



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURSA-YENİŞEHİR OVASI MARMARACIK GÖLÜ
KURUTMA ALANINDA DRAINMOD SİMÜLASYON
MODELİ KULLANILARAK DRENAJ SİSTEM
PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ

HÜSEYİN İLHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

BURSA-2007



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURSA-YENİŞEHİR OVASI MARMARACIK GÖLÜ KURUTMA ALANINDA
DRAINMOD SİMÜLASYON MODELİ KULLANILARAK DRENAJ SİSTEM
PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ

HÜSEYİN İLHAN

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

BURSA-2007



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURSA-YENİŞEHİR OVASI MARMARACIK GÖLÜ KURUTMA ALANINDA
DRAINMOD SİMÜLASYON MODELİ KULLANILARAK DRENAJ SİSTEM
PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ

HÜSEYİN İLHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

Bu Tez 23/03/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Hakan BÜYÜKCANGAZ

Yrd. Doç. Dr. Zeynal TÜMSAVAŞ

ÖZET

Dünya genelinde tarım yapılan toprakların önemli bir bölümünde yüzey ve yüzeyaltı drenaj sorunu bulunmaktadır. Yüzeyaltı drenaj sorunu bulunan alanlarda bitki yetiştirme döneminde taban suyunda meydana gelen yükselmeler tarımsal üretim açısından önemli zararlara neden olabilmektedirler. Drenaj ve dolayısıyla etkili su yönetim sistemlerinin planlanması için bilgisayar simülasyon modellerinin kullanımı hem doğruluk hem de pratiklik bakımından oldukça önemlidir. Bu modellerle uzun dönemli hesaplamaların yapılması ekonomik bakımdan yararlı olacaktır.

DRAINMOD simülasyon modeli de bir bilgisayar simülasyon programı olup, drenaj ve su yönetim sistemlerinin performansının belirlenmesinde, alternatif su yönetim ve drenaj sistemlerinin planlanmasında, bitki çeşidi ve zamana bağlı olarak ürün verimindeki değişimlerin tahmininde, su tablasındaki değişimlerin tahmininde ve değişik sulama stratejilerinin drenaja olan etkilerinin incelenmesinde, toprak ve drenaj suyunun tuzluluk oranlarının ve topraktaki nitrojen yüzdesinin tahmininde kullanılmaktadır.

Bu çalışma, borulu yüzeyaltı drenaj sisteminin tesis edilmediği, drenaj sorunu bulunan Bursa Yenişehir ovası Marmaracık gölü kurutma alanında DRAINMOD modeli kullanılarak optimum drenaj parametrelerinin saptanması amacıyla yapılmıştır. Çalışma sonunda nispi verimin % 90'nın üzerinde tutulması durumunda sulamasız koşullarda optimum dren derinliği 1 m, dren aralığı ise 50 m, sulama yapılması durumunda ise 1,25 m ve 30 m bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Drainmod, drenaj, taban suyu, simülasyon modeli, kurutma alanı.

Determination of Optimum Drainage System Parameters by Using DRAINMOD Simulation Model on the Exsiccation Area of Lake Marmaracık on Bursa-Yenisehir Plain.

ABSTRACT

Drainage is required to increase production on the important part of agricultural lands on the common earth. In the period of growing plants, the rises occurring in the ground water of soil may cause fatal damages for agricultural production. It will be economically useful to make long–termed estimation and calculations for planning efficient water management systems. In order to make estimates for future, the usage of computer simulation models are primary in view of accuracy and also practicality.

DRAINMOD simulation model is also a computer simulation program which is used for defining the performance of drainage and water management systems, planning alternative water management and drainage systems, estimating the variation of yield fertility due to type of plant and time, estimating the variation of water table and examining the salinity rates of soil and drainage water and the nitrogen percentage of soil.

This study was made on the exsiccation area of lake Marmaracık on Bursa Yenisehir plain, where the subsurface tube system hasn't been established and there are drainage problems, by using DRAINMOD model to determine the optimum drainage parameters. According to the study in the condition that the relative (yield fertility) productivity is kept % 90 and higher the optimum drainage depth has been estimated as 1 m. and drain interval as 50 m. without irrigation conditions and 1,25 m and 30 m. in irrigation conditions

Keywords: DRAINMOD, drainage, water table, simulation model, exsiccation area.

İÇİNDEKİLER	Sayfa
1.GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Tarımsal Drenaj.....	5
2.1.1. Drenajın önemi ve yararları.....	5
2.1.2. Türkiye’de drenaj sorunu.....	7
2.1.3. Drenaj konusunda ülkemizde yapılan çalışmalar.....	9
2.2. Tarımsal Drenaj Sistemlerinin Planlanması ve Drenaj Simülasyon Modellerinin kullanılması.....	10
2.2.1. İki boyutlu Richards eşitliğine dayalı modeller.....	12
2.2.2. Düşey akışlar için Richards eşitliğini esas alan modeller.....	13
2.2.3. Su denge modelleri.....	18
2.2.4. Boussinesq eşitliğini esas alan modeller.....	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	42
3.1. Materyal.....	42
3.1.1. Bursa-Yenişehir Ovası Marmaracık gölü kurutma alanı.....	42
3.1.2. Kullanılan bilgisayar programı ve yazılımlar.....	51
3.1.2.1. DRAINMOD Ver.5.1.....	51
3.1.2.2. CropWat 4 Windows Version 4.2.....	53
3.2. Yöntem.....	53
3.2.1. Model girdilerinin hazırlanması ve modelin bilgisayar ortamında çalıştırılması.....	53
3.2.1.1. Model girdilerinin hazırlanması.....	53
3.2.1.2. Nispi verimi etkileyen faktörler.....	60
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	66
4.1. Sulamasız Koşullarda Drenaj Parametrelerinin Ürün Verimine Olan Etkileri.....	66
4.1.1. Drenaj parametrelerinin çalışılabilir günlere etkisi ve verim ilişkisi.....	68
4.1.2. Yüzey drenaj kalitesinin verime etkisi.....	69
4.1.3. Mısır ve soya fasulyesi için alternatif drenaj parametrelerinin verime etkisi ve uygun drenaj parametrelerinin seçimi.....	71
4.2. Sulamanın drenaj parametrelerinin seçimine ve verime etkisi.....	78
4.3. Sulamasız ve sulama dikkate alınarak elde edilen model çıktılarının birbirleriyle karşılaştırılması.....	84
4.4. Sonuç ve Öneriler.....	86
KAYNAKLAR.....	88
TEŞEKKÜR	97
ÖZGEÇMİŞ	98

SİMGELER DİZİNİ

D	Toprak profilinden olan drenaj
DS	Derine sızma (cm)
F	Toprak içine sızan su, infiltrasyon (cm)
K	Hidrolik iletkenlik (cm/saat)
Ks	Düşey hidrolik iletkenlik (cm/saat)
Md	Hacimsel su içeriği arasındaki fark
P	Yağış (cm)
RO	Yüzey akışı (cm)
Sf	Islak yüzeyden etkili su emişi
Va	Serbest Su Gözenegindeki ya da Hava Hacmindeki Değişim

KISALTMALAR

EF	Dren akışı etkinlik katsayısı
ET	Evapotranspirasyon
ETc	Gerçek evapotranspirasyon
ETm	Toplam evapotranspirasyon
FAO	Birleşmiş Milletler Tarım ve Gıda Örgütü
GIS (CBS)	Coğrafi bilgi sistemi
PC	Kişisel bilgisayar
PET	Potansiyel evapotranspirasyon
SDI	Stres gün indeksi
SEW _x	Su tablası seviyesinin x cm kritik-limit değerini geçmesi durumunu cm-gün cinsinden ifade eden DRAINMOD girdisi.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Su dengesine dayalı bir drenaj sisteminin şematik Görünümü.....	18
Şekil 2.2. Su yönetim sistemi ve suyun drenajla dren borularına veya dren hendeklerine iletim şeması.....	21
Şekil 2.3. Su tablasının kontrollü drenaj ve yüzey altı sulama sırasındaki şeması....	26
Şekil 2.4. DRAINMOD tarafından varsayılan toprak su dağılımı şeması.....	28
Şekil 2.5. Kuzey Coralina Aurora’da 7,5 m aralıklı paralel drenlere sahip bir alan için ölçülen ve tahminlenen su tablası derinliklerinin karşılaştırılması.....	31
Şekil 2.6. Boussinesq denklemi için çeşitli topraklardan oluşan alanlarda havza ölçeğinde drenaj şeması.....	39
Şekil 3.1 Thornthwaite’a göre Türkiye iklimi.....	44
Şekil 3.2. DRAINMOD Ver 5.1.....	51
Şekil 3.3. DRAINMOD’ un kısaltılmış akış şeması.	52
Şekil 3.4. CropWat 4 Windows Version 4.2.....	57
Şekil 4.1. Farklı drenaj parametrelerine bağlı olarak aylık Taban suyu değişimi...	67
Şekil 4.2. Yenişehir 2000–2004 yılları arası günlük toplam yağış grafiği.....	67
Şekil 4.3a.Soya fasulyesinin ekim zamanı 1 Nisan–1 Mayıs arası drenaj parametrelerinin çalışılabilir günlere etkisini gösteren grafik.....	68
Şekil 4.3b. Mısırın ekim zamanı 1 Nisan–1 Mayıs arası drenaj parametrelerinin çalışılabilir günlere etkisini gösteren grafik.....	69
Şekil 4.4a.Yüzey drenaj kalitesinin dren aralıklarına göre soya verimine etkisi.....	70
Şekil 4.4b.Yüzey drenaj kalitesinin dren aralıklarına göre mısır verimine Etkisi.....	71
Şekil 4.5. Mısır için dren aralık ve derinliklerine göre nispi verim grafiği.....	74
Şekil 4.6. Soya için dren aralık ve derinliklerine göre nispi verim grafiği.....	76
Şekil 4.7. Dren aralık ve derinliklerine göre yüzey altı drenaj miktarı.....	77
Şekil 4.8. Dren aralık ve derinliklerine göre yüzey akış yüksekliği.....	78
Şekil 4.9a.Mısır da sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı verim yüzdelerini gösteren grafik.....	82
Şekil 4.9b.Mısır da sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı verim yüzdelerini gösteren grafik.....	83
Şekil 4.10. Sulamaya bağlı su tablası değişim grafiği.....	84
Şekil 4.11a.Soya için sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı olarak verimdeki değişimleri gösteren grafik.....	85
Şekil 4.11b.Mısır için sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı olarak verimdeki değişimleri gösteren grafik.....	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye’de yaşlık sorunu bulunan alanların illere göre dağılımı.....	8
Çizelge 2.2. Türkiye toprak su envanterine göre 1965–2005 yılları arası illere göre drenaj ve toprak ıslahı yapılan alanlar ve proje sayısı.....	10
Çizelge 2.3. Beş model için gözlemlenen verilerden mutlak ortalama sapmalar (\bar{d} , cm) karşılaştırılması.....	32
Çizelge 3.1. Yenişehir uzun yıllar sıcaklık verileri.....	45
Çizelge 3.2. Yenişehir uzun yıllar yağış verileri.....	46
Çizelge 3.3. Yenişehir uzun yıllar nispi nem ve buharlaşma verileri.....	47
Çizelge 3.4. Toprak özelliklerine ilişkin bazı arazi sonuçları.....	48
Çizelge 3.5. Yatay hidrolik iletkenlik değerleri.....	49
Çizelge 3.6. Çeşitli basınçlar altında tutulan toprağın su tutma kapasiteleri.....	49
Çizelge 3.7. DRAINMOD ile hesaplanan toprak profiline ait bazı değerler.....	50
Çizelge 3.8. CropWat programında hesaplanan referans bitki su tüketimleri.....	54
Çizelge 3.9. Drenaj sistem parametreleri.....	56
Çizelge 3.10. Aşırı su koşullarında bitki hassasiyet faktörleri.....	57
Çizelge 3.11. Aşırı su koşulları (SEW) parametreleri.....	58
Çizelge 3.12. Bitki yetiştirme dönemleri.....	58
Çizelge 3.13. Mısır ve soya için kurak koşullar için hassasiyet faktörleri.....	59
Çizelge 4.1. Mısır için dren aralık ve derinliklerine göre nispi verim.....	72
Çizelge 4.2. Soya için dren aralık ve derinliklerine göre nispi verim.....	74
Çizelge 4.3a. Soya sulama suyu gereksinimi ve planlanması.....	78
Çizelge 4.3b. Mısır sulama suyu gereksinimi ve planlaması.....	79
Çizelge 4.4a. Mısır da sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı verim yüzdeleri.....	81
Çizelge 4.4b. Soya da sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı verim yüzdeleri.....	82

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde artan nüfusla birlikte sürdürülebilir tarım arazisine olan gereksinim de artmaktadır. Bu yüzden mevcut tarım arazilerinden maksimum verim almak için sorunlu arazilerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Drenaj, ıslak ve fazla su sorunu olan toprakların ıslahında önemli bir yere sahiptir. Tarım alanlarında çeşitli nedenlerle oluşan fazla su sorunu ile karşılaşmaktadır. Nemli bölgelerde fazla suyun kaynağı yağışlardır, kurak ve yarı kurak bölgelerde ise fazla suyun kaynağı “sulama”dır. Kaçınılmayan su iletim kayıpları, düşük randımanlı tarla içi sulama uygulamaları ve “yıkama gereksinimi” bu kaynakların başında gelir. Ayrıca komşu arazilerden de yüzey akış ve yüzey altı sızıntıları biçiminde fazla su gelebilir. Yine taşkınlar ve artezyenik yükselme gibi nedenler de fazla suyun kaynağını oluşturabilmektedir (Demir 2001).

Demir, (2001) tarım alanlarında çeşitli kaynaklardan beslenerek yükselen su tablasının uygun bir yüzeyaltı drenaj sisteminin tesisiyle kontrol altına alınması, daha açık bir anlatımla bitkiler için zararlı olmayacak bir düzeyin aşağısına düşürülmesi gerektiğini belirtmektedir. Su tablası düzeyinin, özellikle yağış miktarının yüksek olduğu dönemlerde yükselerek bitki kök bölgesine ulaşması sonucunda aşırı su koşullarından olumsuz yönde etkilenen bitkinin verimi nispeten düşmektedir. Bu gibi durumlarda yüzeyaltı drenaj sisteminin başlıca amacı su tablasının yükselmesi sonucu bitki kök bölgesindeki fazla suyun uzaklaştırılmasıdır.

Yüzeyaltı drenajında fazla suyun topraktan uzaklaştırılmasında tarla içi dreni olarak açık hendeklerden ya da dren borularından yararlanılmaktadır. Bir yüzeyaltı drenaj sisteminin planlanması söz konusu olunca akla ilk gelen konu dren boru veya hendeklerinin derinlik ve aralıklarının belirlenmesi olmaktadır. Kuramsal açıdan bitki istemlerine ve toprak özelliklerine göre drenaj eşitliklerinden yararlanılarak dren aralıklarının hesaplanması olası ise de, bu eşitliklerde kullanılacak verilerin saptanmasında bazı güçlüklerle karşılaşmaktadır (Demir 2001).

Drenaj tesislerinin planlanması için drenaj sistem parametrelerinin belirlenmesinde karşılaşılan çok yönlü güçlükler ve ileriye yönelik planlamalar için tahmin gereksinimi bilgisayar simülasyon modellerinin gelişimine hız kazandırmıştır. Drenaj sistemlerinin planlanmasında, bilgisayar simülasyon modellerinin kullanılması, güvenilirlik ve doğruluk bakımından önemli avantajlar sağlamaktadır. Günümüzde insan kaynaklı hataların en aza indirilmesi ve karmaşık problemlerin çözülmesinde gereksinim duyulan hız bilgisayar modellerinin kullanımını zorunlu hale getirmiştir.

Youngs (1991) tarafından bildirildiğine göre Darcy tarafından 1956 yılında, doymuş haldeki gözenekli bir ortamın özgül verimi ile bu özgül verime yol açan hidrolik eğim arasındaki ilişkiyi belirleyen temel yasadan sonra drenaj sistemlerini planlayan modeller gelişmeye başlamıştır. İlk bilgisayar simülasyon modelleri, toprak profilindeki su dengesine dayandırılmışlardır (van Schilfhaarde, 1965; Young ve Ligon, 1972; Skaggs, 1976; Chiang ve ark, 1978).

Çok bileşenli bir yapıya sahip drenaj sistemlerinin planlanmasında ileriye yönelik tahminler yapması için toprak verileri, bitki özellikleri, dren özellikleri ve uzun dönemli hava kayıtları kullanan ve dren derinlik ve aralıkları için eşitlikler kullanan birçok model geliştirilmiştir ve geliştirilmektedir. Örneğin, düşey akış için Richards eşitliğini esas alan ve bitkisiz koşullar için geliştirilen FLOWEX, toprak su basınç yükleri sürekliliğini esas alarak belirlenmiş ve çiftlik işlemleri için trafik yoğunluğunu ve çalışılabilir koşulları saptamak için kullanılmıştır (Wind 1979, van Butiendijk 1984, van Wijk 1987). Richards eşitliğini esas alan modellerden bir diğeri olan SWATRE, Feddes ve ark. (1984) tarafından geliştirilen bir bitki üretim modeli olan CROPR ile birleştirilerek SWACROP olmuştur. SWATRE, CROPR tarafından üretilen bitki girdilerini kullanarak ve su tablasının hareketlerini simüle ederek verimi artıracak drenaj parametrelerini belirleyebilmektedir. SWATRE su tablasının yüzeye kadar çıkması durumunda simülasyon yapmada yetersiz kalması dışında arazi uygulamalarında başarılı sonuçlar vermiştir. Johnson ve ark. (1995), sığ su tablası koşullarına yönelik Kök Bölgesi Su Kalitesi Modelindeki (RZWQM; Root Zone Water Quality Model) uygulamada Richards eşitliğinin çözümü için kütle-korunumu yasasını kullanmışlardır.

Drenaj sistemlerinin planlanmasında toprak hidrolik özelliklerinin yanında bölgenin hidrolojik yapısının ve iklimsel özelliklerinin bilinmesi de son derece önemlidir. Bir hidrolojik modelin en önemli unsurları toprağın hidrolik özellikleri ve iklimsel verilerdir. Dünyanın değişik ülkelerinde ve farklı araştırmacılar tarafından drenaj sistem parametrelerinin belirlenmesinde hidrolojik model temelli simülasyon modelleri geliştirilmiştir.

Skaggs, (1976, 1978) en geniş ölçüde uygulanan su denge modellerinden birisi olarak sığ su tablasına sahip toprakların hidrolojik bileşenlerini yaklaşık olarak belirlemek için fonksiyonel algoritmaları kullanan DRAINMOD modeli olduğunu bildirmektedir. Kuzey Carolina Eyalet Üniversitesinden Prof. Dr. R. W. Skaggs tarafından geliştirilmiş bir bilgisayar simülasyon modeli olan DRAINMOD, toprak profili içindeki su dengesini temel alarak, drenaj ve su tablası kontrol sistemlerinin performansını belirlemek ve bu sistemleri planlamak için iklimsel kayıtları ve yüzeyaltı drenajı, yüzeyaltı sulama, infiltrasyon, evapotranspirasyon ve yüzey akışı gibi hidrolojik parametreleri ölçmek için de çeşitli yaklaşım yöntemlerini kullanmaktadır.

DRAINMOD farklı toprak tipleri, su ve bitki koşullarında başarıyla kullanılmıştır (Chang ve ark. 1983, Wang ve ark. 2006). Örneğin DRAINMOD, Borin ve ark. (2000) tarafından düz bir alanda sığ bir su tablası bulunması ile karakterize edilen kuzeydoğu İtalya'nın Veneto bölgesinde yüzey altı borulu drenaj üzerine kurulan bir denemede test edilmiş ve gözlemlenen değerlerle karşılaştırılan simülasyon değerleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir.

Wahba ve ark. (2002), DRAINMOD' un alt modülü olan ve tuzluluk ile ilgili simülasyonlar yapan DRAINMOD-S' u, üç bitki yetişme sezonu için (mısır 1999, buğday 1999/2000 ve mısır 2000) Mısır' ın batı deltasındaki Maruit deneme tarlasından elde edilen verilerin kullanımı ile yarı-kurak koşullar altında değerlendirmişlerdir elde edilen sonuçlara göre; tuzluluğun ürün verimine etkisi ile ilgili simülasyonlarla gözlemlenenler arasında iyi bir uyum olduğu belirlenmiştir.

Wang ve ark. (2006), Güneydoğu Purdue Tarım Merkezinde, üç dren aralığı için dren akışını ve dört dren aralığı için ise bitki verimini tahminlemek ve karşılaştırmak amacıyla DRAINMOD' u 15 yıl için çalıştırmışlardır. Çalışma sonucunda genel olarak model, yıllık nispi verim değişim desenini doğru bir biçimde tahminlemiştir.

Yang ve ark. (2006), yüzey akış suyundaki ve yüzey altı drenajı ile çiftliklerden gelen dren akışlarındaki nitrat-N konsantrasyonlarını tahminlemeye yönelik bir matematiksel model olan DRAINMOD-N'i güney Ontario'da (Kanada) toplanan tarla verilerine karşı test etmişlerdir. Sonuçlar, DRAINMOD' un değişik su tablası yönetim uygulamaları altında toprak hidrolojisinin ve yüzey akıştaki nitrat-N kayıplarının simülasyonunu istenen ölçüde yapabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı; dünya genelinde bir çok farklı iklim kuşağında ve toprak özelliklerinde test edilmiş, aynı zamanda bilgisayar ortamındaki kullanımında kolaylık, hız ve geniş çaplı analiz olanaklarıyla DRAINMOD simülasyon modelinin son versiyonu DRAINMOD Ver 5.1 ile, Bursa-Yenişehir ovası Marmaracık kurutma alanında optimum drenaj sistem parametrelerinin belirlenmesidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Tarımsal Drenaj

Genel anlamıyla drenaj terimi, arazinin insanlar için kullanılabilirliğini artırmak amacıyla fazla suyun topraktan ve arazi yüzeyinden yapay yöntemlerle uzaklaştırılmasını belirtmektedir. Tarımsal açıdan ise asıl amaç, maksimum bitki gelişimine elverişli bir kök bölgesi oluşturmaktır; yani toprakta uygun bir su ve hava dengesi sağlamaktır. Tarımsal açıdan tanımlanacak olursa; “bitkisel üretimi artırmak, verimliliği sürekli kılmak veya üretim masraflarını azaltmak için, bir başka anlatımla net kar miktarını artırmak için toprak fiziki ve hidrolojik ilkeleri uyarınca fazla suyun topraktan uzaklaştırılması amacıyla çeşitli mühendislik yapılarının planlanması, projelenmesi ve inşası çalışmalarına drenaj denir” (Demir 2001). Tarımsal drenaj, bitki kök bölgesinde ve toprak yüzeyinde bulunan fazla suların zamanında ve denetimli biçimde ortamdaki uzaklaştırılması şeklinde tanımlanabilir (Özer ve Aslan 2004).

2.1.1. Drenajın önemi ve yararları

Gelişmiş drenaj sistemlerine sahip ilk arkeolojik bulgular M.Ö. 3100 yıllarında Pakistan ve Kuzey Hindistan’da İndus Vadisi uygarlığına aittir. Bu uygarlığa ait şehirlerde geliştirilen ve kullanılan drenaj ve kanalizasyon sistemleri Orta Doğu’da aynı döneme ait diğer kentlere göre oldukça gelişmiş bir yapıya sahipti ve bugünkü modern Hindistan ve Pakistan’ın bazı bölgelerinde de hala etkisi görülmektedir (Anonim 2006).

Arkeolojik bulgular ve tarihsel araştırmalar da drenajın çok eski uygarlıklardan günümüze kadar süregeldiğini göstermektedir.

Sürdürülebilir tarım, çok sayıda biyolojik, fiziksel, ekonomik ve sosyal etkenin birlikte veya teksel olarak, dengeli biçimde uygulanmasını gerektiren ileri düzeyde bir tarımsal işlev sayılmaktadır. Sürdürülebilir tarımın gerçekleştirilmesi için uygun niteliklerde kök bölgesi koşulları yaratmak, toprak suyu, hava ve tuz düzeyi arasında uygun ve kabul edilebilir bir dengenin yaratılmasına bağlıdır (Kara ve Arslan 2004). Tuzlu taban suyunun doğrudan veya kılcal yükselişle kök bölgesine ulaşması ve orada belli bir süre kalması, bitki gelişimini olumsuz biçimde etkilediği gibi, tuzlu ve alkali topraklar çevre sorunu yaratmaktadır. Taban suyunun kök bölgesinin dışında ve belli bir derinlikte tutulması, sorunun çözümü için gereklidir. Değinilen değişkenler arasında uygun bir dengenin kurulması, başarılı bir drenaj sisteminin varlığı ile olası olmaktadır.

