destekleyici sulama koşulları ve kuru koşullarda bitki gelişimini ve elde edilebilecek verimi tahminleyen bir simülasyon modeli geliştirmiştir (Steduto ve ark.

2009). Model bitki su tüketiminden yola çıkarak, elde edilmesi beklenen verimi tahminleyebilen ve bitki gelişimini görsel olarak simüle edebilen bir bitki gelişim simülasyon 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 Stroosnijder 2010), kolza (Zeke ve ark. 2011) ve kışlık buğday (Kale ve Tari 2012) bitkileri için test edilmiş ve verim doğru olarak simüle edilebilmiştir. Bununla birlikte, AquaCrop modelinin farklı iklim, toprak ve bitki koşullarında alternatif sulama programlarına verim tepkisi test edilerek uygunluğu belirlenmelidir.

Marmara Bölgesi'nin güney-doğusunda yer alan yarı-nemli iklim koşullarının hüküm sürdüğü Bursa'da patates üretimi her geçen yıl biraz daha artış göstermekte ve Türkiye pazarında büyük bir paya sahip olmaktadır (Ayas 2007). Bu çalışmada, farklı sulama programı koşullarında AquaCrop 5.0 modeli kullanılarak patates bitkisi sulama programı oluşturulmuş ve verim tahminlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Patates Bitkisi

Arıoğlu ve ark. (2006) patates üretiminin ölkemizde 1970 sonrasında bir ivme kazandığını ve patates üretiminin %80'inin Bursa'nın da aralarında bulunduğu 14 il tarafından karşılanmakta olduğunu belirtmiştir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, patates ekimi yapılan alan azalırken verimde artış yaşanmış ve 2006 yılında 4 366 000 t olan değer, 2015 yılında 4 760 000 t' a ulaşmıştır. Patates üretiminin talep doğrultusundaki yeterlilik derecesi ise %100'e yakınlık göstermektedir. Patates tohumu üretim miktarı ise 2002 yılında 21 375 t civarında iken 2015 yılında sekiz kat artış göstererek 175 397 t'a ulaşmıştır (Anonim 2016).

2.2 Patatesin Su-Verim İlişkileri

Doorenbos ve Kassam (1979), patatesin toprakta su eksilişine duyarlı olduğunu ve yumru veriminde kayıplar yaşanmaması için kullanılabilir su tutma kapasitesinin (TAW) %30-50'den fazla tüketilmemesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bitki sulama sezonu boyunca TAW'ın %50'den fazla tüketilmesi durumunda verimde kayıpların oluşabileceğini ve patatesin su tüketiminin koşullara bağlı olarak 500-700 mm arasında değişebileceğini belirtmişlerdir.

Kashyap ve Panda (2003), Hindistan' da yürüttükleri çalışmalarında, toprakta TAW'ın %10, %30, %45, %60 ve %75'i tüketildiğinde patates bitkisinde sulama yapmışlardır. Çalışma sonuçlarına bağlı olarak, TAW'ın %60 ve %75'i tüketildiğinde eksilen suyun tarla kapasitesine ulaştırıldığı konularda verimde önemli azalmalar meydana gelmiştir.

Önder ve ark. (2006), patateste kısıntılı sulama üzerine yürüttükleri iki yıllık çalışmada, sulama konularını; tam sulama, tam sulama konusunda uygulanan su miktarında %34 ve %67 kısıntı ve susuz konu olacak şekilde belirlemişlerdir. Çalışmada, %67 su kısıntısının uygulandığı konuda, her iki yılda en yüksek sulama suyu kullanım

etkinliğine ulaşılmış, ikinci yılda bitki başına en yüksek pazarlanabilir yumru oranı elde edilmiştir. Araştırmacılar, denemede tam sulama ile susuz konu arasında yumru verimi yönünden %32 ile %37 arasında azalmalar meydana geldiğini bulmuşlardır.

Ayas (2007) Güney Marmara'da yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan Hermes patates çeşidinde dönemsel kısıntılı sulamaya giderek verim ve kalitedeki değişimi incelemiştir. Bursa İli Yenişehir İlçesi'nde 2004 ve 2005 yıllarında kurulan tarla denemeleri ile vejetatif gelişme, yumru oluşumu, yumru gelişimi ve olgunlaşma dönemlerinde dönemsel su kısıntısı koşulları ve su kısıntısı yaşanmayan koşullar oluşturularak 16 farklı şekilde sulama konuları oluşturulmuştur. Sonuç olarak kısıntılı sulamanın bitki verimi üzerinde önemli etkileri gözlenmiştir.

Yavuz (2011), 2008 ve 2009 yıllarında, Konya Ovası'nda 3 farklı sulama yönteminin (damla, yağmurlama ve karık sulama) patates bitkisinde verim ve su kullanım randımanı üzerine etkilerini incelemiştir. Her iki yılın ortalaması alındığında en az bitki su tüketimi değeri 572,17 mm ile damla sulama yöntemi için bulunmuştur. Pazarlanabilir yumru verimi ise damla sulama yöntemi kullanıldığında diğer iki yönteme kıyasla daha yüksek değere ulaşmıştır. Damla sulama yöntemi için sulama suyu miktarı ve su kullanım etkinliği sırasıyla 8,32 kg m⁻³ ve 7,51 kg m⁻³ olarak bulunmuştur. Damla sulama yönteminde lateral aralıkları ve ıslatılan alan oranları değiştirilerek bitki su tüketimi değerleri 454,38 mm ile 572,17 mm arasında değişmiştir.

2.3.AquaCrop Modeli Üzerine Çalışmalar

Steduto ve ark. (2009) FAO bitki su verimliliği modeli AquaCrop'a ait kavramları ve dayandığı ilkeleri tanımlamışlardır. AquaCrop, yağışa dayalı, eksik veya tam sulama koşullarında bitki su tüketimi yardımıyla büyük otsu bitkilerde (mısır, patates, şeker pancarı vb.) ulaşılabilir verimi tahminlemektedir. AquaCrop'un gelişim esası su odaklıdır. Öncelikle bitkide terleme hesaplanır ve biyolojik verime (biyokütle) dönüştürülür. Biyokütle değerinin bulunmasında biyokütle-su verimliliği, atmosferin buharlaştırıcı etkisi ve CO₂ konsantrasyonu gibi özelleştirilmiş parametrelerden de yararlanmaktadır. Doorenbos ve Kassam tarafından 1979 yılında geliştirilen verim tepki

etmeni eşitliği (Eşitlik 2.1), AquaCrop modeli tarafından su-verim ilişkisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Steduto ve ark. 2008; Raes ve ark. 2011).

$$\left(1 - \frac{Y}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_x}\right) \quad (2.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte Y_x ; en yüksek verimi, Y ; gerçek verimi, $(1-Y/Y_x)$; oransal verim azalışını, ET_x ; en yüksek bitki su tüketimi, ET ; gerçek bitki su tüketimini, $(1-ET/ET_x)$; oransal su tüketimi eksilişini ve K_y ; oransal verim azalışı ve oransal su tüketimi eksilişi arasındaki verim tepki etmenini göstermektedir.

Gelişim, iki ara adıma dayanmaktadır; toprak buharlaşmasının (E) bitki terlemesinden (Tr) ayrılması (Eşitlik 2.2);

$$ET = E + Tr \quad (2.2)$$

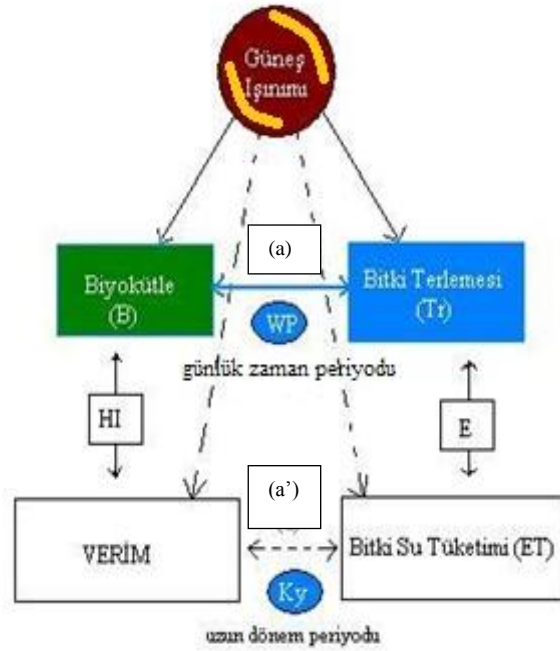
ve biyokütle (B) ve hasat indeksinden (HI) verim eldesi (Eşitlik 2.3).

$$Y = B \cdot HI \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.4'de belirtilen denklem AquaCrop modelinin gelişim esasını oluşturmaktadır.

$$B = WP \cdot \sum Tr \quad (2.4)$$

Eşitlikte; Tr , bitki terlemesini (mm) ve WP , su kullanım etkinliği parametresini (kg m^{-3}) göstermektedir. Eşitlik 2.1'den Eşitlik 2.3'e geçiş modeli sağlamlaştırmıştır (Steduto ve ark. 2009). Model gelişiminin Eşitlik 2.1'den yola çıkarak oluşturulan şematik gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir (Steduto ve ark. 2009).



Şekil 2.1 Model gelişiminin şematik gösterimi (Steduto ve ark. 2009)

Verim ile bitki su tüketimi arasındaki bağlantı a' , K_y parametresi aracılığıyla Eşitlik 2.1'de açıklanmaktadır ve uzun dönemlere uygulanmaktadır. B ile T_r arasındaki bağlantı a , WP parametresi aracılığıyla Eşitlik 2.4'de açıklanmaktadır ve günlük zaman periyotlarında uygulanmaktadır.

Eşitlik 2.1'den AquaCrop'un gelişim esasları olarak tanımlanan Eşitlik 2.4'e geçişte diğer temel değişim zaman ölçeğindedir. Eşitlik 2.1'de zaman ölçeği olarak mevsim veya uzun dönemler (aylık düzende) kullanılırken, Eşitlik 2.4'de günlük zaman dilimleri kullanılmaktadır.

Raes ve ark. (2009), FAO 33 Sulama ve Drenaj Yayını'ndaki (Doorenbos ve Kassam 1979) prosedürleri geliştirerek, AquaCrop modelini bitki verimini tahminlemek amacıyla kullanılan yeni bir model olarak tanımlamışlardır. Çalışmalarında modele ait yazılımın ilkelerine değinmişlerdir. Model girdileri; iklim verileri, bitkiye özgü veriler, toprak ve arazi yönetimi verileri olmak üzere bitkinin yetiştirileceği çevreye ait parametrelerden oluşmaktadır. Modelde suyun infiltrasyonu, kök bölgesi drenajı, bitki örtüsü ve kök gelişimi, bitki terlemesi ve toprak su buharlaşma oranı, biyokütle üretimi

ve verim oluşumu modelleme algoritmaları ve hesaplama prosedürleri sunulmuştur. Sadece birkaç parametre yardımıyla su sıkıntısı ile başa çıkabilen bitki tepki mekanizmaları tanımlanmış olup, süreçler kullanıcı için daha şeffaf oluşturulmuştur. AquaCrop iyi geliştirilmiş bir ara yüzü olan, menü sürümlü bir programdır. Simülasyonun her bir sürecinde yardımcı grafikler kullanıcı tarafından girilen değerler doğrultusunda güncellenmektedir ve böylece kullanıcı toprak-su içeriği, bitki gelişimi, toprak su buharlaşması, bitki terleme oranı, biyokütle üretimi ve verimdeki değişiklikleri izleyebilmektedir. Kullanıcılar simülasyonu herhangi bir aşamasında durdurarak girdiler ve su odaklı değişimler arasındaki etkileşimler üzerine çalışabilmekte ya da kısıntılı sulama stratejileri ve senaryo analizleri yapabilmektedirler.

Hsiao ve ark. (2009) FAO'nun yeni modeli AquaCrop'un değerlendirilmesinde ilk olarak mısır bitkisini (*Zea mays* L.) kullanmışlardır. Ağırlıklı olarak Kaliforniya, Davis bölgesinde yetiştiriciliği yapılan mısırın, arazi denemesi sonucu elde edilen 6 yıllık verileri, mısır bitkisine ait 4 yıllık bitki örtü yüzdesi değerleri ve AquaCrop içerisinde bitkiye ait bulunan bazı sabit parametreler ile çalışmışlar ve 6 yıllık verileri simülasyon içerisinde kullanmışlardır. Yapılan çalışmada değişken olarak sulama kullanılmıştır. Su kontrollü olarak ekim itibarıyla devamlı olarak kesilmiş, aralıklarla verilmiş ya da tam sulama (FI) uygulanmıştır. Her yıl, bitki yoğunluğu (7- 11,9 bitki m⁻²), ekim zamanı (14 Mayıs-15 Haziran), bitki çeşidi ve atmosferin buharlaştırıcı etkisi girdi olarak kullanılmıştır. Bitki örtüsü genişleme ve azalış katsayısı (CDC), tam örtü döneminde bitkiye ait terleme (Tr) için bitki sabiti, düzenlenmiş su kullanım etkinliği (WP*), yaprak genişlemesini, stoma iletkenliği ve bitki örtüsü oluşumundaki hızı engelleyen toprak su eşiği, referans hasat indeksi (HI₀) gibi bazı parametrelerin sabit (conservative) olduğu varsayılmıştır. Ölçülen değerler ile simüle edilen değerler arasındaki olası tutarsızlığın sebepleri olarak modeldeki basitleştirmelere ve ölçümde yapılan hatalara değinilmektedir. Çalışmada farklı koşullar altında iyi kalibre edilmiş sabit sayılabilecek parametreler ve AquaCrop yardımıyla, su kullanım etkinliği (WUE) değerlendirilmiş ve su kullanım etkinliğini arttırmada kullanılacak stratejilerin oluşturulması tartışılmıştır.

Garcia-Villa ve ark. (2009) günümüzde tarımda kullanılan suyun azaltılması gerektiği için, sulu tarım yöntemlerinde kullanılan sudan en iyi şekilde yararlanılmasının önem

kazandığını savunmuşlardır. Çalışmalarında, farklı tarımsal uygulama ve farklı iklim koşullarında Güney İspanya'da pamuğa (*Gossypium hirsutum* L.) optimum seviyede uygulanacak sulama suyu (AIW) miktarını belirlemeye çalışmışlardır. Uygulanacak sulama suyu değişimlerinde, verim tepki etmeninin oluşturulmasında FAO Bitki Su Verimliliği (WP) Modeli AquaCrop kullanılmıştır. Dört farklı deneme alanına ait verilerin modeldeki kalibrasyonu (tahmini veriler ile optimum uyumun sağlanması) ve doğrulanması (arazide ölçülmüş veriler ile model tarafından tahmin edilmiş verilerin karşılaştırılması) ile, AquaCrop uygulanacak sulama suyu miktarlarına ait su verimliliğini gerçeğe yakın olarak simüle edebilmiştir. Daha sonra model en iyi kısıntılı sulama senaryosunun belirlenebilmesi için denenmiştir. İklimsel senaryoya bağlı olarak, ekonomik koşullar göz önünde bulundurulduğunda, en yüksek kazancın 540-740 mm arası su uygulandığında sağlanacağı belirlenmiştir. Fakat uygulanacak suda kısıtlamaya gidilerek, su miktarı 300-350 mm' ye düşürüldüğünde net gelirin halen maksimuma yakın (%95'in üzerinde) seyrettiği gözlenmiştir. Ayrıntılı bir analizle, günümüzde Avrupa Birliği Ortak Tarım Politikasının (CAP) pamuk tarımında suyun korunumunu teşvik etmediği ve uygulanacak sulama suyunun belirlenmesinde su fiyatında yaşanabilecek artışın çok az etkili olacağı anlatılmıştır. Çalışmada AquaCrop, su temini kısıtlamaları altında yapılabilecek pamuk tarımının yönetilmesinde yardımcı bir araç olarak belirlenmiştir.

Kheng Heng ve ark. (2009) bitki gelişim modellerinin, eksik sulama koşullarında bitki verimini veya verimliliği değerlendirmede önemli araçlar olduğuna ve FAO AquaCrop modelinin sınırlı su koşulları altında bitki verimi, su isteği ve su kullanım etkinliğini tahminleyebildiğine değinmişlerdir. Model performansının değerlendirilmesi, mısır bitkisine ait modelde hali hazırda bulunan bir takım parametreler ve üç farklı uygulama alanı (Bushland, TX, A.B.D.; Gainesville, FL, A.B.D. ve Zaragoza, İspanya) verileri ile gerçekleştirilmiştir. Üç bölgenin her biri farklı karakteristik özelliklere sahiptir. Örneğin; Bushland'da bitki su tüketimi (ET) ve rüzgar hızı değerleri oldukça yüksek iken, Gainesville'deki çalışma alanı yağışlı bir havaya ve kumlu toprağa ve Zaragoza bölgesi ise yarı kurak iklim özelliklerine sahiptir. Model, yüksek ET ve rüzgar hızı değerleriyle bitki su tüketimini daha doğru simüle edebilmiştir. Ayrıca, su stresinin yaşanmadığı koşullar ile orta stres düzeyindeki koşullarda model, toprak üstü biyokütle

miktarı, ürün verimi ve bitki örtü yüzdesini gerçeğe yakın olarak simüle edebilmişken, şiddetli su stresinin yaşandığı koşullarda, özellikle olgunlaşma döneminde yaşanan streste simülasyonların doğruluk payı azalmıştır. Sonuç olarak simülasyonlardaki doğruluk derecesinin yeterliliği ve az miktarda girdi gerekmesi yağışa dayalı, tamamlayıcı sulama ve kısıntılı sulama koşullarında AquaCrop modelinin kullanımını kolaylaştırmıştır.

Geerts ve ark. (2009) AquaCrop modelini kullanarak, uzun yıllara ait, geçmişe dönük iklim verilerinden yararlanmış ve bitki gelişimini simüle edebilmişlerdir. Kısıntılı sulamada uygulanacak AquaCrop gibi modellerin su kullanım etkinliğindeki artışın değerlendirilmesinde ve farklı çevresel streslerin verim üzerine etkisini tahminlemede yardımcı olacağını savunmuşlardır. Çalışmalarında, büyüme aşamalarından; çıkış, çiçeklenme ve erken tane oluşumu dönemlerinde kuraklık stresine karşı duyarlı olan kinoa bitkisini kullanmışlardır. Araştırmacılar, ekimin yapılacağı bölgede kinoa yetiştiriciliğinin yaygın olarak kısa karık sulama sistemi ile 20 mm'lik net su uygulama derinliğinde yapıldığını belirtmişlerdir. Belirlenen sulama suyu miktarı (derinlik kriteri), kök bölgesindeki toprak suyunun, stomaların kapanma eşiğine kadar tükendiği koşulda uygulanmıştır (zaman kriteri). Bu, kullanıma hazır su içeriğinin (RAW) %100' ünün veya toplam kullanılabilir su içeriğinin (TAW) %61'inin tüketilmesi anlamına gelmektedir. Bu seviyenin altında kinoa da stomaların kapanması tetiklenmekte (Garcia ve ark. 2008) ve HI negatif etkilenmektedir (Geerts ve ark. 2009). Bu zaman ve derinlik kriterleri yardımıyla AquaCrop modeli, bitkinin kuraklığa karşı çok duyarlı olduğu büyüme dönemlerinde sulama programı oluşturabilmiştir.

Zekele ve ark. (2011) çalışmalarında suyun ürün yetiştirmede sınırlayıcı bir faktöre dönüşmesi yanı sıra, gelişim tahmini ve bitkinin suya verim tepkisinin de önemli olduğuna değinmişlerdir. Araştırmacılar, 2009 ve 2010 yıllarında Wagga Wagga, Avustralya'da yapılan denemeler sonucunda kanola (*Brassica napus* L.) için modele ait veriler ile deneme verilerini karşılaştırmışlardır. Kanola verileri ile düzenlenen model, yeşil örtü gelişimi, biyokütle oluşumu ve ürün verimini Willmot'un *d* istatistik değerlerine yakın simüle edebilmiştir. Ancak 2009 yılında yüksek su stresi koşullarında, biyokütle ve verim değerleri fazla hesaplanmıştır. Araştırmacılar, 2010 yılında

yetiştirilen Skipton çeşidinin arazide ölçülmüş ve model tarafından simüle edilmiş biyokütle değerlerini sırasıyla 21,1 t ha⁻¹ ve 19,1 t ha⁻¹ olarak belirlemişlerdir. Ürün verimi ise sırasıyla 3,18 ve 3,11 t ha⁻¹ olarak bulunmuştur. Kurak geçen 2009 yılında, BLN3343 Co 0401 çeşidi için arazide ölçülen ve modelde simüle edilmiş değerler sırasıyla 8,13 t ha⁻¹ ve 9,56 t ha⁻¹ olarak elde edilmiştir. Ürün verimi değerleri ise sırasıyla 1,75 ve 1,96 t ha⁻¹ olarak kaydedilmiştir. 2009 yılı verim değerleri, AquaCrop tarafından yaklaşık olarak doğru tahminlenmiş olsada, toprak su içeriği değerlerinde küçük sapmalar gözlenmiştir.

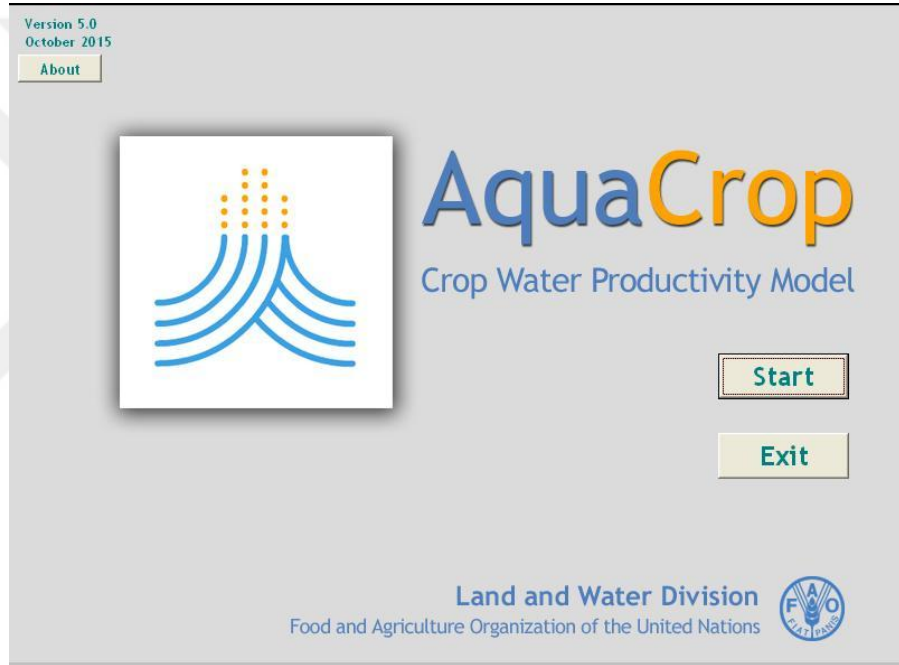
Kale ve Tarı (2012), İç Anadolu Bölgesi gibi yarı kurak iklim koşullarına sahip alanlarda tam ve kısıntılı sulama yöntemleriyle kışlık buğday için verim tahmininde AquaCrop modelinin kullanılabilirliğini test etmişlerdir. Model, Bala Tarım İşletmesi arazi şartlarında, sulu ve susuz koşullar altında elde edilen buğday verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Model tarafından tahmin edilen ve arazide ölçülen değerler istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Ortalama sapma (α), standart hata (RMSE) ve model etkinlik katsayısı E sırasıyla, biyokütle için 1,16, 1,17 t ha⁻¹ ve 0,67 t ha⁻¹ iken verim için 0,320, 3,26 ve 0,83 t ha⁻¹ olarak belirlenmiştir. Model tarafından kök bölgesindeki toprak nemi, bitki örtü yüzdesi ve tane verimi değerleri doğru bir şekilde tahmin edilirken, biyokütle değerleri yüksek bulunmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. AquaCrop modeli

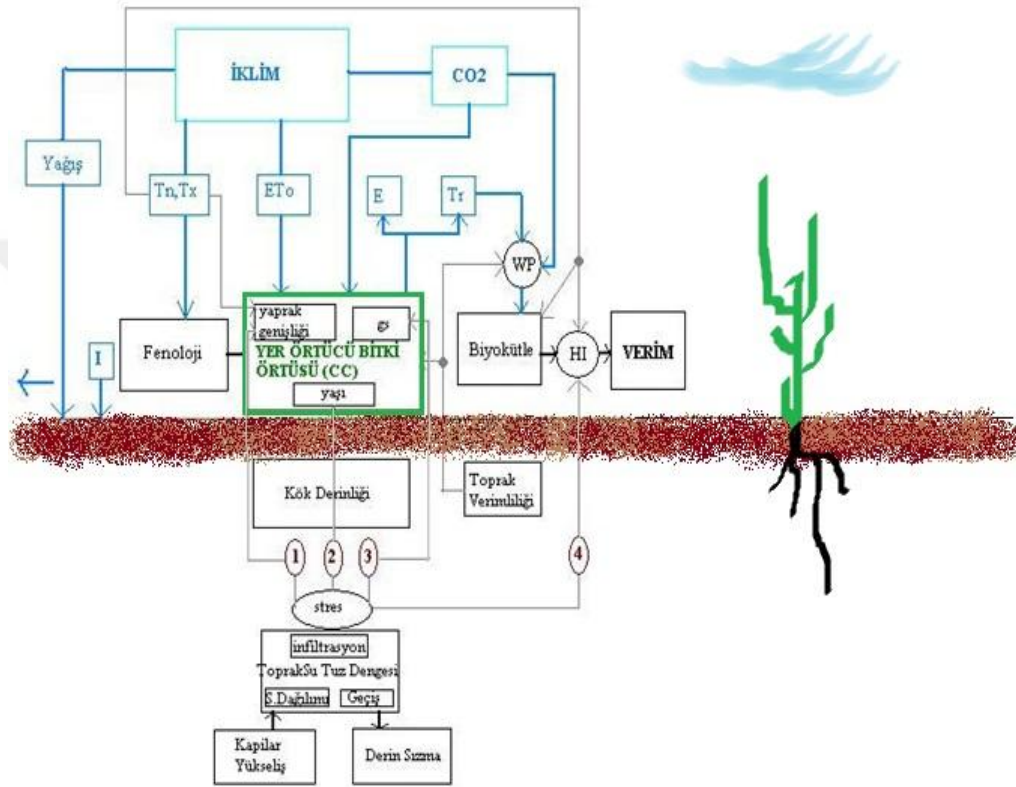
Bu çalışmada, damla sulama yöntemi kullanılarak farklı sulama programı koşullarında patates bitkisi su tüketimi, sulama suyu ihtiyacı ve verim tahmini ile sulama programının oluşturulmasında FAO resmi internet sitesinden edinilen AquaCrop 5.0 modeli (<http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html>) kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. AquaCrop 5.0 yazılımı açılış penceresi

Mühendisler tarafından 50 yılı aşkın süredir kullanılan simülasyonlar, belirli bir sistem temel alınarak matematiksel denklemler ile oluşturulmaktadır. Bitki gelişimi ve verimini simüle eden bir model olan AquaCrop'un sistemi *toprak ve bitki arasındaki etkileşim* ile oluşturulmuştur. Model, toprak-bitki-iklim döngüsünün sağlandığı bir yapıya sahiptir (Şekil 3.2). AquaCrop'un ilk versiyonu için 2007 yılında toprak-bitki-atmosfer-ürün (SPAC) sistemi içerisinde modelin hesaplama prosedürleri bir temele bağlanmış ve bitkinin karmaşık biyofiziksel süreçlere karşı tepkisinin doğru simüle edildiği belirtilmiştir (Raes 2015). Ayrıca arazi yönetimi (toprak verimliliği vb.) ve

sulama uygulamaları gibi konular toprak ile bitki arasındaki sistemi etkilemektedir. Sistemin üst sınırları atmosfer, evaporatif talep (ET_o) ve CO₂ konsantrasyonudur. Sistem alt sınırları ise toprakaltı akış ve yeraltı su tablalarından oluşmaktadır. Eğer yeraltı su tablası sığ ise su kapilar hareket ile yukarı yönlü akış göstererek sisteme dahil edilmiştir (Steduto ve ark. 2009).