Sulama ile drenaj birbirlerini tamamlayan iki önemli mühendislik dalıdır. Sulama ile kuru koşullara göre, 3–7 kat verim artışının sağlandığı açıklanmakla birlikte, drenajın sulama ile ilişkisinin yeterli ölçüde önemsenmemesi, sulu tarım alanlarında tuzluluk, alkalilik ve taban suyu gibi, geri dönüşü çok güç olan sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Tarımsal drenajın önemi bilinmekle birlikte, çoğu kez sulama sistemlerinden sonra düşünüldüğünden, yukarıda değinilen sorunlarla hemen tüm sulanan alanlarda karşılaşılmaktadır.

Drenaj, çok eski çağlardan beri bilinen, Mezopotamya, Nil havzaları ile Roma İmparatorluğu döneminde yaygın biçimde kullanılan bir mühendislik dalıdır. Sulanan alanlardaki taban suyu düzeyinin denetiminde ve buna bağlı olarak tuzluluk-alkalilik gibi sorunların ortaya çıkmasının engellenmesinde etkin biçimde kullanılan tek seçenektir. Taban suyu, toprakta geçirimsiz bir katman üzerinde bulunan ve bulunduğu düzeyin altındaki toprak katlarını sürekli doygun halde tuttuğu için bitkilere zararlı olan su katmanı diye tanımlanır (Tekinel ve Kanber 1987). Sulanan alanlarda görülen tuzluluk sorunu, denetlenemeyen ve 1-2 m arasında bulunan taban suyunun varlığında meydana gelmektedir (FAO 2000). Öte yandan, drenaj yetersizliğinden dolayı sulanan alanlarda meydana gelen tuzluluğun neden olduğu arazi bozulması sonucu gıda üretimi olumsuz bir biçimde etkilenmektedir. Kurak ve yarı kurak alanlarda kök bölgesinde

biriken tuzlu taban suları uzaklaştırılmaz ise ciddi bir sorun oluşturmakta ve farklı kullanımlar için gerek duyulan iyi nitelikli suya olan istemi artırmaktadır (Sharma ve ark. 1993, 1994).

Demir (2001), ıslak topraklardan fazla suyun atılmaması durumunda hem bitki hem de insan sağlığını tehdit edecek önemli sorunlar oluşacağını belirtmektedir. Uygun bir drenajla bu sorunların önüne geçilmekte ve daha iyi bir toprak havalanması ve daha iyi bir kök sistemi gelişimi sağlanmaktadır. Bitki besin maddeleri kaybı önlenirken, çoraklaşma tehlikesinden de sakınılmış olmakta ve toprağın ilkbaharda erken tava gelmesi, dolayısıyla erken ekim-dikim olanağının elde edilmesi, daha bol ve daha iyi nitelikli ürün alınması sağlanmaktadır.

Sulu tarım arazilerinde sulama şebekeleriyle birlikte iyi tasarlanmış drenaj sistemlerinin kurulması kısa ve uzun dönemde üretimin artmasını sağlayacak ve toprakların tuzlulaşmasının ve alkalileşmesinin önüne geçecektir. Drenaj sorunu olan alanlarda insan sağlığını tehlikeye sokacak sıtma, bilharzia gibi hastalıklar için uygun ortam oluşması, drenajın bitkiler için olduğu kadar insan sağlığı için de önemli olduğunu göstermektedir.

2. 1. 2. Türkiye’de drenaj sorunu

Türkiye arazi varlığı envanterine göre, 2.775.115 hektar alanda drenaj (yaşlık) sorunu bulunduğu, bunun % 61’inin yetersiz drenajlı, % 28’inin kötü drenajlı, % 10’un bozuk drenajlı, % 1’inin ise aşırı drenajlı olduğu bildirilmektedir. Çizelge 2.1.’de drenaj sorunu bulunan alanların (büyükten küçüğe doğru) illere göre dağılımı görülmektedir. Drenaj sorunu bulunan alanlar, illere göre önemli ölçüde değişmektedir. Konya ili 120.594 hektar drenaj sorunu bulunan alanla ilk sırayı almaktadır. Bunu sırasıyla 83.331 hektar alanla Samsun, 74.177 hektarla Sakarya, 62.528 hektarla Antalya ve 51.599 hektarla Bursa izlemektedir. Diğer illerden Adana, Burdur, Kütahya, Eskişehir ve Van illerinde drenaj sorunu bulunan alanlar, 30.000 hektarın üzerindedir (Sönmez 2004).

Drenaj sorununun asıl nedeni sulama uygulamalarıdır. Bilindiği gibi, sulama suları, belli bir randıman değeriyle düzeltildikten sonra uygulanmaktadır. Bu, uygulanan su miktarının içerisinde yüzey akış ve derine sızma gibi kayıpların da olduğu anlamına gelmektedir. Sulama ile derinlere sızan suların bir biçimde topraktan uzaklaştırılması gerekmektedir. Eğer, topoğrafya uygunsa, doğal yollarla; değilse yapay drenaj sistemleriyle konu edilen suyun uzaklaştırılması sağlanabilmektedir. Drenaj sistemlerinin yetersiz olduğu veya hiç olmadığı durumlarda, drenaj hacminin üzerinde su miktarı, sisteme ulaştığında, yaşlık veya drenaj sorunu ortaya çıkmaktadır. Değinen sorun, doğal durumdaki çukur alanlara çevre vadi veya yüksek kesimlerden sızma yoluyla gelen sular tarafından da oluşturulabilmektedir (Anonim 2006a).

Çizelge 2.1. Türkiye’de Yaşlık Sorunu Bulunan Alanların İllere Göre Dağılımı

İller	Alan (ha)	İller	Alan (ha)	İller	Alan(ha)
Konya	120.594	Erzurum	18.818	Çankırı	5.082
Samsun	83.331	Aydın	18.022	Tekirdağ	4.468
Sakarya	74.177	İstanbul	17.896	Bilecik	3.824
Antalya	62.528	Muğla	16.678	Kastamonu	2.973
Bursa	51.599	Ağrı	16.106	Tokat	2.072
Muş	35.105	Kırşehir	13.337	Artvin	2.030
Adana	34.883	Ankara	12.890	Uşak	1.936
Burdur	34.652	Sivas	12.619	Tunceli	1.930
Kütahya	33.447	Kocaeli	11.847	Adıyaman	1.341
Van	31.289	Edirne	11.805	Mardin	1.226
Eskişehir	31.231	Hatay	10.985	Yozgat	1.140
Kars	29.518	Denizli	10.082	Giresun	1.106
Balıkesir	28.887	Nevşehir	9.273	Gaziantep	1.085
Isparta	27.499	Bolu	9.046	Ordu	927
İzmir	25.536	İçel	8.380	Şanlıurfa	882
Afyonkarahisar	25.250	Hakkari	7.473	Amasya	809
Kayseri	24.613	Sinop	7.061	Bingöl	762
Gümüşhane	23.847	Erzincan	6.464	Malatya	533
Çanakkale	23.414	Kırklareli	6.166	Siirt	510
Niğde	22.694	Çorum	6.103	Elazığ	462
Kahramanmaraş	20.984	Zonguldak	5.715	Diyarbakır	399
Manisa	19.373	Bitlis	5.500	Trabzon	366

Kaynak: <http://www.khgm.gov.tr/kutuphane/trcoraklik/2.htm>

2. 1. 3. Drenaj konusunda ülkemizde yapılan çalışmalar

Türkiye’de drenaj mühendisliği ile ilgili çalışmaların çoğu, projelendirme ölçütlerinin belirlenmesi ve çalışır haldeki sistemlerin performanslarının saptanması konularında yapılmıştır. Kimi araştırmalarda ise dren malzemeleri test edilmiştir. Bilimsel çalışmaların önemli bölümü, Köy hizmetleri Araştırma Enstitülerinde ele alınmıştır. İlk çalışmalardan birisi, Bahçeci (1984) tarafından Konya Ovası’nda kapalı drenaj sisteminin projelendirilmesi için gerekli ölçütlerin saptanması amacıyla yapılmıştır. Deneme arazisinde oluşturulan test alanında yapılan çalışmalarda farklı dren ve bariyer derinlikleri için Glower-Dumm eşitliği kullanılarak uygun dren aralıkları belirlenmiştir. Çalışmada 90 cm derinliğindeki kök bölgesinin yarısının suyla dolu olduğu ve 3 günde boşalması için gerekli dren derinlikleri ve dren aralıkları verilmiştir. Benzer çalışma, Tarsus Ovası’nda Yarpuzlu ve Doğan (1986) tarafından yapılmıştır. Çalışma sonunda toprakların drene edilebilir gözenek hacminin %2,1, hidrolik iletkenliğinin 0.16 mm/gün olduğu anlaşılmıştır. Toprağın 90 cm derinliğinin 4–7 günde drene edilmesi durumunda farklı dren derinliklerinde gerekli dren aralıkları verilmiştir. Drenaj malzemelerini test eden Kumova ve Yarpuzlu (1987), Aşağı Seyhan Ovası koşullarında, 50 mm çaplı plastik boruların dışında, tüm plastik ve kil boruların yalnız kum-çakıl zarf malzemesi ile kullanımının uygun olduğunu rapor etmişlerdir (Anonim 2006a).

1984–2005 yılları arasında hizmet vermiş olan Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM) tarafından ülke genelinde drenaj ve toprak ıslahı çalışmaları yapılmıştır. Türkiye toprak ve su kaynakları envanterine göre 1965–2005 yılları arasında KHGM ve öncesinde hizmet vermiş olan YSE (Yol-Su-Elektrik), TOPRAKSU ve Toprak ve İskan İşleri Genel Müdürlükleri tarafından, 1.352 proje ile toplam 340.890 hektar alanda drenaj ve toprak ıslahı yapıldığı anlaşılmaktadır (Anonim 2006b). Bu alanların illere göre dağılımı Çizelge 2.2. de belirtilmiştir.

Çizelge 2.2. Türkiye Toprak Su Envanterine Göre 1965-2005 Yılları Arası İllere Göre Drenaj ve Toprak Islahı Yapılan Alanlar ve Proje Sayısı.

Sıra No	İLİ	DRENAJ VE TOP.ISL.		Sıra No	İLİ	DRENAJ VE TOP.ISL.	
		Prj. Ad.	Saha Ha.			Prj. Ad.	Saha Ha.
1	ADANA	3	1583	37	KOCAELİ	16	3150
2	AFYON	11	2197	38	KONYA	35	8876
3	AĞRI	2	498	39	KÜTAHYA	10	1875
4	AMASYA	29	8051	40	MALATYA	5	560
5	ANKARA	131	34751	41	MANİSA	36	13763
6	ANTALYA	10	395	42	K.MARAS	1	1700
7	ARTVIN	3	88	43	MUĞLA	64	20036
8	AYDIN	37	8935	44	MUS	5	285
9	BALIKESİR	22	9474	45	NEVSEHİR	28	7015
10	BİLECİK	8	1119	46	NİĞDE	4	220
11	BOLU	10	2036	47	ORDU	10	4511
13	BURSA	10	2884	49	SAKARYA	139	36512
14	CANAKKALE	27	17450	50	SAMSUN	66	11455
15	CANKIRI	13	2847	51	SIİRT	1	30
16	CORUM	32	6384	52	SINOP	4	394
17	DENİZLİ	9	2285	53	SIVAS	34	11205
18	EDİRNE	8	2030	54	TEKİRDAĞ	12	3564
19	ELAZIĞ	4	232	55	TOKAT	18	1828
20	ERZİNCAN	6	1373	56	TRABZON	20	2880
21	ERZURUM	19	5501	57	ŞANLIURFA	2	5381
22	ESKİŞEHİR	34	2813	58	USAK	10	1590
23	GAZİANTEP	1	110	59	VAN	7	1507
24	GİRESUN	17	6853	60	YOZGAT	32	6948
25	GÜMÜSHANE	2	290	61	ZONGULDAK	23	5516
26	HAKKARİ	1	310	62	AKSARAY	4	300
27	HATAY	4	449	63	BAYBURT	10	1146
28	ISPARTA	5	900	64	KARAMAN	4	307
29	İCEL	15	3367	65	KIRIKKALE	33	6223
30	İSTANBUL	39	9754	66	BATMAN	0	0
31	İZMİR	41	14354	67	SIRNAK	0	0
32	KARS	1	340	68	BARTIN	18	4379
33	KASTAMONU	11	1206	69	ARDAHAN	4	1200
34	KAYSERİ	40	6521	70	İĞDIR	3	1861
35	KIRKLARELİ	8	606	71	KARABÜK	1	48
36	KIRŞEHİR	54	8917	TOPLAM		1.352	340.890

Kaynak: http://www.khgm.gov.tr/ENVANTER/En_ToprakSu.mht

2.2. Tarımsal Drenaj Sistemlerinin Planlanması ve Drenaj Simülasyon

Modellerinin Kullanılması

Demir (2001) tarafından bildirildiğine göre, tarımsal drenaj sistemlerinin planlanmasında karşılaşılan önemli iki soruya cevap aramak gerekmektedir. Bunlardan

birincisi, planlanacak drenaj sisteminin işlevinin ne olacağı, ikincisi ise bu işlevin yerine getirilmesi için mühendislik bakımından ne gibi özellikleri bulunduracağıdır.

Birinci sorunun karşılığının bulunması için her şeyden önce söz konusu arazinin drene edilmesindeki amacın (veya amaçların) ne olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Drenaj sistemi, daha iyi havalandan bir kök bölgesi oluşturmak, tuzluluk ve alkalilik sorunlarının denetimi, erken toprak işleme ve erken ekim-dikimin sağlanması ve tarım alet ve makinelerinin geçişini kolaylaştıracak bir arazi yüzeyi elde etmek gibi farklı amaçlara hizmet edebilir. Böylece drenaj sisteminin hangi amaca hizmet edeceği, yani işlevinin ne olacağı belirlenmiş olacaktır. Bundan sonra da topoğrafya ve toprak özellikleri ile araziden belirli bir süre içerisinde uzaklaştırılması gereken su miktarı, akış koşulları ve tuzluluk durumu göz önüne alınarak belirlenen işlevi yapacak drenaj sisteminin ne olması gerektiği kararlaştırılmalıdır (Demir 2001).

Modeller, 1856'da Darcy'nin geliştirdiği temel yasadan sonra dren aralıkları ve dren derinlikleri gibi sistem parametrelerinin planlanması için drenaj sistem performanslarını belirlemekte kullanılmaktadır. Örneğin, Colding'in 1872'de geliştirdiği bir formül hala paralel sıralı kanallarla drenaj yapılan topraklarda maksimum su tablası yüksekliklerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Youngs 1991). Geniş bir yelpazeye sahip drenaj modelleri temelde drenaj gereksinimlerini, toprak cinsini, dren aralık eşitliklerini, (örneğin Hooghoudt eşitliğinde olduğu gibi) uzun yıllık iklim verilerini kullanarak çok bileşenli sistemlerin günlük performansını simüle eden bilgisayar modellerine aktarmaktadır. Bu bağlamda "model" terimi, konunun ana noktalarının, eşitliklerin ya da amaç fonksiyonu veya fonksiyonlarına sahip bir sistemin performansını ölçmede kullanılan bilgisayar programlarının bir takımı olarak tanımlanabilir. Toprak su koşullarını yöneten uygulamaların sürekli etkileri ve etkileşimlerini dikkate alan modeller "simülasyon modelleri" olarak adlandırılır.

Bir grup bilgisayar modeli günlük drenaj ve su tablası kontrol sistemlerinin performansını simüle etmek için geliştirilmiştir. Toprak profili içinde bir su dengesi

davranışı için yaklaşık yöntemlerden, diferansiyel eşitliklerin karmaşık sayısal çözümlerine kadar olan bir diziyi kapsarlar. Bu modellerin çoğu arazide test edilmiş ve sığ su tablasına sahip topraklarda su yönetim sistemlerinin ürün verimine olan etkisi incelenmiştir. Simülasyon modelleri ayrıca tuzluluk, gübre besin maddesi, sedimentler ve diğer kirletici maddelerin kaybını belirlemek için geliştirilmiştir.

Drenaj simülasyon modelleri içinde SWATRE ve DRAINMOD diğer modellere göre daha yaygın kullanılmaktadır.

2.2.1. İki boyutlu Richards eşitliğine dayalı modeller

Toprak su hareketi ve depolamasının modellenmesi için en teorik ve güçlü yöntem tam yaklaşım olarak adlandırılır. Bu yöntem iki veya üç boyutta doymuş veya doymamış akışların birleşimi için Jacobs-Richards veya Richards eşitliğinin çözümlerini içerir. Bu teori yönetim eşitliklerinin (Toprak su akışı ve toprak kütlelerinin korunması için Darcy-Buckingham eşitliği) çözümü ve formüle edilmesi için çeşitli alternatifleri de kapsar. Richards eşitliğinde çözümler, zaman ve mesafeye bağlı toprak basıncı ve toprak suyunu, su tablası pozisyonunu, drenaj ve yüzey altı sulama oranlarını, infiltrasyon ve buharlaşma oranlarını ve yüzey akışı için aşırı su koşullarını içerir.

Birleşik Devletler Tuzluluk Laboratuvarında çeşitli doymuş topraklarda su akışını, ısı transferini ve solüsyonların hareketini iki boyutlu simüle eden iki bilgisayar modeli geliştirilmiştir. SWMS_2D (Simunek & van Genuchten 1994a), CHAIN_2D (Simunek & van Genuchten 1994b), çok yönlü tepki veren solüsyonları ele alırken, tek bir solüsyonun hareketini ele alır. Her iki model doymuş-doymamış akışlar için Richards eşitliği ve solüsyon transferi için konvektif dağılım eşitliği çözümlerinde sonlu element yöntemlerini kullanır.

Kamra ve ark. (1991), borularla drene olan topraklardaki su ve çözünen madde hareketi için yarı ayrık bir model geliştirmişlerdir. Onlar, iki boyutlu su akışı için

kararlı-durum koşullarını kabul etmişler ve kullanılan eşitlikleri çözünen madde hareketi için çözmüşlerdir. Bu yaklaşım, drenaj suyundaki konsantrasyonların, toprak ve taban suyundaki tuz dağılımlarının uzun dönemli tahminine olanak sağlamaktadır. Kararlı su akışı için analitik çözümler yapıldığında, çözünen madde taşınmasına ilişkin sayısal çözümler, orta dönemlerdeki konsantrasyonları hesaplamaksızın, gelecekte herhangi bir dönemdeki konsantrasyonlar için kesin ifadeler ortaya koymaktadır.

Kesin yaklaşımda en büyük sorun, eşitliklerin doğrusal olmaması ve çözümler elde etmek için sayısal yöntemlerin kullanılması gerektiğidir. Bu çözümler hem zor hem de pahalıdır. Önceleri, bu çözümler için bilgisayarda geçen gerekli zaman geciktirici bir etmen olmakla birlikte sorun, hızlı ve modern bilgisayarların çok miktarda kullanılabilir olması ile hemen hemen giderilmiştir. Bununla birlikte, bazı kullanıcılar ve uygulamalar için hesaplama gereksinimleri halen bir sorun olmayı sürdürmektedir. Diğer bir kısıt ise, her bir profil katmanı için doymun olmayan toprak özelliklerinin ayrıntılı tanımlanma gereksinimidir. Bu fonksiyonlar genellikle bilinmemektedir ve her bir yer için ölçülmek ya da tahminlenmek zorundadır. Uygulamaya bağlı olarak, model tahminleri, hidrolik iletkenliğin (Rogers ve Fouss, 1989) ve toprak su özelliğinin (Rogers, 1994) belirlenmesi ve temsil edilmesi için kullanılan yöntemlere duyarlı olmalıdır. Drenaj koşullarının analizine yönelik olarak bu yaklaşımın rutin kullanımında belki de en temel kısıt, modellerin düzenlenmesinde ve çalıştırılmasında gereksinim duyulan uzmanlıktır. Modellerin kullanılması, gridlerin ve profil katmanları ile ele alınacak yerin sınır koşulları için uygun çözüm matrislerinin oluşturulmasında eğitime ve deneyime gereksinim duyar. Bu yaklaşımın, su tablası yönetimi problemlerine yönelik kullanımı yararlı ve büyük olasılıkla artmaya devam ederken, onun drenaj alanlarında kullanımı çoğunlukla araştırmacı bilim insanları sayısı ile sınırlı kalacaktır.

2.2.2. Düşey akışlar için Richards eşitliğini esas alan modeller

Doymamış bir bölgede su akışının belirlenmesinde sayısal çözüme dayalı bir boyutlu Richards eşitliği yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right] - S(h) \quad (2.1)$$

Eşitlik (2.1)'de h basınç yükünü, K hidrolik iletkenliği, z aşağı yön pozitif olmak üzere düşey mesafeyi, t zamanı gösteren değişkenler, $C(h)$ Toprak su kapasitesi, $S(h)$ bitki köküyle alınan suyu göstermektedir.

Yukarıda verilen eşitliğin analitik olarak çözülebilmesi veya sayısal modellemelerde kullanılabilmesi için iki fonksiyonun bilinmesi gereklidir. Bunlar toprak su karakteristik eğrisi, (h) , ve doymun olmayan hidrolik iletkenlik, $K(h)$, fonksiyonlarıdır.

A. SWATRE

Hollanda'da Richards eşitliğini (2.1.) temel alan bir seri model geliştirilmiştir (Feddes ve ark. 1978, Wind 1979, Belmans ve ark. 1983, Butiendijk 1984, van Wijk 1987, Feddes 1987, Feddes & van Wijk 1990). Su tablası yukarısında doymamış bölgede basınç yükü için Richards eşitliğinin çözümünde sonlu fark yöntemleri kullanıldı. FLOWEX (Wind 1979, van Butiendijk 1984, van Wijk 1987), ürünsüz bir toprak için geliştirilmiştir. Toprak su basınçları sürekli bir temelde belirlendi ve tarımsal uygulamalarda çalışılabilir şartları belirlemede kullanıldı. SWATRE (Feddes ve ark. 1978, Belmans ve ark. 1983), Richards eşitliğinde $S(h)$ ile tanımlanan bitki köküyle alınan suyu da ele almaktadır.

$$S(h) = a(h)S_{\max} \quad (2.2)$$

Burada $a(h)$ basınç yükünün boyutsuz bir fonksiyonudur ve S_{\max} kök tarafından alınması mümkün olan maksimum su miktarıdır. Normal olarak derinlikle beraber homojen olduğu varsayılır.

$$S_{\max} = PT / RD \quad (2.3)$$

PT potansiyel transfer, RD bitki kök derinliği.

SWATRE farklı fiziksel özelliklere sahip beş toprak katmanını dikkate alabilmektedir. Girdiler, her bir profil katmanı için toprak su tutma ve doymun olmayan hidrolik iletkenlik eğrileri ile dren derinlik ve aralığını içermektedir. Günlük yağış ve

potansiyel evaporasyon (PE) oranı, profilin üst kısmındaki sınır koşulunu belirtmek için kullanılan girdilerdir. PE ve PT oranları, yaprak alan indeksini esas alarak, günlük potansiyel evapotranspirasyonun kısımlara ayrılması ile belirlenmektedir (Feddes, 1987). Potansiyel evapotranspirasyon modifiye Penman eşitliği ile hesaplanmaktadır. Tüm yağışın infiltre olacağı düşüncesiyle yüzey akış ve yüzey drenajın etkileri dikkate alınmamaktadır. Bu yaklaşımda infiltrasyon doğrudan hesaplanabilmektedir (ör., Skaggs, 1974; Karvonen, 1988). Bununla birlikte, infiltrasyon için doğrudan çözüm, zamana bağlı yağış dağılımına ilişkin daha ayrıntılı veri girişine gereksinim duyacaktır ve infiltrasyon sonuçları için kısa süreli aşamalar gerekli olduğunda, hesaplama gereksinimleri alabildiğine artacaktır. Profilin alt kısmında doymuş bölgedeki akış, drenaj akışı ve su tablası yüksekliği arasındaki basit bir ilişki ile hesaplanmaktadır. Drenaj direncini hesaplamak için Ernest (1978) tarafından geliştirilen bir kararlı-durum eşitliği kullanılmaktadır. Diğer altı alt sınır koşulları dikkate alınabilmektedir. SWATRE'nin orijinal versiyonlarının önemli bir kısıtı, su tablası yüzeye kadar yükseldiğinde, koşulları simüle etmedeki yetersizliğidir. Bu, bazı bölgelerde sıkça meydana gelmekte ve çoğu drene olan topraklarda çok sık yüzey akışa neden olmaktadır. Bununla birlikte, su tablası yüzeye kadar yükseldiğinde, bu durumu dikkate almak için model, basit su dengesi rutinleri uygulanarak kolayca modifiye edilebilmektedir (Workman ve Skaggs, 1989).

Bitki çıkış tarihinde çalışmaya başlayan SWATRE, zamanın bir fonksiyonu olarak kök derinliği girdisine ve kökler tarafından su alımına yönelik kritik basınç yükü değerlerine gereksinim duyar. Model, potansiyel ve gerçek bitki terlemesini tahminler ve bu değerler bitki üretim modelinde (CROPR) (Feddes ve ark., 1978) girdi olarak kullanılır. Diğer girdiler, tarla denemelerinden bulunan maksimum su kullanım etkinliği, hava sıcaklığı, nispi nem, solar radyasyon, rüzgar hızı, yaprak alan indeksi ve bazı bitki katsayılarıdır. Bitkiye optimum düzeyde bitki besin maddesi desteği yapıldığı varsayılmaktadır. CROPR' nin çıktısı, tahminlenen en yüksek ve gerçek günlük toplam kuru madde birikimidir. Toplam kuru maddedeki artış, bitki büyüme döneminin bir fonksiyonu olarak, yer üstü ve yeraltı bitki materyali biçiminde sınıflandırılmaktadır.

Yapraklara ilişkin toplam kuru madde ve yeraltı materyali tahminlenmekte ve ertesi gün için yaprak alan indeksi hesaplanmaktadır. Günlük büyümeler, son tahminlenen maksimum ve gerçek kuru madde verimlerini bulmak için toplanır. Feddes ve ark. (1984), SWATRE ve CROPR' yu SWACROP olarak bir modelde birleştirmişlerdir. Bu model, Wesseling ve ark. (1991) tarafından güncelleştirilmiş ve girdileri belgelenmiştir. SWACROP drenaj sistemlerini (ör., van Wijk ve Feddes, 1986) ve sulama yönetimini (Wesseling ve van den Broek, 1988) analiz etmeye yönelik çoğu uygulamalarda kullanılmıştır. Hack-ten Broeke ve Kabat (1989), tarımsal alanların verimlilik potansiyelleri ile ilgili toprak suyunu nicel olarak değerlendirmeye yönelik SWACROP'un kullanımını göstermişlerdir.

B. Bir boyutlu Richards eşitliğine dayanan diğer modeller

Diğer bazı drenaj simülasyon modelleri yatay akış için Richards eşitliğine dayanan çözümleri temel almıştır. Skaggs (1974) bu yaklaşımı drenaj yapılan alanlarda yağışa göre değişen su tablasının yüzey drenajına olan etkisini analiz etmekte kullandı. Karvonen (1988) toprakta ısı transferi ve Richards eşitliğini çözmek için sonlu eleman yöntemlerini kullandı. Su tablası derinliklerine ve toprak su içeriğine göre drenaj dizaynının ve yönetiminin içeren Karvonen'in modeli toprak sıcaklık dağılımlarını, kar birikimlerini ve kar erimelerini günlük bazda hesaplayabilir.

Bir boyutlu Richards eşitliği yaklaşımı ayrıca Bronswijk (1988) tarafından topraktaki çatlamlar ve çökelmeler de dahil olmak üzere büzülme ve kabarmalarının etkilerini modellemek için kullanılmıştır. Bronswijk'in modeli, toprak yüzeyi ve içindeki bu çatlaklar arasındaki akışları ve maksimum infiltrasyon hızlarını hesaplar. Workman ve Skaggs (1990, 1991) makro gözenekler arası akışı ve makro gözeneklerden toprak matriksine olan yatay infiltrasyonu ele alan benzer bir yaklaşım kullanmıştır. Bronswijk ve ark. (1993, 1995) sülfatlı topraklar için simülasyon modeli (SMASS) geliştirmede SWATRE' yi temel almıştır. Bu model Endonezya'da Barambai'de sülfatlı topraklarda su kalitesi ve su yönetim sistemleri ve drenajın etkilerini belirlemede uygulanmıştır. Düşey akışlar için sayısal çözümlü Richards eşitliğini temel alan bir başka model

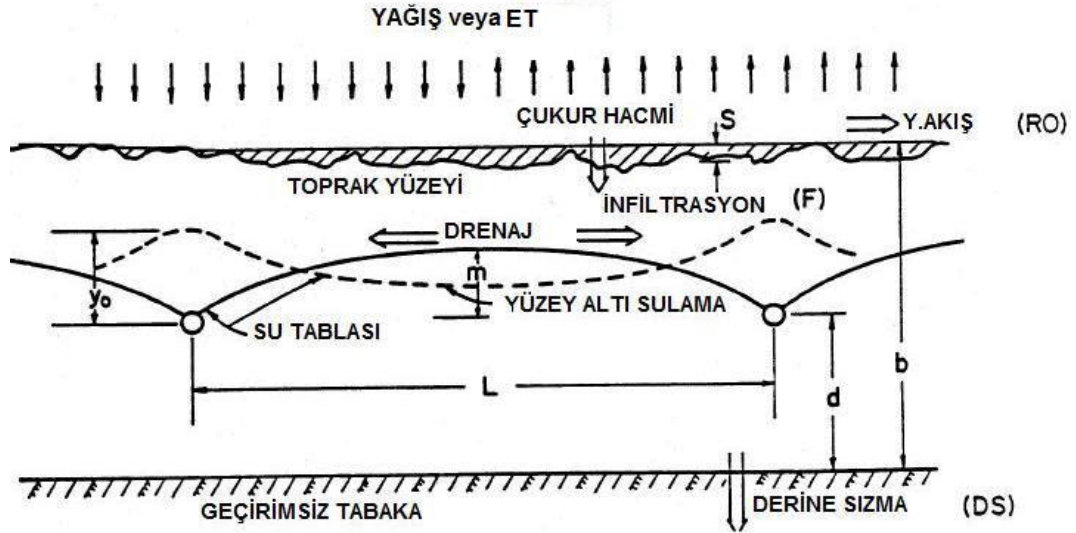
LEACHM (Wagenet & Hutson 1987), toprak çözeltilerinin hareketini ve değişimini belirlemektedir. LEACHM, Bigger ve ark. (1990) tarafından drenaj yapılan topraklarda toprak profili tuzluluğunu belirlemede kullanıldı.

Johnson ve ark. (1995), sığ su tablalı topraklarda Kök Bölgesi Su Kalitesi Model'i (RZWQM) uygulaması için Richards eşitliğini çözümlen yalın bir simülasyon tekniği kullandı. Yeni modül Richard eşitliğindeki bağımlı değişken olarak basınç yükünü kullandı ve RZWFLO olarak adlandırdı. Ayrıca bir ikinci model olarak geliştirdikleri (WAFLOWM), bağımlı değişken olarak basınç yükünden çok hidrolik yükü kullanır.

Bir boyutlu Richards eşitliği yaklaşımının avantajı, doymun olmayan bölgede düşey su hareketi için güvenilir teoriye dayandırılmasıdır. Drene edilen topraklarda, doymun olmayan su hareketinin çoğu düşey yönde olma eğiliminde olduğundan dolayı bu yaklaşım, su tablasının yukarısında toprak su koşullarının güvenilir bir biçimde tahmin edilmesini sağlamalıdır. Diğer avantaj, yöntemin su tablası olmayan topraklar için de uygulanabilir olmasıdır. Bu yaklaşımın bir dezavantajı ise, yukarıda tartışıldığı gibi, iki-boyutlu model için, doymun olmayan toprak su özelliklerine gereksinim duymasıdır. Her ne kadar, toprak hidrolik özelliklerini belirlemek için kabul edilen birkaç doğrudan yöntem (Amoozegar ve Wilson, 1999) varsa da, onların arazi uygulamalarında kısıtlar söz konusudur. Toprak girdi özelliklerini karşıt ölçüm tekniklerini kullanarak belirlemeye ve mevcut toprak özelliği verilerine dayalı olarak daha kolayca tahminlemeye yönelik yöntemler bulunmaktadır. (ör., Kabat ve Hack-ten Broeke, 1989; Ahuja ve ark., 1999). Bununla birlikte, uygun hidrolik özellik girdilerini belirleme, çoğu kullanıcılar için hala bir kısıttır. Çünkü modelin uygulaması bir-boyutlu Richards eşitliğinin sayısal çözümlerini içermekte ve bazı durumlar için bir noktada birleşme ve kararlılık ile ilgili sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, söz konusu modellerin uygulamaları için yoğun kullanıcı eğitimi gerekmektedir.

2.2.3. Su denge modelleri

İlk bilgisayar simülasyon modeli toprak profili içinde bir su dengesini temel almıştır (van Schilfgaarde 1965, Young & Ligon 1972, Skaggs 1976, Chiang ve ark. 1978). Analitik ve yarı analitik biçimde sınıflandırılabilen bu modellerin çoğu ve yaklaşık yöntemler hidrolojik ve bitki davranış yöntemlerini tanımlamada kullanılmaktadır. Bununla beraber bu modeller, Addiscott ve Wagnet (1985) in sınıflandırma şemasına tam olarak uymamaktadır. Modellerle tanımlanan yöntemlerin bazıları mekaniksel ve sayısal veya analitik olabilir. Diğerleri fonksiyonel, yaklaşık ya da deneye dayalı yaklaşımlardan türeme fonksiyonel temsilciler olabilir. Şekil 2.1.'de su dengesine dayalı bir drenaj sisteminin temel bileşenleri görülmektedir.



Şekil 2.1. Su dengesine dayalı bir drenaj sisteminin şematik görünümü.

A. DRAINMOD

DRAINMOD, iklimsel verileri kullanarak su tablası yönetim sistemleri ve drenaj performansını simüle etmek için, Kuzey Carolina Eyalet Üniversitesi Biyoloji ve Ziraat Mühendisliği Bölümünden Prof. Dr. R. Wayne Skaggs tarafından 1970 ortalarında geliştirilmiş bir bilgisayar simülasyon programıdır (Skaggs 1978, 1980).

DRAINMOD, başta drenaj ve yüzeyaltı sulama sistemlerinin performansının ve bu sistemlerin su kullanımı, bitki davranışı, kullanışsız suyun arazideki durumu ve kirletici maddenin tarım arazisinden uzaklaştırılması üzerine etkilerinin incelenmesinde bir araştırma aracı olarak kullanılmıştır.

Model, drenajı kötü, yüksek su tablasına sahip toprakların hidrolojisini saatten saate ve günden güne, uzun dönemdeki iklimsel verileri esas alarak simüle eder. Model, su tablası derinlikleri, toprak su rejimi ve ürün verimleri üzerine ilişkilendirilmiş su yönetim uygulamaları ve drenajın etkilerini öngörür. Model, ıslak alanların hidrolojisinin analizinde ve ıslak alan hidrolojik kriterinin tamamen ya da kısmen drene edilmiş alanlar için yeterli olup olmadığının belirlenmesinde kullanıldı. Model ayrıca, atık suyun arazide kullanılabilmesini sağlayan sistemlerin hidrolik kapasitesini hesaplamada kullanılmıştır. Model geniş çeşitlilik gösteren coğrafya ve toprak koşullarında başarıyla test edilmiştir.

DRAINMOD, sığ su tablasına sahip topraklarda tuzun (DRAINMOD-S) ve azotun (DRAINMOD-N) hareketinin tahmininde de kullanıldı. DRAINMOD-S, toprak tuzluluğunun dağılımını, drenaj suyunun tuz konsantrasyonlarının ve bitki üzerine tuzluluğun etkilerinin tahminini, DRAINMOD-N ise toprak profilindeki, topraktaki ve yüzey altı drenajındaki azot konsantrasyonlarını belirleyebilmektedir.

DRAINMOD, yağış, evapotranspirasyon, infiltrasyon, drenaj bilgi girdilerinden, zaman içinde bir toprak profilindeki su tablası düzeylerini simüle eden bir hidrolojik modeldir (Skaggs 1999). DRAINMOD aynı zamanda tek boyutlu azot döngü modelidir (Breve ve ark. 1994).

Geniş uygulama alanına sahip su dengesi modellerinden biri olan DRAINMOD (Skaggs 1976, 1978), sığ su tablalı toprakların hidrolojik bileşenlerini belirlemede algoritma fonksiyonlarını kullanmaktadır. DRAINMOD çok bileşenli drenaj ve su yönetim sistemlerinin değerlendirilmesi ve tasarımı için geliştirilmiştir.

Girdi olarak toprak özellikleri, bitki parametreleri, drenaj sistem parametreleri, iklim ve sulama bilgilerini kullanır. Model bir su dengesine dayalı günlük ve saatlik temelde infiltrasyonu, evapotranspirasyonu (ET), drenajı, yüzey akışını, yüzeyaltı sulamayı, derine sızmayı, su tablası derinliğini ve toprak suyu durumunu zamansal olarak hesaplar. Tarlada çalışılabilirlik ve zamanlaması ıslak toprak koşullarına bağlıdır. Su tablası pozisyonu ve faktörleri örneğin ET açığı, aşırı ıslak ve kuru toprak şartlarına bağlı olarak bitkinin girdiği stresin ölçülmesinde kullanılır. Stres gün indeksi yöntemleri (Hiler 1969), topraktaki su fazlalığına veya eksikliğine ve ekim gecikmesinden etkilenen nispi verimin belirlenmesinde uygulanmıştır.

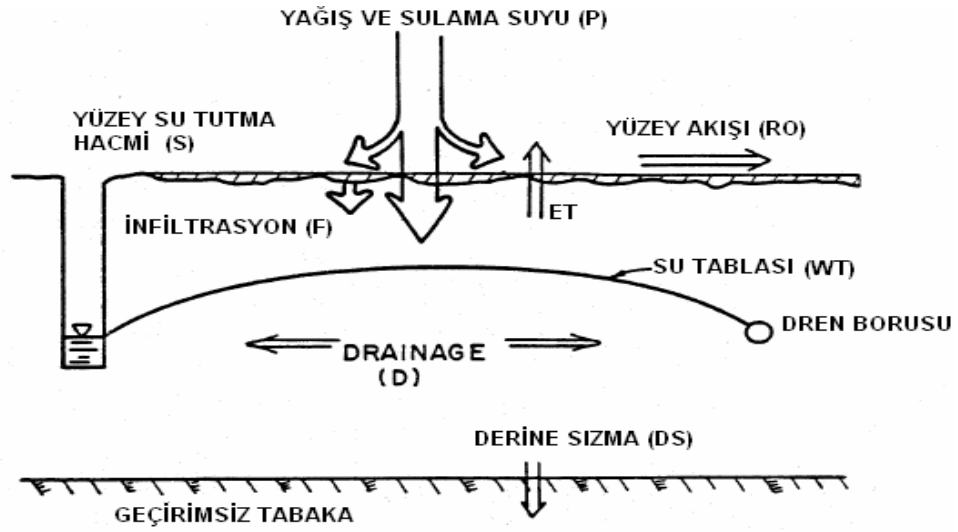
DRAINMOD başta tarla ölçeğinde su yönetim sistemleri ve drenaj performansını simüle etmek için geliştirilmiştir. Geçen yıllar içerisinde model havza ölçeğinde, drenaj kanallarındaki ve akarsu yataklarındaki akışın belirlenmesi ve tarladan olan yüzey akışı yönlendirecek yöntemleri de içerecek şekilde genişletilmiştir (Konyha & Skaggs 1992), Konyha ve ark. 1992). McCarty ve ark. (1992) ve Amatya ve ark. (1997) modeli havza ve tarla ölçeğinde ve drenaj yapılan ormanlık alanlara da uygulanacak biçimde modifiye etmiştir. Modelin ek versiyonları ayrıca drenajın etkisi olarak azot (N) (DRAINMOD-N; Breve ve ark. 1994; Skaggs ve ark. 1995) ve toprak tuzu (DRAINMOD-S; Kandil 1992; Kandil ve ark. 1992, 1995) kayıplarını içerecek biçimde geliştirilmiştir.

a) Modelin gelişimi

DRAINMOD, toprak profili içindeki su dengesini temel almıştır. Drenaj ve su tablası kontrol sistemlerinin performansını simüle etmek için iklimsel kayıtları kullanmaktadır. Model özellikle sığ su tablalı topraklar için geliştirilmiştir. Yüzey altı drenajı, yüzeyaltı sulama, infiltrasyon, evapotranspirasyon (ET) ve yüzey akışı gibi hidrolojik parametrelerin ölçülmesi için yaklaşık yöntemler kullanılmıştır. Örneğin, Hooghout (Luthin 1978), Kirkham (1957) ve Ernst (1975) eşitlikleri drenaj ve yüzeyaltı sulama oranlarını hesaplamada kullanılırken, Green ve Ampt (1911) eşitliği ile infiltrasyon hızları belirlenmektedir.

Model gelişiminde iki önemli ölçüt kabul edilmiştir. Model toprak profili içinde suyun her yönde hareketi ve depolanması ile ilgili karakteristikleri içermeli ve mümkün olduğunca doğru bir biçimde toprak su rejiminin ve drenaj oranlarının zamansal değişimini belirleyebilmelidir. İkincisi ise model, uzun dönemli olayların simülasyonlarında bilgisayarın gereksinim duyacağı zaman kısıdı olmayacak biçimde geliştirilmelidir.

Bu modelin temel esası toprak profilindeki su dengesidir (Şekil 2.2.). Drenaj; evapotranspirasyon, infiltrasyon ve toprak profilindeki su dağılımı oranları, doğrusal olmayan diferansiyel eşitlikler ile elde edilen sayısal çözümlerle hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.2. Su yönetim sistemi ve suyun drenajla dren borularına veya dren hendeklerine iletim şeması.

DRAINMOD, özellikle yakın yatay düzeylerde oluşan paralel dren ile sığ su tablasına sahip topraklar için geliştirilmiştir. Model birim kesit alandaki bir su dengesini hesaplar. Bir su dengesi, günlük ve saatlik temelde belirlenip, bir su tablası derinliği

(WTD) her bir zaman dilimi için hesaplanır. Su dengesi birim zaman artışı (Δt) için şu biçimde yazılabilir, (Skaggs 1999):

$$\Delta V_a = D + ET + DS - F \quad (2.4)$$

V_a : Serbest su gözenegindeki yada hava hacmindeki değişim (cm), D ; Toprak profilinden olan drenaj (cm), ET ; Evapotranspirasyon (cm) DS ; Derine sızma (cm), F ; *Toprak* profili içersine sızan su, infiltrasyon (cm).

Yüzey akışı ve yüzeyde depolanan su miktarı, toprak yüzeyi üzerindeki su dengesinden birim zaman artışı için şu biçimde hesaplanır:

$$P = F + \Delta S + RO \quad (2.5)$$

P ; Yağış (cm), ΔS : yüzeyde depolanan suyun hacmindeki değişim (cm), RO ; Yüzey akışı (cm).

Yağışın olmadığı ve drenaj ve ET oranı düşük olduğunda, zamanla su tablası hareketi yavaş olmaktadır. Bu durumlarda yukarıdaki formüllerde temel zaman artışı saattir. Drenaj hızlı ve yağış olmadığı durumda ise $\Delta t=2$ saat olarak alınır. Yağış oranı infiltrasyon kapasitesini geçtiğinde F 'nin hesaplanması için zaman artışı 0,05 saat ya da daha az alınır.

b) Modelin bileşenleri

i. Yağış

Yağış kayıtları DRAINMOD' un en önemli bileşenlerinden biridir. İnfiltrasyonun, yüzey akışın ve yüzey birikintisinin belirlenmesindeki doğruluk oranı tamamen yağış bilgilerine bağlıdır. Bu yüzden yağış bilgilerinin kısa süreli ve eksiksiz

olması önemlidir. Model için gerekli yağış verileri uygulama alanına en yakın meteoroloji istasyonlarından sağlanmalıdır.

ii. İnfiltrasyon

İnfiltrasyon hızının belirlenmesi için Green ve Ampt (1911) tarafından geliştirilen bir eşitlik kullanılmıştır.

$$f = K_s \frac{K_s M d S_f}{F} \quad (2.6)$$

Burada f infiltrasyon hızı (cm/h), F toplam infiltrasyon (cm), K_s düşey hidrolik iletkenlik, Md baştaki ve sondaki hacimsel su içeriği arasındaki fark, S_f ıslak yüzeyden etkili su emişi (cm).

Özel bir alan için eşitliği (2.6) şu şekilde yazılabilir;

$$F = A / F + B$$

A (cm²/h) ve B (cm/h) toprak özelliklerine, bitki faktörlerine göre değişen parametreler.

iii. Yüzey drenajı

Fazla suyun arazi yüzeyinden uzaklaştırılması “yüzey drenajı” diye tanımlanır. Uzaklaştırılması gereken fazla suyun kaynağı yağışlar, sulama uygulamalarındaki kayıplar, iletim kanallarından veya depolama yapılarından oluşan sızıntılar veya yüksek konumlu alanlardan gelen sular olabilir (Demir 2001).

Yüzey drenajın yoğunluğu yüzey çukur alanların yüzey akış başlamadan önce ortalama su tutma kapasiteleri ile karakterize edilir.

iv. Yüzeyaltı drenajı

Yüzeyaltı drenaj miktarının belirlenmesinde analitik denklemler kullanılır. Kullanılan yöntemler su tablası pozisyonuna ve sınır koşullarına bağlıdır. Su tablası profili iki koşul altındadır, bunlar yüzeyin göllenmiş yapısı ve su tablası eğimidir.

Yüzeyaltı drenajında taban suyu, toprak profili içersinde yer alan hendekler veya dren boruları ile toplanarak tahliyeye iletilir. Sürekli boşalım nedeniyle ortaya çıkan hidrolik yük farkı suyun toprak içinden drenlere veya hendeklere akmasını sağlar (Demir 2001).

Yüzeyaltı drenajı, serbest bir çıkış noktası ile tarafsızca ayrılmış paralel kanallar vasıtası ile olan drenajı dikkate almıştır. Herhangi bir dren kanal oluşumu ya da drenaj hendekleri dikkate alınabilir. Yüzey drenajı, yüksek depolama hacmine sahip yüzeylerden zayıf yüzey drenajı, düşük depolama hacmine sahip yüzeylerden ise kuvvetli yüzey drenajı olduğu için yüzeydeki çukurların ortalama derinlikleri ile karakterize edilir. Yüzey ve yüzeyaltı unsurların her ikisini içeren drenaj sisteminin performansı analiz edilebilir. Birden fazla yüzey ve yüzeyaltı drenaj bileşeninin simülasyonlarının analizi ile yüzeyaltı kanallar için en iyi derinlik ve aralık kombinasyonlarına karar verilebilir.

v. Kontrollü drenaj ve yüzeyaltı sulama

Kontrollü drenaj, drenaj alanlarında suyu korumak ve kirletici maddelerin oluşumunu engellemek için kullanılır. Drenaj oluşmadan önce çıkış noktasındaki su düzeyinin set düzeyini aşması durumunda drenaj çıkış noktasına bir kontrol yapısının yerleştirilmesi ile geliştirilmiştir. Yağışlı dönemlerde yüzey akışına ve yüzeyaltı drenaja bağlı olarak çıkış noktasındaki su düzeyi set düzeyini aşar. Kurak dönemlerde, çıkış noktasında depolanan su, evapotranspirasyon gereksinimini gidermek için toprak profili içine uzanan drenlere akar. Çıkış noktasında su düzeyindeki bu azalma, bir sonraki drenaj olayları için hacim potansiyeli sağlar.

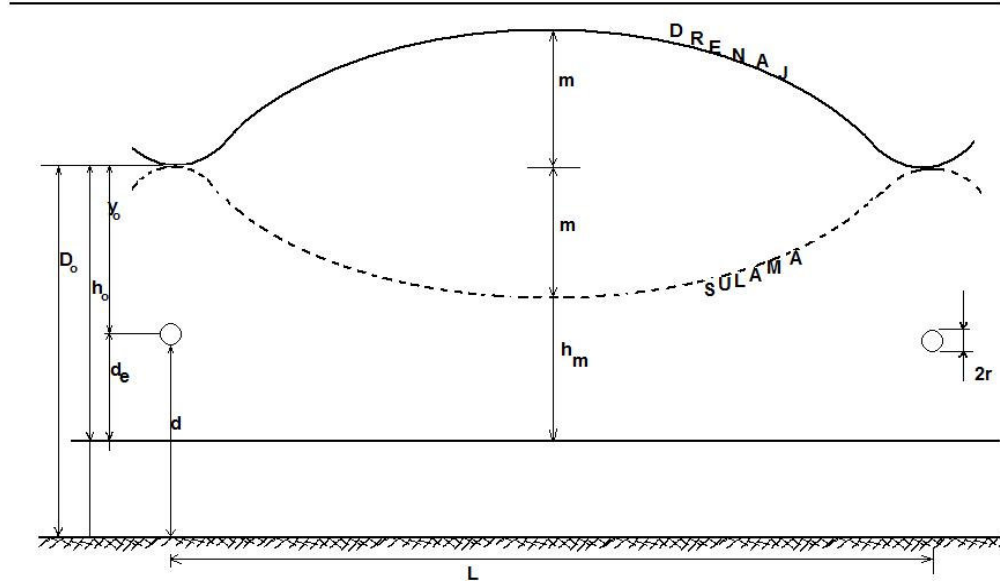
Kontrollü drenajların bu etkinliği, yüksekliğe ve su düzey kontrollerinin ayarlarına, drenlerin derinlik ve aralıklarına, toprak özelliklerine ve çıkış noktasındaki hendek ve kanalların ebatları ve yerleşimleri gibi diğer sistem parametrelerine bağlıdır. Bu faktörlerin etkilerine, bir dizi parametre değerleri için yönetilen simülasyonlar ile karar verilebilir.