Şekil 3.2. Toprak-Bitki-Atmosfer (SPAC) sürekliliği (Steduto ve ark. 2009).

AquaCrop toprak-bitki-atmosfer süreci şemasında belirtilen ana bileşenler sırasıyla, fenolojik parametreler, örtü yüzdesi (yer örtücü bitki örtüsü), terleme, biyokütle üretimi ve verimdir. I, sulama; T_n, minimum hava sıcaklığı; T_x, maksimum hava sıcaklığı; ETO, referans bitki su tüketimi; E, topraktan buharlaşma; T_r, bitki terlemesi; g_s, stoma iletkenliği; WP, su kullanım etkinliği; HI, hasat indeksi; CO₂, atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu; (1), (2), (3), (4), su stresi tepki fonksiyonlarıdır. (1) yaprak genişlemesine bağlı olarak gelişir, (2) bitki yaşına bağlı olarak gelişir, (3) stoma iletkenliğini etkiler, (4) hasat indeksini etkileyen tepki fonksiyondur. Mavi ve siyah çizgiler değişkenler ve süreçler arasında doğrudan bir bağlantı olduğunu ifade ederken, gri çizgiler geri bildirimleri göstermektedir (Steduto ve ark. 2009).

Simülasyonları, farklı yıllarda, bitki çeşitleri, çevre koşulları, arazi uygulamaları ve daha birçok yöntem için oluşturarak su kullanım etkinliği üzerine çalışmak mümkündür. Verim değerlerinin doğrulanması ve arazi yönetim stratejilerinin belirlenmesi için yapılan tarla denemelerine ek olarak, simülasyonlardan da yararlanılması hızlı ve gelecek vadeden bir yoldur (Raes ve Van Gaalen 2015).

Mevcut modellerde değişkenler çoğu zaman uzun rakamsal veriler gerektirir ve ayrıca son kullanıcılar (çifçiler vb.) için oldukça karışıktır. FAO bu sebeple AquaCrop'un gelişiminde bu karışıklıkları ele alarak, basitlik ve doğruluk arasında optimum bir denge izlemiştir. Modelin yaygın olarak kullanılabilmesi için nispeten az miktarda ve sezgisel de olabilen parametreler gerekmektedir.

Bitkinin geliştiği çevre, kullanıcı tarafından girdi parametreleri olarak belirlenmektedir. Bu parametreler; bitki özellikleri, toprak özellikleri ve arazi uygulamaları (toprak verimliliği, sulama vb.) ile üst sınır (iklim koşulları; yağış, hava sıcaklığı, atmosferin buharlaştırıcı etkisi ve CO₂ konsantrasyonu) ve alt sınır (toprakaltı su hareketleri ve yeraltı su tablası) değerlerinden oluşmaktadır (Raes ve ark. 2009).

AquaCrop belirlenen bu parametreler yardımı ile beklenebilir biyokütle ve ürün kuru verimini tahmin etmektedir. Model ayrıca belirlenmiş çevre koşulları içerisinde sistem performansını değerlendiren bir parametre içermektedir. Bu parametre, ET su verimliliğidir (WP_{et}) ve temel olarak su tüketimi ile kaybolan birim su başına (m^3) üretilen verimi (kg) ifade etmektedir (Raes ve ark. 2009).

AquaCrop modeli içerisinde bitki verim simülasyonu 4 adımda gerçekleşmektedir;

- Bitki gelişimi (bitki örtüsü ve kök derinliği gelişimidir)
- Bitki terlemesi (temel olarak simüle edilen örtü yüzdesi ile orantılıdır)
- Bitki biyokütle üretimi (simüle edilen terleme miktarı ile bağlantılıdır)
- Bitki kuru verimi (biyokütle ve hasat indeksi yardımı ile simüle edilir.)

AquaCrop modeli arazi çalışmalarında bir planlama aracı olarak kullanılabilir. Özellikle yararlı olduğu konular arasında,

- Bitkinin çevresel koşullara tepkisini anlamak,
- Sulama suyu gereksinimlerini tahmin etmek,
- Arazi ya da tüm bölge için elde edilmiş gerçek verim değerleri ile ulaşılabilir verim değerlerini karşılaştırabilmek,
- Bitkisel üretim ve su verimliliğini kısıtlayan etmenleri tanımlamak,
- Su kısıntısı altında su verimliliğini en yükseğe taşıyan yöntemler geliştirmek,
- Sulama stratejileri (tam sulama, kısıntılı sulama vb.), bitki ve arazi uygulamaları (dikim tarihi, çeşit seçimi, gübreleme, organik malç vb.) yer almaktadır (Raes ve ark. 2009).

AquaCrop, geçmişe dönük iklim verilerinin yanı sıra, geleceğe ait tahmini hava koşulları yardımı ile bitkisel üretim üzerinde iklim değişikliğinin etkisini gözlemleyebilme fırsatı da sunmaktadır. Ayrıca AquaCrop modelinin kullanıcı ara yüzü bulundurmeyen bir plug-in versiyonu da mevcuttur. Bu versiyon coğrafi bilgi sistemleri (CBS) modelleri gibi modeller içerisinde bağlantı kurularak çalıştırılabilmektedir (Raes 2015).

3.1.2. İklim özellikleri

Modelin çalıştırılma aşamasında Çizelge 3.1’de verilen Bursa İli uzun yıllar aylık ortalama iklim verileri kullanılmıştır. Yıllık toplam yağış miktarı (698.1 mm) dikkate alındığında, bölgede yarı-nemli iklim koşulları hüküm sürmektedir (Jensen 1980).

Çizelge 3.1. Çalışma alanına ilişkin uzun yıllar aylık ortalama iklim verileri (1970-2012) (MGM 2012)

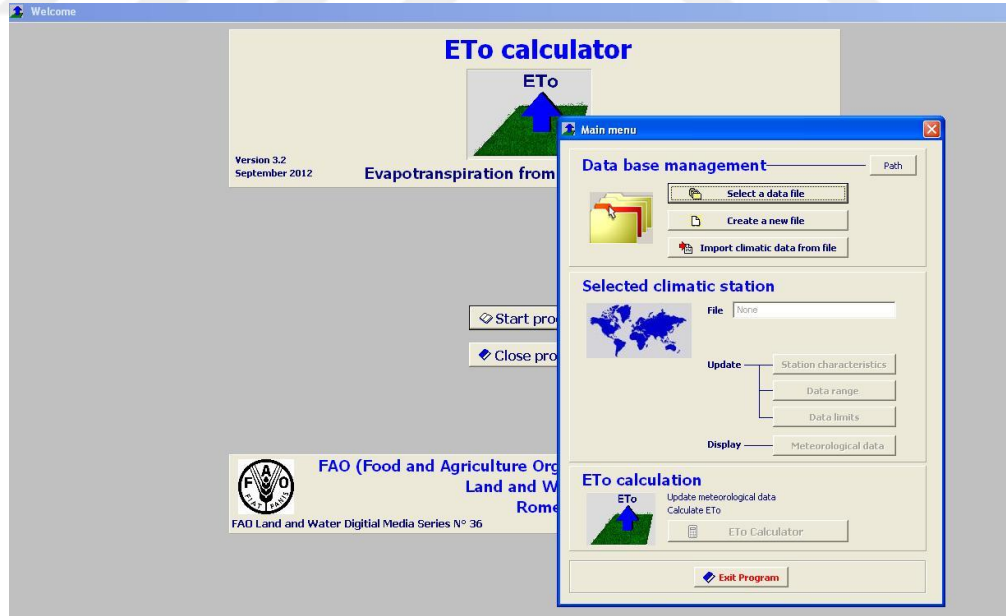
Aylar	En düşük sıcaklık (° C)	En yüksek sıcaklık (° C)	Bağıl nem (%)	Ortalama rüzgar hızı (m/s)	Günlük toplam güneşlenme süresi (saat)	Etkili Yağış (mm/ ay)
Ocak	1.6	9.6	72	2.3	4.0	70.0
Şubat	2.0	10.7	71	2.4	3.2	63.9
Mart	3.6	13.8	70	2.3	4.1	60.1
Nisan	7.3	18.8	68	2.1	5.5	59.6

Çizelge 3.1. Çalışma alanına ilişkin uzun yıllar aylık ortalama iklim verileri (1970-2012) (MGM 2012) (Devamı)

Mayıs	11.2	23.7	66	2.0	7.8	41.8
Haziran	15.1	28.5	59	2.0	9.9	31.6
Temmuz	17.5	30.8	58	2.2	10.6	16.6
Ağustos	17.3	30.7	60	2.1	9.7	16.1
Eylül	13.7	27.1	66	1.8	7.7	37.8
Ekim	10.1	21.6	72	1.6	5.3	66.2
Kasım	5.6	15.9	73	1.7	5.0	70.2
Aralık	3.3	11.3	73	2.2	2.9	86.2

3.1.3 ETo hesaplayıcı

AquaCrop, referans bitki su tüketimi (ETo) hesaplamasını içermemektedir. Fakat FAO'nun internet sitesinde, Penman-Monteith yöntemini kullanarak ETo değerini hesaplayan bir ETo hesaplayıcı mevcuttur (Şekil 3.3) (Raes, 2012). Hesaplayıcıyı, FAO'nun resmi internet sitesinden ücretsiz olarak edinebilmek mümkündür (Raes 2012).



Şekil 3.3 FAO ETo hesaplayıcı ara yüzü (Raes 2012)

ETo hesaplayıcı için gereken parametreler;

- Solar radyasyon,

- Hava sıcaklığı,
- Bağıl nem,
- Rüzgar hızıdır.

Bu parametrelere ek olarak hesaplayıcı içerisinde günlük güneşlenme süresi gibi parametreler de kullanıcının tercihi doğrultusunda kullanılabilir.

3.1.4. Patates bitkisi (*Solanum tuberosum*)

Güney Marmara’da ve Bursa İli ilçelerinde yetiştiriciliği yapılan patatesin ülke pazarında sahip olduğu önem göz önünde bulundurularak, çalışmada bitki seçimi bu alanda yapılmıştır. Modelde kullanılan, bitkiye özgü özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir. Hermes çeşidine ait bilgiler çeşidi tescil ettiren firmadan alınmıştır (Ayas 2007). Ayrıca yapılan literatür araştırması sonucu patates için optimum yaprak alan indeksi (LAI) değeri 3.5 m² yaprak m⁻² (Stern ve Donald 1963) ve referans hasat indeksi (HI₀) oranı ise %75 (Mazurczyk ve ark. 2009) bulunmuştur.

Çizelge 3.2. Patates bitkisine ait özellikler (Ayas 2007, Mazurczyk ve ark. 2009, Stern ve Donald 1963)

Bitkinin ekim zamanı	15 Mart - 15 Nisan
Bitki yoğunluğu (bitki ha ⁻¹)	0,2 * 0,7 m ²
Bitki filizlenme zamanı	20-25 gün
En geniş durumunda CC yüzdesi	% 91
Bitki senesense dönemine ulaşma zamanı	60.gün
Bitkinin olgunluğa ulaşma zamanı	107. – 112. gün
Bitkinin çiçeklenme zamanı	10 - 30 Mayıs (72. gün)
Çiçeklenme süresi	20-25 gün
Etkili kök derinliği	60 cm
Referans HI yüzdesi	%75

3.1.5 Toprak özellikleri

Çalışmada patates bitkisi için sulama programı oluşturulacak ve verim tahmini yapılacak toprakların, orta bünye sınıfında olduğu varsayılmış ve hesaplamalarda 0-120 cm toprak derinliği için, 30 cm'lik toprak katmanları dikkate alınmıştır. Seçilen toprak bünyeleri için model tarafından varsayılmış toprak fiziksel özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Seçilen toprak bünyeleri için model tarafından varsayılmış toprak fiziksel özellikleri

Toprak Derinliği (cm)	Bünye	PWP ¹ (%)	FC ² (%)	SAT ³ (%)	TAW (mm m ⁻¹)	Ksat ⁴ (mm m ⁻¹)	Tau ⁵
0-30	Tın	15.0	31.0	46.0	160	500.0	0.76
30-60	Siltli Tın	13.0	33.0	46.0	200	575.0	0.80
60-90	Siltli Tın	13.0	33.0	46.0	200	575.0	0.80
90-120	Tın	15.0	31.0	46.0	160	500.0	0.76

¹ Hacim yüzdesi cinsinden solma noktasi

² Hacim yüzdesi cinsinden solma noktasi

³ Doygun toprakta hacim yüzdesi cinsinde su içeriği

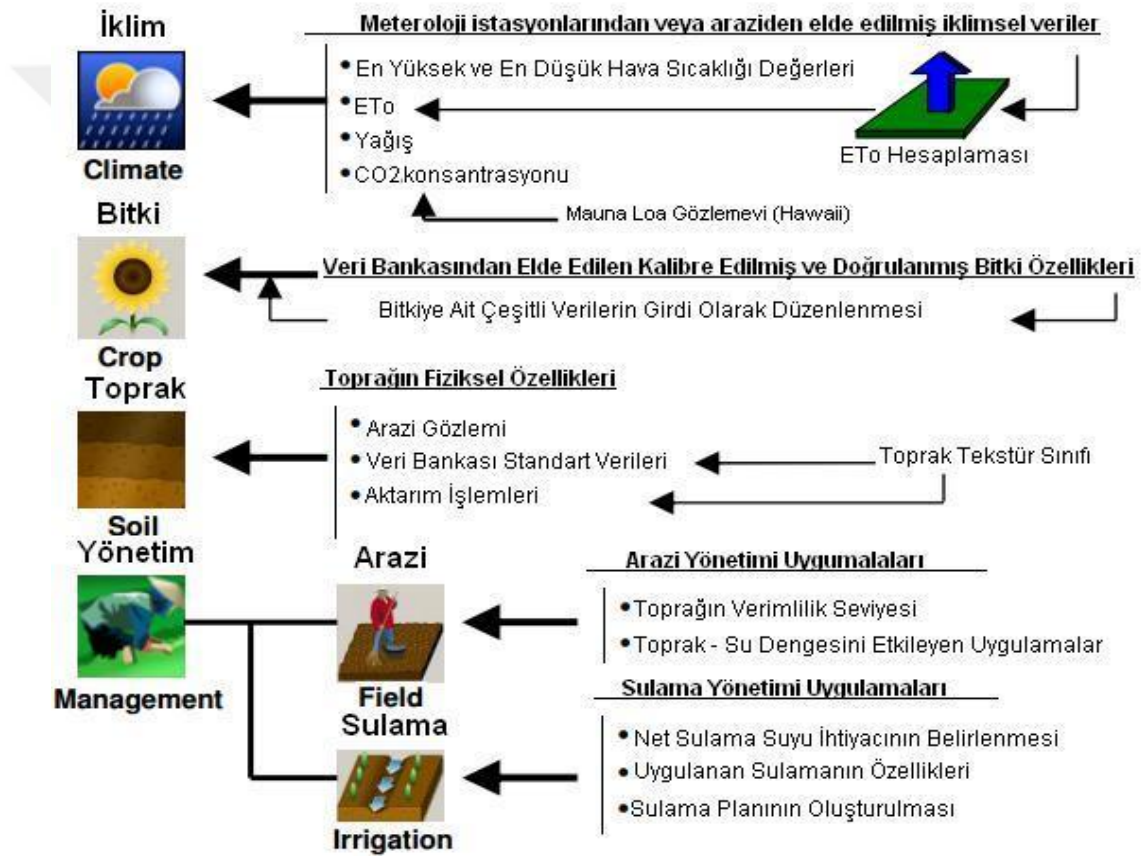
⁴ Doygun toprakta hidrolik iletkenlik

⁵ Drenaj katsayısı

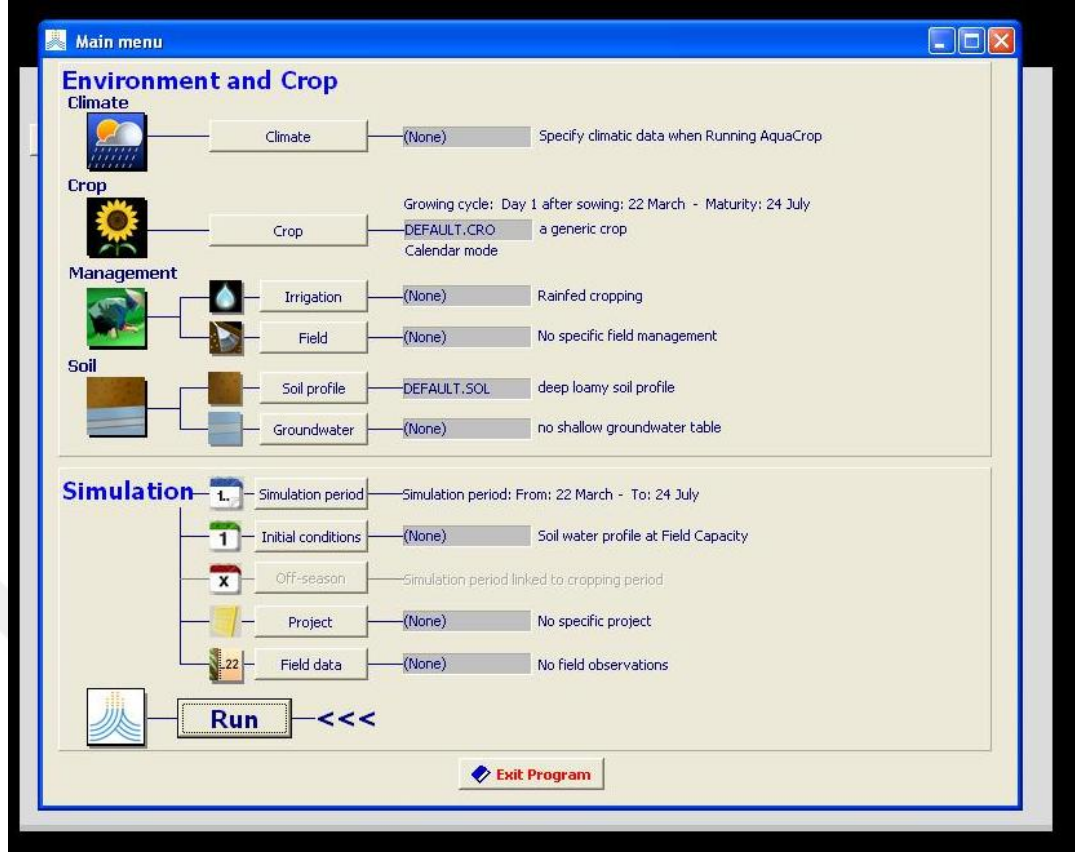
3.2. Yöntem

3.2.1. AquaCrop modelinin yapısal bileşenleri

AquaCrop, suya verim tepkisini simüle etmek için diğer simülasyon modellerine göre nispeten daha az sayıda parametre ve girdi verisine gereksinim duyan su odaklı çalışan bir simülasyon modelidir. Bitkinin yetiştirileceği çevreyi tanımlamada yardımcı iklim verileri, toprak ve bitki özellikleri ile bitki yönetim uygulamaları girdi verilerini oluşturmaktadır (Şekil 3.4). Girdiler; iklim, bitki, toprak ve yönetim dosyalarında saklanmakta ve kolayca kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir (Şekil 3.5) (Raes ve ark. 2011).



Şekil 3.4. Bitkinin geliştiği çevreyi tanımlayan paneller ve gerekli veriler (Raes ve ark. 2011)



Şekil 3.5. Model ara yüzü ve mevcut paneller

3.2.2 İklim paneli ve CLI uzantılı iklim dosyasının oluşturulması

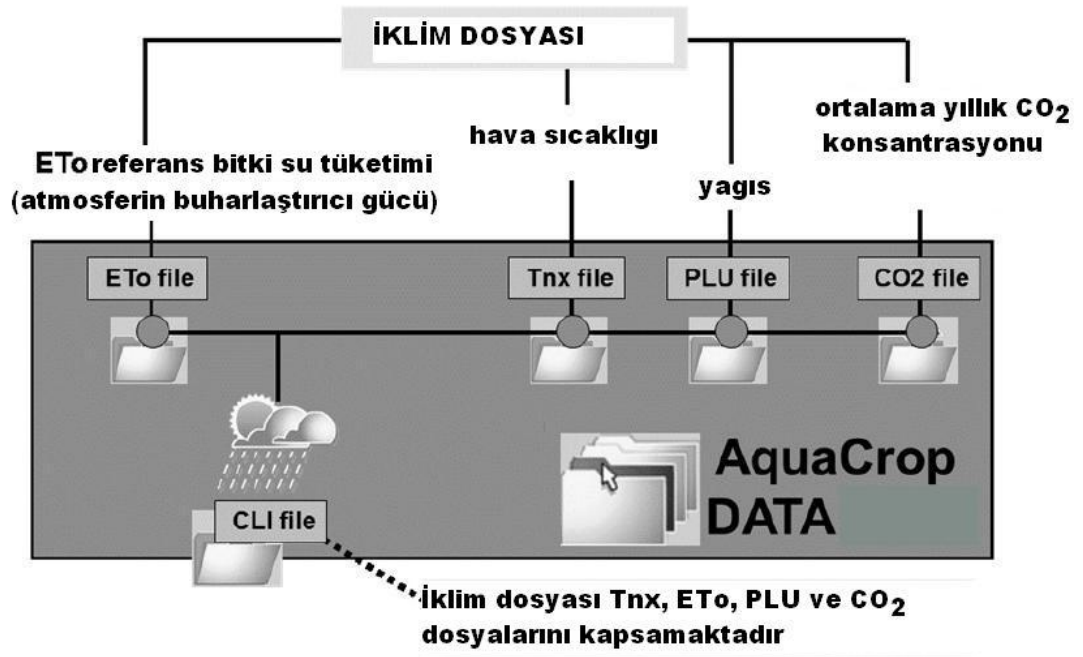
AquaCrop'un iklim bileşeni ve girdi olarak kullanılan diğer meteorolojik değişkenler (CO₂ konsantrasyonu vb.) modelin iklimsel verilerini oluşturmaktadır (Steduto ve ark. 2009). AquaCrop'u çalıştırmak için;

- günlük referans bitki su tüketimi (ET_o),
- günlük en düşük ve en yüksek hava sıcaklıkları,
- günlük yağış ve
- atmosferdeki yıllık ortalama CO₂ konsantrasyonu

olmak üzere 4 atmosferik girdi kullanılmaktadır. İlk 3 girdi bölgesel meteoroloji istasyonlarından, CO₂ konsantrasyonu ise Hawaii Maura Loa Rasathanesi kayıtlarından elde edilmektedir (Steduto ve ark. 2007).

AquaCrop simülasyonlarda kullanılmak üzere her bir iklim verisini farklı uzantılı bir dosya içerisinde saklar.

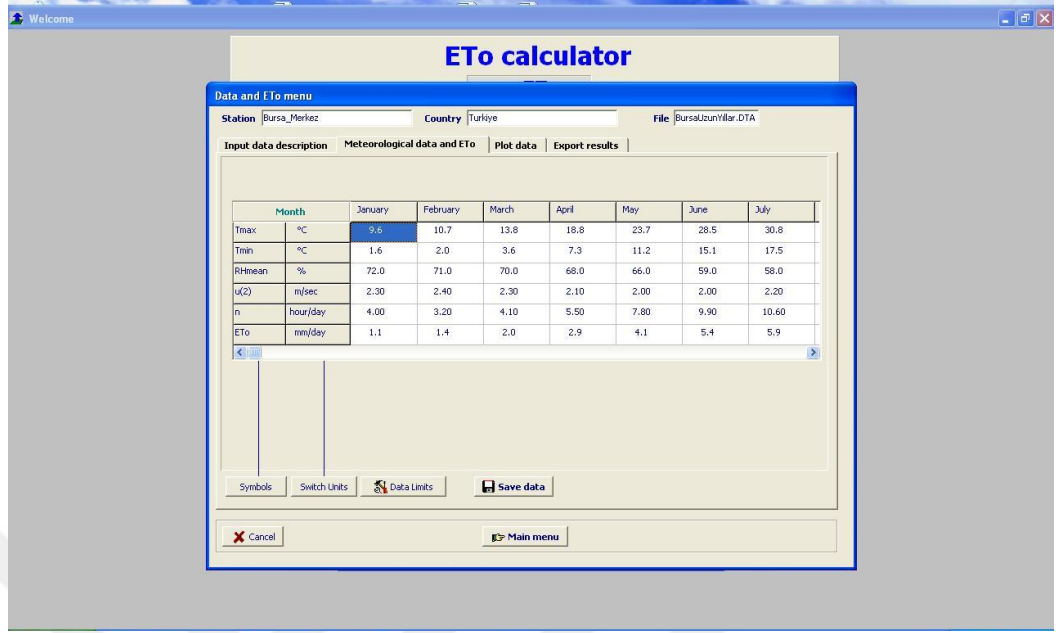
- .Eto dosyaları Eto değerlerini,
- .Tnx dosyaları en düşük ve en yüksek sıcaklık değerlerini,
- .PLU dosyaları yağış verilerini,
- .CO2 dosyaları yıllık ortalama atmosferik CO₂ konsantrasyonunu içermektedir (Şekil 3.6) (Raes ve ark. 2012).



Şekil 3.6. CLI uzantılı iklim dosyasının oluşması (Raes ve ark. 2012b)

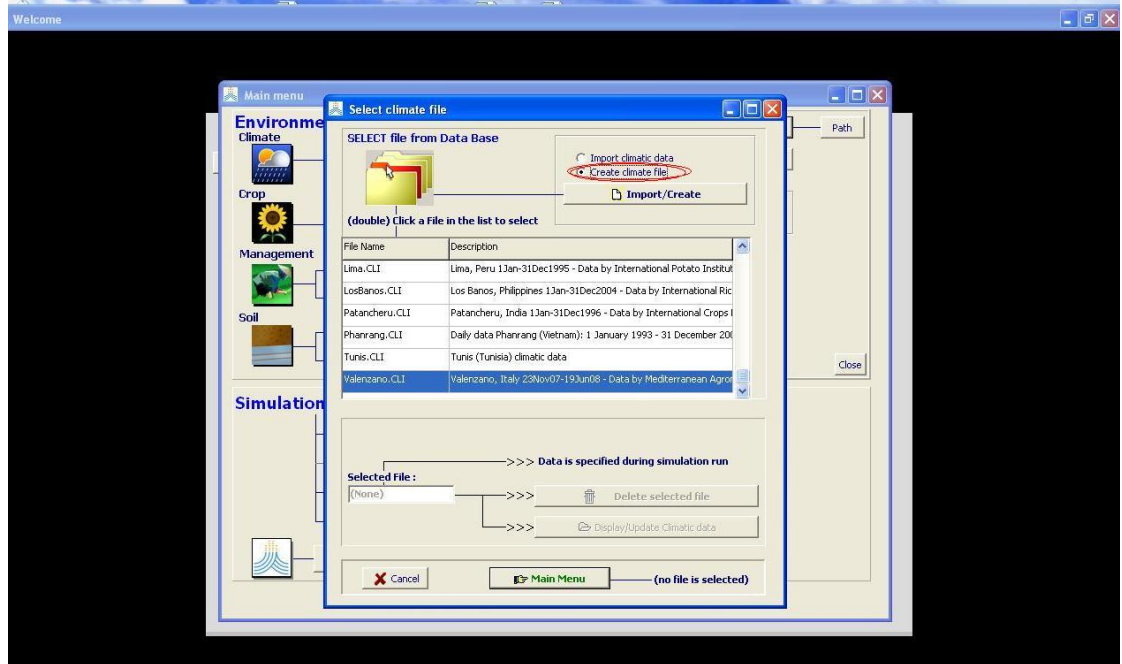
ETo verisi ise FAO 56'da verilen prosedür ile elde edilmektedir (Allen ve ark. 1998). ETo hesaplamak için gereksinim duyulan girdi değişkenleri mevcut değilse, FAO 56'da sunulan yöntemlerle hesaplanabilmektedirler (Raes ve ark. 2012b).

Çalışmada, FAO' nun resmi internet sitesinden sağlanan ETo hesaplayıcı ile Bursa İli coğrafi konumu ve coğrafi özellikleri ile uzun yıllar aylık ortalama en düşük sıcaklık, en yüksek sıcaklık, bağıl nem, ortalama rüzgar hızı ve günlük güneşlenme süresi iklim verilerinden yararlanarak her bir ay için günlük ortalama ETo değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.7). Hesaplanan aylık ortalama ETo değerleri AquaCrop/DATA klasörü içine yerleştirildikten sonra ETo hesaplayıcı kapatılmıştır.



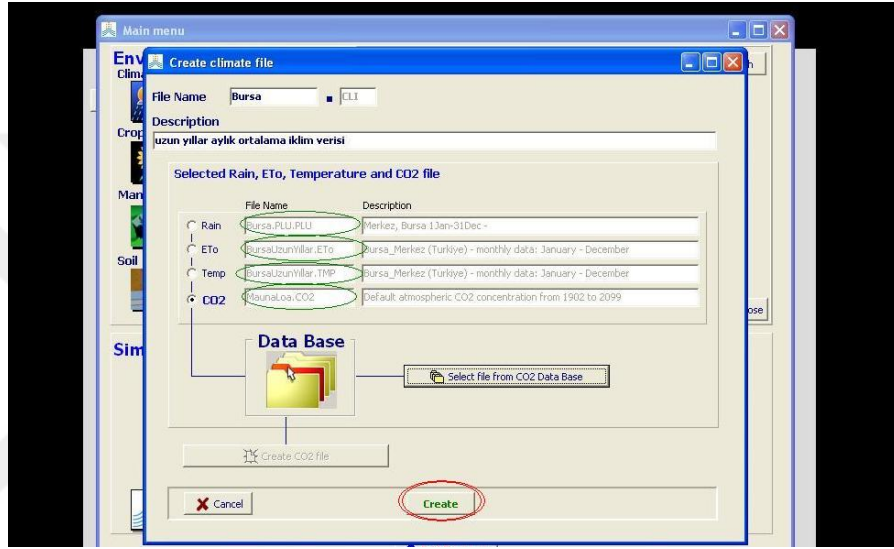
Şekil 3.7. ETo hesaplayıcı sonuç ekranı

AquaCrop modeli açılarak ve *iklim paneli* seçilmiş, sonrasında ‘create climatic file’ komutu seçilerek Bursa İline ait yeni bir iklim dosyası oluşturulmuştur (Raes ve ark. 2009) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. İklim paneli içeriği

En düşük ve en yüksek hava sıcaklığı değerleri önceden aylık ortalama ETo değerlerinin bulunabilmesi için ET hesaplayıcı içerisinde kullanıldığından dolayı AquaCrop/DATA klasörüne aktarılan dosyalar içerisinde TMP uzantısı ile yer almaktadır. Sırasıyla ETo, PLU, TMP, CO₂ uzantılı ETo, yağış, sıcaklık ve atmosferdeki karbondioksit miktarı dosyaları DATA klasöründen model içerisine her birine ait seçim ekranları yardımıyla aktarılmıştır. Dosya isimleri ve tanımlamalar gri halde seçilmiş iken ‘create’ komutu ile Bursa.CLI dosyası oluşturulmuştur (Şekil 3.9).

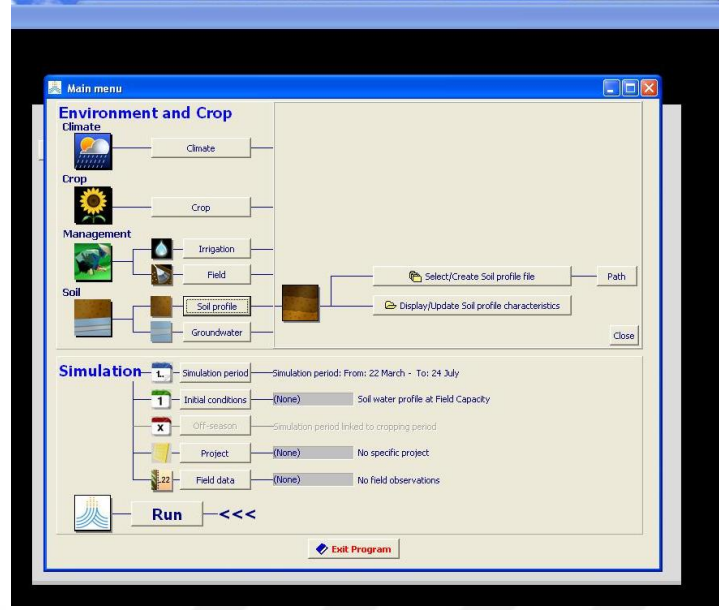


Şekil 3. 9. Oluşturulacak *Bursa* isimli iklim dosyası içeriği

3.2.3. Toprak paneli ve toprak dosyasının oluşturulması

Model, toprakta su alımını, kök gelişimiyle simüle etmektedir (Feddes ve ark. 1978) ve kök sisteminin bulunduğu toprak profili için, buharlaşma, terleme, derine sızma, köklenme, kök bölgesinde drenaj, yüzey akış, infiltrasyon ve ayrıca kapılar yükselme süreçlerini içeren bir toprak-su dengesi kurmaktadır (Steduto ve ark. 2008).

Toprak dosyasını oluşturabilmek için model ara yüzünde *toprak paneli* üzerindeki ‘select/create soil profile file’ komutu seçilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Toprak dosyası ekranı

Modelde, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) bünye üçgeni içerisindeki tüm toprak bünye sınıfları mevcuttur. Ancak kullanıcı kendi özgün değerlerini modele girerek de toprak yapısını belirleyebilmektedir. AquaCrop, her bünye sınıfını farklı fiziksel ve hidrolik özelliklerle ilişkilendirmektedir (Saxton ve ark. 1986). Bu toprak fiziksel ve hidrolik özellikleri modelde sunulmuştur (Şekil 3.11).

Soil textural class	SAT vol%	FC vol%	PWP vol%	TAW mm/m	Ksat mm/day	tau
sand	36.0	13.0	6.0	70	3000.0	1.00
loamy sand	38.0	16.0	6.0	80	2200.0	1.00
sandy loam	41.0	22.0	10.0	120	1200.0	1.00
loam	46.0	31.0	15.0	160	500.0	0.76
silt loam	46.0	33.0	13.0	200	575.0	0.80
silt	43.0	33.0	9.0	240	500.0	0.76
sandy clay loam	47.0	32.0	20.0	120	225.0	0.58
clay loam	50.0	39.0	23.0	160	125.0	0.47
silty clay loam	52.0	44.0	23.0	210	150.0	0.50
sandy clay	50.0	39.0	27.0	120	35.0	0.30
silty clay	54.0	50.0	32.0	180	100.0	0.43
clay	55.0	54.0	39.0	150	35.0	0.30

Şekil 3.11 Farklı bünye sınıflarına ait toprak fiziksel ve hidrolik özelliklerin liste ekranı

Kök bölgesindeki su dengesi hesaplamalarında eşdeğer derinlik değerinden yararlanılmaktadır. Belirli bir zaman aralığı sonrasında toprak kök bölgesindeki yeni eşdeğer su derinliği (Wr_{t+1}), mevcut eşdeğer su derinliği (Wr_t) ile gelen ve ayrılan su akış miktarları yardımı ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.1) (Raes 2015).

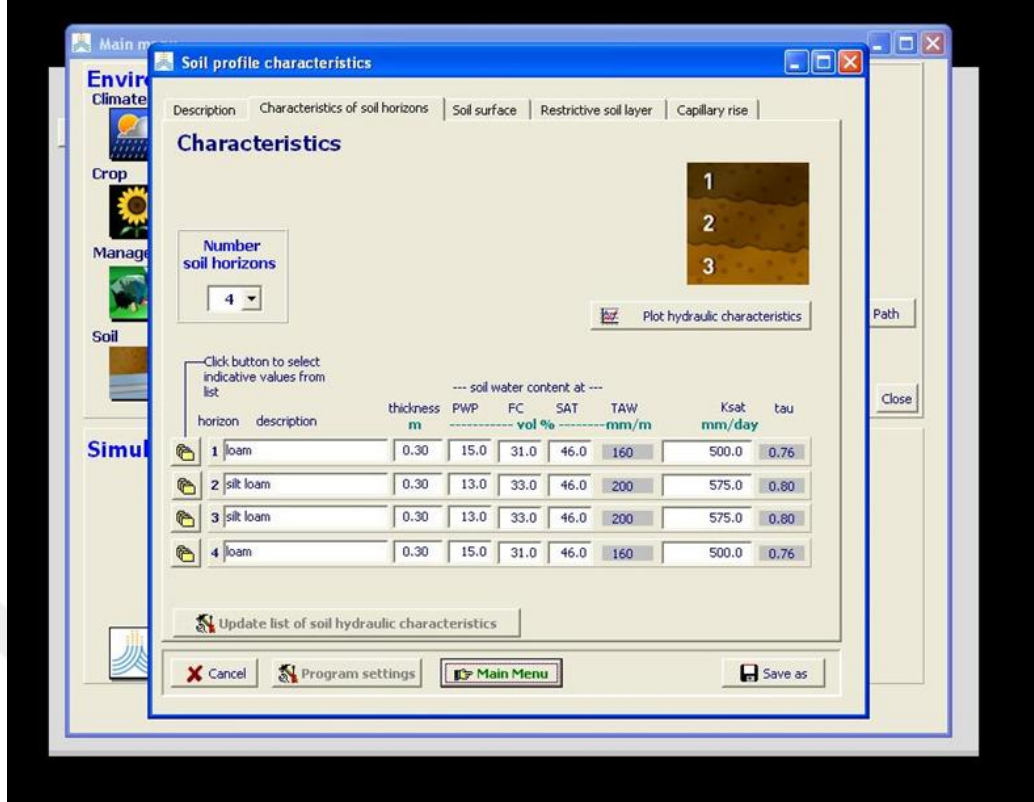
$$Wr_{t+1} = Wr_t + (I + P - RO) + CR - E - Tr - DP \quad (3.1)$$

Drene edilmiş doymuş toprak tarla kapasitesindedir ve bu Wr_{FC} değerinden gerçekte kök bölgesinde mevcut olan suyun (Wr) çıkarılması ile model kök bölgesi tüketimini (D) belirlemektedir (Eşitlik 3.2) (Raes ve ark. 2012).

$$D = Wr_{FC} - Wr \quad (3.2)$$

Bu tanımdan yola çıkarak Wr , tarla kapasitesi ile aynı ise bitkide kök bölgesi tüketimi sıfırdır. Eğer toprak tarla kapasitesinden daha kuru ise, Wr pozitifdir ve toprağın tarla kapasitesi seviyesinden daha fazla suya sahip olduğu durumlarda Wr negatif bir değer almaktadır.

Modelde simülasyonları oluşturulacak kök bölgesi toprak profili, farklı katmanlardan oluşmuştur, her bir katmanın fiziksel özellikleri model içerisine aktarılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Toprak bünyesi ekranı

Toprak profili, kök bölgesini kısıtlayıcı bir tabaka içeriyorsa, geçirimsiz tabaka derinliğinin modele aktarılması gerekmektedir. Patates bitkisi toprak su dengesine yönelik olarak yapılan çalışma doğrultusunda bitki kök derinliğini etkileyecek bir geçirimsiz katman ve sığ düzeyde bir yeraltı su tablası bulunmadığı varsayılmıştır.

Toprak profilindeki su hareketlerinin, infiltrasyonun ve derine sızmanın model tarafından tanımlanabilmesi için *doymuş hidrolik iletkenlik* (Ksat) ve toprağın *drenaj katsayısının* (τ) modele aktarılması gerekmektedir. AquaCrop'ta doymuş toprağa ait hidrolik iletkenlik katsayısı Ksat ile ifade edilmektedir (Raes 2015). Modelde farklı bünye sınıfları için Ksat değerleri bulunmaktadır (Çizelge 3.4). Ksat değerleri sadece toprak bünye sınıflarına göre değişim göstermemekte hatta bir toprak bünyesi içinde tek bir Ksat değeri bulunmamaktadır. Tek bir çalışma alanında dahi Ksat değeri toprak yapısı, hacim ağırlığı, biyolojik aktivite ve arazi uygulamaları ile değişebilmektedir.

Çizelge 3. 4. AquaCrop modelinde mevcut Ksat sınıflandırması (Raes 2015)

Bünye sınıfları	K sat	
	mm/gün	Sınıflar
Kumlu Topraklar: İri Dokulu Topraklar kum, tınlı kum	500-2000	Çok hızlı, Hızlı, Orta Hızlı
Tınlı topraklar: • Orta İri Dokulu Topraklar tınlı kum	200-1000	Orta hızlı, Orta yavaş
• Orta Dokulu topraklar tınlı, killi tınlı, killi	100-750	Orta yavaş, Yavaş
• Orta ince dokulu topraklar Kumlu killi tınlı, killi tınlı ve killi topraklar	5-150	Yavaş, Çok yavaş
Killi Topraklar: İnce dokulu topraklar kumlu kil, siltli kil, kil	1-50	Çok yavaş Fazlasıyla yavaş

Toprak tabakasının doymuş hidrolik özelliği ile orantılı bir drenaj katsayısı (τ) mevcuttur (Eşitlik 3.3)

$$0 \leq \tau = 0.0866Ksat^{0.35} \leq 1 \quad (3.3)$$

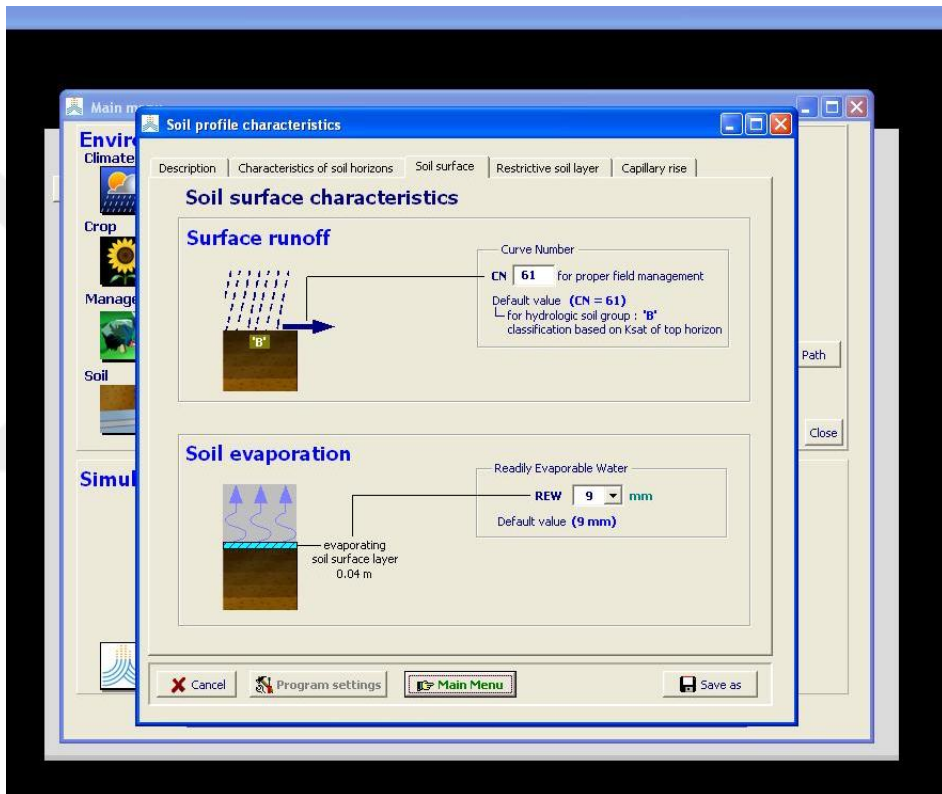
Drenaj katsayısı, toprak tabakasından (doyma noktası ile tarla kapasitesi arasında su mevcutken) drene edilebilir toplam su miktarının ifade edilmesinde kullanılır. τ değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir.

Eğer Ksat değeri düşük ise (killi toprak tabakası gibi), τ değeri çok düşük olacaktır ve toprağın tarla kapasitesine ulaşması birkaç gün alacaktır (Şekil 3.13) (Raes 2015).

USDA tarafından geliştirilen Eğri Numarası (CN) metodu yağış sonrası derine sızma ile kayba uğrayan suların fazlasının hesaplanmasında kullanılmaktadır ve küçük havzalarda ortaya çıkan su hacimlerinin tahmininde kullanılmaktadır. CN metodu, havzanın özelliklerine bağlı olarak geliştirilmiş eğri numarası değerleri ve 5 gün önceki yağış verilerinden direkt olarak akışa geçen yüzeysel suların hesaplanmasında yaygın olarak

kullanılmaktadır (Jain ve ark. 2006). Eğri numarası, yüzey toprağının su içeriğine göre belirlenmektedir. AquaCrop modeli CN değerinin belirlenmesinde Ksat değerinden faydalanmaktadır (Raes ve ark. 2012a). CN değeri arazi örtüsü ve toprak özelliğine bağlı olarak potansiyel akımı göstermektedir (Özdemir 2007).

Bu çalışmaya ait toprak yüzeyi sekmesi Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Önceden belirtilen model girdileri doğrultusunda CN ve buharlaşmaya hazır su derinliği (REW) değerleri sırasıyla 61 (B sınıfı) ve 9 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 3.13 Toprak yüzeyi sekmesi

3.2.4. Bitki paneli ve CRO uzantılı bitki dosyasının oluşturulması

AquaCrop modeli veri tabanında bitkiye özgü, kalibrasyonu yapılmış parametreler içermektedir. Bitki panelinin işleyişinde, girdiler arasında, sabit (korunmuş) parametreler ile sabit olmayan değişken parametreler arasında bir ayrım yapılmıştır (Raes ve ark. 2009).

Sabit parametreler zamana, coğrafi konuma ve arazi uygulamalarına göre değişmezler. Aksi bir durum belirtilmedikçe sadece bitki çeşidine göre değişim göstermektedirler.

Değişken parametreler ve sabitlik özelliği daha az olan parametreler ise bitki çeşidi, arazi uygulamaları, dikim şekli veya toprak profiline göre düzeltme gerektirebilmektedir.