Yüzeyaltı sulama kontrollü drenajın bir benzeridir. Ana fark, set noktası düzeyindeki çıkış noktası su düzeyinin bakımı için drenaj çıkış noktasına suyun pompalanmasıdır. Drenlerin aralıklarının ve derinliklerinin etkileri, çıkış noktası su düzeyinin ayarlanması ve yükseltilmesi ve yüzey drenajı yoğunluğu, bir dizi parametre değerleri için yönetilen simülasyonlar ile belirlenebilir. Hidrolojik unsurlar ve verimlere ek olarak, sulama için pompalanacak su hacmi hesaplanabilir.

Kararlı bir durumda yüzeyaltı sulama ET isteğini giderecektir ve su tablası profilinin Şekil 2.3.'te drendeki basınç yükünü gösteren yo ile temsil edilen kesikli eğri şeklinde olduğu varsayılacaktır. Yüzey altı sulaması sırasında, su girişi profilden uzaklaştırılan sudan daha fazla olacağı için drenaj negatif olacaktır. Yüzeyaltı sulama oranı DRAINMOD' da Ernst (1975) tarafından bildirilen aşağıdaki formül (2.7) ile hesaplanır .

$$q = \frac{4 K \cdot m \cdot (2 h_o + \frac{h_o}{D_o \cdot m})}{L^2} \quad (2.7)$$

Burada Şekil 2.4.'te geçen h_m su tablasının orta noktasından geçirimsiz katmanın eşdeğer derinliğine kadar olan yüksekliktir. $h_o = y_o + d_e$, $m = h_m - h_o$ ve $D_o = y_o + d$ dren akışı yarı dolu olursa $y_o = 0$, $h_o = d_e$ ve yüzeyaltı sulama için $h_m - h_o$ ve q negatif olduğunda $m = h_m - d_e$ pozitifdir.



Şekil 2.3. Su tablasının kontrollü drenaj ve yüzey altı sulama sırasındaki şeması

vi. Yüzey sulaması (yağmurlama)

Yağmurlama sulama model için bir seçenektir. Bu seçenek ilk başta atık suyun sulamada kullanılması için düşünülmüştür. Klasik sulama bazı durumlarda analiz edilebilir. İki dönem, hangi sulamanın simüle edilmeyeceği konusunda belirlenmiş olabilir. Yüzey altı drenlerinin aralık ve derinliklerinin etkisi ve sulama günlerinde yüzey drenajı yoğunluğu ve yükleme oranı kararlaştırılabilir.

Sulama için gereksinim duyulan drene edilmiş minimum hava hacmi bir girdi olarak belirlenebilir. Bu, toprak profilindeki sulama için minimum hava hacmidir ve toprak gözenekleri ve su tablası derinliğinin bir fonksiyonudur.

vii. Evapotranspirasyon

Evapotranspirasyon, model tarafından bitki kök bölgesindeki topraktan ve bitki yüzeyinden, buharlaşma ve terleme ile olan su kaybı olarak hesaplanır.

ET'nin hesaplanması DRAINMOD' da iki basamaklı bir uygulama ile olur. Birincisi, PET (potansiyel evapotranspirasyon) belirlenir ve saatlik bazda dağıtılır.

Burada PET, toprak suyu kısıdı olmaksızın topraktan ve bitkiden uzaklaşan toplam su miktarı olarak ifade edilir. PET değerinin bulunmasından sonra topraktaki su durumuna bakılır. Eğer toprakta su limiti yoksa PET değeri ET değerine eşit olur. Aksi durumda yani toprakta su kısıdı var ise ET, PET' den küçük olur ve topraktaki alınabilir suyun miktarına göre değişir.

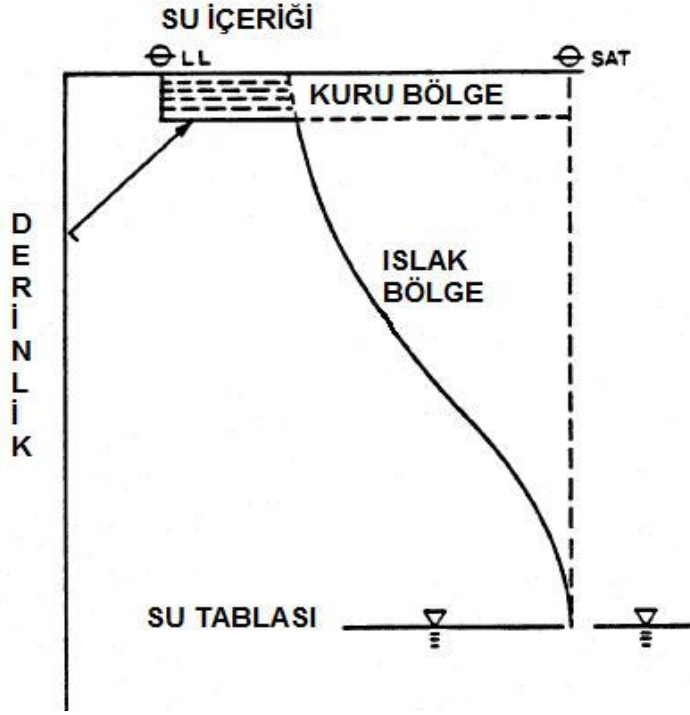
Potansiyel ET iklimsel faktörlere; net radyasyon, sıcaklık, nispi nem ve rüzgar hızına bağlıdır (Jensen ve ark. 1990).

Günlük PET kullanıcının seçimine göre model tarafından hesaplanabilir veya güvenilir yöntemler ile kendisi tarafından hesaplanabilir ya da ölçüm yapılarak değerler direk olarak modele girilebilir. Güvenilir bir yöntem olan Penman-Monteith yöntemi için gerekli olan bilgilerin (net radyasyon, sıcaklık, nispi nem, rüzgar hızı) bulunmasındaki zorluk nedeniyle tercih edilmeyebilir. Bu bilgiler sağlanamıyorsa PET, model tarafından, aylık düzeltme faktörleri girilmek koşulu ile güvenilir sonuçlar veren sıcaklık bazlı Thornthwaite (1948) yöntemi ile hesaplanabilir (Amatya ve ark 1995). Diğer bir seçenek ise her ay için günlük ortalama değerleri girmektir.

viii. **Toprak su dağılımı**

DRAINMOD' da amaçlar doğrultusunda toprak suyunun iki bölgeye dağıldığı varsayılır: (i) su tablasından kök bölgesine ve buradan da yüzeye ulaşması mümkün olan ıslak bölge ve (ii) kuru bölge (Şekil 2.4.). Islak bölgede su içeriği dağılımı, denge profiline doğru olan bir drenaj olarak varsayılır. Bu su tablası yukarısındaki basınç yükü dağılımı aslında hidrostatiktir.

Modelin DRAINMOD-S ve DRAINMOD-N versiyonlarında tuzluluk ve azot dağılımlarının belirlenmesi için zaman ve derinliğe göre düşey akışların hesaplanması gerekmektedir. Açık bir form olan süreklilik denklemi, akışların hızlı bir biçimde hesabına izin verir ve hesaplama için Richards denklemindeki sayısal çözümlerle tamamen uyumludur (Skaggs ve ark. 1991, Kandil ve ark. 1992, Karvonen & Skaggs 1993).



Şekil 2.4. DRAINMOD tarafından varsayılan toprak su dağılımı şeması

ix. Bitki verimi

Çoğu durumlarda, drenaj ve ilgili su yönetim sistemleri planlamanın temel amacı, verimleri ve karı artırmaktır. DRAINMOD, yıllık bazda nispi bitki verimlerini belirlemek için yaklaşık yöntemleri içermektedir. Nispi verim gerçek verimin potansiyel verime oranıdır (yüzde olarak ifade edilir). Burada potansiyel verim, tüm toprak su streslerinin yok edilmesi durumunda, elde edilebilecek uzun-dönemli ortalama verimdir. Ekim tarihi gecikmesinin, aşırı ıslak ve kuru koşulların ve toprak tuzluluğunun etkileri, verim üzerine toplam etkiyi belirlemek için birleştirilirler. Bu uygulama, dikkate alınacak değişik su yönetim seçeneklerinin etkisini hesaba katarak, verimlerin tahmin edilmesine olanak sağladığından dolayı, ekonomik optimum planlamaların belirlenmesine yönelik analizleri sürdürebilmek olasıdır.

Ekim tarihindeki gecikmeler de dahil, bitkinin aşırı ve yetersiz toprak-su koşullarına karşı tepkisini içeren ayrı modeller birleştirilmiştir (Skaggs ve ark., 1982; Evans ve Skaggs, 1993; Evans ve Fausey, 1999). Toprak tuzluluğunun etkileri

DRAINMOD-S'de yer almaktadır (Kandil, 1992; Kandil ve ark., 1995). Genel bitki tepki modeli şu şekilde yazılabilir;

$$RY = Y / Y_o = RY_w \cdot RY_d \cdot RY_p \cdot RY_s \quad [14]$$

Burada; $RY_w = Y_w/Y_o$, $RY_d = Y_d/Y_o$, $RY_p = Y_p /Y_o$, $RY_s = Y_s/Y_o$ ve RY nispi verim, Y verilen bir yıl için verim ve Y_o potansiyel verimdir. Potansiyel verim, aşırı ıslaklık (ıslaklık stresi), kuraklık (kuraklık stresi), ekim gecikmesi ve toprak tuzluluğundan dolayı oluşabilecek stresler ortadan kaldırıldığında elde edilebilecek ortalama verimdir. Şayet sadece ıslaklık stresleri meydana geliyorsa belirlenecek verim Y_w , sadece kuraklık stresleri söz konusu ise belirlenecek verim Y_d , yalnızca ekim tarihindeki gecikmeden dolayı düşüş meydana geliyorsa belirlenecek olan verim Y_p , verim azalmasına sadece aşırı toprak tuzluluğu neden oluyorsa belirlenecek verim Y_s 'dir. RY_w , RY_d , RY_p ve RY_s nispi verimlerini hesaplamak için özel alt modeller kullanılmaktadır. RY_w , RY_d ve RY_p 'ye ilişkin alt modeller stres-gün-indeks (SDI) yöntemine dayandırılmaktadır (Hiler 1969). Ayrıca bu yöntemler, daha sonra Evans ve Fausey (1999) tarafından tartışılmıştır.

Aşırı (RY_w) ve eksik (RY_d) toprak su koşulları tarafından etkilenen nispi verimlerin, her bir bileşen için SDI ile doğrusal olarak ilişkili olduğu kabul edilmektedir. SDI, büyüme sezonu boyunca stres-gün-indeks faktörü sonucunun toplamı olup, her bir büyüme devresi için stresin büyüklüğü ve süresi ile bitki duyarlılık faktörünün miktarını ortaya koymaktadır. DRAINMOD, SDI değerlerini belirlemek ve RY_w ile RY_d 'yi hesaplamak için bitki duyarlılık faktörlerine ilişkin girdilerle birlikte, günlük belirlenen su tablası derinliklerini, ET değerlerini kullanmaktadır.

Eğer bitki ekim tarihi optimum bir dönemin gerisine ertelenirse, verimler önemli ölçüde azalabilir (Evans ve Fausey, 1988). Model, her gün için çalışılabilir koşulların olup olmadığını belirler ve ekim dönemi boyunca toplam uygun çalışma günlerinin dökümünü yapar. Tarla işlemlerini tamamlamak için yeterli çalışma günleri meydana

geldiğinde ekim tarihi saptanır; optimumun gerisindeki ekim tarihi gecikmesinin uzunluğu belirlenir ve bir eşik tarihinin gerisindeki ekim tarihi gecikmesine bağlı olarak RY_p hesaplanır (Evans ve Fausey, 1999).

Toprak tuzluluğuna karşı bitki veriminin yanıtı; Maas ve Grattan (1999) tarafından tartışılmıştır. Verilen bir bitki için ilişki, iki doğrusal hattın çizimi ile tanımlanabilir. Birinci hat, bir tuzluluk eşik değerine kadar % 100'lük bir nispi verimdeki tolerans düzeyini gösterir ve diğeri ise, eğimi toprak tuzluluğundaki her bir birim artışta karşı verimdeki azalmayı gösteren konsantrasyona bağımlı hattır (Maas ve Hoffman, 1977; Maas ve Grattan, 1999).

x. Azot hareketi ve kaybının analizi

DRAINMOD-N, toprak profilindeki, yüzey ve yüzeyaltı drenajındaki azot konsantrelerini tahmin etmektedir. Bu, su ve gübre yönetimi sonucunda tarımsal arazide azot birikimini belirlemede kısmen yararlıdır. Model azot döngüsünün basit bir biçimini simüle eder.

xi. Tuzluluk analizi

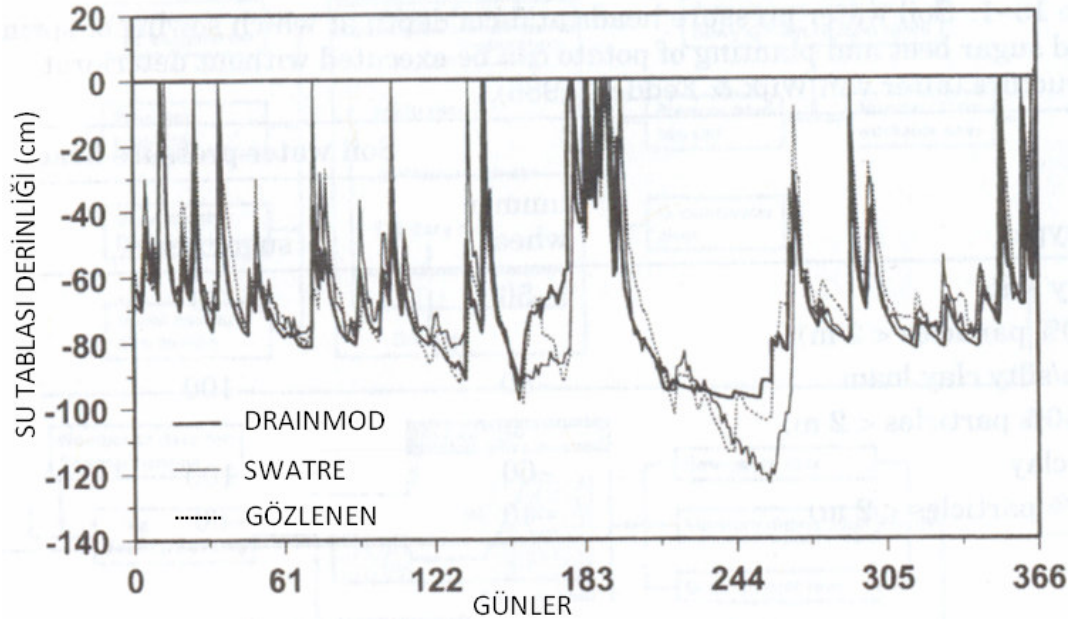
DRAINMOD-S, sulama suyu kalitesi ve drenaj sistem tasarımının etkisiyle oluşan tuzluluğu tahmin eder. Bu, kurak bölgelerde drenaj ve sulama yönetimlerinin tasarımı ve tuzluluğun oluşumunu engelleyerek verim kaybını en aza indirmek için kısmen yararlıdır.

xii. Modelin arazide değerlendirilmesi

DRAINMOD' un güvenilirliği, geniş ölçekli toprak, ürün ve hava koşullarında test edilmiştir. Kuzey Carolina'daki (Skaggs, 1982), Ohio'daki (Skaggs ve ark., 1981), Louisiana (Fouss ve ark., 1987) ve Virginia'daki (McMahan ve ark., 1988) testlerin

sonuçları modelin dren akışlarını ve su tablası yüksekliklerini tahmin etmede güvenilir bir biçimde kullanılabileceğini göstermektedir.

DRAINMOD aynı zamanda, bir boyutlu Richards eşitliğine dayalı modellerle karşılaştırılmak amacıyla da test edilmiştir (Workman ve Skaggs, 1989; Karvonen ve Skaggs, 1993). Genellikle sonuçlar, su tablası dalgalanmalarını ve drenaj hacimlerini belirlemek için DRAINMOD'un güvenilir bir biçimde kullanılabileceğini göstermektedir. Kuzey Carolina Aurora bölgesinden elde edilen bir veri setine yönelik birkaç modelin sonuçlarını Şekil 2.5. göstermekte ve bu sonuçların özetlerini ise Çizelge 2.3. ortaya koymaktadır.



Şekil 2.5. Kuzey Coralina Aurora'da 7,5 m aralıklı paralel drenlere sahip bir alan için ölçülen ve tahminlenen su tablası derinliklerinin karşılaştırılması (Skaggs, 1982).(SWATRE tahminleri Workman ve Skaggs (1989), DRAINMOD tahminleri ise Skaggs (1982) tarafından gerçekleştirilmiştir.)

Çizelge 2.3. Beş model için gözlemlenen verilerden mutlak ortalama sapmaların (\bar{d} , cm) karşılaştırılması.

Yıl	Dren aralığı	SWATRE (Workman & Skaggs, 1989)	DRAINMOD (Skaggs, 1978)	RZWFLO (Johnson ve ark., 1995)	WAFLOWM	PREFLO (Workman & Skaggs, 1991)
	m			\bar{d}		
1974	7.5	9.4	9.0	9.0	8.9	11.9
	15	11.4	16.1	17.20	13.0	17.6
	30	13.7	14.4	12.03	11.0	14.1
1975	7.5	8.8	8.2	8.53	10.4	13.3
	15	11.3	13.2	15.51	13.7	19.2
	30	15.0	12.1	14.85	14.6	14.9
1976	7.5	16.9	12.1	10.77	14.8	14.6
	15	16.8	13.2	15.22	16.9	16.0
	30	15.0	10.9	11.31	13.2	12.0

Çizelge 2.3.'deki sonuçlar DRAINMOD'un bu veri seti için test edilen diğer modellerden biraz daha doğru tahminler verdiğini göstermektedir. Bunun, DRAINMOD'un özellikle, yüzeyaltı sulama ve kontrollü drenajla birlikte, sığ su tablası, göllenen yüzey ve düşen su tablası koşullarının her ikisi altındaki drenajı dikkate alacak kapasiteye sahip yapay biçimde drene olan topraklar için geliştirilmiş olmasından kaynaklanabileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte, herhangi iki modelin tahminleri arasında, tahminlenen ve gözlemlenen sonuçlar arasındakilerden genellikle daha az fark vardır. Böylece hatalar, görünüşte modellerin doğasında bulunun farklılıklardan daha çok, toprak özelliklerini, yere bağlı parametreleri, meteorolojik değişkenleri ve bitki kök salma derinliğinin toprak suyu koşullarına bağımlılığı gibi faktörleri tanımlamadaki yetersizlikten kaynaklanmaktadır. Drene edilen araziler içerisinde su tablası derinliği ile ifade edilen, toprak su rejiminin değişkenliği Armstrong ve ark. (1995) tarafından tartışılmıştır. Araştırmacılar, türdeş olarak alınan ve özenli tekerrüre sahip olan tarla parsellerindeki su tablaları arasında önemli ölçüde değişkenliğin olduğunu ve bu değişkenliğin toprak su rejimini yeniden üretmede modellerin yeterliliği üzerine pek çok gerçek kısıtları yüklediğini bulmuşlardır. Armstrong ve ark. (1995) tarafından çalışılan

killi topraklarda su tablaları ve dren akışları üzerine böyle değişkenliğin etkilerinin, Aurna bölgesinin kumlu tınlı topraklarında Kuzey Coralina veri seti ile elde edilenlerden daha büyük olacağı beklenmektedir.

c) DRAINMOD modeline ilişkin yapılan çalışmalar

Borin ve ark. (2000), tarla ölçeğinde deterministik bir model olan DRAINMOD'u (sürüm 5.00) düz bir alanda sığ bir su tablası bulunması ile karakterize edilen kuzeydoğu İtalya'nın Veneto bölgesinde yüzey altı borulu drenaj üzerine kurulan bir denemede test etmişlerdir. Burada amaç, tahmin amaçlarına yönelik olarak DRAINMOD' un kullanımı için en az sayıda tarla veri kümesinin yeterliliğini belirlemek olmuştur. Beş yıllık bir tarla denemesinden ölçülen su tablası derinliği ve dren akışları, giriş verilerinde üç düzeyde detay kullanılarak DRAINMOD' la belirlenenlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, çok kısıtlı giriş verilerinin (toprağın üst 30 cm' sinin bünyesi ve gözenekliliği) bile iyi tahminler verdiğini göstermiştir. Daha ayrıntılı veriler tahminleri iyileştirmiştir.

Dolezal ve ark. (2001), drenaj yüzey akışına ilişkin aşma olasılık (PoE) (the probability-of-exceedance) eğrilerini belirlemek amacıyla DRAINMOD simülasyonundan yararlanmışlardır. Burada, ampirik PoE eğrileri üç farklı yerde ölçülen verilerden türetilmiştir. Türetilen bu eğrilerin şekillerinin, 100 yıllık iklim girdileri ile yapılan DRAINMOD simülasyonundan elde edilen sentetik PoE eğrileri kadar, ortaya atılan hipotezle de niteliksel uygunluk içerisinde olduğu görülmüştür.

Wabha ve ark. (2002), bir su tablası yönetim simülasyon modeli olan DRAINMOD-S' u, üç bitki yetişme sezonu için (mısır 1999, buğday 1999/2000 ve mısır 2000) Mısır' ın batı deltasındaki Maruit deneme tarlasından elde edilen verilerin kullanımı ile yarı-kurak koşullar altında değerlendirmişlerdir. Çalışma alanında iki su tablası yönetim sistemi (geleneksel drenaj ve kontrollü drenaj uygulanmıştır. Kaydedilen veriler; günlük taban suyu tablası derinliklerini, akış olayları süresince dren boşalmalarını, yüzeyden itibaren 120 cm derinliğe kadar (0,30 m aralıkla) toprak tuzluluğunu ve nispi bitki verimlerini içermektedir. DRAINMOD-S, aynı çalışma

dönemlerine yönelik uygulanan su tablası sistemlerini simüle etmek için çalıştırılmıştır. Modelin güvenilirliği; günlük taban suyu derinliğinin, toplam aylık dren akışına dayalı yığılımlı dren akışının, her bir sezon süresince toprak tuzluluğunun ve nispi bitki verimlerinin ölçülen ve tahminlenen değerlerinin karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir. Ölçülen ve tahminlenen değerler arasında iyi bir uyum bulunmuştur. DRAINMOD-S, taban suyu tablası derinliği için 11,0 cm' den 16,0 cm' ye, dren akışları için 18 mm' den 75 mm' ye, toprak tuzluluğu için 0,22 dSm⁻¹ den 1,08 dSm⁻¹ e ve nispi bitki verimi için % 4,62' den % 4,86' ya kadar değişen bir mutlak sapma sınırları içerisinde değerler belirlemiştir. Model, Mısır' ın batı deltasının yarı-kurak koşulları altında taban suyu tablası yönetim sistemlerinin uzun-dönemli simülasyonu ve planlanmasına yönelik potansiyele sahiptir.

El-Sadek ve ark. (2002), su tablası düzeyinin yönetimi aracılığı ile denitrifikasyon sürecini kontrol ederek, tarım alanlarının drenaj suyundaki NO₃-N konsantrasyonunun 11,3 mg l⁻¹lik AB limitinin altında tutulup tutulamayacağını incelemek amacıyla bir araştırma yapmışlardır. Bu nedenle araştırma, hem NO₃-N yıkanmasının sınırlamasını hem de bitkiler tarafından alınan azot-nitratın optimizasyonunu belirlemek için tam denitrifikasyonun belirlenmesi üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmada kullanılan yöntem, DRAINMOD modelinin azot versiyonuna (DRAINMOD-N) dayandırılmaktadır. Model, iki drenaj stratejisini (geleneksel ve kontrollü) kullanarak drenaj sisteminin performansını simüle etmek için, Kempen' in (Belçika) kumlu bölgesinde bulunan Hooibeekhoeve deneme yerinde 14 yıllık (1985–1998) dönem için uygulanmıştır. Analizde, sürekli olarak mısır tarımının yapıldığı varsayılmıştır. Farklı dren aralıkları için günlük NO₃-N kayıpları tahminlenmiştir. Çalışma; denitrifikasyon sürecinin, taban ve yüzey sularına yıkanabilecek nitrat miktarı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, eğer su tablası düzeyi uygun bir biçimde kontrol edilirse, maksimum verim için gereksinim duyulan ile çevreye minimum tehlikeli olan konsantrasyon arasında duyarlı bir dengenin bulunabileceğini de göstermiştir.

Helwig ve ark. (2002), DRAINMOD-N bilgisayar modelinin güneybatı Quebec (Kanada) bölgesi için uygunluğunu, arazi verileri ile simüle edilen sonuçları karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, DRAINMOD' un, hidrolojik parametrelerin tahmininde çok iyi, nitrat yıkanması ve denitrifikasyon bakımından ise daha az doğrulukta sonuç verdiği görülmüştür.