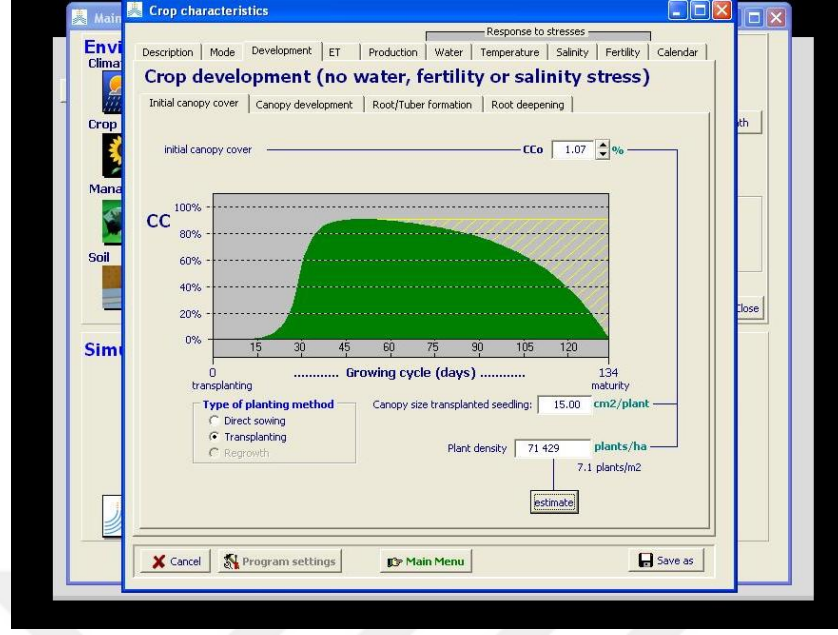
AquaCrop modelinin geliştirilmesi amacıyla dünyanın farklı yerlerinde patates dahil birçok bitki için denemeler kurulmuş ve her bir bitkiye ait sabit parametreler model içerisine eklenmiştir (Zekele ve ark. 2011).

Değişken parametreler şunlardır;

- Ekim türü
- Başlangıç CC değeri, CCo
- En yüksek CC değeri, CCx
- Bitki yoğunluğu ve
- Bitkilerin %90'ının filizlenmesi için geçen süre
- En derin etkili kök derinliği

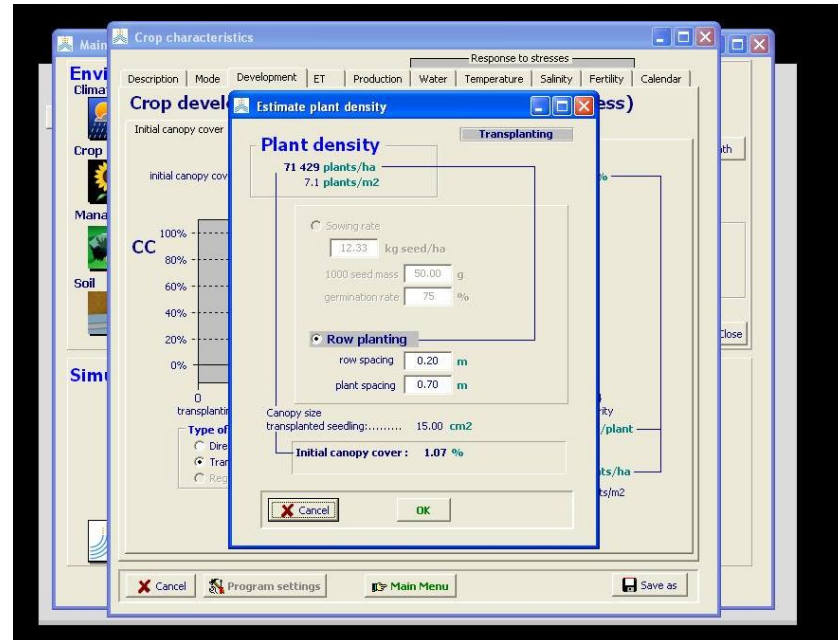
Başlangıç CC değerini belirleme ekranı bizlere 4 seçenek sunmaktadır (Şekil 3.14);

1. Bitki dikim yoğunluğu yardımı ile,
2. Sınıflardan birini sezgisel olarak seçerek,
3. CCo değerini doğrudan girerek,
4. 'Estimate' butonu yardımı ile



Şekil 3.14 CCo değeri penceresi

Estimate butonu aracılığıyla modele patates sıra arası ve sıra üzeri ekim aralıkları girilmiş ve başlangıç CCo değerine ulaşılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. 'Estimate' penceresi

Bu çalışmada sıra arası ve sıra üzeri değerlerden yola çıkılarak 0.20 x 0.70 m sıra aralıkları doğrultusunda patates ekiminde bitki yoğunluğu 71 429 bitki ha⁻¹ bulunmuştur. Ayrıca %90 filizlenme için geçen süre kullanıcı tarafından girilmesi gereken bir diğer değerdir (Raes ve Van Gaalen 2015).

En yüksek örtü yüzdesi değerinin iki yol ile modele aktarılabilmesi mümkündür;

1. Zayıf yüzey örtüsünden gür örtü seçeneğine kadar oluşan sınıflandırmalardan birini seçerek,
2. Doğrudan CCx değerini girerek.

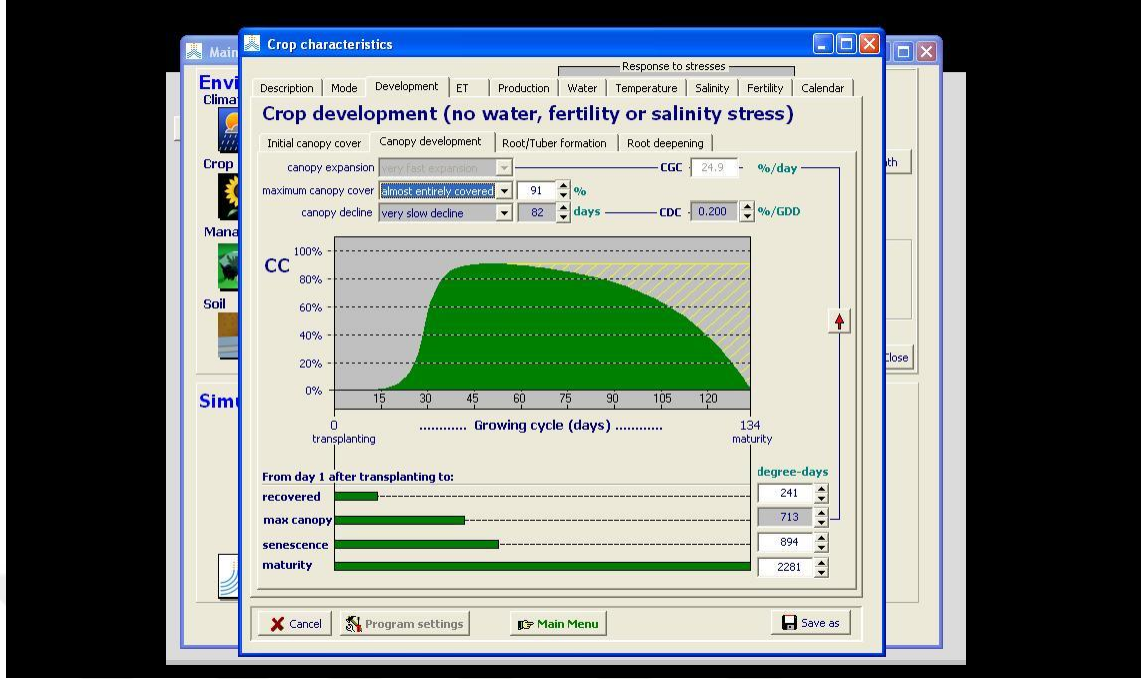
Simülasyonda, oluşabilecek örtü yüzdesi azalmaları sunulurken, ayrıca kullanıcılara gerçek CC değerinin veya gözle tahmin edilebilir CC değerlerinin girilmesine izin verilmektedir. Gerçek CC değeri girilmek istendiğinde, CC değeri uzaktan algılama yöntemleriyle elde edilebilmektedir ya da Ritche eşitliği yardımı ile gün ortasındaki solar radyasyon ve LAI arasındaki ilişkiden yola çıkarak CC değeri elde edilebilmektedir (Ritchie 1972; Belmans ve ark. 1983; Ritchie ve ark. 1985; Farahani ve ark. 2009) (Eşitlik 3.4).

$$CC = 1 - e^{-kLAI} \quad (3.4)$$

k; bitki gelişimine ait bir katsayı olarak kabul edilir ve yaklaşık olarak 0,7 alınmaktadır.

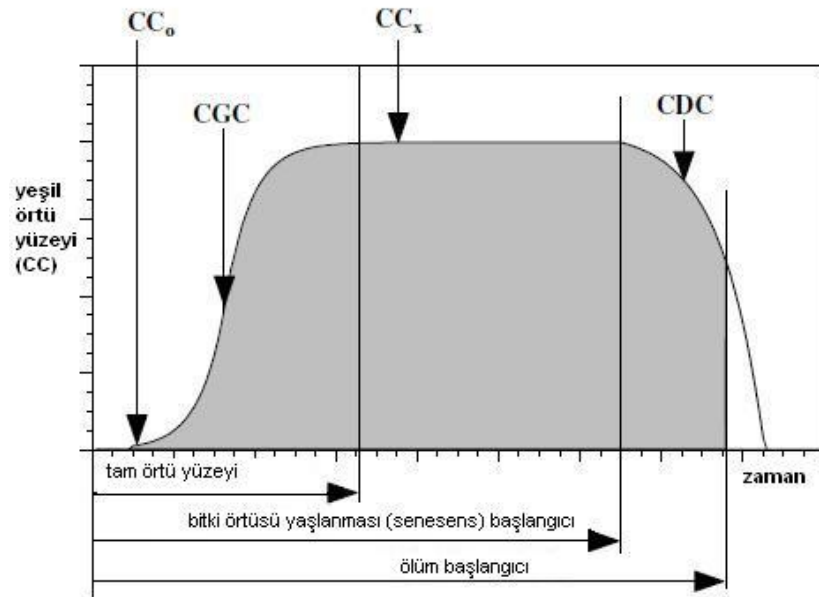
Yapılan literatür araştırmaları sonucu (Stern ve Donald 1963) patates bitkisi için optimum yaprak alan indeksi 3.5 bulunmuş olup Eşitlik 3.5'den yararlanarak CCx değeri;

$$CCx = 1 - e^{-0.7*3.5} = 0.91 \text{ yani \%91 olarak bulunmuştur (Şekil 3.16).}$$



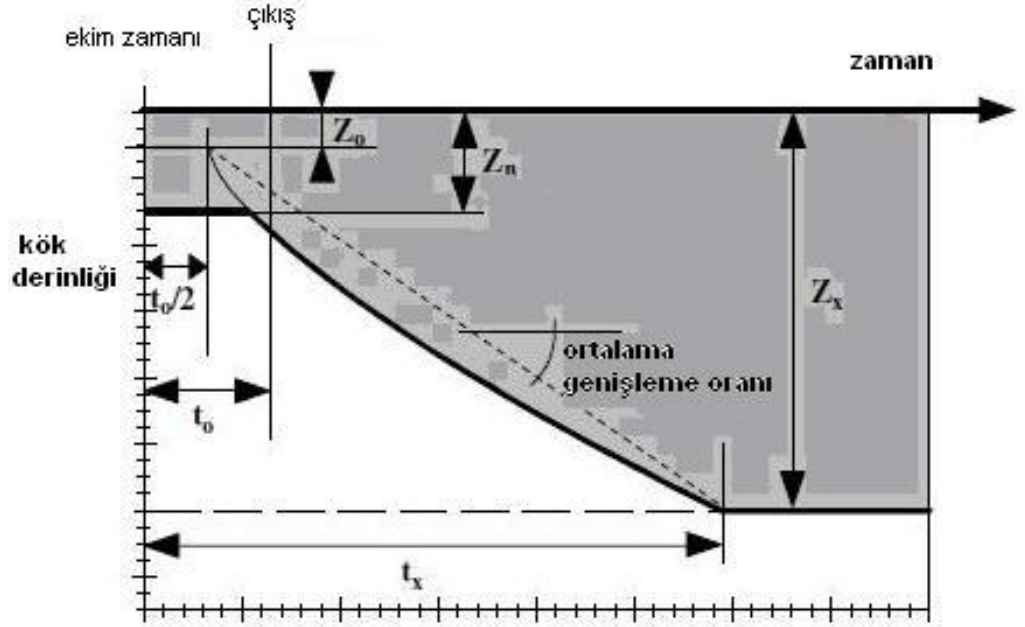
Şekil 3.16. CCx değeri penceresi

AquaCrop modeli, CC_0 ve CC_x örtü yüzdesi genişlemelerinin simüle edebilmesi için CC_0 ve CC_x değerlerinin yanında örtü yüzdesi büyüme katsayısı (CGC) ve örtü yüzdesi azalma katsayısına (CDC) ihtiyaç duymaktadır ve ikisi de sabit bitki parametreleridir. (Şekil 3.17) (Raes ve ark. 2012b).

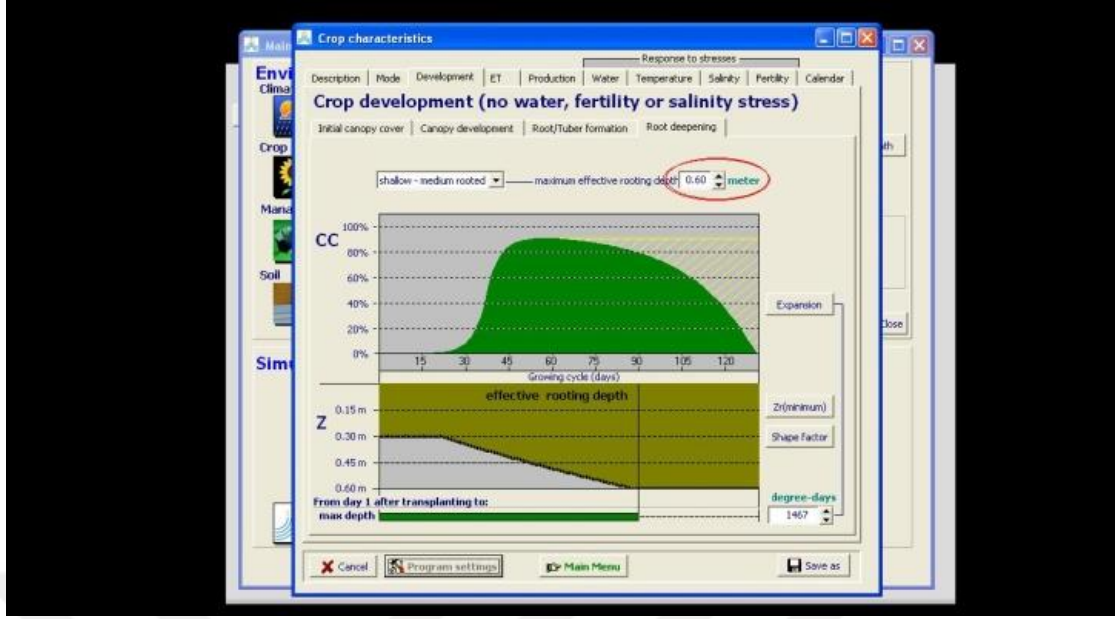


Şekil 3.17. CGC ve CDC katsayılarının bitki gelişim grafiği üzerinde gösterimi (Raes ve ark 2012)

Ekim tarihinde kök derinliği minimum seviyededir ve Z_n ile ifade edilir. Z_n değeri fidenin çimlenebilmesi için gereken suyu emebileceği en sığ derinliktir. Model simülasyonlarında genellikle 0,20 ile 0,30 m arasında kabul edilmektedir. Bitki kök genişlemesi kök bölgesi genişleme eğrisi ile ifade edilmektedir. Kök derinliği, iyi beslenen topraklarda Z_x değerine kadar genişleme ve derinleşme göstermektedir. Kök bölgesi genişleme eğrisi, kökün zamana bağlı derinleşme oranıdır ($\Delta Z/\Delta t$) (Şekil 3.18) (Raes ve ark. 2012). Bu çalışmada, maksimum kök derinliği 0,60 cm olarak belirlenmiştir ve bu derinlik için köklenme paneli Şekil 3.19'da sunulmuştur.



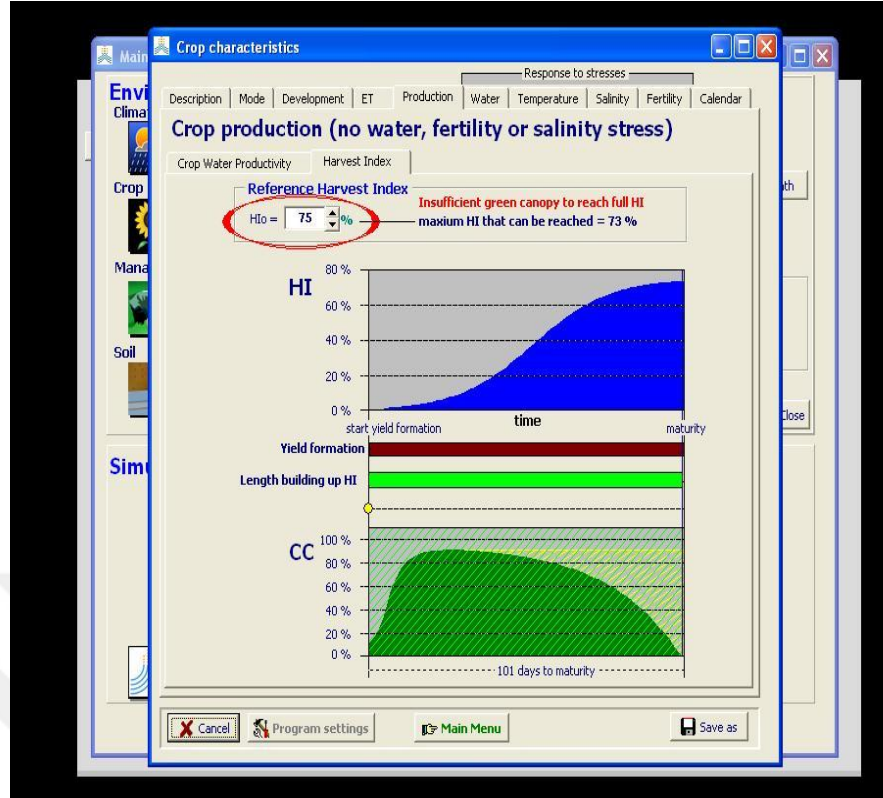
Şekil 3.18 Kök derinliği gelişiminin grafiksel gösterimi (Raes ve ark. 2012b)



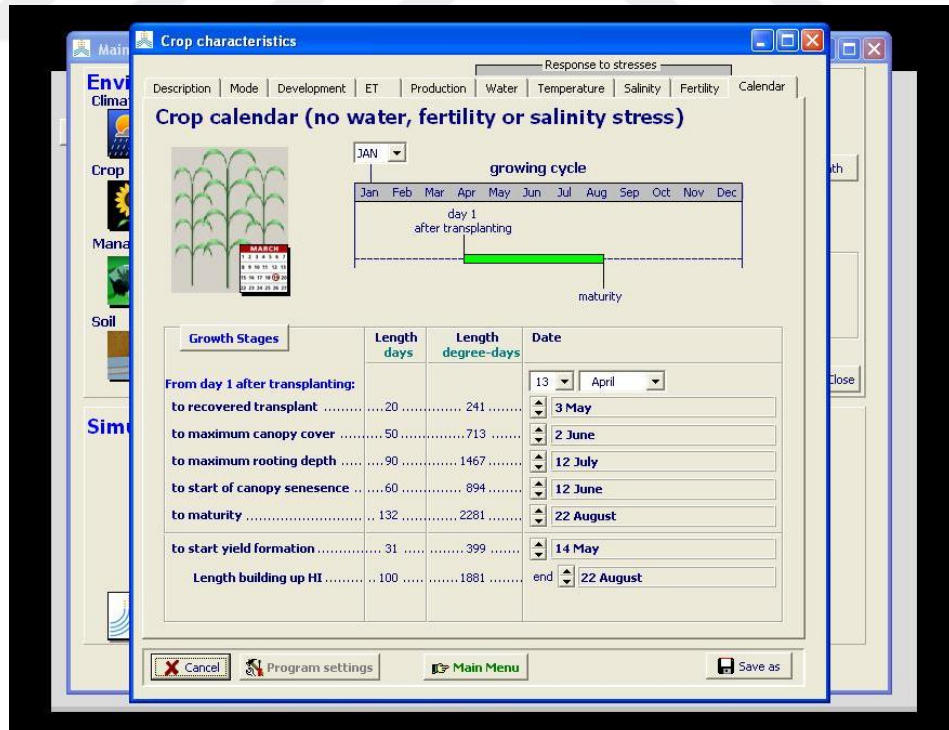
Şekil 3.19. Patates verimi çalışmasına ait Zx değeri ekranı

Bitki yetiştirme teknikleri ve biyoteknoloji değişikçe sabit parametrelerin birçoğunun değişebileceği uzun vadede öngörülmektedir. Bu şekildeki sabit parametrelerden biride referans hasat indeksidir. AquaCrop, biyokütle içerisinde hasat edilebilir verimi ayırıp hasat indeksi (HI) olarak simule etmektedir. HI kuraklık stresinin süresine ve yoğunluğuna göre yeniden düzenlenmektedir (Feres ve Soriano 2007; Hsiao ve ark, 2009). Oluşan su veya ısı stresinin HI üzerine etkisi, stres koşullarına göre sürekli ayarlanan bir çarpan yardımı ile hesaplanmaktadır (Raes 2015).

Çalışmada kullanılan referans HI seçim ekranı Şekil 3.20’de verilmiştir. ‘Crop characteristic’ menüsünün ‘calendar’ sekmesinde mevcut bitki çeşidi için FAO 56 Sulama ve Drenaj Yayını prosedürleri (Allen ve ark. 1998) kaynak alınarak uyarlanmış bazı gelişim dönemlerine ait günlük takvim süreçleri mevcuttur. ‘Calendar’ sekmesi ekranında gelişim dönemi süreçlerini inceleyebilmek ve takvimin üzerinde değişiklikler yapabilmek mümkündür. Patates verimi çalışmasına ait takvimsel süreçler Şekil 3. 21’ de verilmiştir.



Şekil 3.20. HIo seçim ekranı



Şekil 3. 21. Günlük takvim ve gelişme derece gün (GDD) takvimi ile patates gelişim süreçleri

ETo değeri çim bitkisi referans alınarak oluşturulmuş referans bitki su tüketimidir. AquaCrop ET değerini model içerisinde ikiye ayırarak bitki su tüketimini toprak buharlaşması ve bitki terlemesi başlıkları altında incelemektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Model içerisinde ET ayrımı

Modelde bitki terlemesi, referans ETo değerinin stres koşullarından (Ks) etkilenebilecek bitki terleme katsayısı ($K_{c_{Tr}}$) ile çarpılması ile elde edilmektedir. (Eşiklik 3.5)

$$Tr = K_s K_{c_{Tr}} E_{to} \quad (3.5)$$

Ks katsayısı farklı stres koşullarını barındırmaktadır ve model tüm stres katsayıları için terleme miktarını hesaplamaktadır. Bu stres katsayıları;

- Stoma iletkenliğini etkileyen su stresi ve katsayısı; $K_{s_{sto}}$
- Havalanmayı etkileyen su stresi ve katsayısı ; $K_{s_{aer}}$

$K_{C Tr}$ (terleme katsayısı) değeri örtü yüzdesi (CC) ile orantılı bir katsayıdır. Modelde sabit bir parametre olan $K_{C Tr}$ Eşitlik 3.6 da verilen denklem ile elde edilmektedir (Raes 2015).

$$K_{C Tr} = CC * K_{C Tr,x} \quad (3.6)$$

$K_{C Tr,x}$; tam örtü yüzdesi (CC = 1) koşullarında maksimum bitki terleme katsayısıdır.

Model içerisinde buharlaşma miktarı eşitlik 3.7'deki denklemde verilmiştir.

$$E = (Kr Ke) ET_o \quad (3.7)$$

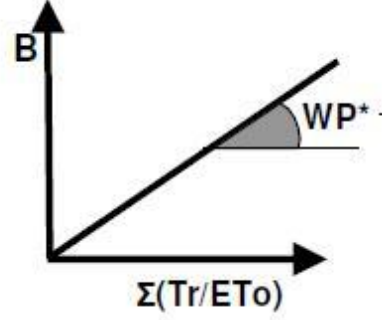
AquaCrop modeli biyokütle oluşumunu (B) kümülatif terleme miktarı ($\sum Tr$) ile orantılı olarak hesaplamaktadır. Model adım adım giderek öncelikle bitkideki terleme miktarını simüle etmekte sonrasında bu değer yardımı ile B miktarını hesaplamakta ve sonuç olarak bitki gelişimi simüle edilmektedir (Eşiklik 3.8).

$$B = WP \sum Tr \quad (3.8)$$

Yaprağa giren CO₂ miktarı ile yapraktan ayrılan su buharı arasındaki bağlantı, kümülatif transpirasyon değerinin biyokütle üretimini tahmin etmede kullanılabileceğini göstermektedir. Kümülatif terleme ve biyokütle oluşumu arasındaki güçlü ilişki Aquacrop tarafından toprak üstü biyokütle değerini simüle etmekte kullanılmaktadır. Bu iki kavram arasında ilişkiyi oluşturan en temel etmen su kullanım etkinliğidir (WP). Su kullanım etkinliği toprak üstü üretilen kuru madde için birim alan başına (m² ya da ha) birim terleme (mm) olarak ifade edilmektedir.

B ve $\sum Tr$ arasındaki ilişkiyi anlatmakta kullanılan eğri çizgisi doğrusaldır. Fakat çevre koşulları (coğrafik konum, ekim tarihi vb.) ve atmosferik CO₂ konsantrasyonu gibi etmenler ile eğrinin şekli değişebilmektedir.

Model biyokütle üretimi simülasyonlarında WP değerini kullanmamakta bunun yerine WP değerini modele aktarılan mevcut çevresel koşullara (konum ve iklim özellikleri vb.) göre yeniden düzenleyerek oluşturmaktadır (WP*) (Şekil 3.23).

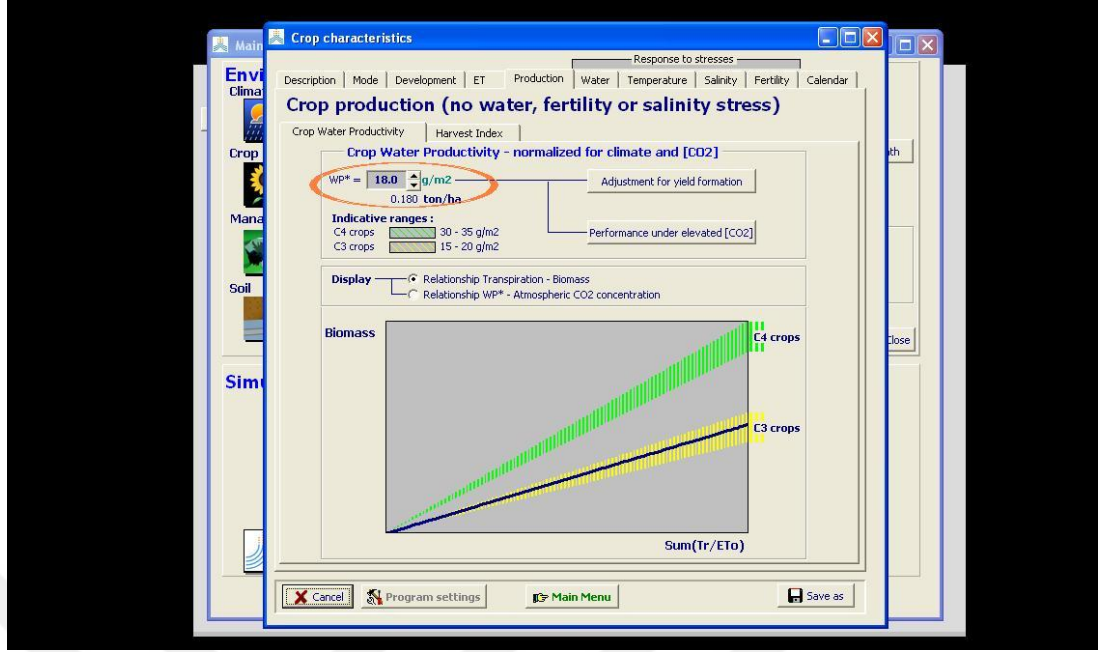


Şekil 3.23. B ve $\Sigma(Tr/ETo)$ arasındaki ilişki

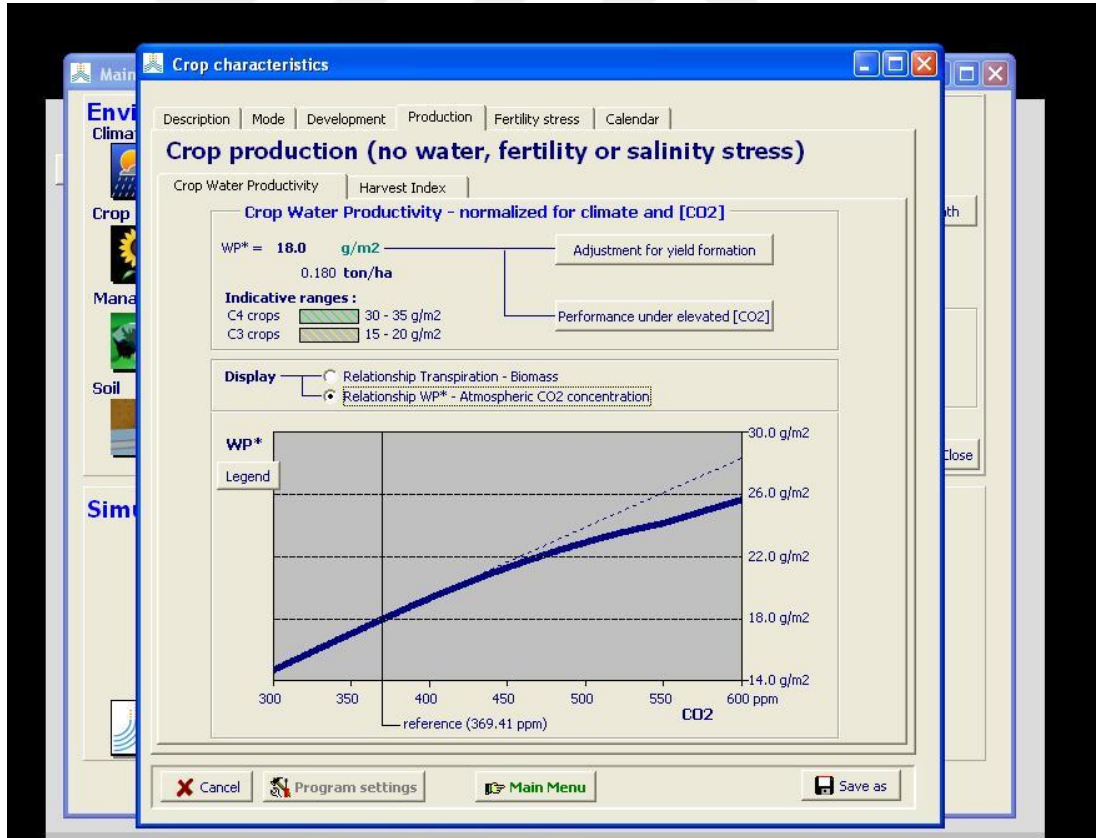
Temel WP değerinin çevre koşullarına göre yeniden düzenlenmesiyle (normalize edilmesi ile) oluşturulan WP* değerinin yanı sıra günlük terleme miktarının o gün için hesaplanan referans bitki su tüketimine bölünmesi ile mevcut çevre koşulları için düzenlemeye gidilmektedir. Kümülatif B üretimi bulunurken WP* değeri günlük terleme miktarının, referans bitki su tüketimine kümülatif bölümü ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.9) (Şekil 3.23) (Raes ve ark. 2012a).

$$B = K_{S_b} WP^* \sum \frac{Tr}{ET_o} \quad (3.9)$$

Bu çalışmaya ait WP simülasyon ekranlarına 'production' sekmesi içerisinde yer alan 'crop water productivity' sekmesinden ulaşılmaktadır. Model WP* simülasyon gösterimi terleme ve biyokütle arasındaki ilişki grafiği ile WP*'nin CO₂ ile arasındaki ilişkiyi ayrı ayrı simüle edebilmektedir (Şekil 3.24 ve Şekil 3.25). Model, WP* değerini 18 g m⁻² olarak tahminlemiştir.



Şekil 3.24. Patates bitkisi için biyokütle ve terleme değerlerine göre WP* simülasyonu



Şekil 3.25. Patates bitkisi için atmosferdeki CO2 konsantrasyonuna göre WP* simülasyonu

Biyokütle üzerine etki eden stresler, Aquacrop içerisinde stres katsayıları (Ks) olarak ifade edilmektedir. Toprak su içeriği doğrultusunda gözlenen stres, hava sıcaklığına bağlı olarak gözlenen stres, toprak verimliliği ve toprak tuzluluğundan kaynaklanan stres değerleri bitki gelişimi ve ürün oluşumuna etki etmektedir. Bu stres çeşitlerinin her biri bir stres katsayısı ile model tarafından simule edilmektedir. Ks değerinin üst eşiği bitkinin strese maruz bırakılmadığı koşullarda 1'dir ve alt eşiği maksimum stresin yaşandığı koşullarda 0'dır. Sonuç olarak Ks değeri 1 ile 0 arasında değerler almaktadır (Raes ve ark. 2012a).

Toprak su stresi, bitki örtüsü genişliği, kök derinliği, stomaların kapanması, bitki terleme oranı ve HI değerlerine etki etmektedir. Eğer bitkiye etki eden su stresi çok şiddetli olursa, tozlaşmada başarısızlık ve bitki örtüsünde erken yaşlanma gözlenir. Model içerisinde toprak su stresinden etkilenen her bir sürecin kendine özgü eşik değerleri bulunmaktadır. Bitki dosyası oluşturulurken yapılan *full set* modu ayarı ile, sabit parametrelerden olan *water* sekmesinde, streslerden etkilenen süreçler ve katsayıları kullanıcı tarafından incelenebilmektedir. Sekme içerisindeki bu süreçler ve katsayı sembolleri aşağıda sınıflandırılmıştır.

1. Toprak su içeriği

- Su içeriğine bağlı yaprak genişlemesini etkileyen stres ve katsayısı; $K_{S_{exp,w}}$
- Stoma iletkenliğini etkileyen su stresi ve katsayısı; $K_{S_{sto}}$
- Tozlaşmayı etkileyen su stresi ve katsayısı; $K_{S_{pot,w}}$
- Havalanmayı etkileyen su stresi ve katsayısı ; $K_{S_{aer}}$
- Senesens dönemini etkileyen su stresi ve katsayısı, $K_{S_{sen}}$

2. Hava sıcaklığı

- Hava sıcaklığına bağlı biyokütle oluşumunu etkileyen stres ve katsayısı; K_{S_b}
- Hava sıcaklığına bağlı olarak tozlaşmayı etkileyen soğuk stresi ve katsayısı;
 $K_{S_{pol,c}}$
- Hava sıcaklığına bağlı olarak tozlaşmayı etkileyen ısı stresi ve katsayısı; $K_{S_{pol,h}}$

3. Tuzluluk miktarı

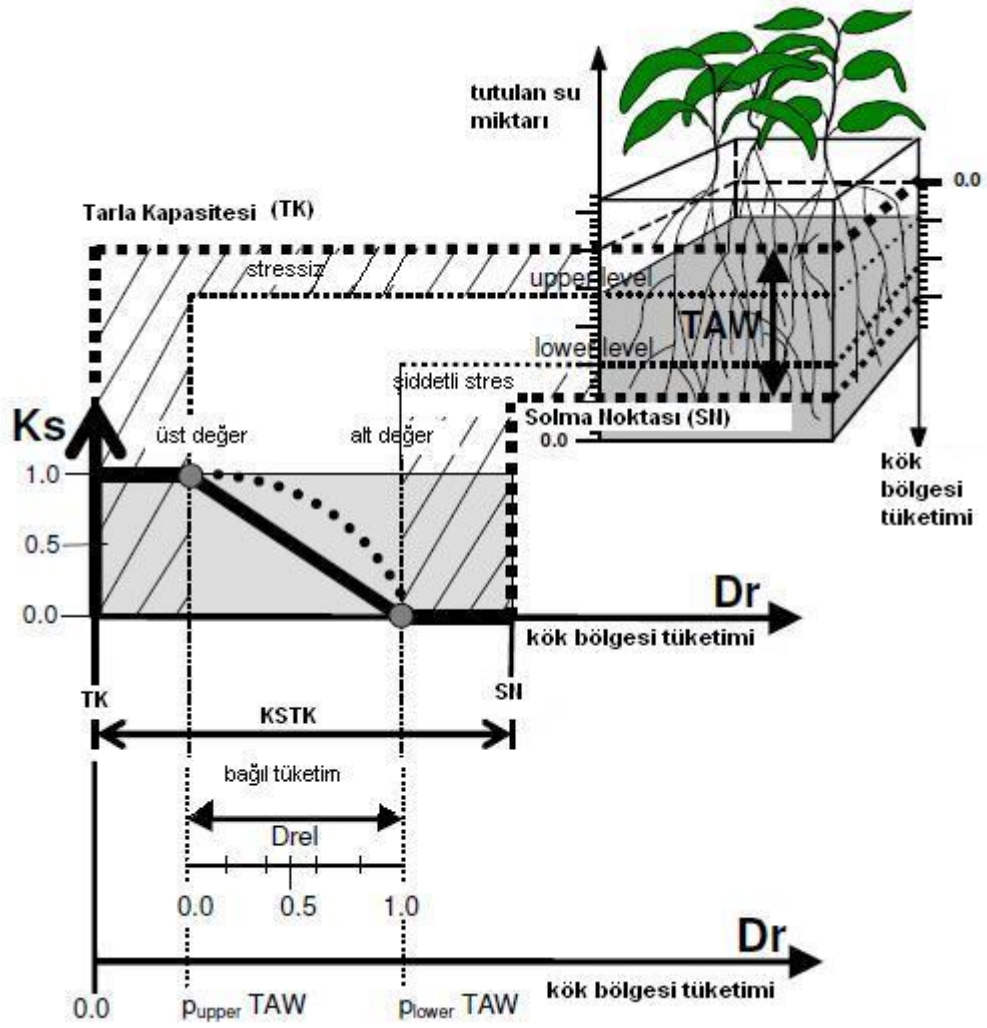
- Topraktaki tuzluluk miktarına bağı olarak yaprak oluşumunu etkileyen tuzluluk stresi ve katsayısı; $K_{S_{exp,salt}}$

4. Toprak verimliliği

- Toprak verimliliğine bağı olarak CCx değerini etkileyen stres ve katsayısı; $K_{S_{CCx}}$
- Toprak verimliliğine bağı yaprak genişliğini etkileyen stres ve katsayısı; $K_{S_{exp,f}}$
- Toprak verimliliğine bağı Su kullanım etkinliğini etkileyen stres ve katsayısı; $K_{S_{WP}}$ ve
- Toprak verimliliğine bağı olarak bitki örtüsünde azalışı etkileyen stres ve katsayısı; $f_{cDecline}$ olarak sıralanmaktadır (Raes ve ark. 2012).

Stres parametreleri AquaCrop tarafından hesaplanan sabit parametrelerdir (Steduto ve ark. 2009, Raes ve Van Gaelen 2015).

Kök bölgesi tüketimi (D_r), TAW değerinin tükenen kısmı (p) olarak toprak su stresinin belirlenebilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bağıl kök bölgesi su tüketimi ($D_{r_{rel}}$) değeri küçük olduğunda ve stres üst eşiği ($p_{upper}TAW$) geçilmediğinde K_s , 1 olarak kalmaktadır. Kök bölgesi tüketimi $p_{upper}TAW$ değerini aştığında, toprak su stresi başlamaktadır ($K_s < 1$). Kök bölgesi tüketimi alt eşik değerine ($p_{lower}TAW$) geldiğinde ise bitkide su stresi kuvvetli bir şekilde etkili olmaktadır ($K_s = 0$) (Şekil 3.26 ve Şekil 3.27) (Raes ve ark. 2012b).

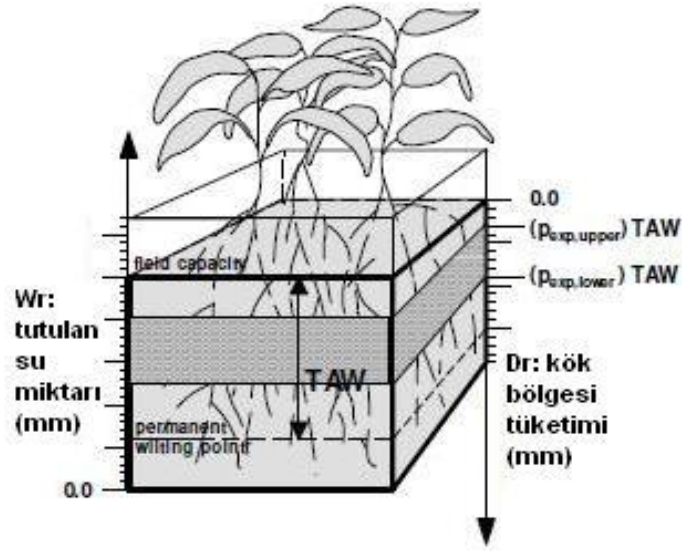


Şekil 3.26 Kök bölgesi su tüketim derecelerine göre Ks katsayı grafiği (Raes ve ark. 2012b)

Yaprak genişlemesine etki eden $Ks_{exp,w}$, su stresi, CGC değeri doğrultusunda değişim gösterebilmektedir. Eğer kök bölgesindeki bitki su içeriği üst eşik değerinin altına düşmeye başlarsa $Ks_{exp,w}$ değeri 1'den küçük olmaktadır ve CGC değerinin azalması sebebiyle bitki örtüsü gelişimi de yavaşlamaktadır. Alt eşik değerinin altında $Ks_{exp,w}$ değeri sıfır olmaktadır ve bu koşulda bitki örtüsü gelişimi tamamen durmaktadır ($CGC_{adj} = 0$) (Eşitlik 3.10).

$$CGC_{adj} = Ks_{exp,w} CGC \quad (3.10)$$

CGC_{adj} değeri; mevcut koşullardaki bitki örtüsü gelişim katsayısıdır.



Şekil 3.27 Yaprak genişlemesini etkileyen, alt ve üst eşikleri ile kök bölgesindeki tüketim değerleri (D_r)

Bitki kök bölgesindeki su tüketimi üst değer eşığının altına düştüğünde bitki örtüsü gelişimi azalmaktadır (Eşitlik 3.11).

$$D_{r_{exp,upper}} = p_{exp,upper} TAW \quad (3.11)$$

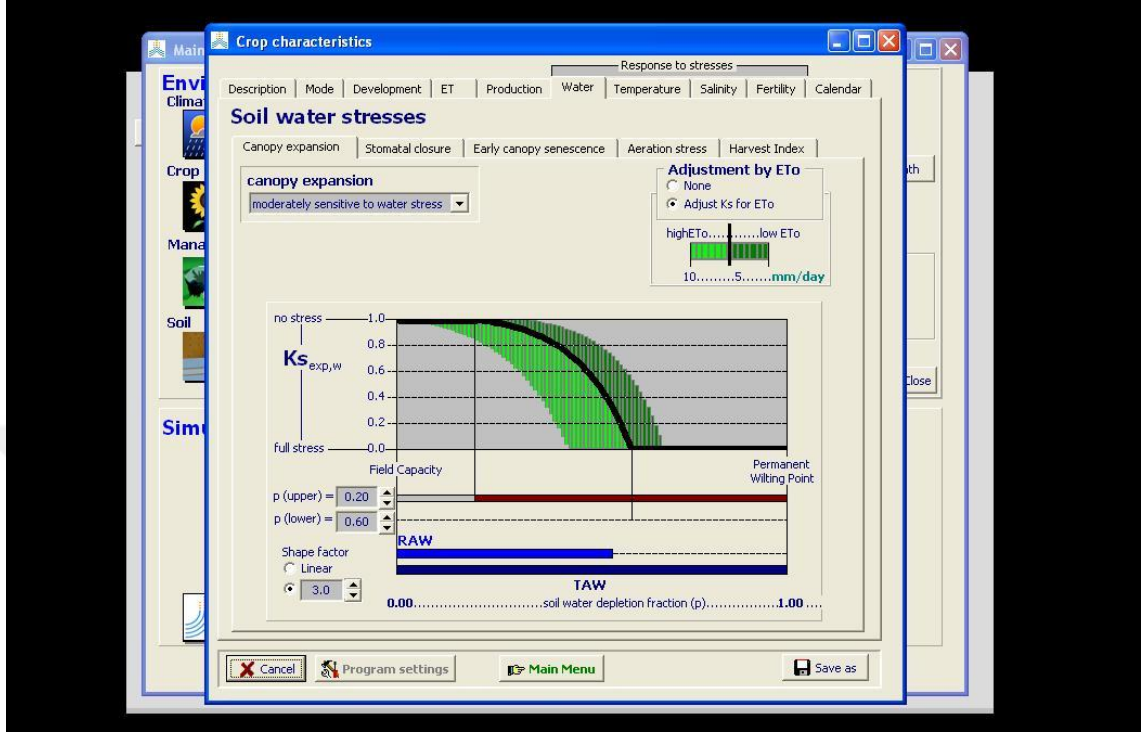
$D_{r_{exp,upper}}$; Kök bölgesi üst eşik tüketimi (mm), $p_{exp,upper}$; kök bölgesindeki suyun tüketilmesi ile yaprak genişliğinin etkilenmeye başlayacağı TAW'nın sınır seviyesidir.

Bitki kök bölgesindeki su tüketimi alt sınır değerine ulaştığında bitki örtüsü gelişimi tamamen durmaktadır (Eşitlik 3.12)

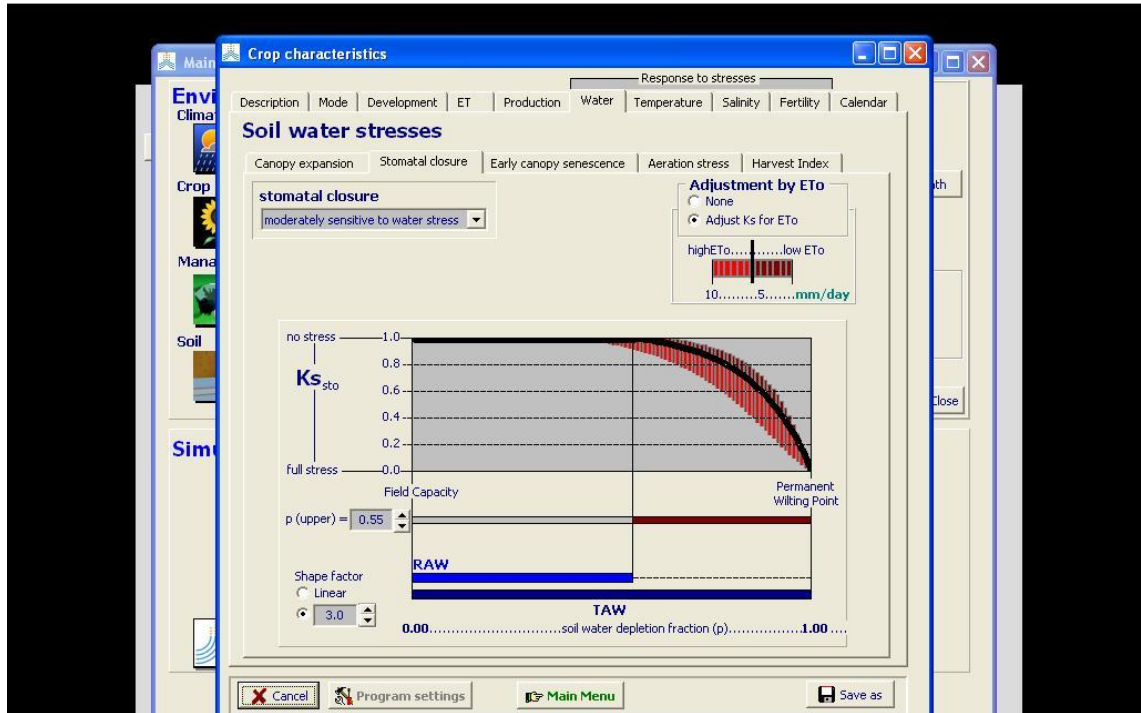
$$D_{r_{exp,lower}} = p_{exp,lower} TAW \quad (3.12)$$

$D_{r_{exp,lower}}$; alt eşik seviyesine kadar süren kök bölgesi tüketimi (mm), $p_{exp,lower}$; kök bölgesindeki suyun, yaprak genişliğinin tamamen duracağı tüketim sınır seviyesidir (Raes ve ark. 2012b).