El-Sadek ve ark. (2003), yüzey sularına nitrat yıkanmasını modellemeye yönelik olarak, GIS' le birleştirilmiş bir biçimde tarla ölçeğinde yaklaşık iki boyutlu mekanistik bir akış modeli olan DRAINMOD' un kullanım olasılığını incelemişlerdir. GIS, ilgili alan içerisinde toprak tipinin ve arazi kullanımının yersel dağılımını tanımlamak ve tarla ölçeğinde simüle edilen nitrat yıkanmasını havza ölçeğinde birleştirmek için kullanılmıştır. Çalışmada, tarla ölçeğinde nitrat yıkanmasını modellemek için kullanılan yöntem ile doğal ve yapay drenaj yoluyla oluşan azot kayıplarının yersel dağılımını göstermek için GIS' in nasıl uygulandığı özetlenmiştir. GIS' le birleştirilmiş tarla ölçeğinde mekanistik bir modelin, havza ölçeğinde nitrat yıkanmasının modellenmesi için güçlü ve uygun bir araç olduğu ortaya konmuştur. Hassasiyet haritalarının elde edilmesi, toprak tipinin ve arazi kullanımının bir fonksiyonu olarak, azot yıkanmasını göstermekte ve karar vericiye yere özel azot yıkama standartları geliştirme olanağı vermektedir.

Singh ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada Iowa'nın (ABD) borulu drenaja sahip alanlarına ilişkin yüzey altı drenaj sistemlerini planlamaya yönelik olarak bir hidrolojik modeli kalibre etmek ve doğrulamak için toprak veri tabanı gibi mevcut genel veri kaynakları ile pedotransfer fonksiyonu ve doğrusal olmayan parametre tahminleyici (estimator) gibi teknikleri kullanma potansiyelini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada, tarla ölçeğinde deterministik bir model olan DRAINMOD iki toprak için kalibre edilmiş ve geçerli kılınmıştır. Sonuçta, Iowa'nın (ABD) borulu drenaja sahip arazilerinde, tüm su dengesi ve bitki üretimi üzerine sığ drenajın etkisini incelemek için tarla denemelerinin yapılması önerilmektedir.

Wang ve ark. (2006), Güneydoğu Purdue Tarım Merkezinde, üç dren aralığı için dren akışını ve dört dren aralığı için ise bitki verimini tahminlemek ve karşılaştırmak amacıyla DRAINMOD' u 15 yıl için çalıştırmışlardır. Araştırmacılar, en değişkin sekiz parametreyi kalibre etmek için bir dren aralığından iki yılda sürekli olarak ölçülen günlük dren akışı verilerini, çok amaçlı bir kalibrasyon fonksiyonu ve otomatik bir kalibrasyon yönteminde kullanmışlardır. Model, dren akışına yönelik olarak 5, 10 ve 20 m. dren aralıkları, verim tahminlemesine yönelik olarak ise, fazladan 40 m. dren aralığı için geriye kalan tarla verileri kullanılarak test edilmiştir. Üç dren aralığına ilişkin günlük dren akışı etkinlik katsayısı (EF) değerlerinin ve dört dren aralığına ilişkin bitki nispi verimlerinin istatistiksel testlerinin, modelin güvenilirliğinin farklı aralıklar arasında önemli ölçüde farklı olmadığını ve farklı dren aralıklarının yeterliliklerini incelemek ve belirli topraklara ilişkin dren aralık planlamasına rehberlik etmek için DRAINMOD'un kullanımını desteklediğini göstermiştir. Genel olarak model, yıllık nispi verim değişiminin desenini doğru bir biçimde tahminlemiştir.

Fernandez ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada, belirsizlik analizi bileşenini içeren, havza ölçeğinde bir kümelenmiş parametre hidrolojisi ve su kalitesi modeli geliştirmişler ve geliştirdikleri modeli Kuzey Carolina'daki bir aşağı sahil ovası havzasında test etmişlerdir. Burada belirsizlik analizi, havza çıkışında tahminlenen akış ve nitrat azotu üzerine tarladaki ve model şebeke parametrelerindeki belirsizliğin etkilerini saptamak için kullanılmıştır. DRAINMOD tarla hidrolojisi ile bir kernel fonksiyonunu kullanan konumsal dağılık öteleme (routing) modelini birleştiren bu model, bir aşağı sahil ovası havzasından gelen çıkış yeri akışlarını ve nitrat-azot yüklerini doğru bir biçimde tahminlemiştir. Model tahminleri, ölçülen akış ve nitrat-azot yüklerinin her ikisinin de % 1'lik hata payı içerisinde kalmıştır. Belirsizlik analizi, su yolu hızları, azaltma katsayısı ve tarla çıkışlarındaki belirsizliğin; tahminlenen çıkış yeri akışları, yükleri ve ortalama havza teslim oranındaki belirsizliği önemli ölçüde desteklediğini göstermiştir.

El-Sadek (2006) yaptığı çalışmada, DRAINMOD/DRAINMOD-N/GIS/üstel azaltma modelini ve DRAINMOD/DRAINMOD-N/GIS/MIKE 11

yaklaşımlarını, 57.44 km²'lik Molenbeek (Brüksel'in batısı) nehir havzasının çıkışında gözlemlenen nitrat yüklerin zaman serilerini kullanarak test etmiştir. Çalışma, kırsal havzadaki organik ve inorganik gübrelerden yüzey suyunda bulunan nitrat yüküne gelen katkıyı belirlemek için yürütülmüştür. DRAINMOD ve DRAINMOD-N modelleri, verilen toprak, bitki, iklim, jeo-hidrolojik ve çiftlik koşulu için tek bir tarla ya da tarla bloğu ölçeğinde günlük nitrat yıkanmasının hesaplanmasını sağlamaktadır. Kullanılan su ve azot modeli, toprak yüzeyindeki kaynaktan itibaren hidrolojik döngünün tüm arazi evresini, toprak profili ve sığ drenaj sistemi aracılığı ile kapsamaktadır. GIS, tarlaya özgü verilerin de içinde bulunduğu nehir havzası verilerini simülasyon modelleri için uygun bir formatta ön işlemden geçirmekte ve asıl simülasyon sonuçlarını çizelgeler ve haritalar biçiminde özetlemektedir. Alt-havza düzeyindeki azot yükünün zaman serileri, kümelenmiş üstel azaltma-zaman tahmin modeli ve fiziksel esasa dayalı (MIKE-11) yaklaşımlarda girdi olarak kullanılmaktadır. Her iki yaklaşımın model sonuçları, havza çıkışındaki nehir suyunda ölçülen NO₃-N yüküne karşı test edilmiştir.

Yang ve ark. (2006), yüzey akış suyundaki ve yüzey altı drenajı ile çiftliklerden gelen dren akışlarındaki nitrat-N konsantrasyonlarını tahminlemeye yönelik bir matematiksel model olan DRAINMOD-N'i güney Ontario'da (Kanada) toplanan tarla verilerine karşı test etmişlerdir. Veriler, 1992'den 1994'e kadar, Woodslee'de (Ontario) bulunan bir mısır tarlasındaki 16 geleneksel drenaj ve yüzey altı sulama parsellerinden toplanmıştır. Model performansı, yüzey akış suyunda ve drenaj akışlarında ölçülen ve simüle edilen nitrat-N konsantrasyonlarının karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir. Bir model için nitrat-N hareketinin doğru tahminine yönelik temel ön koşul su tablası derinliğinin tam hesaplanmasıdır. Sonuçlar, DRAINMOD' un değişik su tablası yönetim uygulamaları altında toprak hidrolojisinin ve yüzey akıştaki nitrat-N kayıplarının simülasyonunu yeterli ölçüde yapabileceğini göstermiştir. Bu nedenle modelin, Güney Kanada'da olduğu gibi, soğuk iklimdeki arazilere yönelik olarak farklı su kirliliği senaryolarını değerlendirmek ve değişik kirlilik stratejilerinin geliştirilmesi ve test edilmesine yardımcı olmak amacıyla kullanılabilirliği belirtilmektedir.

B. Su dengesine dayalı diğer modeller

İlk başta yüksek arazi koşullarında yönetim uygulamalarının sediment kayıplarına gübre besinleri ve tarım ilaçlarına olan etkilerini belirlemek için geliştirilen bir kaç model zayıf drenajlı topraklar için modifiye edilmiştir. Bunlar CREAMS (Heatwole ve ark. 1987), GLEAMS-WT (Reyes ve ark. 1993), EPIC-WT (Sabbagh ve ark. 1991) RZWQM (Singh ve ark. 1995) ve ADAPT'ı (Chung ve ark. 1992, Desmond ve ark. 1996) içermektedir. Bu modifikasyonlar, yüzeyaltı drenaj oranlarını ve ET ya da drenaj ile uzaklaşan, yağmur ve infiltrasyonla eklenen suyun su tablasına olan etkisini belirlemek için DRAINMOD' da kullanılan algoritmaların benzerini kullanmaktadırlar.

SIDRA (SImulation of DRainage) modeli başlıca amaç olarak (Lesaffre & Zimmer 1998, Zimmer ve ark. 1995) Fransa'da doğal olarak kışın oluşan pik dren akışlarını ve yağış sırasında veya hemen birkaç dakika sonra olan akışlarını açıklamak ve önceden belirlemek için geliştirilmiştir. Model yarı analitik çözümleri içeren paralel dren borularından olan drenaj için Boussinesq eşitliğini (Nieber & Feddes 1991) temel almıştır.

2.2.4. Boussinesq eşitliğini esas alan modeller

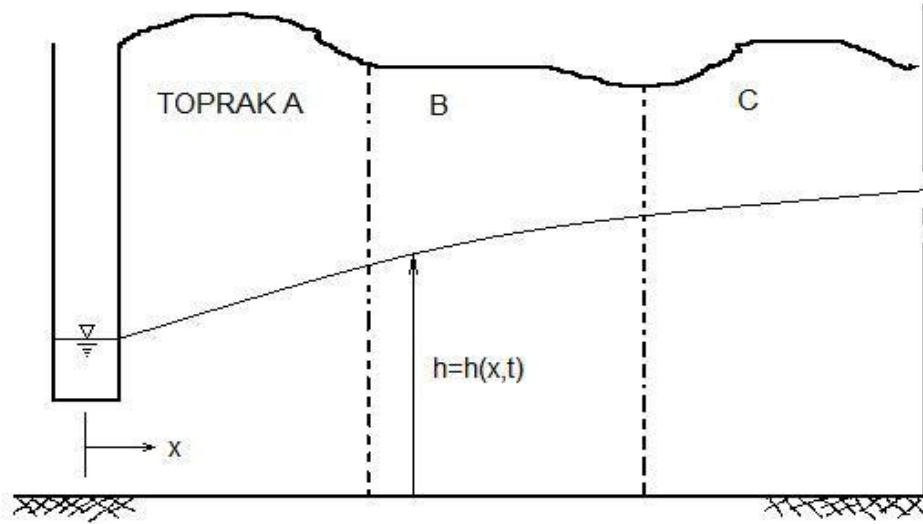
Bir boyutlu Richards eşitliğini temel alan yöntemler (örn. SWATRE) ve su dengesine dayalı model (örn. DRAINMOD) nispeten homojen toprak, sınır ve yatay yönde akış durumlarını kabul eder. Drenajı hesaplamada kullanılan algoritmalara bağlı olarak diğer yöntemlerle yapılan hesaplamalar, giriş profilinde (drenden drene) ortalama koşullar ya da drenler arasında orta noktada dikey toprak dilimine uygulanabilir. Bu yöntemlerin yeterliliği normal mesafeli paralel drenler için ve nispeten homojen olan sınırlı arazilerde kanıtlanmıştır.

Doymuş bölgelerdeki akışı karakterize etmek için en basit ve en sık kullanılan yaklaşımlar, Boussinesq denklemini kullanır (örn. Pikul ve ark. 1974). Boussinesq

denklemini Dupuit-Forchheimer kabullerini ve süreklilik prensibi üzerine kurulmuştur. Boussinesq denklemi (Şekil 2.6.'te temsil edilen) iki boyut için şu şekilde yazılabilir,

$$f(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + R(x,t) \quad (2.8)$$

h geçirimsiz tabakadan olan su tablası yüksekliğini, $f(h)$ drenaj pürüzlülüğünü $K(h)$ etkili yatay hidrolik iletkenliği h 'ın bir fonksiyonu olarak $R(x,t)$ yatay boşalım oranını, x yatay pozisyonu, t ise zamanı gösteriyor. Üç boyutlu akış durumunda ise denklemin sağına $\frac{\partial}{\partial y} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial y} \right]$ terimi eklenebilir. Doymamış bölgede düşey yönlü akışlar direk olarak Boussinesq eşitliğindeki çözümü dahil olmaz. Doymamış bölgedeki akış dolaylı yoldan eşitliğin sağındaki $R(x,t)$ ve $f(h)$, terimine eklenebilir. Fakat modeller sonuç olarak yaklaşık ya da sözde iki ya da üç boyutlu modellerdir.



Şekil 2.6. Boussinesq denklemi için çeşitli topraklardan oluşan alanlarda havza ölçeğinde drenaj şeması.

De Laat ve ark. (1981) bu yaklaşımı Hollanda' da bölgesel su kaynaklarının planlanmasında kullanılan GELGAM modelini geliştirmede kullandı. GELGAM,

doymuş ve doymamış akışlar ve yüzey akış bileşenlerini içeren dağılımlı deterministik bir hidrolojik modeldir. Model homojen olmayan geniş arazilerde yeraltı suyu akışı, yüzey akış etkileşimleri ve evapotranspirasyon simülasyonlarını yapar. Van Bakel (1986), bölgesel bir yeraltı suyu sistemi içinde doymamış bölgeye doğru olan akış ve yer altı suyunun yüksekliği arasındaki ilişkiyi belirlemek için sonlu eleman modeli olan FMSATS' i Querner (1984) kullanmıştır. Ayrıca bu ilişkiyi, bölgesel yeraltı suyunun etkilerini ve açık kanallardan yüzey altı sulama üzerine olan su yönetimi etkilerini tanımlamak için SWAMP modeline girdi olarak eklemiştir.

Parson ve ark. (1987, 1991a,b), simülasyon modeli olan WATRCOM' u geliştirmek için Boussinesq eşitliğine dayalı bir sonlu eleman çözümü kullanmıştır. Doymamış bölgeler için DRAINMOD' da kullanılan benzer bir su dengesi, her bir çözüm için Boussinesq eşitliğiyle eşleşir ve birleşir.

WATRCOM, 1000 hektarlık havzada ve havzayla ilişkili kısmen kontrollü drenaj kanallarında 27 gözlem noktasında tahmin edilen ve gözlenen su tablası yükseklikleri ile test edilmiştir (Parsons ve ark 1991b). İki yılı aşkın dönemde tahmin edilen ile gözlenen sonuçlar arasındaki ortalama standart sapma 0,12 m' dir. Korelasyon katsayısı çoğunda 0,90' dan ve bir çok durumda ise 0,97' den büyüktür.

Bu yaklaşımın avantajı kanal su düzey kontrolü etkilerinin ve diğer su yönetim uygulamalarının nispeten daha geniş ve homojen olmayan alanlarda analiz edilebilir olmasıdır. Verimde kanala yakın olma durumunda fazla drenajın sebep olduğu kuraklık stresi ve uzak olma durumunda ise aşırı toprak suyunun sebep olduğu stres düzeltmesi yapılabilir. Bu model ayrıca drenajdan yüzey altı sulamaya geçişte ya da tersi durumda toprak suyu koşullarının tanımlanmasında kullanılabilir.

Ernst, Houghoudt ve bunlarla ilgili yöntemler, Boussinesq eşitliği gibi aynı kabullere dayanan DRAINMOD, SWATRE ve benzer modellerde drenaj miktarını belirlemede kullanılmıştır. SIDRA doğrudan Boussinesq eşitliğindeki çözümleri temel almıştır. Bu yüzden, bu tek boyutlu modeller Boussinesq yönteminin özel durumlarını

içerir. Doymamış bölgelerde çeşitlilik gösteren bu modeller simüle edilmiştir ve yüzey ve yüzey altı drenaj miktarlarını belirlemede kullanılan yöntemlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Bursa-Yenişehir ovası Marmaracık gölü kurutma alanı

a) Konum

Marmara Bölgesinin doğu kısmında yer alan Yenisehir, doğusunda Bilecik (42 km), batısında Bursa (50 km), kuzeyinde İznik (20 km), güneyinde İnegöl (27 km) ile komşu bulunmaktadır. Bursa iline bağlı bir ilçe olan Yenişehir, kendi adıyla anılan 772 km²'lik bir ovaya sahiptir (Anonim 2006c).

Yenişehir Ovası'nı, dördüncü zamanda oluşmuş genç dağlar ve tepeler çevirmektedir. Bu dağ ve tepelerin üzerleri genelde çalılıklar ve yer yer de çam ve meşe cinsi ağaçlarla örtülüdür. Ovanın hemen kıyısından başlayarak yükselen bu çalılıklı tepeler, oldukça geniş yer kaplar. Dağların yükseklikleri 1.000 m'yi bulmamakta; en yüksek yerini, Kiblepınar köyünün kuzeyindeki tepe oluşturmaktadır. Katırlı Dağları'nın uzantısı olan bu tepenin denizden yüksekliği 1.050 metredir. İlçe merkezinin denizden yüksekliği ise 250 metredir. Katırlı ve Samanlı dağları, ovanın kuzeyinde yer alır ve doğu-batı yönünde uzanır. Bu kavisli uzantı, ovanın doğusundan kuzeybatısına yayıldıkça Avdan Dağları adını alır. Ovanın güney kısmında ise Ahi Dağları uzanır. Yenişehir, batıdan Bursa, doğudan Bilecik ile sınır komşusu olup, bu iki il arasındaki karayolu üzerinde yer almaktadır. Bu illerin dışında ilçelerle de komşuluğu vardır. Bunlar güneyde İnegöl, kuzeyde İznik'tir. Bu yakın komşularının ötesinde, bir de Gemlik ve Orhangazi ilçeleriyle komşu bulunmaktadır (Anonim 2006d).

Proje alanı, Yenişehir ovasında eski Marmaracık göl yatağı üzerinde yaklaşık 40° 15' kuzey enlemi ve 29° 30' doğu boylamı üzerinde yer almaktadır. Eskiden bataklık olan Marmaracık göl yatağı kanallar açılarak kurutulmuş ve tarıma açılmıştır.

Bu çalışma üzerinde mısır ve soya fasulyesi tarımı yapılan 1548 da arazi için gerçekleştirilmiştir.

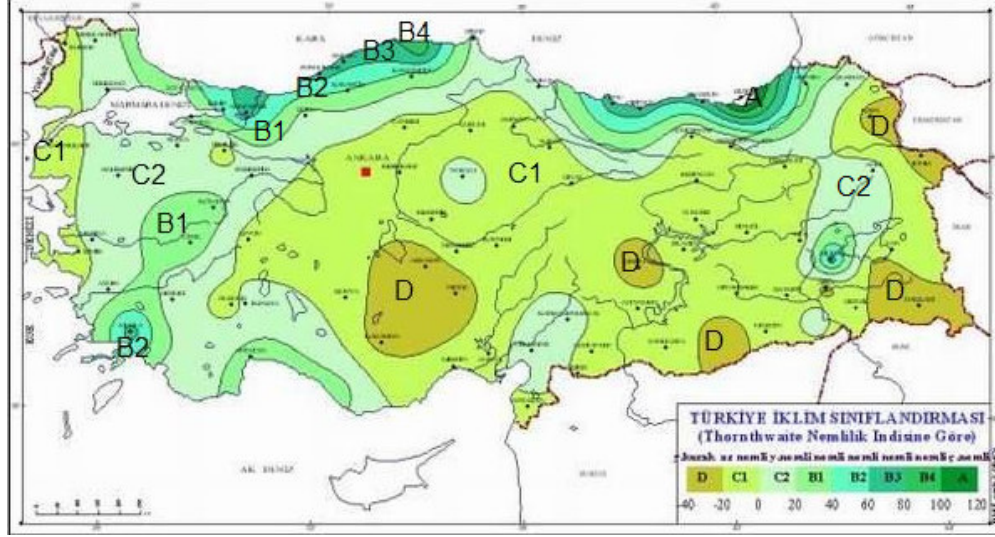
b) İklim

Atalay (1994), dünya ölçüsünde yapılan iklim sınıflandırmada kullanılan ölçütleri esas alarak ülkemizde dört iklim tipi belirtmiştir. Yenişehir, bu iklim tiplerinden Marmara geçiş iklimi bölgesinde yer alır.

Bu iklim Marmara bölgesi'nin kuzey Ege'yi de içine alacak şekilde güney kesiminde görülür. Kışları Akdeniz iklimi kadar ılık, yazları Karadeniz iklimi kadar yağışlı değildir. Karasal iklim kadar kışı soğuk, yazı da kurak geçmemektedir. Bu özelliklerden dolayı Marmara iklimi, Karadeniz ve Akdeniz iklimleri arasında bir geçiş özelliği göstermektedir. Buna bağlı olarak doğal bitki örtüsünü alçak kesimlerde Akdeniz kökenli bitkiler, yüksek kesimlerde kuzeye bakan yamaçlarda Karadeniz bitki topluluğu özelliğindeki nemli ormanlar oluşturmaktadır. Soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 4,9 °C, sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 23,7 °C, yıllık ortalama sıcaklık 14,0 °C' dir. Ortalama yıllık toplam yağış 595.2mm dir ve yağışların çoğu kış mevsimindedir. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %11,7 dir. Yıllık ortalama nispi nem % 73'tür. (Anonim 2006e).

Yenişehir, bir başka iklim sınıflandırması olan Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre yarı nemli iklim bölgesinde yer alır. Thornthwaite'in iklim sınıflandırması, yağış–buharlaşma ve sıcaklık–buharlaşma arasındaki ilişkiye dayanır. Thornthwaite'e göre yağışın buharlaşmadan fazla olduğu yerlerde toprak doymuş haldedir ve bu yerlerde su fazlalığı olmaktadır. O halde bu yerin iklimi nemlidir. Bunun aksine, yağışların buharlaşmadan az olduğu yerlerde toprakta su birikmemekte ve bu toprak bitkilerin gereksinim duyduğu suyu verememektedir. Bu gibi yerlerde bir su noksanlığı olmaktadır. O halde bu yerin iklimi kuraktır. Thornthwaite'in sınıflandırmasındaki iklim tipleri, işte bu iki uç arasında yer alır (Thornthwaite 1948). Şekil 3.1 de bu iklim sınıflandırmasına Türkiye iklim bölgeleri görülmektedir. Ayrıca

Yenişehir'e ait uzun yıllar ortalaması bazı klimatolojik veriler çizelge 3.1., çizelge 3.2. ve çizelge 3.3. de verilmiştir.



(A: Çok nemli, B4: Nemli, B3: Nemli, B2: Nemli, B1: Nemli, C2: Yarı nemli, C1: Kurak-az nemli, D: Yarı kurak, E: Kurak (çöl))

Şekil 3.1 Thornthwaite'a göre Türkiye iklimi

Kaynak: D.M.İ. Klimatoloji ve Araştırma Şube. Müdürlüğü, 2006

Çizelge 3.1. Yenişehir uzun yıllar sıcaklık verileri

İstasyon : YENİŞEHİR														
Enlem : 40°15' K														
Boylam : 29°39' D														
Yükseklik : 220 m														
METEOROLOJİK	A Y L A R													
ELEMANLAR	YIL	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	YILLIK
Saat 07 deki Ortalama Sıcaklık (C°)	20	1.0	0.5	2.5	7.8	12.6	16.7	18.6	17.4	12.9	9.0	4.9	2.7	8.9
Saat 14 deki Ortalama Sıcaklık (C°)	20	7.1	8.2	12.0	17.5	22.3	26.6	29.2	29.4	25.7	20.1	13.7	8.2	18.3
Saat 21 deki Ortalama Sıcaklık (C°)	20	3.2	3.6	6.3	11.2	15.4	19.5	22.2	21.9	17.7	12.9	8.0	4.5	12.2
Ortalama Sıcaklık (C°)	20	3.6	4.0	6.8	11.9	16.4	20.6	23.1	22.7	18.5	13.7	8.6	5.0	12.9
Ortalama Yüksek Sıcaklık	20	8.2	9.6	13.1	18.7	23.3	27.4	30.0	30.1	26.5	21.0	14.7	9.1	19.3
Ortalama Düşük Sıcaklık	20	- 0.4	- 1.0	1.0	5.3	8.7	12.1	14.6	14.4	10.6	7.5	3.7	1.4	6.5
En Yüksek Sıcaklık Günü	20	2	27	27	13	19	5	13	12	25	7	5	24	13
En Yüksek Sıcaklık Yılı	20	1995	1989	2001	1994	1994	1994	2000	2002	2001	1992	1990	1996	2000
En Yüksek Sıcaklık (C°)	20	23.2	24.6	31.0	34.2	36.3	38.3	41.2	41.0	36.1	36.8	28.4	21.2	41.2
En Düşük sıcaklık Günü	20	23	22	1	9	5	2	15	30	28	27	11	31	22
En Düşük sıcaklık Yılı	20	2000	1985	1985	2003	1995	1994	1993	1988	1992	2001	1995	1992	1985
En Düşük Sıcaklık (C°)	20	-18.5	-19.3	-15.0	- 5.2	- 2.0	3.7	6.1	6.5	0.8	- 3.0	- 6.1	-15.3	-19.3

İstasyonun Çalışma Süresi : 1984 - 2003

Kaynak: Devlet Meteoroloji İşleri Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, (2004)

Çizelge 3.2. Yenişehir uzun yıllar yağış verileri

İSTASYON : YENİŞEHİR														
Enlem : 40°15' K														
Boylam : 29° 39' D														
Yükseklik : 220 m														
METEOROLOJİK ELEMENLAR	A Y L A R													
	YIL	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	YILLIK
Saat 14 deki Ort. Toplam Yağış Miktarı (mm)	19	12.9	11.4	12.3	13.1	11.9	13.1	7.9	10.0	8.4	19.5	15.0	17.1	152.6
Saat 21 deki Ort. Toplam Yağış Miktarı (mm)	19	15.5	11.0	13.2	24.1	19.9	13.2	5.2	4.7	8.4	17.1	16.4	19.7	168.4
Ortalama Toplam Yağış Miktarı (mm)	19	49.5	44.0	42.9	62.5	49.0	41.6	19.1	19.5	25.0	63.9	56.6	66.9	540.5
Günlük En Çok Yağış Miktarı (mm)	19	36.0	22.8	34.3	64.1	42.8	65.1	26.4	45.0	23.8	61.7	41.6	37.9	65.1
Yağış >= 0.1 mm Öldüğü Günler Sayısı	19	12.0	12.6	11.1	11.2	8.5	6.6	3.9	4.1	4.9	9.4	11.1	14.1	109.5
Yağış >= 10 mm Olduğu Günler Sayısı	19	1.3	1.4	1.2	1.9	1.8	1.2	0.7	0.6	0.8	1.7	1.5	1.8	15.9
Yağış >= 50 mm Olduğu Günler Sayısı	19				0.1		0.1				0.3			0.5
Ortalama Kar Yağışlı Günler Sayısı	20	4.9	5.2	3.1	0.6							0.9	3.6	17.6
Ortalama Kar Örtülü Günler Sayısı	20	5.1	4.8	1.9	0.3							0.3	2.7	15.1
En Yüksek Kar Örtüsü Kalınlığı (cm)	15	26.0	27.0	14.0	4.0							4.0	17.0	27.0

İstasyonun Çalışma Süresi : 1984 - 2003

Kaynak: Devlet Meteoroloji İşleri Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, (2004)

Çizelge 3.3. Yenişehir uzun yıllar nispi nem ve buharlaşma verileri

İSTASYON : YENİŞEHİR														
Enlem : 40°15'														
Boylam : 29°39'														
Yükseklik : 220 m														
METEOROLOJİK ELEMENLAR	YIL	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	YILLIK
Ortalama Buharlaşma (mm)	18				78.0	125.0	160.8	195.6	176.6	121.2	65.6	11.5		
Saat 07 deki Ortalama Bağlı Nem (%)	20	84	84	86	86	85	83	83	87	89	89	87	84	85
Saat 14 deki Ortalama Bağlı Nem (%)	20	63	57	50	47	46	42	41	40	40	49	57	66	49
Saat 21 deki Ortalama Bağlı Nem (%)	20	78	74	71	70	70	67	64	66	71	78	80	80	72
Ortalama Bağlı Nem (%)	20	75	71	69	68	67	64	63	65	66	72	74	76	69
En düşük Bağlı Nem (%)	20	22	11	14	9	11	16	12	9	14	7	18	34	7

İstasyonun Çalışma Süresi : 1984 - 2003

Kaynak: Devlet Meteoroloji İşleri Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, (2004)

b) Topoğrafya ve toprak durumu

Uygulama alanının deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 220 m' dir. Arazinin eğimi çok az olup düze yakındır. Arazinin genel toprak yapısı orta bünyeli ve killi-tınlıdır. Organik madde oranları orta ve yüksek, (%2–6), kireç oranları ise yüksektir. Derin bir profile sahip toprakların renkleri kahverengi, gri, sarı ve kırmızı tonları arasındadır.

Çalışma alanına ilişkin bazı toprak özellikleri Çizelge 3.4 de belirtilmiştir. Arazide auger-hole (burgu deliği) yöntemine göre yapılan yatay hidrolik iletkenlik ölçümleri sonuçları ve çeşitli basınçlar altındaki toprağın su tutma kapasiteleri sırasıyla Çizelge 3.5. ve Çizelge 3.6.'da verilmiştir. DRAINMOD bu toprak verilerini kullanarak girdi olarak kullanacağı çeşitli derinlikler için bazı toprak özelliklerini (boş gözeneklilik, toprağın su içeriği, yukarı doğru olan akışlar) (Çizelge 3.7.) hesaplamaktadır.

Çizelge 3.4. Toprak özelliklerine ilişkin bazı arazi sonuçları

Parsel No	Bünye sınıfı	Doygunluk (%)	Tuzluluk 1:2.5 mmhos/cm	pH 1:2.5	Kireç (%)	Organik madde (%)	Alınabilir fosfor (ppm)	Alınabilir potasyum (ppm)
TEV Parsel 4	Killi tınlı	70	1.12	7.87	18.37	5.55	170	1170
TEV Parsel 6	Killi	72	0.40	8.12	18.18	5.64	36	841
TEV Parsel 8	Killi tınlı	55	0.26	8.25	6.32	2.47	31	606

Kaynak: T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü, Yalova.

Çizelge 3.5. Yatay hidrolik iletkenlik değerleri.

Parsel No	Toprak derinliği (cm)	K (cm/h)
TEV 4	200	2.0
TEV 4	200	1.9
TEV 4	200	1.7
TEV 4	200	1.8
TEV 6	200	1.7
TEV 6	200	1.5
TEV 6	200	1.5
TEV 6	200	1.6
TEV 8	200	1.9
TEV 8	200	1.8
TEV 8	200	1.6
TEV 8	200	1.7

Çizelge 3.6. Çeşitli basınçlar altında tutulan toprağın su tutma kapasiteleri.

pF değerleri	Su tutma kapasiteleri (cm ³ /cm ³)
0.00	0.445
0.40	0.437
1.00	0.429
1.49	0.421
2.00	0.411
2.30	0.393
2.70	0.366
3.40	0.342
4.20	0.255

Kaynak: Water In the Unsaturated Zone. 29th Int. Course on Land Drainage. Wageningen-the Netherlands.

Çizelge 3.7. DRAINMOD ile hesaplanan toprak profiline ait bazı değerler.

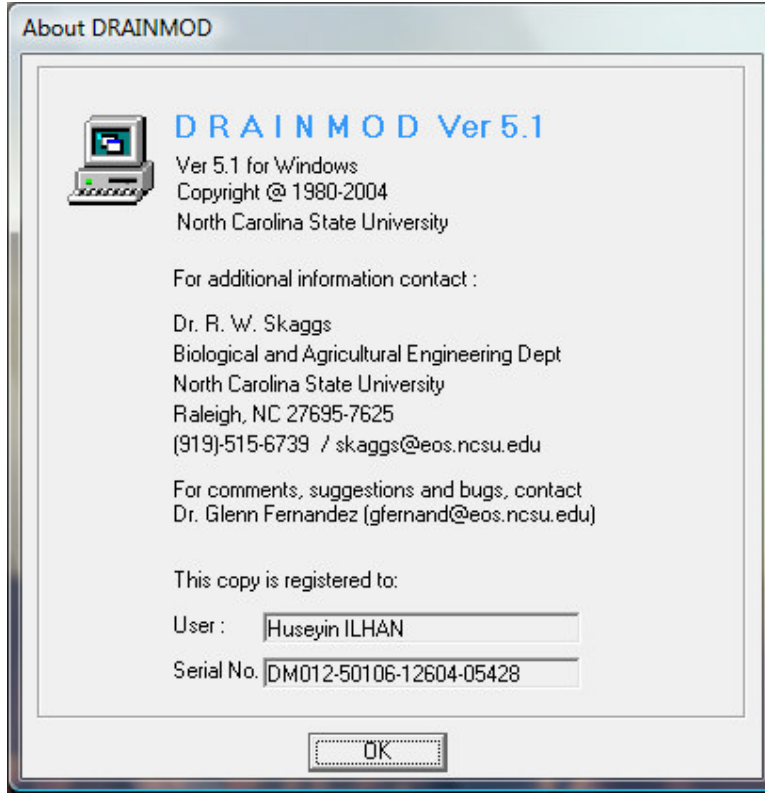
DERINLIK (cm)	SU İÇERİĞİ (cm/cm)	BOŞ GÖZENEK (cm)	YUKARI AKIŞ (cm/saat)
0	0,445	0	0,5
10	0,429	0,1	0,1291
20	0,4252	0,28	0,0443
30	0,4214	0,49	0,024
40	0,4197	0,74	0,0153
50	0,4182	1	0,0111
60	0,4168	1,27	0,0079
70	0,4153	1,57	0,0062
80	0,4139	1,87	0,0049
90	0,4124	2,18	0,0039
100	0,411	2,53	0,0033
110	0,4092	2,88	0,0028
120	0,4074	3,23	0,0022
130	0,4056	3,64	0,0019
140	0,4038	4,04	0,0017
150	0,402	4,44	0,0014
160	0,4002	4,92	0,0013
170	0,3984	5,39	0,0011
180	0,3966	5,87	0,001
190	0,3948	6,34	0,0008
200	0,393	6,82	0,0007
210	0,3921	7,47	0,0007
220	0,3912	8,13	0,0007
230	0,3903	8,78	0,0006
240	0,3894	9,44	0,0006
250	0,3885	10,09	0,0006
260	0,3876	10,75	0,0006
270	0,3867	11,4	0,0005
280	0,3858	12,06	0,0005
290	0,3849	12,71	0,0005
300	0,384	13,37	0,0005
350	0,3795	16,64	0,0003
400	0,375	19,92	0,0002
450	0,3705	23,19	0,0001
500	0,366	26,47	0
600	0,3648	41,17	0
700	0,3636	55,88	0
800	0,3624	70,59	0
900	0,3612	85,29	0

3.1.2. Kullanılan bilgisayar programı ve yazılımlar

3.1.2.1. DRAINMOD Ver.5.1

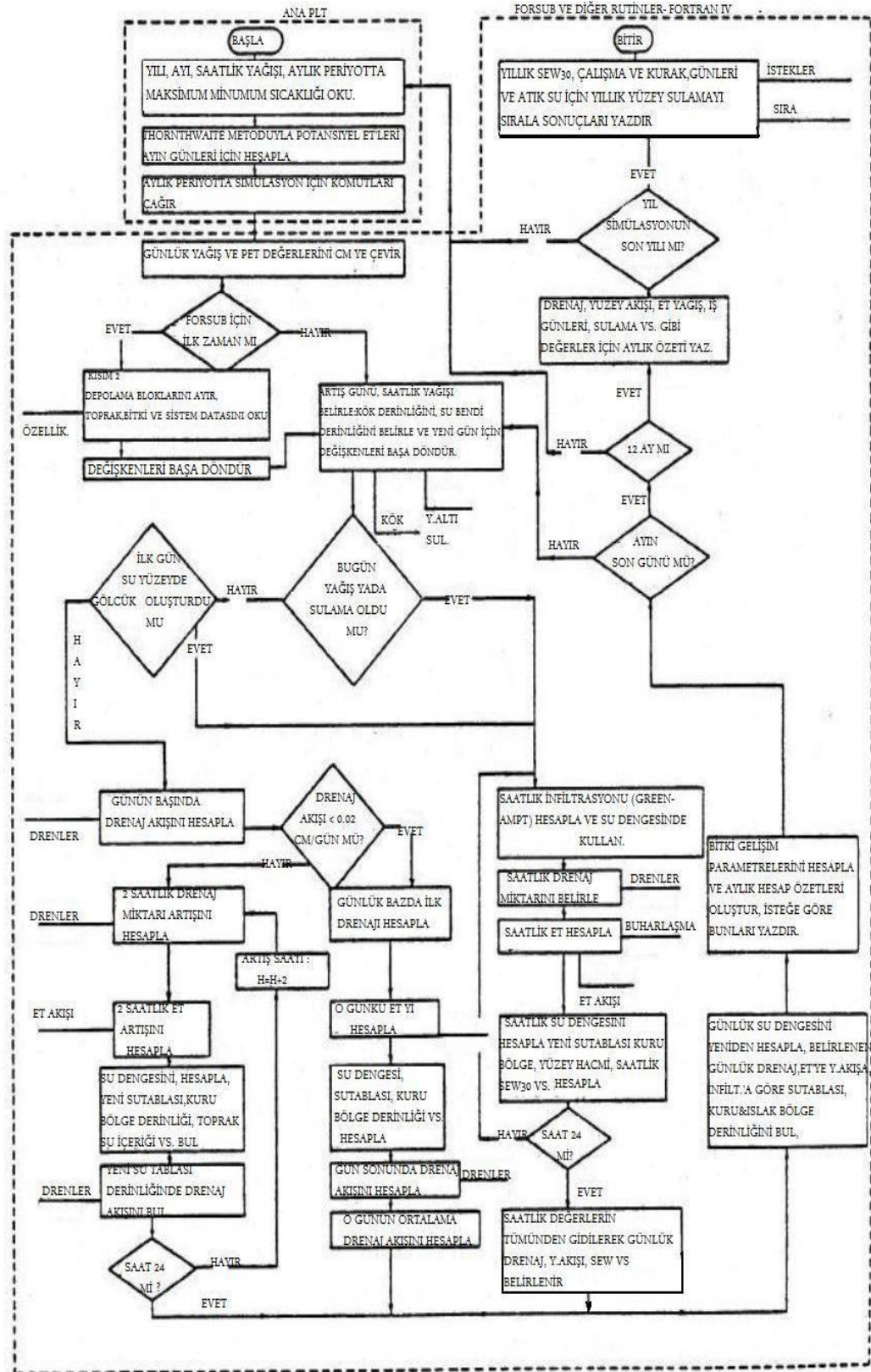
DRAINMOD Ver 5.1, (Şekil 3.2.) Windows tabanlı ve Visual Basic 6.0'da yazılmış bir program olup Windows 95/98/2000/NT/XP işletim sistemleri ile uyumludur. Sistemin en az 12 MB gibi bir belleğe sahip olması yeterli olduğu için günümüz bilgisayar sistemleri ile sorunsuzca çalışmaktadır.

Orijinal DRAINMOD modeliyle birlikte DRAINMOD-N ve DRAINMOD-S modüllerini de içerir. Şekil 3.2. de programın açılış penceresi görülmektedir.



Şekil 3.2. DRAINMOD Ver 5.1

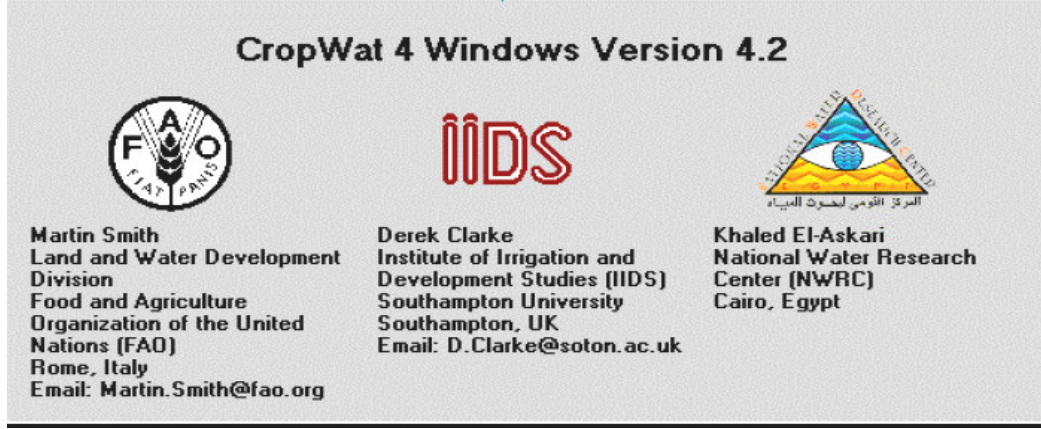
Modelin bilgisayar ortamında çalışmasını temsil eden genel akış şeması Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. DRAINMOD' un kısaltılmış akış şeması.

3.1.2.2. CropWat 4 Windows version 4.2

Cropwat FAO (1992), düzeltilmiş Penman-Montheith yöntemini kullanarak referans bitki su tüketimini hesaplayan bir bilgisayar programıdır (Şekil 3.4.). Bu hesaplamalar bitki su tüketimi ve sulama planlaması hesaplamalarında kullanılmaktadır. Bu yöntem 1972’de yayınlanan ve evapotranspirasyon hesaplamalarında uzun süreli önerilmemiş olan FAO 24 prosedürlerinin yerini almıştır.



Şekil 3.4. CropWat 4 Windows Version 4.2

3.2.Yöntem

3.2.1. Model girdilerinin hazırlanması ve modelin bilgisayar ortamında çalıştırılması

3.2.1.1. Model girdilerinin hazırlanması

a) İklim girdileri

Modelin iklim girdilerinin hazırlanması için Yenişehir meteoroloji istasyonunda yapılan klimatolojik ölçümlerden ve kayıtlardan yararlanılmıştır. 1985-2004 yılları arasında ölçülmüş; günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar (°C), ve günlük yağışlar (mm) modele girilerek model yağışlar model tarafından

saatlik veriye dönüştürülmüştür. Modele FAO Penman-Monteith yöntemini kullanarak hesaplama yapan CropWat bilgisayar programı ile elde edilen referans bitki su tüketim verilerinin girilmesi için yine Yenişehir meteoroloji istasyonu kayıtlarından yararlanılmıştır. Aylık ortalama rüzgar hızı (m/saniye), aylık ortalama güneşlenme süresi (saat), aylık ortalama maksimum-minimum sıcaklık (°C), aylık ortalama nispi nem (%) değerleri CropWat'a girilerek elde edilen referans bitki su tüketim değerleri (Çizelge 3.8.) hesaplanmıştır.

Çizelge 3.8. CropWat programında hesaplanan referans bitki su tüketimleri.

AYLAR	ET _o (mm/gün)
Ocak	1,00
Şubat	1,43
Mart	2,09
Nisan	3,01
Mayıs	4,02
Haziran	4,95
Temmuz	5,58
Ağustos	4,91
Eylül	3,46
Ekim	2,00
Kasım	1,31
Aralık	0,98
Ortalama	2,90

b) Toprak girdileri

Toprak girdilerinin hazırlanması için arazide burgu deliği (auger-hole) yöntemi ile yatay hidrolik iletkenlik (cm/saat) ölçümleri yapılmıştır.

Burgu deliği yöntemi arazide su tablası altında hidrolik iletkenlik ölçülmesinde seri, basit ve güvenilir bir yöntemdir. Genellikle drenaj sistemlerinin planlanmasında ve kanal sızma araştırmalarında kullanılmaktadır.

Yöntemin ilkesi şu şekildedir. Toprak içerisine sutableası altında belli derinliğe kadar burgu ile bir delik açılır (8 veya 10 cm çapında). Taban suyu delik içerisinde birikip toprak içerisindeki sutableası düzeyiyle denge durumuna gelince delikteki su bir bariler ile boşaltılır. Taban suyu tekrar delik içerisine sızmaya başlar. Bu delik içerisine sızan suyun yükselmesinin zamana göre ölçülmesi sistemin esasını oluşturur. Daha sonra bu amaçla önerilmiş eşitliklerden ve grafiklerden yararlanılarak hidrolik iletkenlik (K) bulunur (Demir 2001).

Toprağın çeşitli basınçlar altındaki su tutma kapasiteleri için daha önce aynı bünyeye sahip topraklarda yapılmış ölçüm sonuçları esas alınmıştır. Model, yatay hidrolik iletkenlik değerlerinden ve çeşitli basınçlar altındaki toprağın su tutma kapasitelerinden yola çıkarak, girdi olarak ihtiyaç duyduğu taban suyuna göre kapilarite ile yükselen su miktarını ve drene olan su hacmini kendisi hesaplamaktadır ve girdi olarak kullanmaktadır. Model ayrıca Green& Ampt infiltrasyon parametrelerini de girdi olarak hazırlayıp kullanmaktadır.

DRAINMOD, modele girilen yatay hidrolik iletkenlik değerlerine ve toprağın su tutuma kapasitesine göre diğer yağış girdilerini de kullanarak toprağın çeşitli derinliklerde su içeriğini, boş gözenek hacmini ve yukarı doğru olan su akışlarını belirleyebilmektedir.

c) Drenaj planlama girdileri

Modelin ihtiyaç duyduğu dren derinliği (cm), dren aralığı (cm), drenlerden geçirimsiz tabakaya kadar olan eşdeğer derinlik (cm), etkili dren çapı (cm), drenaj katsayısı (cm/gün), geçirimsiz tabak derinliği (cm). Model girilen dren derinliği, dren aralığı, etkili dren çapı ve geçirimsiz tabaka derinliğine göre eşdeğer derinliği, drenaj katsayısını ve Kirkham katsayısını kendi hesaplayıp girdi olarak kullanmaktadır. Modelde dren derinliği, dren aralığı ve dren çapı değişkenler olup drenaj katsayısı ise uygulama alanının özelliklerine göre

alınmıştır. Simülasyonda kullanılan drenaj sistem parametrelerinin özeti Çizelge 3.9.'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Drenaj sistem parametreleri.

Drenaj Sistem Parametreleri		
Parametreler	Değerler	Açıklamalar
Dren Derinliği (m)	0.75 1.00 1.25 1.50	Model tarafından analiz yapılan değerler.
Dren Aralığı (m)	5–150	5 – 150 m arası analizler model tarafından yapıldı.
Geçirimsiz Katmanın Eşdeğer Derinliği (cm)	34–645	Hooghoudt (Van Schilfgaarde 1974) yöntemi kullanılarak hesaplandı. Dren aralığına ve etkili dren yarıçapına göre değişmekte.
Dren Yarıçapı (mm)	50	Analiz için seçilen drene ait.
Etkili Dren Yarıçapı (mm)	5.1	100 mm dren çapı için etkili dren yarıçapı (Bravo ve Schwabs 1977).

d) Bitki girdileri

Çalışma alanında çoğunlukla mısır, soya fasulyesi ekimi yapıldığından bu bitkilerle ilgili girdiler temin edilmiş ve modele girilmiştir. Bu girdiler bitkilerin ekim zamanlarını, hasat zamanlarını, toprak işleme zamanlarını, çalışma zamanlarını, tohum yatağı hazırlama süresini, ekimin gecikmesine bağlı olarak meydana gelen verim azalma faktörünü, verim kaybetmeksizin ekimin yapılabileceği son günü, solma noktasını, su tablası derinlik limitini kapsamaktadır. Evans ve Fausey (1999) tarafından bildirildiğine göre, Evans ve ark. tarafından belirlenen aşırı su koşullarında mısır ve soya fasulyesi için hassasiyet faktörleri Çizelge 3.10.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Aşırı su koşullarında bitki hassasiyet faktörleri.

Yetiştirme dönemleri	Ekim sonrası günler		Bitki hassasiyet faktörü (CSw)
	Başlangıç	Bitiş	
Mısır			
Çimlenme	0	29	0,20
Erken vejetasyon	30	49	0,22
Geç vejetasyon	50	69	0,32
Çiçeklenme	70	89	0,19
Dane dolumu	90	109	0,08
Olgunlaşma	110	130	0,02
Soya			
Çimlenme	0	24	0,19
Vejetasyon	25	54	0,13
Çiçeklenme	55	74	0,19
Dane gelişimi	75	94	0,26
Dane dolumu	95	109	0,25
Olgunlaşma;			
Baklaların tam büyümesi	110	124	0,08
Baklaların sararması	125	134	0,01
Baklaların kahverengileşmesi	135	145	0,00

Kaynak: Evans, R. O. ve N. R. Fausey. 1999. Effects of Inadequate Drainage on Crop Growth and Yield, p. 38.

Çizelge 3.11. Aşırı su koşulları (SEW) parametreleri.

Yetiştirilen bitkiler	Mısır	Soya
Solma noktası (cm ³ /cm ³)	0.22	0.21
Su tablası derinlik limiti (cm)	45	30
Bitki gelişimini etkileyen aşırı ıslak ve kurak periyot	15-4/21-9	1-5/14-8
Toprak işlemeye başlanacağı ay	3	4
Toprak işlemeye başlanacağı gün	25	1
Toprak işlemenin bitirileceği ay	9	9
Toprak işlemenin bitirileceği gün	30	25
Çalışma saati başlangıcı	8	8
Çalışma saati bitişi	18	18

Çizelge 3.12. Bitki yetiştirme dönemleri.