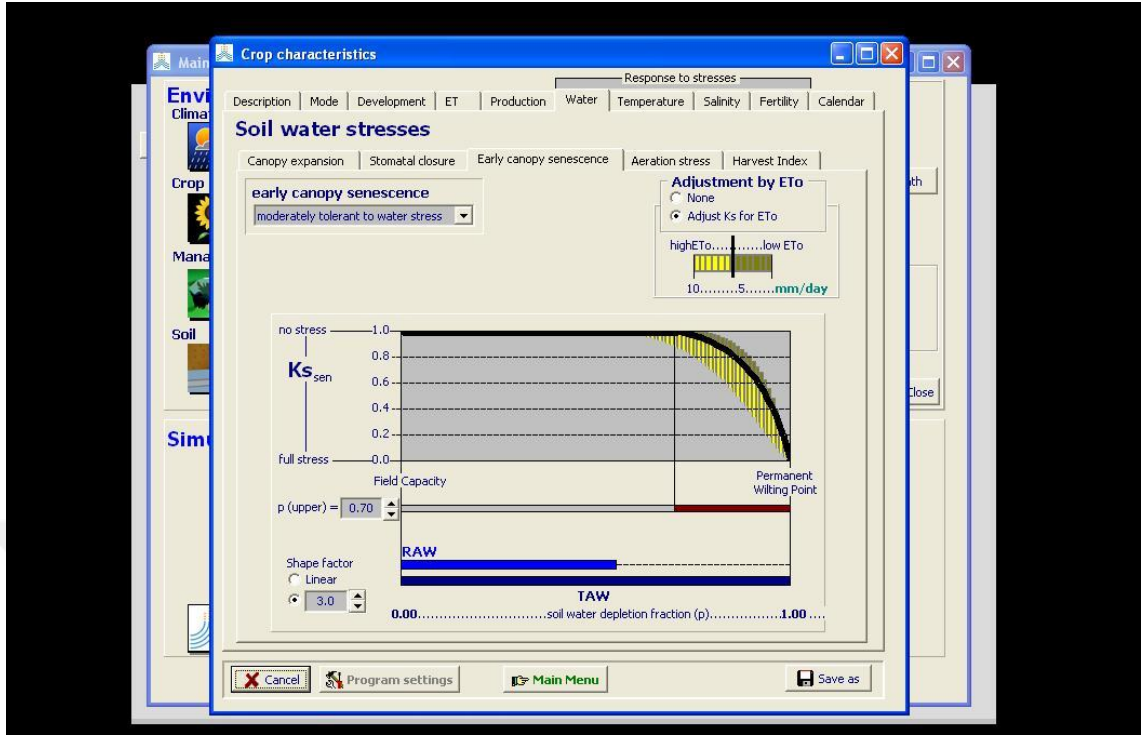
AquaCrop tarafından bu çalışmaya yönelik oluşturulan toprak su stresi simülasyonları aşağıdaki görsellerde sunulmuştur (Şekil 3.28a, Şekil 3.28b, Şekil 3.28c, Şekil 3.28d).



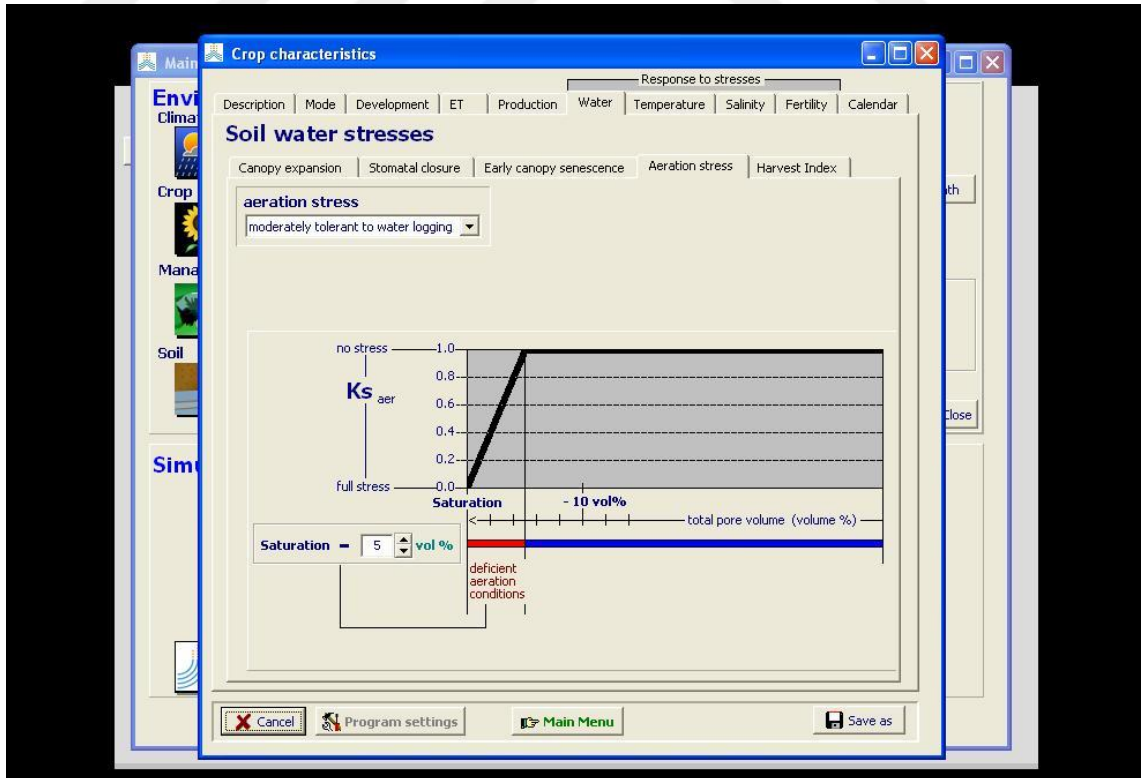
Şekil 3.28a $Ks_{exp,w}$ stres katsayısı simülasyon gösterimi



Şekil 3.28b Ks_{sto} stres katsayısı simülasyon gösterimi



Şekil 3.28c $K_{s_{sen}}$ stres katsayısı simülasyon gösterimi



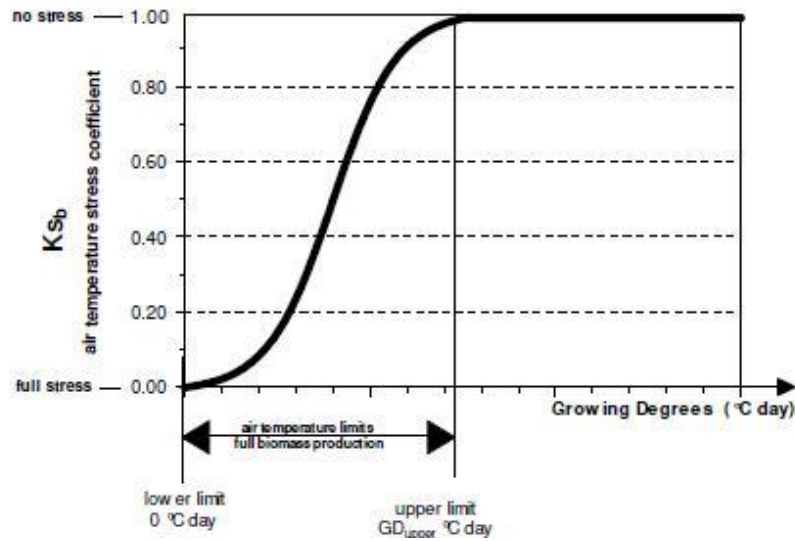
Şekil 3.28d $K_{s_{aer}}$ stres katsayısı simülasyon gösterimi

Hava sıcaklığı stresinin belirlenmesinde etkili olan faktörler, bitki olgunlaşma seviyesi, minimum ve maksimum sıcaklık dereceleridir (Raes ve ark. 2012a).

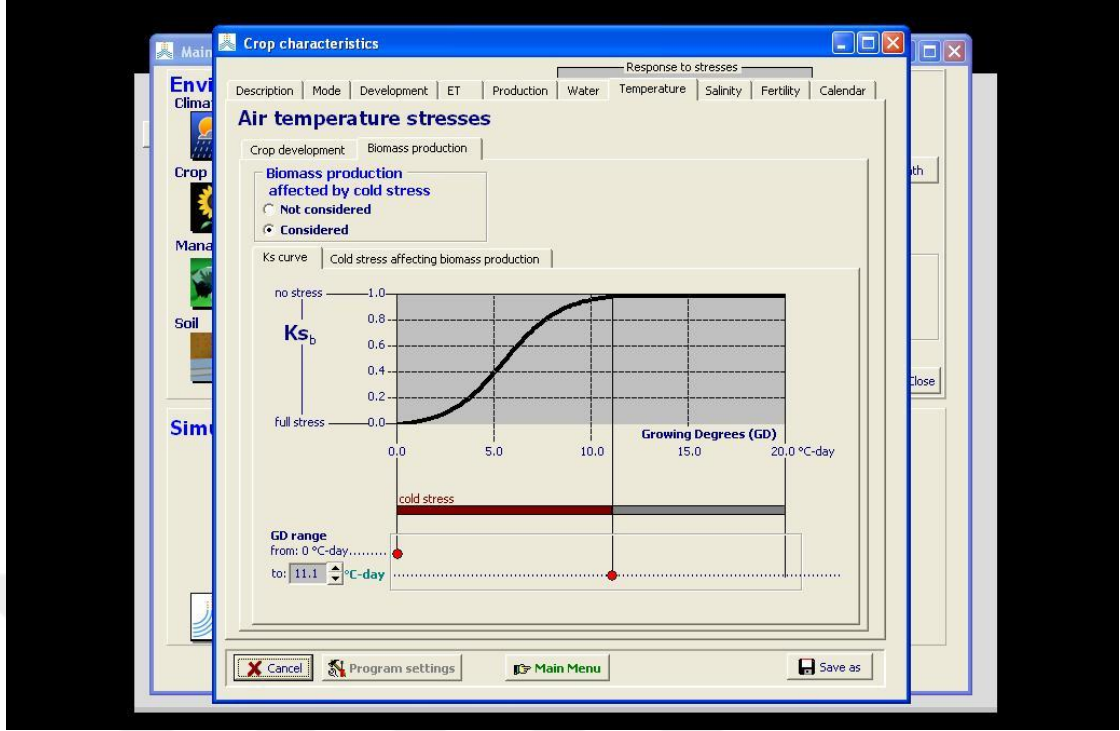
Eğer soğuk stresi söz konusu ise minimum sıcaklık üst sıcaklık eşliğinin üzerine çıktığında ve $K_s = 1$ olur ve bitki süreçten etkilenmez. Buna karşın minimum sıcaklık değeri alt eşik altına düşerse K_s değeri 0 olur ve bitki şiddetli olarak stres yaşar. İki eşik değeri arasında hareket eden minimum sıcaklık değeri ve K_s eğrisinin şekli hava sıcaklığı stresinin etkisindeki büyüklüğü belirlemektedir (Raes ve ark. 2012a).

Öte yandan bitkide ısı stresi söz konusu olursa, alt eşik değerinin altında $K_s 1$ ' dir ve üst eşik değerinin üstünde bitki dayanamayacağı ısı değerine maruz kalacağından K_s değeri sıfır olur ve bitki şiddetli stres yaşar (Şekil 3.29 ve Şekil 3.30) (Raes ve ark. 2012a).

Biyokütle üretimi ve bitki tozlaşması, hava sıcaklığına dayalı stres koşullarından etkilenmektedir. K_s değerleri, hava sıcaklığı stresinin yaşandığı koşullarda toprak su stresi koşulları kadar etkili olmaktadır (Raes ve ark. 2012b). $K_{s_{salt}}$, toprak tuzluluğunun bitki gelişimi ve ürün oluşumuna etkisini simüle etmek için de kullanılmaktadır. AquaCrop modeli bitki ve ürün oluşumunu etkileyen dört ayrı toprak verimliliği kaynaklı stres katsayısını göz önünde bulundurmaktadır (Çizelge 3.5).



Şekil 3.29 Biyokütle üretimini etkileyen hava sıcaklığı stres katsayısının (K_{sb}) GDD takvimine göre değişim grafiği (Raes ve ark. 2012a).



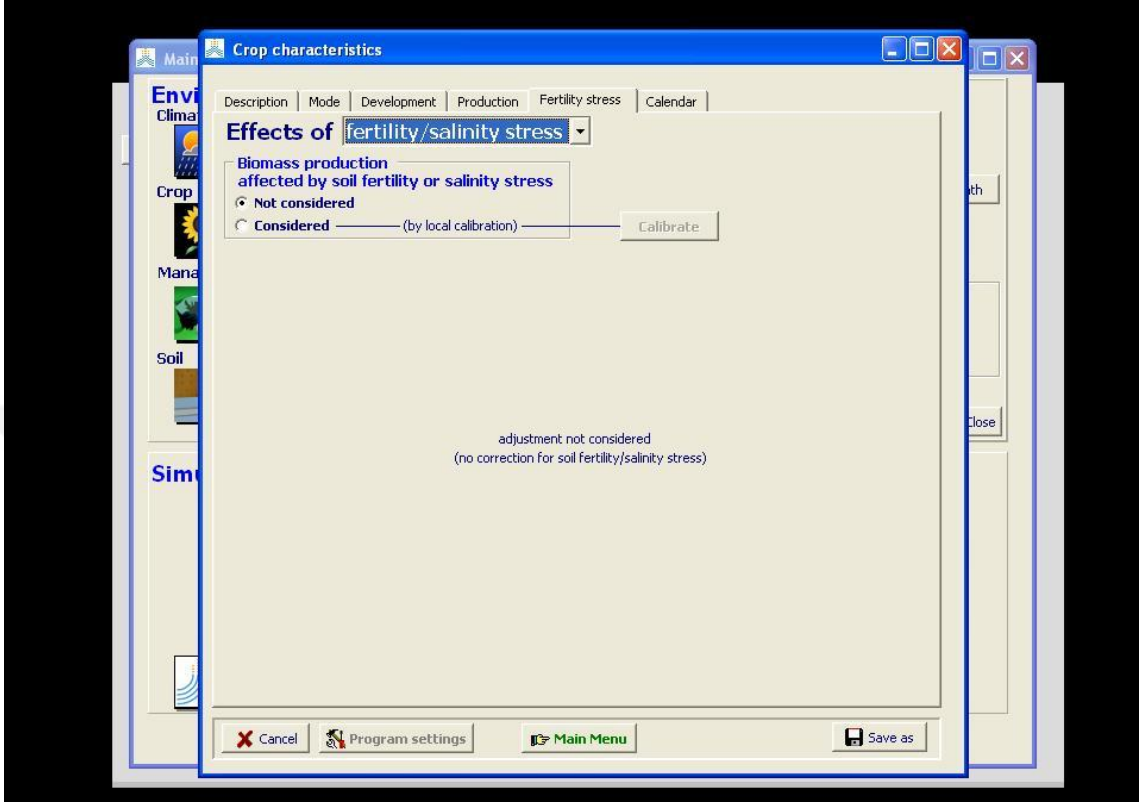
Şekil 3.30 AquaCrop tarafından patates verimini tahminleme çalışmasına yönelik oluşturulmuş biyokütle oluşumunu etkileyen hava sıcaklığı stres simülasyonu (Raes ve ark. 2012a).

Çizelge 3.5 Toprak verimlilik katsayıları ve bitki gelişimine etkileri (Raes ve ark. 2012b)

Toprak verimliliği stres katsayısı	Doğrudan etkisi	Hedef model parametresi
Ks_{CCx} : CCx için toprak verimliliği stres katsayısı	CC oranının azalması	CCx
$Ks_{exp,f}$: CC oranı artışı için stres katsayısı	CC genişlemesinin azalması	CGC
$f_{CDecline}$: CC oranı düşüşü için stres katsayısı	CCx oranına ulaşıldıktan hemen sonra yaşanan bitki örtüsü azalışı	CCx
Ks_{WP} : Su kullanım etkinliği için toprak verimliliği stres katsayısı	Biyokütle üretimi azalması	WP*

Bu çalışmada toprak verimliliği ve tuzluluk konuları çalışmaya dahil edilmemiş olup 'fertility stress' sekmesinde toprak verimlilik stresi ve tuzluluk stresinin verimlilik

simülasyonu boyunca dikkate alınmayacakları yapılan seçim ile belirtilmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Model içerisinde biyokütle oluşumunu etkileyen verimlilik ve tuzluluk stresi ekranı

3.2.5. Yönetim paneli ve IRR uzantılı sulama dosyasının oluşturulması

Yönetim panelinde sulama (Şekil 3.32) ve malçlama (toprak verimliliği ve topraktan buharlaşmayı azaltmak amaçlı) uygulamaları, yüzey akışı ve infiltrasyonu kontrol altında tutmak için küçük toprak bentlerin kullanımı gibi tarla uygulamaları ve yem bitkisi biçim zamanı ile ilişkili seçenekler kullanıcıya sunulmaktadır. Ayrıca model, toprak verimliliği düzeyleri için çeşitli seçenekler sunmaktadır.

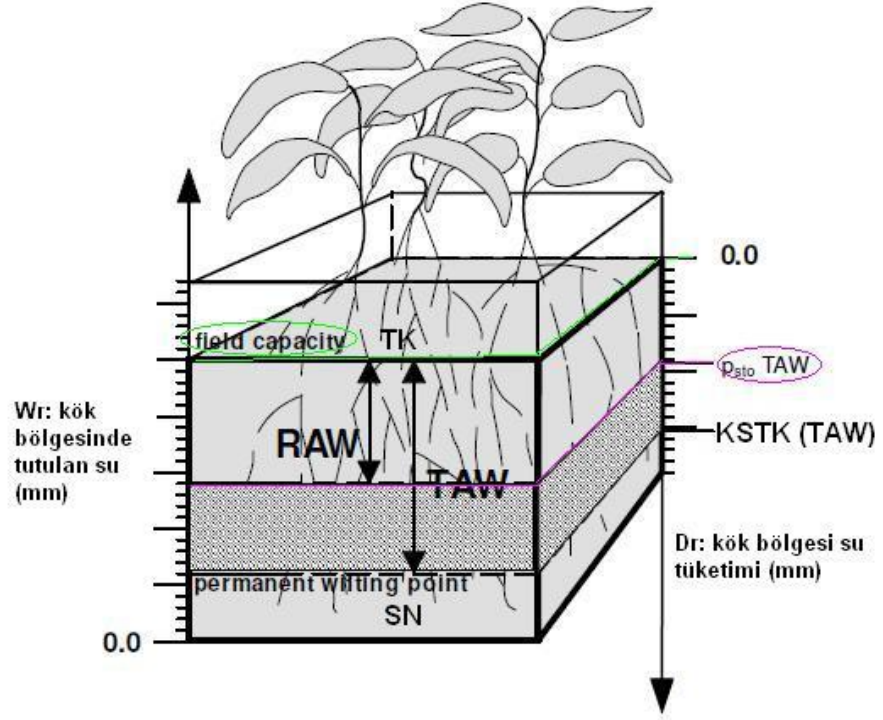


Şekil 3.32. Yönetim paneli içerisinde bulunan sulama sekmesi ekranı

Sulama programları AquaCrop içerisinde kullanıcı tarafından belirlenmiş zaman ve derinlik kriterleri yardımıyla planlanmaktadır. Sulama suyu miktarı *derinlik kriterine* göre belirlenmektedir. Ayrıca miktar belirlenirken sulama yöntemi, bitki ve toprak özellikleri ve yaygın yerel uygulamalar göz önünde bulundurulmaktadır. *Zaman kriteri* kök bölgesinde izin verilen tüketim seviyesinin belirlenmesi ile oluşturulmaktadır. Bu seviye bitkinin kuraklık stresine karşı duyarlılık eşiklerini geçmemelidir.

AquaCrop modeli içerisinde iklim, bitki ve arazi verilerine ait dosyaları oluşturduktan sonra yönetim paneli seçilerek mevcut zaman ve derinlik kriterlerine göre belirlenen sulama yöntemi ile yeni bir sulama dosyası oluşturulmuştur

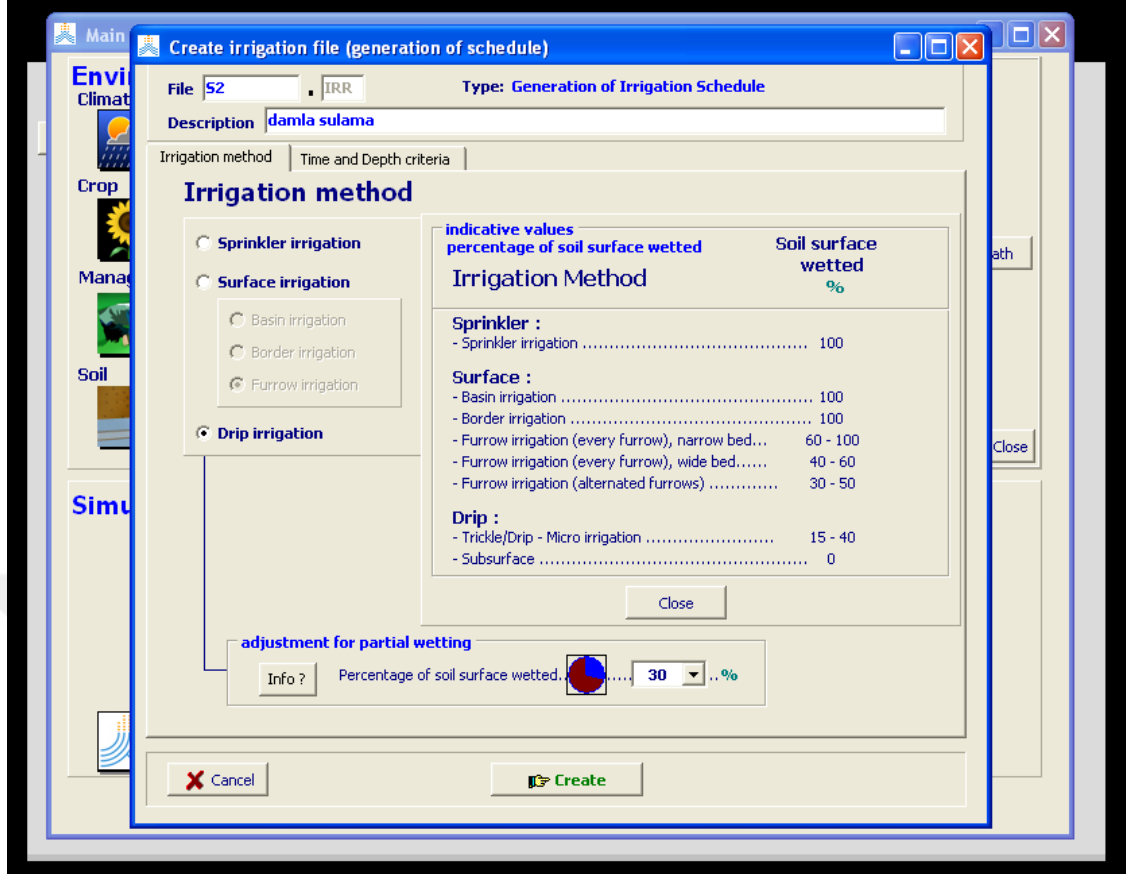
Net sulama suyu ihtiyacı belirlenirken, belirlenen kök bölgesi tüketim eşiği aşıldığında sulama uygulaması gerçekleştirilmektedir. Kök bölgesinde izin verilen su tüketim eşiği kullanıma hazır toprak suyu (RAW) değeri ile belirlenmektedir. Model tarafından RAW değerinin tarla kapasitesi ile stomaların kapanmaya başladığı tüketim seviyesi (p_{sto}) arasında yer aldığı varsayılmaktadır. Kök bölgesi derinlik kriteri konusunda bahsedildiği gibi p_{sto} değeri TAW ile çarpıldığında kök bölgesi su tüketimi stomal iletkenlik üst eşiği ($Dr_{sto, upper}$) bulunmaktadır (Şekil 3.33) (Raes ve ark. 2012b).



Şekil 3.33. Stoma iletkenliğini etkileyen kök bölgesi su tüketimi (Raes ve ark. 2012b)

AquaCrop kökte izin verilen tüketim seviyesini, kuraklık stresinin HI üzerinde yaptığı olumlu ve olumsuz etkileri göz önünde bulundurarak hesaplamaktadır (Raes ve ark. 2012b).

Çalışmada damla sulama yöntemi kullanılarak patates verimi tahmin edilmeye çalışılmıştır (Şekil 3.34). *Derinlik kriteri* olarak sulama uygulamalarının toprak suyunu ‘tarla kapasitesine’ ulaştırması hedeflenmiştir. *Zaman kriteri* (sulama zamanı) olarak ise iki farklı ‘*kullanıma hazır su miktarının (RAW) yüzdesi*’ tercih edilmiştir. Bu amaçla, %100 RAW ve %50 RAW derinliği tüketimleri sırasıyla S1 ve S2 sulama konuları başlığı altında incelenmiştir. Uygun sulama programı ile optimum verimin saptanabilmesi için çalışmada bitkinin ihtiyacı olan su, belirli oranda tüketildiğinde yeniden sulama uygulanmış ve böylece iki farklı sulama programında elde edilen verim ve sulama suyu miktarları karşılaştırılmıştır.