Yetiştirilen bitkiler	Mısır	Soya
Arzu edilen ekim tarihi	115	121
Verim kaybetmeksizin ekimin yapılabileceği son gün	121	128
Yetiştirme dönem uzunluğu (gün)	150	140
Tohum yatağı hazırlama süresi (gün)	5	3
Ekimin gecikmesinden kaynaklanan verim azalma faktörü	0.88	1.00

Modelde yetiştirme dönemi 5 günlük kısımlara ayrılmıştır. Mısır ve soya fasulyesi için bitki hassasiyet faktörleri saptanmış (Evans and Skaggs, 1993, Skaggs, 1998) ve çizelge 3.13.' de verilmiştir.

Çizelge 3.13. Mısır ve soya için kurak koşullar için hassasiyet faktörleri.

Mısır			
Periyot	CSd	Periyot	CSd
0-4	0.00	70-74	2.00
5-9	0.00	75-79	2.00
10-14	0.00	80-84	1.30
15-19	0.00	85-89	1.30
19-24	0.00	90-94	1.30
25-29	0.00	95-99	1.30
30-34	0.00	100-104	1.30
35-39	0.50	105-109	1.20
40-44	0.50	110-114	1.00
45-49	1.00	114-119	0.50
50-54	1.00	120-124	0.00
55-59	1.00	125-129	0.00
60-64	1.00	130-134	0.00
65-69	1.75	135-139	0.00
Soya			
Periyot	CSd	Periyot	CSd
0-4	0.01	70-74	0.03
5-9	0.01	75-79	0.05
10-14	0.01	80-84	0.05
15-19	0.01	85-89	1.00
19-24	0.01	90-94	1.00
25-29	0.03	95-99	0.15
30-34	0.03	100-104	0.15
35-39	0.03	105-109	0.20
40-44	0.03	110-114	0.20
45-49	0.03	114-119	0.10
540-54	0.03	120-124	0.05
55-59	0.03	125-160	0.02

Kaynak: Kaynak: Evans, R. O. ve N. R. Fausey. 1999. Effects of Inadequate Drainage on Crop Growth and Yield, p. 38.

Model için gerekli girdilerden birisi de bitki kök derinliğidir. Bitki kök derinliği ile zamana bağlı olarak köklerin yoğun olarak bulunduğu derinlikteki yüzdelere göre yapılan derinlik tanımlaması ifade edilmektedir. Kök derinliğini model ET talebini karşılayabilmek için gerekli suyun uzaklaştırılabileceği bölgeyi tanımlamak için kullanılmaktadır.

Taban suyu düzeyinin soya için 30 cm, mısır için 45 cm' nin üzerinde olduğu günlerde ortaya çıkan aşırı su stresinden veya topraktaki mevcut suyun ET gereksinimini karşılayamadığı koşulda ortaya çıkan kuraklık stresinden bitki veriminin etkileneceği periyodun belirlendiği SEW parametrelerine ilişkin girdiler Çizelge 3.11.'de, bitki yetiştirme periyoduna ilişkin bilgiler ise Çizelge 3.12. de verilmiştir.

Arazide ekimi yapılan bitkilerin; ekim ve hasat zamanları, kök derinliği, toprak işleme, ekimin ertelenme koşulları, aşırı toprak suyu koşulları, tuzluluk koşulları girdi olarak kullanılmak üzere belirlenmiştir. Bitki yetiştirme döneminde ve hasat öncesinde köklerin yoğun olarak bulunduğu toprak derinlikleri tespit edilmiştir.

3.2.1.2. Nispi verimi etkileyen faktörler

Yüksek taban suyu ve drenaj sorunları olan topraklarda verimi sınırlayan bitki faktörleri; yetiştirme döneminde aşırı toprak su koşullarının neden olduğu stres, yetersiz toprak su koşullarından kaynaklanan stres, ekimin, hasatın ve diğer arazi çalışmalarının ertelenmesine bağlı olarak toprak işleme veya ekime uygun olmayan toprak su koşullarının neden olduğu stresdir.

Verimin hesaplanmasında arzu edilen ekim tarihi, yetiştirme periyodu uzunluğu ve verimde azalma olmaksızın izin verilebilecek son gün genel girdiler olarak kullanılmaktadır. Ekim tarihindeki erteleme optimum verim için

belirlenmiş ekim periyodu için geçerlidir. Model tohum yatağı hazırlanması ve ekim için geçen gün sayısını hesaba katmaktadır. DRAINMOD toprak işleme için toprağın uygun olduğu çalışma günlerini hesaplar ve tüm işlemler tamamlanana kadar yeterli gün sayısı varsa ekim tarihi verilen tarih olarak alınır. Eğer koşullar ekim için uygun değilse ekim erteleneceği için nispi verim değeri de ertelenmeden dolayı azalmayı yansıtacak şekilde hesaplanmaktadır.

Ekimin ertelenmesinden kaynaklanan verim azalmasının saptanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$YRp = 100 \cdot PDRF \cdot PDELAY \quad (3.1)$$

PDELAY: verimde azalma olmaksızın izin verilen son günden sonra ekim yapılanaya kadar geçen gün sayısını, *PDRF*: verim azalma faktörünü ifade etmektedir.

PDRF değeri Seymour (1986) tarafından bazı bitkilerde çeşitli toprak ve iklim koşulları için saptanmış ve deneme uygulama alanını temsil edebilecek özelliklere sahip koşullara ait değerler girdi olarak kullanılmıştır. *PDRF* değeri, mısır ve soya için sırasıyla 0,88 ve 1,0 alınmıştır.

a) Stres gün indeksi yaklaşımı

Stres gün indeksi kavramının (SDI, stress-day-index) ilk defa Hiler tarafından yetişme döneminde bitkinin etkisi altında kalacağı toplam stresi ölçmek için tanımlandığı bildirilmektedir (Evans ve Fausey 1999). SDI stres gün (SD) ve bitki hassasiyet faktörü (CS) olarak tanımlanmaktadır. SD faktörü stres süresinin süresi ve yoğunluğunun bir ölçüsü olarak ele alınmaktadır. CS faktörü ise stresin bir parçası olarak CS'nin ölçüsünü ve bitki türlerinin gelişme dönemleri için bir fonksiyonunu ifade etmektedir (Evans ve Fausey 1999).

Evans ve Fausey'in (1999) bildirdiğine göre Hiler'in tanımladığı SDI kavramı bir eşitlikle (3.6) belirtilebilmektedir.

$$SDI_x = \sum_{j=1}^n SD_j \cdot CS_j \quad (3.2)$$

Burada n ; yetiştirme periyodundaki gün sayısı, C_j ve SD_j ; j gün için bitki hassasiyet faktörü olarak ifade edilmektedir. x ise aşırı ıslaklık koşulları için (w), kuraklık için (d), ekim gecikmesinden kaynaklanan verim azalması için de (p) olarak değişmek üzere eşitlikte yer almaktadır.

b) Stres gün faktörü

SD faktörü Hiler tarafından stresin süresinin ve yoğunluğunun bir ölçüsü olarak tanımlanmıştır. SEW (Sum of the Excess Water) aşırı ıslaklık koşullarında bitkinin girdiği stresin ölçüsünü ifade etmektedir (Evans ve Fausey 1999).

$$SD_{wi} = SEW_x = \sum_{j=1}^n X - y_{ij} \quad (3.3)$$

X ; aşırı ıslaklık koşulunda i yetiştirme döneminde x ile limit değer olarak belirtilen taban suyu seviyesi (cm), y_{ij} ; i yetiştirme döneminde j günü için taban suyu derinliği, n ; yetiştirme periyodundaki gün sayısı olarak ifade edilmektedir. SEW_x değeri yetiştirme dönemi içinde x kritik su tablası derinliğinin üzerindeki su tablası derinliklerinin günlük cm olarak toplamını ifade etmektedir (Evans ve Fausey 1999).

Yüksek taban suyu, göllenme veya sel nedeniyle ortaya çıkan aşırı toprak ıslaklığı birçok bitki için zararlı olmaktadır. DRAINMOD, yıl bazında nispi verimi tahmin etmek için Skaggs tarafından geliştirilen yüksek taban suyunun

verime olan etkilerini derecelendirilen stres gün indeksi (SDI) kavramına dayalı yaklaşımı yöntemini kullanmaktadır ve eşitlik (3.4) ile özetlenebilir (Çizikçi ve ark. 2001).

$$YR_w = YR_{DMAX} \cdot DSLOPE \cdot SDI_w \quad (3.4)$$

YR_w : Aşırı ıslaklıktan kaynaklanan stres sonucu ortaya çıkan verim, YR_{DMAX} : Stres ve verim arasında lineer ilişkiden elde edilen grafiğin eğimi, SDI_w : Aşırı su koşullarında stres gün indeksi, YR_w değeri %0 ile %100 arasında olmalıdır. Ancak bazı durumlarda bitki aşırı su koşullarında verim kaybı olmadan yaşamını sürdürebildiği için YR_{DMAX} % 100 den büyük olabilmektedir. SDI_w değerinin hesaplanması ise eşitlik (3.5) ile gösterilmektedir (Çizikçi ve ark. 2001).

Evans ve ark. aşırı ıslak koşullarda mısır için YR_{DMAX} değerini 100, $DSLOPE$ değerini 0,71, Soya için YR_{DMAX} değerini 100, $DSLOPE$ değerini ise 0,65, kuraklık koşullarında ise mısır için YR_{DMAX} değerini 100, $DSLOPE$ değerini 1,22, soya için ise sırasıyla 100 ve 7,2 olarak bildirmişlerdir (Evans ve Fausey 1999).

$$SDI_w = \sum_{j=1}^n (CS_{wj} \cdot SDW_j) \quad (3.5)$$

Burada n ; yetiştirme periyodundaki gün sayısı, CS_{wj} ; j günü için bitki hassasiyet faktörü, eşitlik (3.6), SDW_j ; j günü için stres gün faktörü olarak ifade edilmektedir.

$$CS_{wj} = \frac{X - X_j}{X} \quad (3.6)$$

X ; Stres koşullarının olmadığı koşuldaki verim miktarı, X_j ; sadece aşırı ıslaklık koşulu olduğunda elde edilen verim miktarıdır.

c) Yetersiz ıslaklık koşullarındaki günler

Yetersiz ıslaklık koşulundaki gün, aktüel evapotranspirasyonun, topraktaki limitli ya da eksik su şartlarına bağlı olarak potansiyel evapotranspirasyondan küçük olduğu günleri ifade eder. Belirli bir dönemde bu şekildeki günlerin toplamı genellikle yetiştirme döneminde DRAINMOD' un çıktısı olarak her yıl için simüle edilmektedir.

Toprakta yeterli suyun olmaması durumunda ortaya çıkacak verim azalmasının hesaplanmasında Shaw (1978) tarafından tanımlanan ve eşitlik (3.7) ile ifade edilen yöntem kullanılmaktadır.

$$YRd = Yd / Yp \quad (3.7)$$

Yd : Sadece yetersiz su koşulu olduğunda elde edilen verim miktarı.

Yp : Stres koşullarının olmadığı koşuldaki potansiyel veya uzun yıllık verim miktarı.

Yrd , DRAINMOD ile stres gün indeks yöntemine göre hesaplanmaktadır.

$$YRd = 1 - Sd \cdot (SDId) \quad (3.8)$$

$SDId$: Yetersiz nem koşullarındaki stres gün indeksi.

Sd : Stres gün indeksi ile nispi verim grafiğinin eğimi

Stres gün indeksi ise;

$$SDId = \sum_{j=1}^N (SDdj \cdot CSdj) \quad (3.9)$$

SDdj: j yetiştirme periyodu için stres gün indeksi

CSdj: j yetiştirme periyodu için bitki hassasiyet faktörü

n: Yetiştirme sezonundaki 5 günlük periyotların sayısı

Her bir 5 günlük periyot için stres gün indeksi aşağıda tanımlandığı gibidir;

$$SDdj = \sum_{k=1}^n (1,0 - \frac{AETk}{PETk}) \quad (3.10)$$

n: j yetiştirme periyodundaki gün sayısı

AETk: Yetiştirme döneminin k'nıncı günündeki gerçek evapotranspirasyon

PETk: Yetiştirme döneminin k'nıncı günündeki potansiyel evapotranspirasyon

d) Sulama suyu miktarı

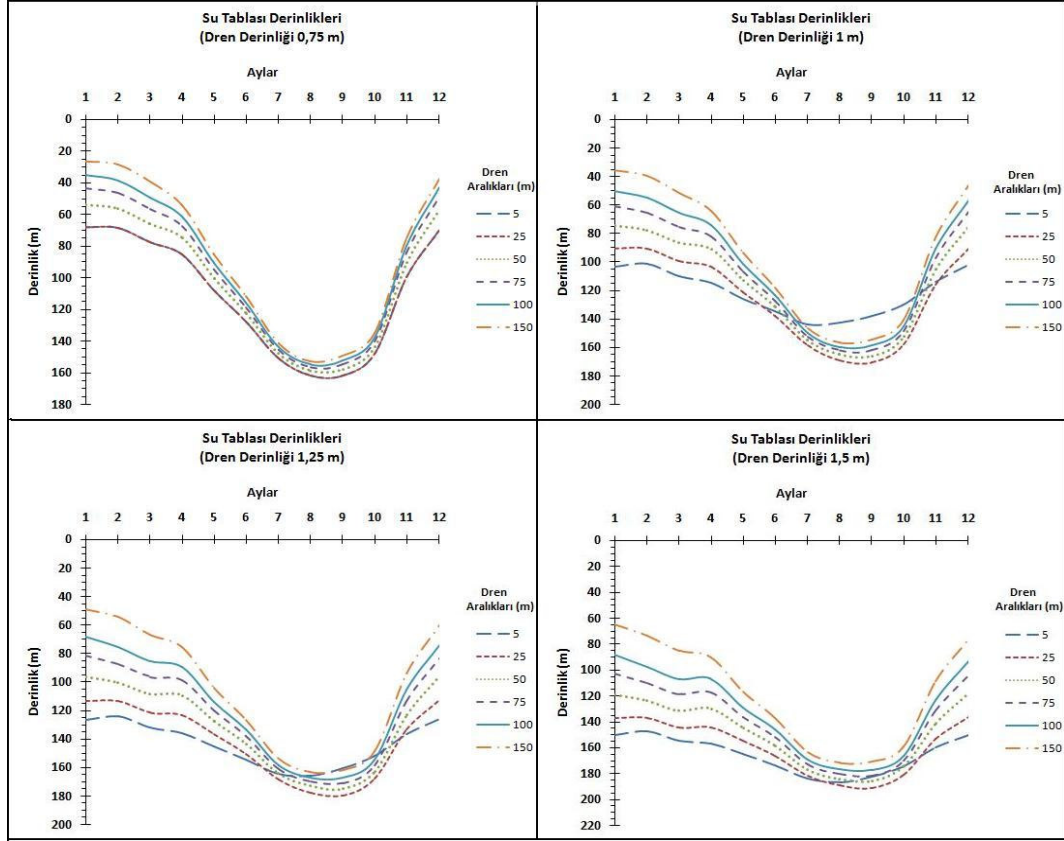
Eğer toprak profilinde drene edilmiş gözenek hacminde belirlenmiş bir asgari düzey varsa, model tarafından planlanmış bir zaman için sulama simülasyonu yapılabilir. Eğer drene edilmiş toprak gözenek hacmi, belirlenmiş bir düzeyin altında ise planlanmış sulama iptal edilir ve toprak koşulları gelecek sulama planı için değerlendirilir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

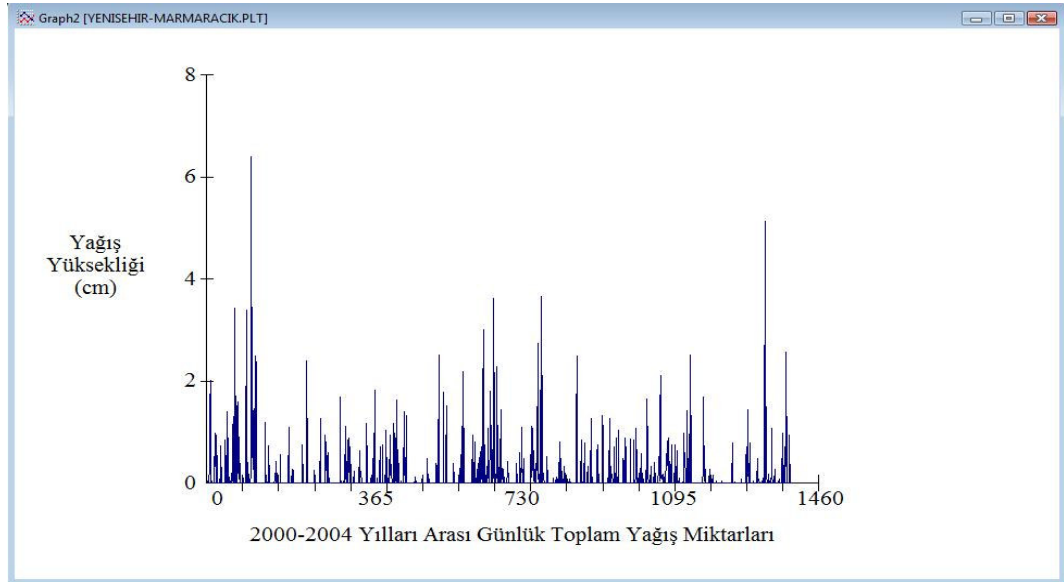
4.1. Sulamasız Koşullarda Drenaj Parametrelerinin Ürün Verimine Olan Etkileri

DRAINMOD, analiz fonksiyonu sayesinde belirli bir aralıkta verilen ve kademeleri belirlenen dren aralığı ve dren derinliklerinde drenaj miktarının, yüzey akışın, SEW'nun verim üzerine etkilerini grafiksel olarak vermektedir. Bu şekilde verimi maksimum yapan dren aralığı ve dren derinliği belirlenebilmektedir. Marmaracık gölü kurutma alanında alternatif dren aralık ve dren derinliklerinde mısır ve soya fasulyesinin verimlerini belirlemek için modelde simülasyonlar ve analizler yapılmış olup, sonuçlar dren derinliğine, dren aralığına, drenaj miktarına göre soya ve mısır için belirlenmiştir. Yüzey altı drenaj yoğunluğunun yüzey drenajıyla ilişkisi ve buna bağlı olarak da ürün verimine etkisi analiz edilmiştir. Ayrıca model tarafından elde edilen dönemsel çalışılabilir günlerin yüzey altı drenaj yoğunluğuyla ilişkisi de incelenmiş olup, tüm bu bilgilerin ışığında uygun drenaj parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Sığ su tablasının alternatif drenaj parametrelerine bağlı olarak değişimleri de yıllık, aylık ve günlük bazda model tarafından belirlenebilmektedir. Ürün verimini olumsuz etkileyen yüksek taban suyunun drenaj yoğunluğunun artmasına bağlı olarak hareketleri (Şekil 4.1) yapılan simülasyonlar sonucu model tarafından belirlenmiştir. Grafikler incelendiğinde dren derinliğinin artması ile bütün dren aralıklarında taban suyu derinliklerinin de arttığı da görülmektedir. Çünkü dren derinliğinin artması ile daha çok su topraktan uzaklaşacak ve dolayısıyla eliptik yapıdaki su tablasının daha da düşmesine neden olacaktır. Aynı şekilde dren aralıklarının azalması da drenaj yoğunluğunu arttırmaktadır ve su tablasının derinliğinin artmasına neden olmaktadır. Yine Şekil 4.1.'den görüleceği gibi su tablasının en düşük olduğu dönem günlük toplam yağış miktarının çok düşük olduğu Temmuz-Ağustos (Şekil 4.2) aylarına rastlamaktadır.



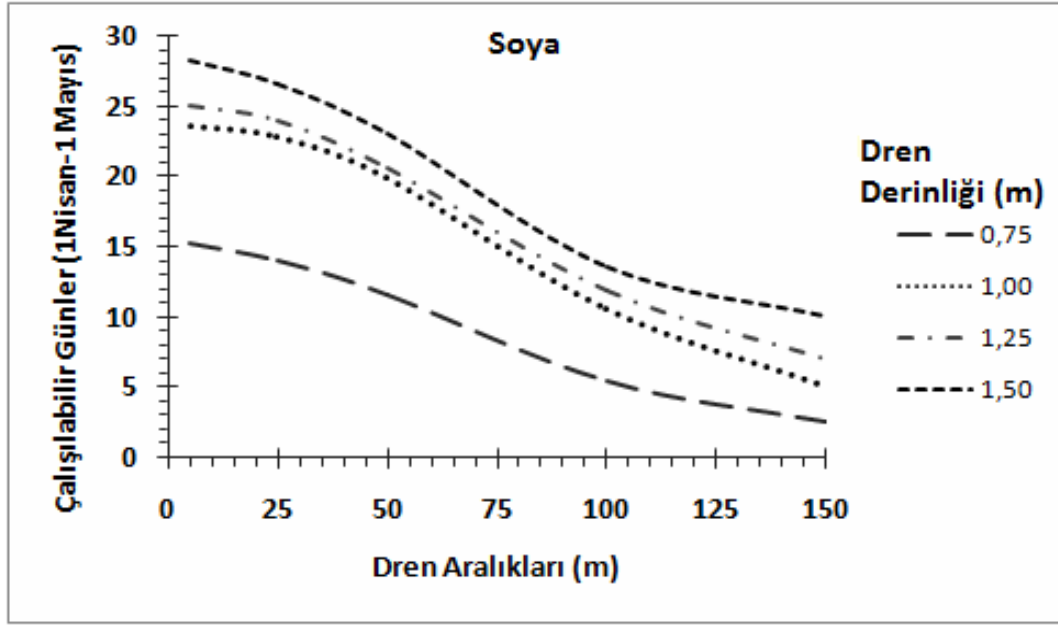
Şekil 4.1. Farklı drenaj parametrelerine bağlı olarak aylık taban suyu değişimi.



Şekil 4.2. Yenişehir 2000–2004 yılları arası günlük toplam yağış grafiği.

4.1.1. Drenaj parametrelerinin çalışılabilir günlere etkisi ve verim ilişkisi

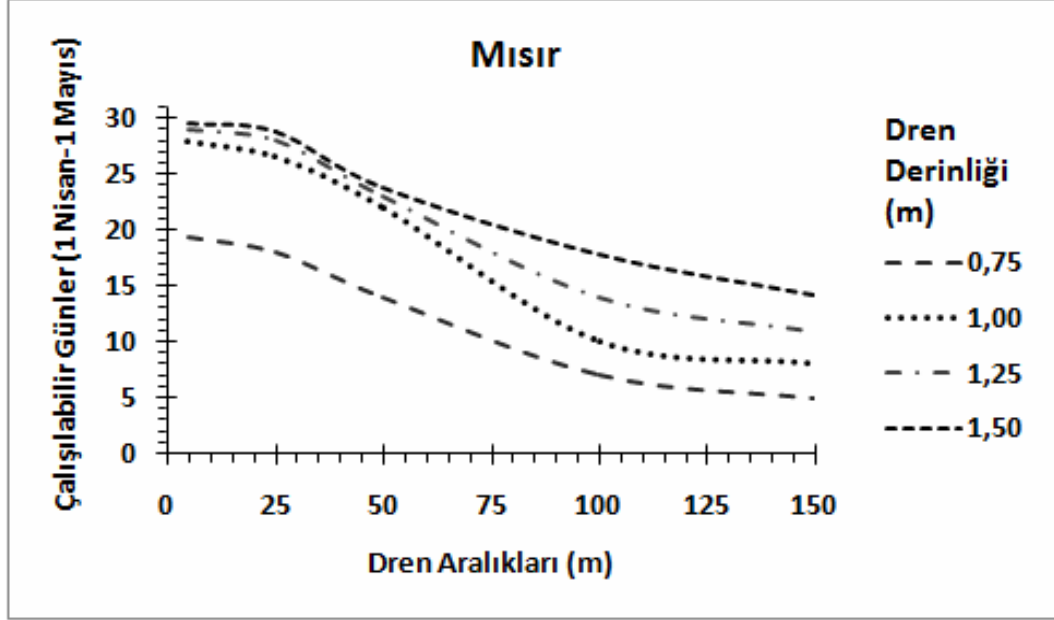
DRAINMOD ile yapılan simülasyonlar sonucunda proje alanında ekimi yapılan soya fasulyesi ve mısır için toprağın hazırlanması ve ekim zamanı olan 1 Nisan–1 Mayıs arasında dren derinlikleri ve dren aralıklarının çalışılabilir iş günlerine olan etkisi analiz edilmiştir ve Şekil 4.3a. da ve Şekil 4. 3b. de sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3a. Soya fasulyesinin ekim zamanı 1 Nisan–1 Mayıs arası drenaj parametrelerinin çalışılabilir günlere etkisini gösteren grafik.