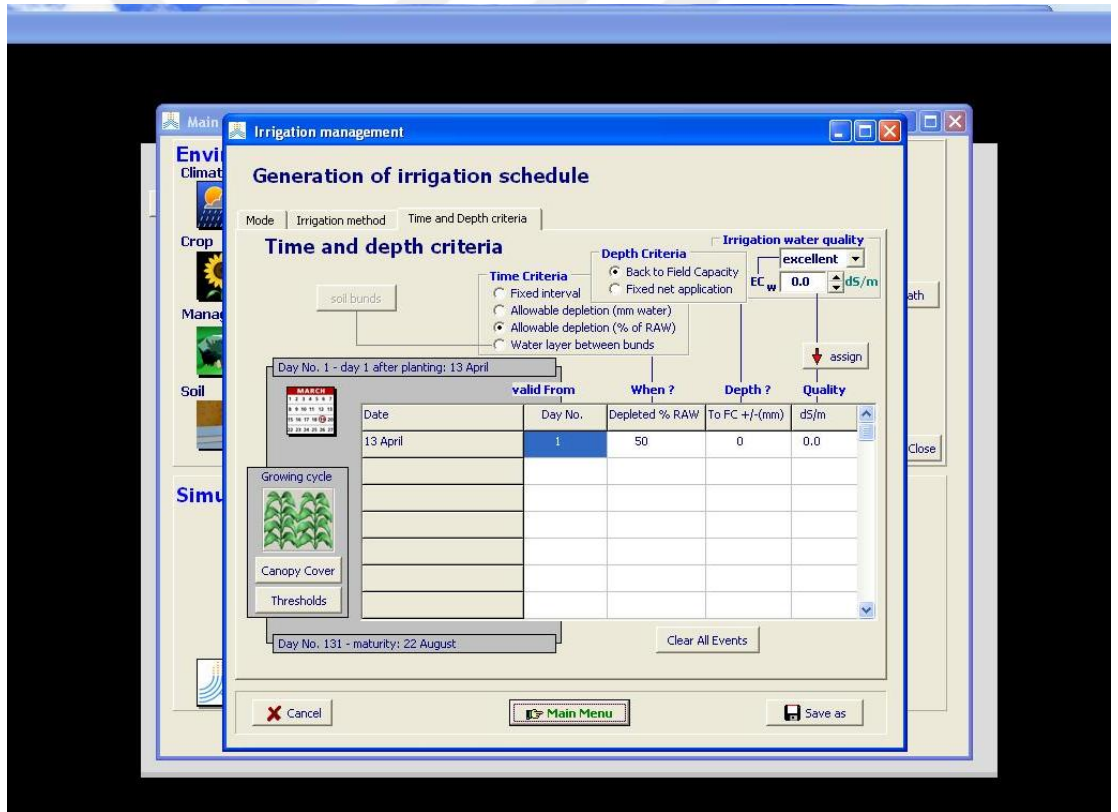
Şekil 3.34. Sulama yöntemi sekmesi

Çalışmada, S1 sulama programı (Şekil 3.34) için modele aktarılan planlama bilgilerinin ardından 'main' tuşu tıklanarak IRR uzantılı sulama dosyası oluşturulmuştur.

AquaCrop tarafından oluşturulacak simülasyonların süreci kullanıcının isteği doğrultusunda ayarlanabilmektedir. Bu süreç sadece bitki yaşam süreciyle kısıtlı kalabileceği gibi öncesini ve sonrasını da içerebilmektedir. Yapılan çalışmada simülasyon süreci, bitki yaşam döngüsüyle birebir eşleştirilmiştir (Şekil 3.35).

Çalışmada başlangıç toprak su içeriğinin tarla kapasitesinde olduğu varsayılmış olup 'initial conditions' sekmesinde özel bir ayarlama yapılmamıştır. Aynı zamanda patates için verim tahminleme çalışması, mevcut bir arazi çalışmasına dayandırılmadığı için 'field data' sekmesinde arazi gözlemi bulunmadığı kabul edilmiştir.

S2 sulama konusu için modele aktarılan zaman ve derinlik kriterleri S1 konusundan farklı olarak RAW değerinin %50'si tüketildiğinde kök bölgesi toprak su içeriği tarla kapasitesine tamamlanacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.37). Çalışmada S1 sulama konusunda olduğu gibi optimum verime yönelik sulama planlaması yapılırken iklim, bitki, toprak ve sulama panelleri dışındaki bileşenler modelin varsaydığı şekilde kabul edilmiştir.



Şekil 3.37. S2 konusu sulama programı ekranı

4. BULGULAR

4.1. ETo Hesaplayıcı Yardımı İle Elde Edilmiş Aylık Referans Bitki Su Tüketimi Değerleri

ETo hesaplayıcı kullanılarak mevsimlik ETo değeri 646,4 mm bulunmuştur. Uzun yıllar aylık ortalama iklim değerlerine göre aylık ETo değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

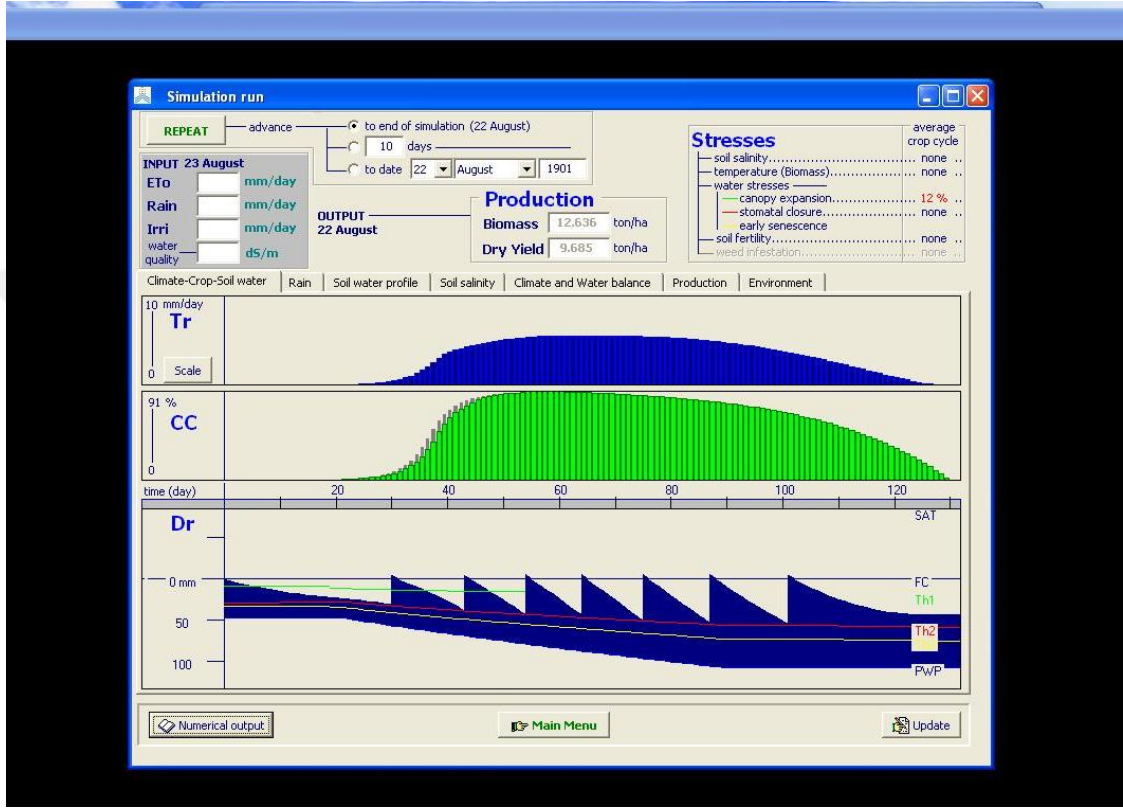
Çizelge 4.1. ETo hesaplayıcı ile hesaplanmış çalışma alanına ait değerler

Aylar	ETo değerleri mm/gün
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

4.2. S1 Sulama Konusu İçin Simülasyon Sonuçları

S1 sulama konusu için model tarafından oluşturulmuş simülasyon ekranı Şekil 4.1’de verilmiştir. Model stres eşik değerlerinin aşılma miktarı ve biyokütle ile kuru verim miktarlarını rakamsal olarak sunarken, bitkide gözlenecek terleme, örtü yüzdesi ve kök bölgesi su tüketimi grafiklerini simüle etmiştir. Biyokütle ve kuru verim miktarları sırasıyla 12 636 t ha⁻¹ ve 9 685t ha⁻¹ olarak bulunmuştur.

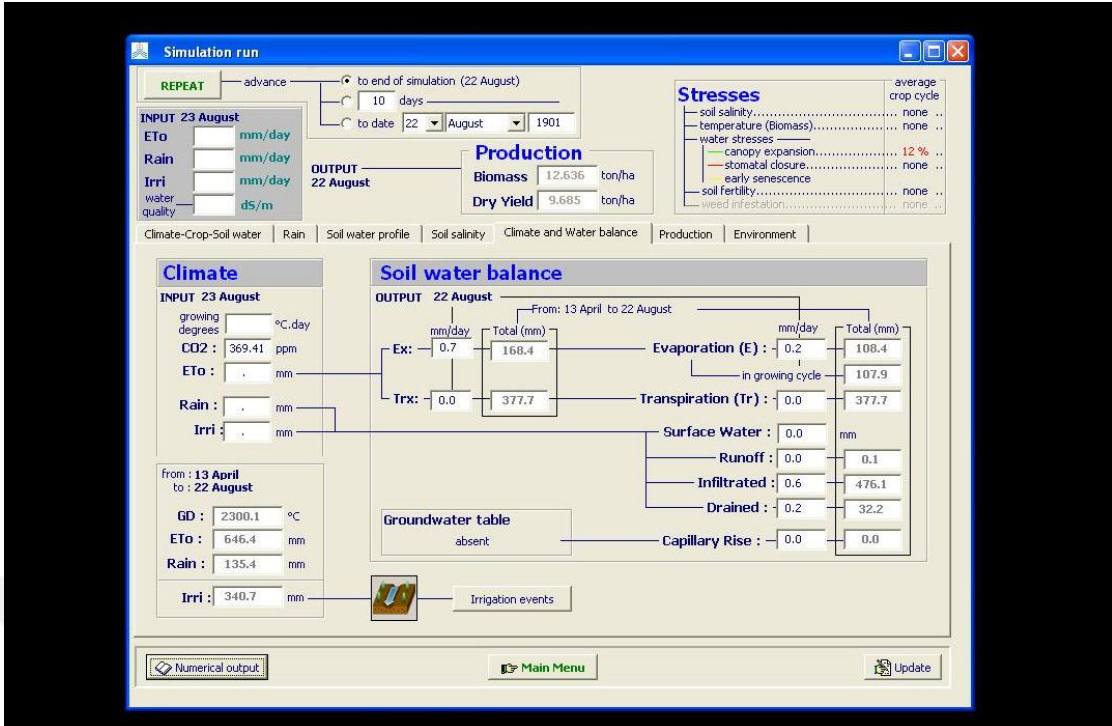
Climate-Crop-Soil water sekmesinde terleme (Tr), örtü yüzdesi gelişimi (CC) ve farklı renklerde stres eşik değerlerini içeren kök bölgesi suyu tüketimi (Dr) simülasyonları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Ayrıca *Stress* kısmında kök bölgesi su tüketiminin bitki örtüsü genişlemesi (Th1), stoma iletkenliği (Th2) ve erken olgunlaşma evresi (Th3) eşiklerine olan etki yüzdeleri verilmiştir.



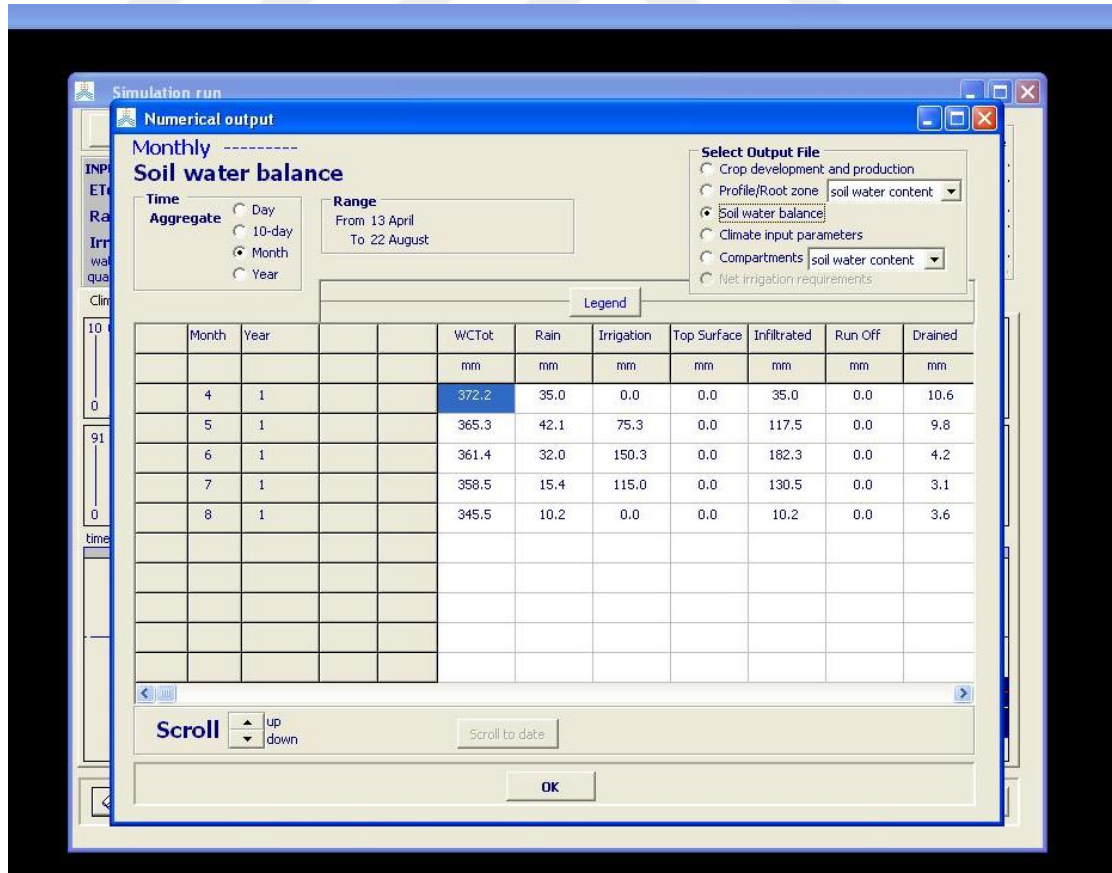
Şekil 4.1 S1 sulama konusu bitki gelişimi simülasyon ekranı

Climate and Water balance sekmesinde sulama suyu miktarı (Irri) ile buharlaşma (E) ve terleme (Tr) değerleri verilmiştir (Şekil 4.2). Sulama suyu miktarı, buharlaşma ve terleme değerleri sırasıyla 340,7 mm, 108,4 mm, 377,7 mm olarak tahminlenmiştir.

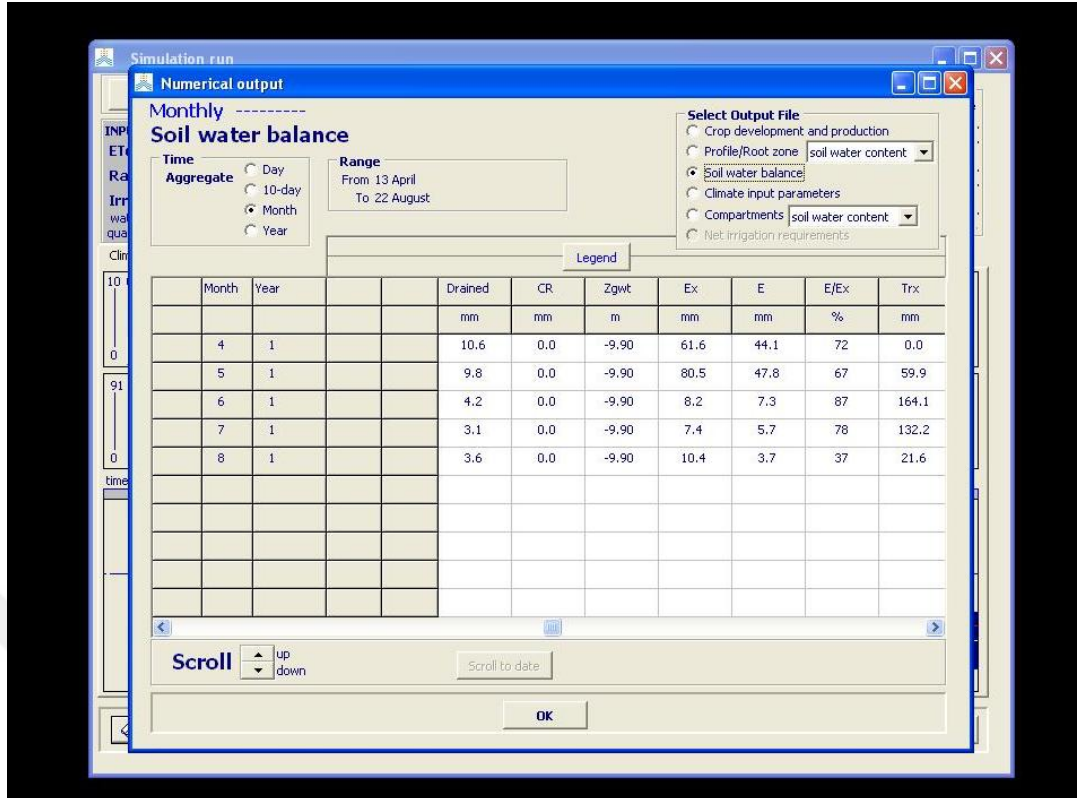
Toprak su dengesi eşitliğinde kullanılan parametrelere ait sayısal değerler aylık olarak Şekil 4.3a,b,c’de verilmiştir.



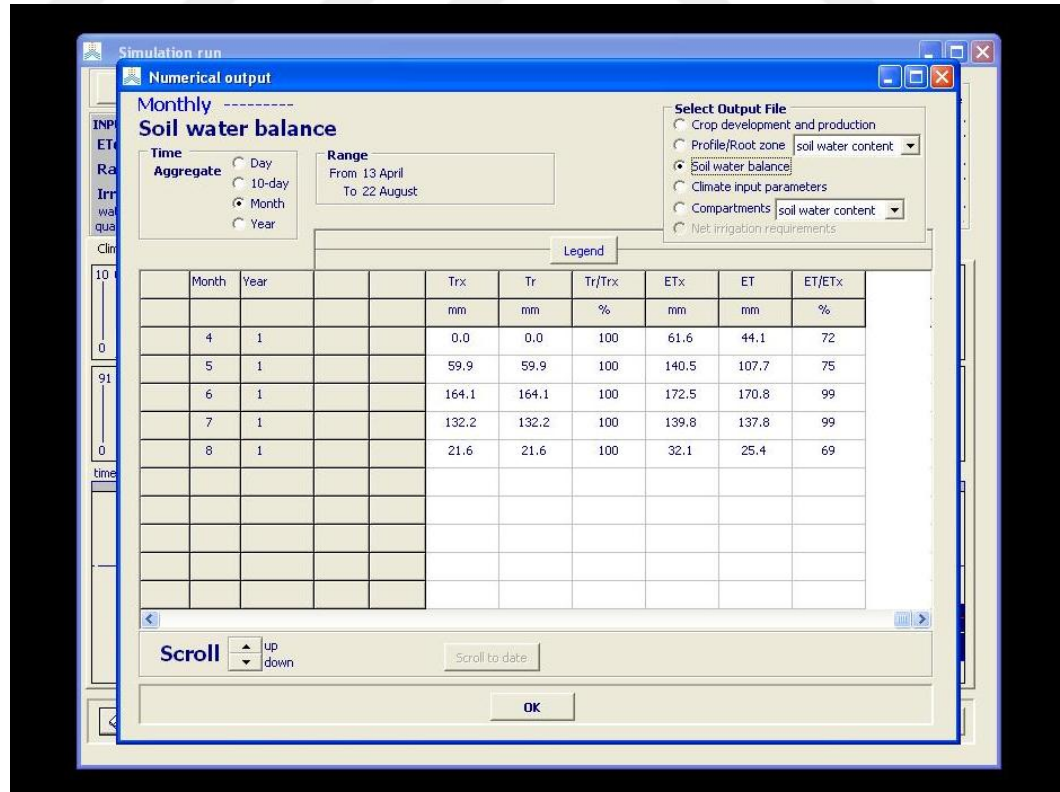
Şekil 4.2. S1 sulama konusu iklim ve su dengesi sonuç ekranı



Şekil 4.3a. S1 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri



Şekil 4.3b. S1 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri (devamı)



Şekil 4.3c. S1 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri (devamı)

AquaCrop modeli kullanılarak S1 konusuna ait sulama programı için net sulama suyu miktarı simülasyon sonuçları Çizelge 4.2’de sunulmuştur. S1 konusu için 7 sulama olayı gerçekleşmiş ve her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı 33,2-57,5 mm arasında değişmiştir. Toplam net sulama suyu miktarı 340,7 mm olarak tahminlenmiştir.

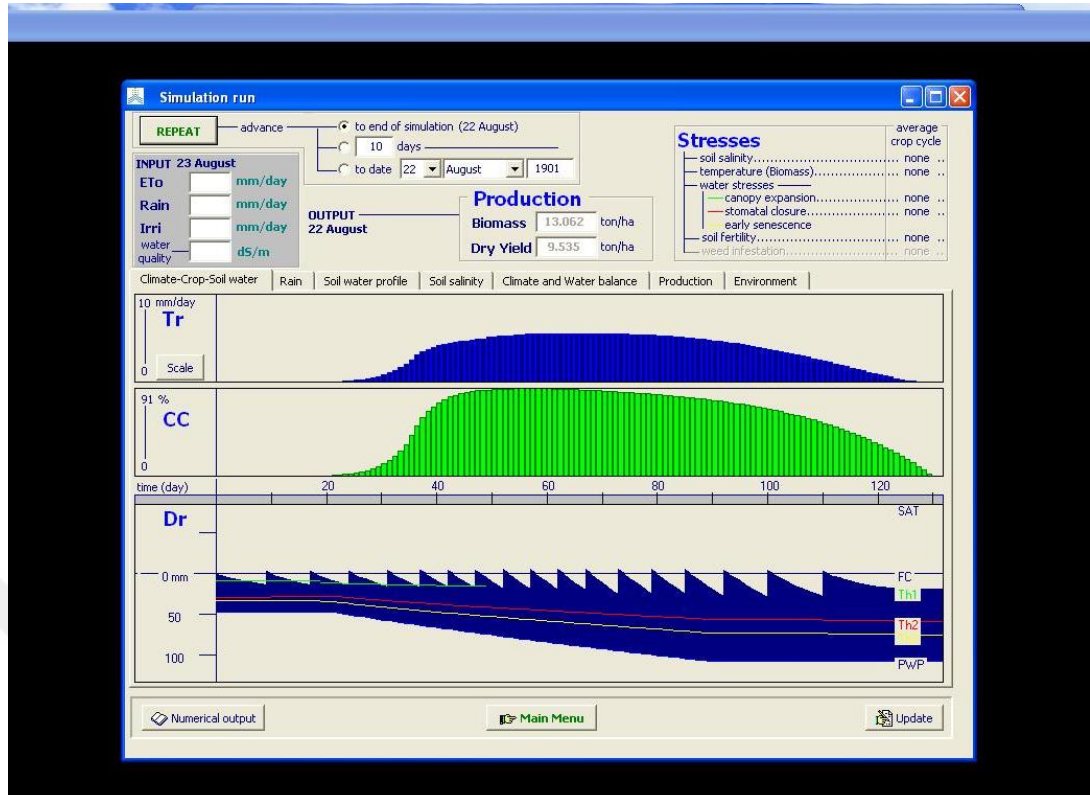
Çizelge 4.2. Patates bitkisine için S1 sulama programı

Sulama no	Sulama uygulanacak tarihler	Net sulama suyu miktarları (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
Σ	Net Sulama Suyu Miktarı (mm)	340,7

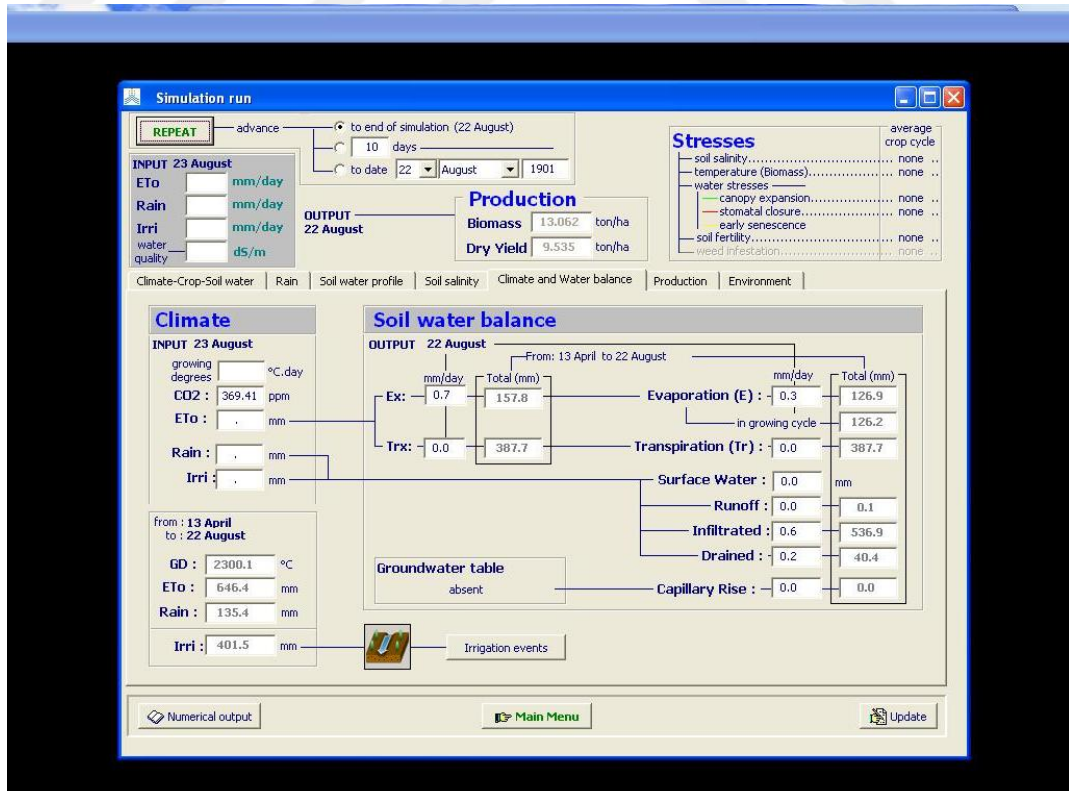
4.3. S2 Sulama Konusu İçin Simülasyon Sonuçları

S2 sulama konusuna ait simülasyon sonuçları Şekil 4.4’ te verilmiştir. Biyokütle ve kuru verim miktarları sırasıyla 13 062 t ha⁻¹ ve 9 535 t ha⁻¹ olarak bulunmuştur. Ayrıca *Climate-Crop-Soil water* sekmesinde terleme (Tr), örtü yüzdesi gelişimi (CC) ve farklı renklerde stres eşik değerlerini içeren kök bölgesi suyu tüketimi (Dr) simülasyonları Şekil 4.4’ de gösterilmiştir.

S2 konusu için *Climate and Water balance* sekmesinde sulama suyu miktarı (Irri) ile buharlaşma (E) ve terleme (Tr) değerleri Şekil 4.5’de verilmiştir. Sulama suyu miktarı, buharlaşma ve terleme değerleri sırasıyla 401,5 mm, 126,9 mm, 387,7 mm olarak tahminlenmiştir.

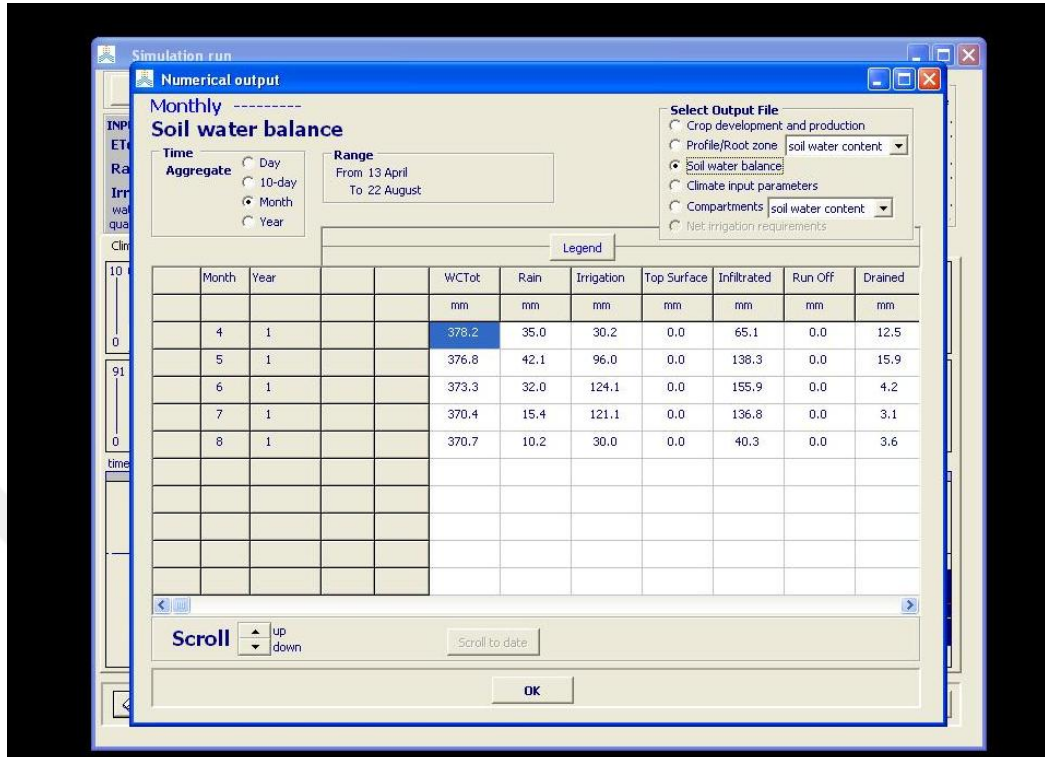


Şekil 4.4. S2 sulama konusu bitki gelişimi simülasyon ekranı

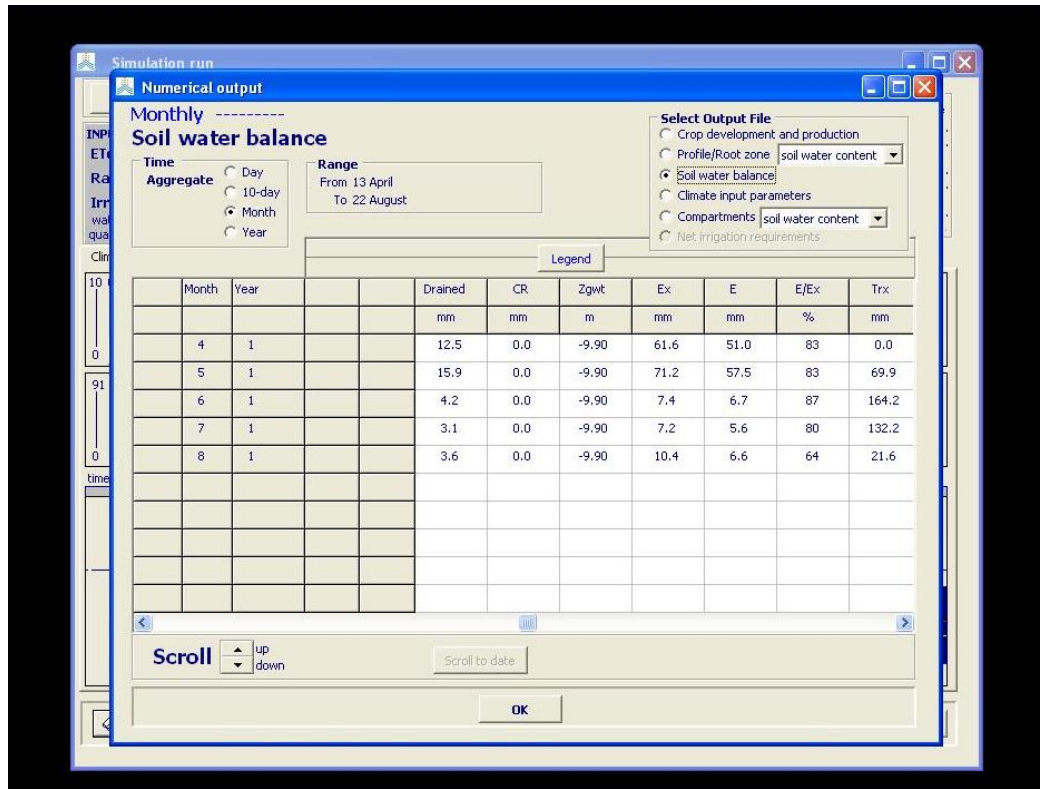


Şekil 4.5. S2 sulama programı iklim ve su dengesi sonuç ekranı

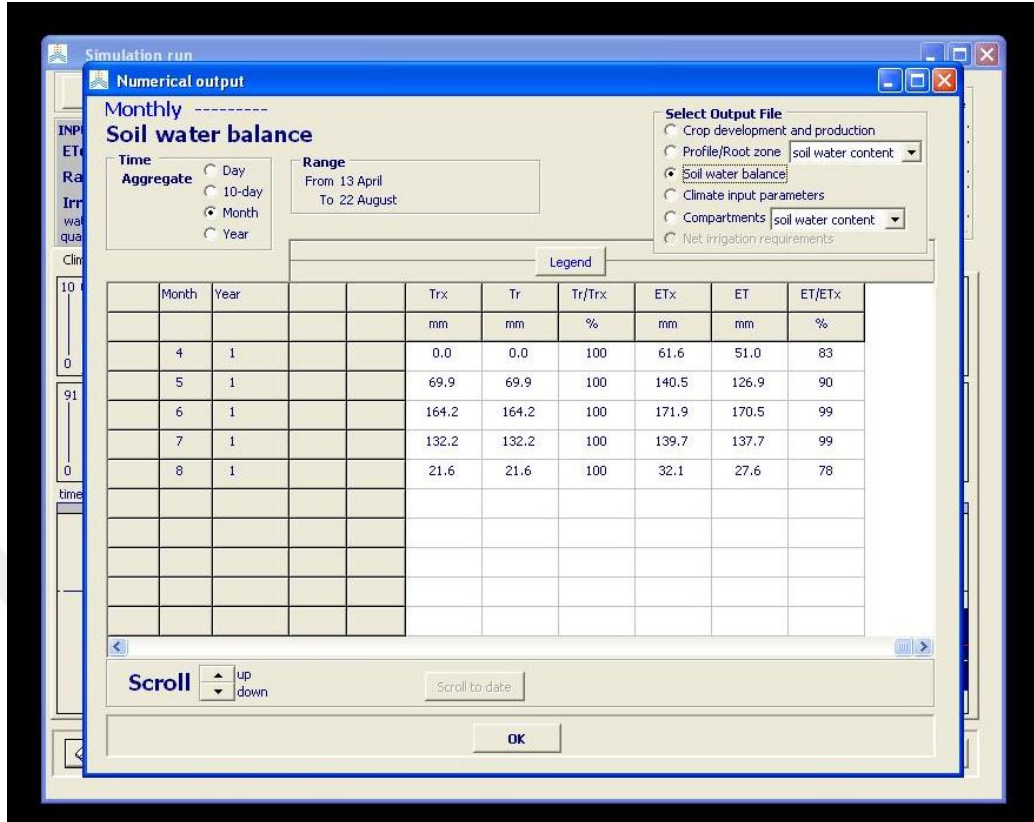
Toprak su dengesi eşitliğinde kullanılan parametrelere ait sayısal değerler aylık olarak Şekil 4.6a,b,c’de verilmiştir.



Şekil 4.6a S2 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri



Şekil 4.6b S2 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri (devamı)



Şekil 4.6c S2 sulama konusu için aylara göre toprak su dengesi değerleri (devamı)

AquaCrop modeli kullanılarak S2 konusuna ait sulama programı için net sulama suyu miktarı simülasyon sonuçları Çizelge 4.2’de sunulmuştur. S2 konusu için 17 sulama olayı gerçekleşmiş ve her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarları 15,2-31,7 mm arasında değişmiştir. Toplam net sulama suyu miktarı 401,5 mm olarak tahminlenmiştir.

Çizelge 4.3. Patates bitkisine için S2 sulama programı

Sulama no	Sulama uygulanacak tarihler	Net sulama suyu miktarları (mm)
1	22 Nisan	15,2
2	30 Nisan	15,0
3	7 Mayıs	16,0
4	14 Mayıs	18,3

Çizelge 4.3. Patates bitkisine ait S2 sulama programı (devamı)

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
Σ	Net Sulama Suyu Miktarı (mm)	401,5

S1 ve S2 sulama konuları için bitki gelişim simülasyonu boyunca toprak su dengesi parametrelerine ait sayısal değerler Çizelge 4.4'de verilmiştir. Çizelge 4.4'de incelendiğinde, S1 ve S2 sulama konuları arasında 60,8 mm'lik net sulama suyu ihtiyacı farkı belirlenirken, bitki su tüketimi değerleri arasında 27,9 mm'lik fark meydana gelmiştir.

S2 konusunda, S1 konusuna göre yaklaşık olarak 50 mm fazla derine sızma meydana gelmiştir. Topraktan buharlaşma sulama sıklığı artışıyla doğru orantılı olarak artmış, model optimum verimi amaçladığından bitki gelişiminde stres koşulları oluşmadığından terleme miktarında büyük fark görülmemiştir.

Çizelge 4.4. S1 ve S2 sulama konuları için bitki gelişim simülasyonu boyunca toprak su dengesi parametrelerine ait sayısal değerler

Parametreler	Birimler	S1 konusu	S2 konusu
WCTot	mm	360,5	373,7
Yağış	mm	134,7	134,7
Sulama	mm	340,6	401,4
Yüzeyde birikme	mm	0,0	0,0
Sızma	mm	475,5	536,4
Yüzey Akış	mm	0,0	0,0
Drenaj	mm	31,3	39,3
Kapilar yükselme	mm	0,0	0,0
Ex (Maksimum E)	mm	168,1	157,8
E	mm	108,6	127,4
E/Ex	%	70	80
Trx (Maksimum Tr)	mm	377,8	387,9
Tr	mm	377,8	387,9
Tr/Trx	%	100	100
ETx (Maksimum ET)	mm	546,5	545,8
ET	mm	485,8	513,7
ET/ETx	%	85	91

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

AquaCrop modeli kuru verim değerini tahminlemektedir (Raes 2015). Bu sebeple 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 (Schippens 1990).

S1 ve S2 sulama konuları için model tarafından tahminlenen biyokütle ile kuru verim değerleri sırasıyla 12 636 t ha⁻¹ ile 9 685 t ha⁻¹ ve 13 062 t ha⁻¹ ile 9 535 t ha⁻¹ olarak simüle edilmiştir. Her iki sulama konusunda da aynı bitki gelişim parametreleri kullanıldığı için model tarafından simüle edilen kuru verim değerleri birbirine yakınlık göstermiştir.

Patates yumrularında kuru madde oranı %17 ile % 22 arasında değişmektedir (Esendal 1990).

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 11,0 t ha⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar, AquaCrop modeli ile tahminlenen sonuçlar ile paralellik göstermiştir.

Model tarafından hesaplanan net sulama suyu miktarları S1 ve S2 konuları için sırasıyla 340,7 mm ve 401,5 mm olarak belirlenmiştir. S1 konusu için 7 kez sulama uygulaması öngörürken, S2 konusu için bu değer 17 olarak saptamıştır. S1 ve S2 konuları arasındaki 60,8 mm net sulama suyu miktarı farkının, temelde model tarafından simüle edilen sulama olayı sayıları arasındaki farklılıktan kaynaklandığı söylenilebilir.

S1 ve S2 konuları için model tarafından simüle edilen ET değerleri sırasıyla 485,8 mm ve 513,7 mm, ETx değerleri ise 546,5 mm ve 545,8 mm olarak tahminlenmiştir. 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 bağı olarak 500-700 mm arasında değışebileceğini belirtmişlerdir. AquaCrop modeli ile sulama konularına göre tahminlenen ET değerleri yukarıdaki çalışmalarda elde edilen ET değerlerine yakınlık göstermiştir.

Sonuç olarak, suyun tasarruflu kullanımı bakımından S1 sulama programı ne çıkmıştır. S1 sulama programı, çalışmada öngörülen iklim, toprak ve bitki koşullarında patates bitkisi için uygulanabilir. Fakat, ileri aşamada yürütülecek bir arazi çalışması girdilerinin modele aktarılarak, arazi çalışması sonuçlarıyla, simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması ve modelin test edilmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. ve Smith, M., 1998.** Crop evapotranspiration:guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper. N. 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Anonim 2016.** TÜİK, Bitkisel Üretim Verileri, Nisan 2016 www.tarim.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BUGEM.pdf
- Araya, A., L. Stroosnijder. 2010.** Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water defi cient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). Agric. Water Manage. 97:1838–1846.
- Arioğlu, H., Çalışkan, M.E., Onaran, H. 2006.** Türkiyede Patates Üretimi, sorunları ve Çözüm Önerileri. 4. Patates Kongresi Bildiriler Kitabı, Niğde
- Ayas, S. 2007.** Kısıntılı sulanan patatesin su-verim ilişkisi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Belmans, C., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., 1983.** Simulation model of the water balance of cropped soil: SWATRE. J. Hydrol. 63, 271–286.
- Brouwer, R., de Wit, C.T. 1968.** A simulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences. In Proc. 15th Eastern School of Agricultural Science, Univ. Nottingham. Whittington. W.J. London: Butterworths, 1968, pp. 224-242
- Cai, X., Rosegant, M.W. 2003.** Water Productivity: Current Situation and Future Options. Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement Journal. Vol:1 p:163,CABI
- Curry, R.B., Chen, L.H. 1971.** Dynamic Simulation of plant growth. 2. Incorporation of actual Daily weather and partitioning of net photosynthesis. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 14:1170-1175
- Çalışkan, M.E., Söğüt, T., Boydak, E., Ertürk, E., Arioğlu, H., 2006.** Growth, Yield, and quality of Sweet Potato Cultivars in Southeastern Anatolian and East Mediterranean Regions of Turkey, Turk J Agric For 31 (2007) 213-2227 TUBİTAK
- Debaeke, P., Aboudrare, A., 2004.** Adaption of Crop Management to Water-Limited Envoriments. European Journal of Agronomy, Volume 21, Issue 4, December 2004, p: 433-446.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979.** Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper n.33. FAO Rome, Italy, 193pp.
- Esendal, E. 1990.** Nişasta Şeker Bitkileri ve Islahı, Cilt:1, Patates, OMÜ, Ziraat Fak. No: 49, Samsun, 1990.
- 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.

- Feddes, R.A., Kowalik P.J., Zaradny H. 1978.** Simulation of field water use and crop yield. Pudoc, Simulation Monographs, Wageningen, The Netherlands. 189 p.
- Ferrerres, E., Soriano, M.A., 2007.** Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Special issue on 'Integrated approaches to sustain and improve plant production under drought stress' J. Exp. Bot. 58:147-159.
- Franzini, M. 1993.** The Market as complex institutional order. Quaderni del Dip.to di Economia Politica, University of Siena.
- García-Vila, M., E. Ferreres, L. Mateos, F. Orgaz, P. Steduto. 2009.** Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. Agron. J. 101:477–487.
- Geerts, S., D. Raes. 2009.** Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agric. Water Manage. 96, 1275–1284.
- Geerts, S., D. Raes, M. Garcia, R. Miranda, J.A. Cusicanqui, C. Taboada, J. Mendoza, R. Huanaca, A. Mamani, O. Condori, J. Mamani, B. Morales, V. Osco, P. Steduto. 2009.** Simulating yield response to water of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with FAO–AquaCrop. Agron. J. 101:499–508..
- Hsiao, T.C., L.K. Heng, P. Steduto, B. Rojas-Lara, D. Raes, E. Ferreres. 2009.** AquaCrop: The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agron. J. 101:448–459..
- Jain, M.K., Mishra, S.K., Singh, V.P. 2006** Evaluation of AMC-dependent SCS-CN-based models using watershed characteristics, Water Resources Management, 20: 531-552.
- 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, 49-66.
- Kheng, L.H., Hsiao, T., Evett, S., Howell, T., Steduto, P., 2009.** Validating the FAO AquaCrop Model for Irrigated and water deficient field maize. Agron J. 101, 488-498.
- Mazurczyk, W., Wierzbicka, A., Trawczyński C., 2009.** Harvest index of potato crop grown under different nitrogen and water supply. Acta Sci. Pol., Agricultura 8(4) 2009, 15-21.
- MGM, 2012.** Meteoroloji işleri Genel Müdürlüğü, Ankara <http://www.mgm.gov.tr/>
- Önder, S., Onder, D., 2006.** Patateste su verim ilişkileri. 4. Patates Kongresi, 6-8 Eylül 2006. 10s., Niğde

Özdemir, H., 2007. SCS CN Yağıs-Akıs Modelinin CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Uygulanması: Havran Çayı Havzası Örneği (Balıkesir), Cografî Bilimler Dergisi, 5 (2); 1-12

Raes, D., P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres. 2009. AquaCrop Version 3.0 Reference Manual, FAO Land and Division, Rome, Italy.

Raes, D., P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres. 2011. FAO crop water productivity model to simulate yield response to water. Reference Manual, Chapter 1 – AquaCrop, Version 3.1 plus, January 2011, <http://www.fao.org/nr/water/docs/AquaCropV31plusChapter1.pdf>

Raes, D. 2012. The ET Calculator, Reference Manual - ETo calculator (Version 3.2, September 2012), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Division, Rome, Italy.

Raes, D., P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres. 2012a. Users Guide, Reference Manual, Chapter 2 – AquaCrop, Version 4.0, June 2012, <http://www.fao.org/nr/water/docs/AquaCropV40Chapter2.pdf>

Raes, D., P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres. 2012b. Calculation procedures, Reference Manual, Chapter 3- AquaCrop Version 4.0, June 2012, <http://www.fao.org/nr/water/docs/AquaCropV40Chapter3.pdf>

Raes, D. 2015. AquaCrop Training Handbooks, Book I. Understanding AquaCrop (Version 5.0, July 2015), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Division, Rome, Italy

Raes, D., Van Gaalen, H. 2015. AquaCrop Training Handbooks, Book II. Running AquaCrop (Version 5.0, Ocak 2016), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Division, Rome, Italy

Ritchie, J.T., 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resour. Res. 8, 1204–11213.

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.

Saxton, H., Rawls, W.J., 1986. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. Reproduced from Soil Science Society of America Journal.

Schippens, P.A. 1990. The Relationship Between Specific Gravity and Dry Matter Percentage in Potato Tubers. Am. Pot. Journ. 53, 111-122.

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., E. Fereres 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. Irrig. Sci. 25: 189-207.

Steduto, P., Raes, D., Hsiao, T.C., Heng, L., Izzi, G., Hoogeveen, J. 2008. AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions. *Options Méditerranéennes, Series A, No. 80*, pp. 285-292.

Steduto, P., T.C. Hsiao, D. Raes, E. Fereres. 2009. AquaCrop - The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agron. J.* 101: 426–437.8

Stern, W.R., Donald, C.M., 1963. Optimum Leaf Area Index in the potato Crop. *Nature J.* 197:918

Todorovic, M., R. Albrizio, L. Zivotic, M. Abi Saab, C. Stöckle, P. Steduto. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agron. J.* 101:509–521

Yazgan, S., Tatar, D., 2003. Bitki Gelişiminin Benzetimi (Simülasyonu) (Ceres-Wheat Modeli) / Simulation of Crop Growth (Ceres-Wheat Model), Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt 34, Sayı 2.

Yavuz, D. 2011. Patates Tarımında Farklı Sulama Yöntemlerinin Su Kullanımı, Verim ve Enerji Tüketimi Yönünden Karşılaştırılması, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Zelege, K.T., Luckett, D., Cowley, R., 2011. Calibration and testing of the FAO AquaCrop model for canola. *Agron J.*,103: 1610-1618.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Derya BEYHAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 01.01.1990
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Çelebi Mehmet Lisesi (YDA) 2008
Lisans :U.Ü. Ziraat Fakültesi, Ziraat Mühendisliği,
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 2013

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Bilman Bursa Botanik LTD. ŞTİ 2013-2014

İletişim (e-posta) : derya.byhngmail.com
Yayınlar :

İlhan H., Candoğan B.N., Büyükcangaz H., Beyhan D. 2015. Nevşehir İlinde Referans Bitki Su Tüketimi ve Meteorolojik Kuraklık İlişkisi. 2. İç Anadolu Bölgesi Gıda ve Tarım Kongresi, 28-30 Nisan 2015, Nevşehir

Beyhan, D., Candoğan, B.N. 2015. FAO Bitki Gelişim Modeli AquaCrop. 1. Ulusal Biyosistem Mühendisliği Kongresi, 9-11 Haziran 2015, Bursa