Grafikler incelendiğinde drenaj miktarını maksimum yapan parametrelerdeki değişime bağlı olarak (dren aralığının azalması, dren derinliğinin artması) çalışılabilir günlerinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi yağışlar sonucunda topraktaki fazla suyun drenajla çabucak boşaltılması ve toprağın çalışılabilir nem düzeyine gelmesidir. Soya da 1 m, 1,25 m ve 1,50 m dren derinliklerinde yaklaşık 50 m dren aralığından daha sık dren aralığına gidildikçe çalışılabilir günlerinin sayısının daha hızlı olarak arttığı ve toprağın ekime hazırlanması ve ekim için daha fazla çalışılabilir gün sayısının elde edildiği görülmektedir. Mısırdaki ise benzer durum 1 m ile 1,25 m ve 1,5 m dren derinliklerinde görülmektedir. İş günlerini temsil eden eğrilerde yaklaşık 55 m'den 5 m

dren aralığına doğru önemli bir yaklaşma ve çalışılabilir günlerin sayısında toprağın ekime hazırlanması ve ekim için artış olduğu gözlenmektedir. Her iki ürün için de 0,75 m dren derinliğinde çalışılabilir günlerin sayısının önemli ölçüde düşük olduğu görülmektedir.



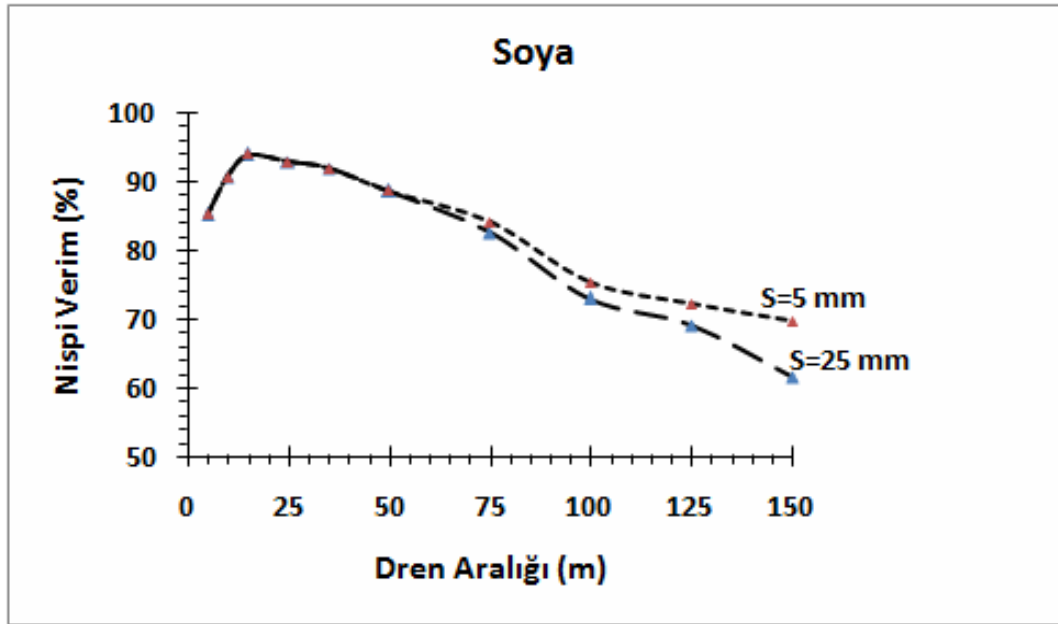
Şekil 4.3b. Mısırın ekim zamanı 1 Nisan–1 Mayıs arası drenaj parametrelerinin çalışılabilir günlere etkisini gösteren grafik.

4.1.2. Yüze drenaj kalitesinin verime etkisi

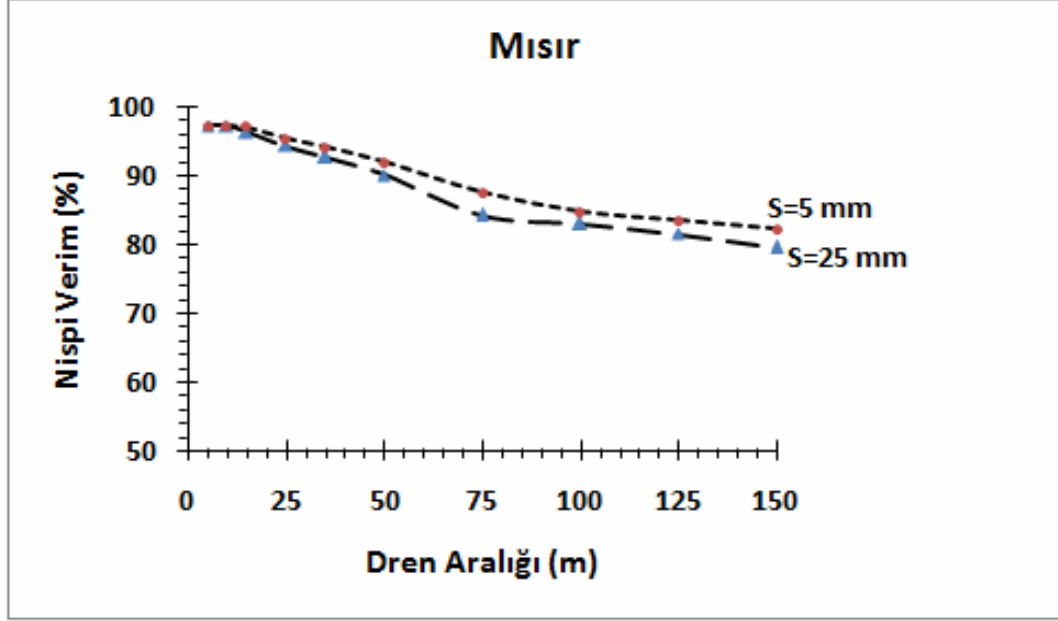
Yüze drenajının ürün verimine olan etkisi yüze altı drenaj yoğunluğuyla ilişkilidir. Yüzealtı drenajının yoğun olması, diğere bir ifadeyle dren derinliğinin yüksek dren aralığının da küçük olması yüze drenaj kalitesini artırmaktadır. Uygulama alanı için 1 m sabit dren derinliği için 5 m den 150 m ye kadar dren aralıklarında yüze drenajının iyi olduğu ($S=5$ mm) ve yüze drenaj kalitesinin kötü olduğu ($S=20$ mm) koşullarda simülasyonlar yapılmış ve sonuçları şekil 4.2a ve şekil 4.2b de grafiklerle gösterilmiştir.

Grafikler incelendiğinde soya için yüze altı drenaj yoğunluğu yüksek olduğunda yani dren aralıkları küçük olduğunda yüze drenajının ürün verimine etkisi

çok küçüktür. Ancak yüzey altı drenaj yoğunluğu dren aralıklarının artmasına bağlı olarak azaldığında yüzey drenajı önemli olmaktadır. Aynı şekilde mısır bitkisinde de dren aralığının artmasına bağlı olarak azalan yüzey altı drenajıyla birlikte ürün verimini gösteren eğriler birbirinden ayrılmaktadır. Bunun en önemli sebebi azalan yüzeyaltı drenaj miktarına bağlı olarak aşırı ıslak koşulların oluşması ve bitkinin strese girerek olumsuz etkilenmesidir. Grafiklerden de görüldüğü gibi dren aralıklarının artmasıyla azalan yüzeyaltı drenaj yoğunluna bağlı olarak yüzey drenajının önemi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.4a. Yüzey drenaj kalitesinin dren aralıklarına göre soya verimine etkisi.



Şekil 4.4b. Yüze drenaj kalitesinin dren aralıklarına göre mısır verimine etkisi.

4.1.3. Mısır ve soya fasulyesi için alternatif drenaj parametrelerinin verime etkisi ve uygun drenaj parametrelerinin seçimi

Mısır için çeşitli dren aralıklarında ve dren derinliklerinde yapılan simülasyonlar sonucunda alınan verim yüzdeleri Çizelge 4.1.'de verilmiş ve grafiksel olarak da Şekil 4.5.'de gösterilmiştir. Ayrıca dren derinlik ve dren aralıklarına bağlı olarak değişen drenaj ve yüze akış grafikleri de Şekil 4.7.' ve Şekil 4.8.' de gösterilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde mısırdaki verimin %100 olduğu dren aralığı ve dren derinliği 15 m–25 m ve 1,25–1,50 m'dir. Hem 1,25 m ve hem de 1,50 m dren derinliğinde dren aralığı arttıkça nispi verim önce artmakta daha sonrada azalmaktadır. Dren derinliği arttıkça ise verim genel olarak artmaktadır. Dren derinliğinin artmasına bağlı olarak drenaj ile topraktan uzaklaştırılan su miktarı ve su tablası derinliği artmaktadır. Bunun sonucunda mısır bitkisi aşırı su koşullarından kaynaklanan stresten uzaklaşmaktadır ve verim artmaktadır. Fakat belirli bir derinlikten sonra ise topraktan uzaklaştırılan suyun fazla olması ve su tablası derinliğinin iyice artması nedeniyle sulamanın olmadığı durumlarda bitki su tablasıyla yükselen sudan yararlanamadığı için

kuraklık stresine girmektedir ve verim azalmaktadır. Dren aralıklarının artmasına bağlı olarak da topraktan uzaklaştırılan su miktarı azalmakta ve su tablası yükselmektedir. Bu da mısırın aşırı su koşullarından dolayı strese girmesine sebep olmakta ve verimi azalmaktadır. Dren aralıklarının çok sık olması ise topraktan uzaklaştırılan suyun fazla olmasına sebep olduğundan bu sefer de su eksikliğinden dolayı bitki strese girmekte verimde azalma meydana gelmektedir.

Çizelge 4.1. ve Şekil 4.5. incelendiğinde verimin % 90 ve üzerinde olduğu aralıklara karşılık gelen dren derinliklerinin ve dren aralıklarının verim açısından uygun parametreler olduğu kabul edildiğinde, bu düzeyde verimin, 0,75 m'lik dren derinliğinde 25 m, 1,0 m'lik dren derinliğinde 50 m, 1,25 m'lik dren derinliğinde 75 m ve 1,5 m'lik dren derinliğinde ise 100 m'lik dren aralığında elde edildiği görülmektedir.

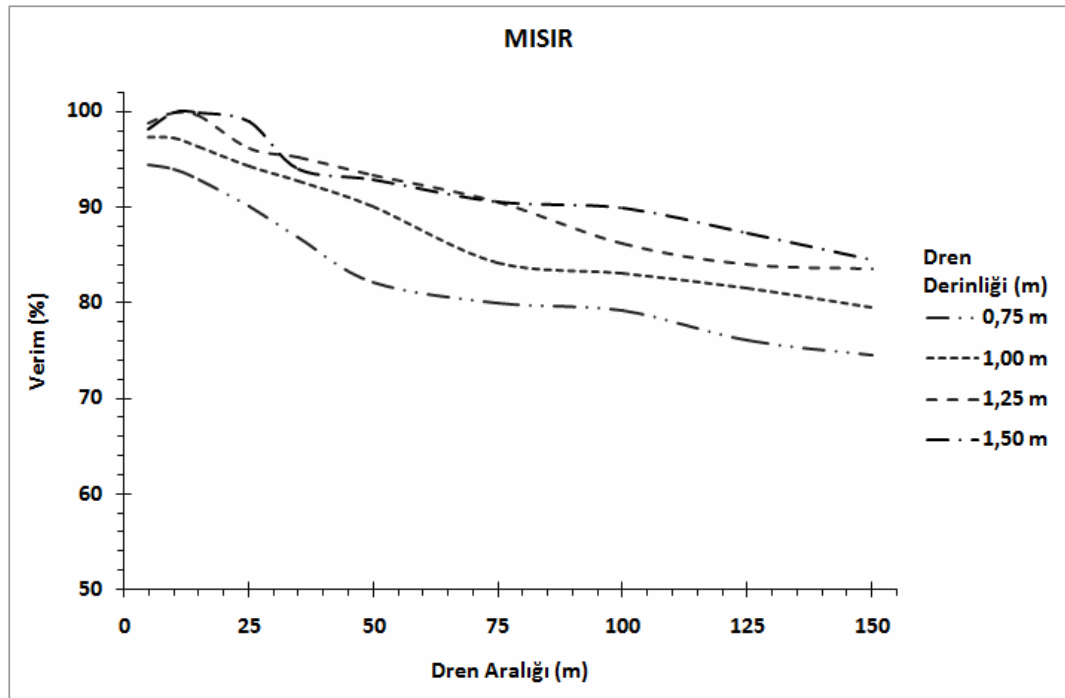
En az % 90'lık nispi verim kabul edilebilir varsayıldığında optimum dren aralığını belirleyici etmenin dren derinliği olduğu bu derinliğin ise dren borularının bağlanacağı açık kanallardaki su düzeyleri ve dolayısıyla akımının çıkışındaki su düzeyinin belirlediği anlaşılmaktadır. Derinlik bakımından bir kısıt olmadığına ise ekonomik açıdan gerçekleştirilecek karlılık analizi ile derinlik belirlenmelidir.

Drenaj parametrelerinin belirlenmesinde dikkat edilecek bir başka husus; drenajla tahliye edilen su miktarıdır. Drene olan su miktarının fazla olması ile toprağın yıkanması sonucunda bitki besin maddelerinin ve minerallerinin de topraktan daha fazla uzaklaşması söz konusudur. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda aynı veya yakın verimi veren aynı zamanda maliyet ve iş gücü açısından önemli fark olmayan drenaj parametrelerinden düşük drenaj kapasitesine sahip olanı tercih etmek uygun olacaktır. Bu durumu göz önünde bulundurarak tekrar verim grafiğini incelediğimizde örneğin 1 m dren derinliği ve 50 m dren aralığında verim % 90 olmakta bu durumda % 91 verime sahip 1,25 m dren derinliği ve 75 m dren aralığına tercih edilebilir. Verim yaklaşık olarak aynıken maliyet ve iş gücü açısından bakıldığında 1,25 m – 75 m dren derinlik ve aralıklarına karşılık 1 m – 50 m dren derinlik ve aralıkları eşdeğer kabul edilebilir. Burada karar vermede etkili olacak faktör drenaj miktarı ve arazinin fiziksel yapısıdır. Eğer arazi suyun boşaltılması ve drenaj parametrelerinin uygulanabilirliği bakımından

sorunsuz ise drenaj miktarı düşük olan parametreleri uygulamak daha doğru olacaktır. Şekil 4.7.de dren aralık ve derinliklerine göre yüzey altı drenaj miktarlarını gösteren grafik incelendiğinde az farkla da olsa 1 m dren derinliği ve 50 m dren aralığında drenaj miktarının daha az olduğu görülmektedir. Bu fark önemsiz sayılabilir ve bir yandan da nispi verim diğer alternatife göre %1 daha düşük olmaktadır. Fakat uzun vadede düşünüldüğünde toprağın daha az yıkanması bakımından daha düşük drenaja sahip parametreleri almak daha uygun olacaktır. Bir diğer konu drenaj parametrelerinin yüzey akışa olan etkisidir. Şekil 4.8. de dren aralık ve derinliklerine göre yıllık toplam yüzey akış grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde 1 m dren derinliği 50 m dren aralığında meydana gelen yüzey akış miktarı 1,25 m dren derinliği ve 75 m dren aralığında meydana gelen yüzey akıştan önemli derecede düşüktür. Bu durumda verimin %90 ve üzeri olduğu ve açık kanallardaki su seviyesinde bir kısıt olmadığına mısır için en uygun dren derinliğinin 1 m, en uygun dren aralığının ise 50 m olabileceğini belirtmek olasıdır. Ayrıca mısır için 1 m dren derinliği 50 m dren aralığı ile 1,25 m dren derinliği ve 75 m dren aralıklarının çalışılabilir gün sayılarına bakıldığında (Şekil 4.3b) 1m dren derinliği ve 50 m dren aralığı için daha fazla çalışılabilir gün sayısı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Mısır için dren aralık ve derinliklerine göre nispi verim.

Mısır		Dren Aralıkları (m)										Nispi Verim (%)
		5	10	15	25	35	50	75	100	125	150	
Dren Derinlikleri (m)	0,75	94	94	93	90	87	82	80	79	76	75	
	1,00	97	97	96	94	93	90	84	83	82	80	
	1,25	99	100	100	96	95	93	91	86	84	84	
	1,50	98	100	100	99	94	93	91	90	87	84	



Şekil 4.5. Mısır için dren aralık ve derinliklerine göre nispi verim grafiği.

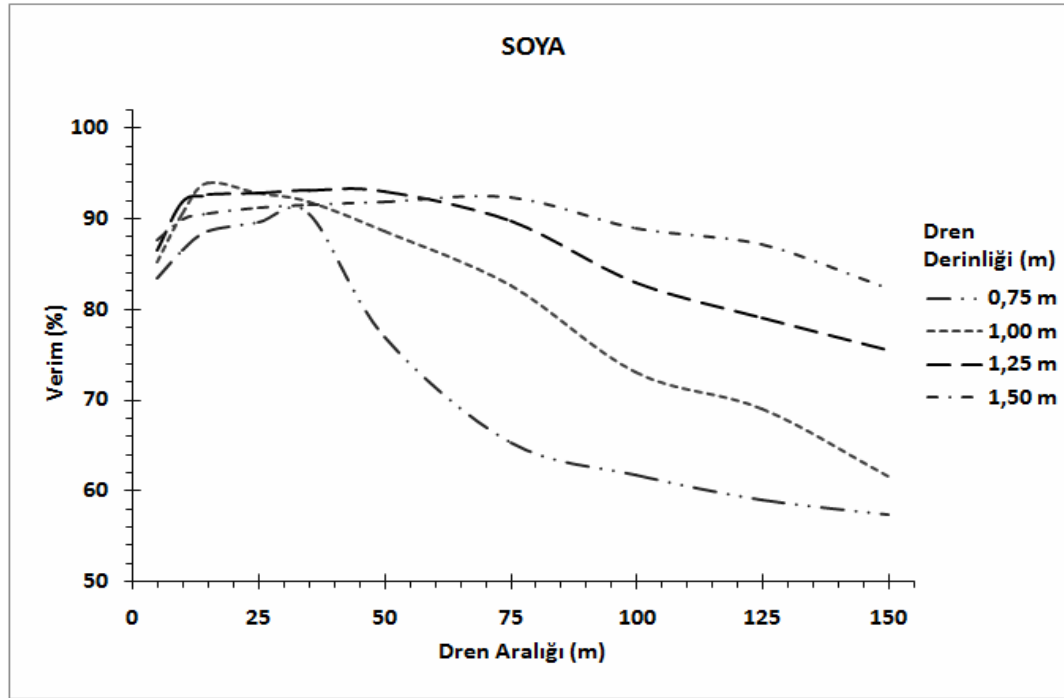
Soya fasulyesi için yapılan simülasyonlar sonucunda çeşitli dren aralık ve dren derinlikleri alınan sonuçlar Çizelge 4.2.'de ve Şekil 4.6.'da verilmiştir. Sonuçlar analiz edildiğinde; maksimum verimin (% 94) 15 m dren aralığı ve 1 m dren derinliğinde alındığı görülmektedir. Başlangıçta dren aralığı çok düşükken drenaj ile toprak profilinden uzaklaştırılan su miktarı fazla olduğu için bitki su eksikliğinden kaynaklanan su stresine girmekte ve bu yüzden verim azalmaktadır. Bu yüzden dren

aralığı artıkça başlangıçta verim artmakta daha sonra ise dren drenaj ile uzaklaştırılan su iyice azaldığından bitki aşırı su koşullarından dolayı strese girmekte ve verim azalmaktadır. Genel olarak dren derinlikleri arttıkça verim de dren derinliğine paralel olarak artmaktadır. Dren derinliği arttıkça yüzeyden itibaren su tablası derinliği de artmakta ve bitki aşırı su koşullarından ve buna bağlı ıslaklık stresinden uzaklaşmaktadır. Bir yandan da dren derinliğini artmasına bağlı olarak drenaj miktarının da artması toprakta kuraklığa sebep olmakta ve bitki taban suyundan yararlanamamakta ve verimde azalma görülmektedir. Bu durum 10 m, 15 m, 35 m ve 50 m dren aralıklarında, 1,25 m dren derinliklerinden sonra görülmektedir (Çizelge 4.2. ve Şekil 4.6.).

Soya için Çizelge 4.2. ve Şekil 4.6. daki grafik incelendiğinde % 90 ve üzerindeki nispi verimi veren dren derinlik ve aralıklarını uygun parametreler olarak ele alındığında mısırdaki olduğu gibi aynı verimi veren alternatiflerden drenaj miktarı az olanı ve maliyet ve iş gücü bakımından düşük olanı tercih etmek gerekmektedir. 0,75 m dren derinliğinde verim 35 m dren derinliğinde %91' e kadar çıkabilmekte fakat 50 m den itibaren verimde önemli bir düşüş olmaktadır. 1, 1,25 ve 1,50 m dren derinliklerinde ise verim 50 m dren aralığında dahi % 90 ve üzerindedir. 1,25 m ve 1,50 m dren derinliklerinde verim 75 m dren aralığından sonra ancak %90'nın altına inmektedir. Bu durumda toprağın aşırı drenajla yıkanma durumu ve maliyet, işgücü faktörleri göz önüne alındığında ya 1 m dren derinliğinde 50 m dren aralığı ya da 1,25 m dren derinliğinde 75 m dren aralığı tercih edilmelidir. Yüzeyaltı drenajıyla uzaklaştırılan su miktarlarına bakıldığında (Şekil 4.7.), 1 m dren derinliği 50 m dren aralığında drenaj miktarının daha düşük olduğu görülmekte. Yüzey akış olarak iki alternatif karşılaştırıldığında 1 m dren derinliği 50 m dren aralığı için yüzey akışın da daha düşük olduğunu mısırdaki incelemeden bilinmektedir. Ayrıca çalışılabilir günler açısından da (Şekil 4.3a) 1 m dren derinliği ve 50 m dren aralığında daha fazla çalışılabilir gün sayısının olduğu görülmektedir. Bu durumda her iki alternatifte verimler %90 ile eşit olduğuna göre drenaj miktarı ve yüzey akış yüksekliği daha az olan 1 m derinlik ve 50 m aralığa sahip drenaj parametreleri doğru seçim olacaktır.

Çizelge 4.2. Soya için dren aralık ve derinliklerine göre nispi verim.

Soya		Dren Aralıkları (m)										Nispi Verim (%)
		5	10	15	25	35	50	75	100	125	150	
Dren Derinlikleri (m)	0,75	84	87	89	90	91	77	65	62	59	57	
	1,00	85	91	94	93	92	90	83	73	69	62	
	1,25	87	92	93	93	93	93	90	83	79	76	
	1,50	88	90	91	91	92	92	92	89	87	82	

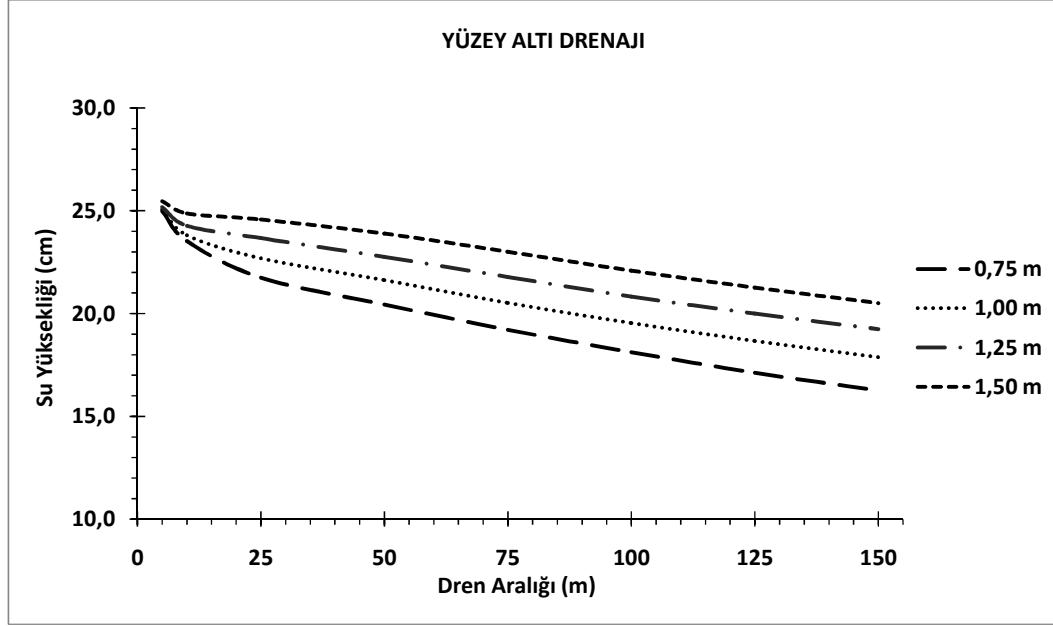


Şekil 4.6. Soya için dren aralık ve derinliklerine göre nispi verim grafiği.

DRAINMOD ile yapılan simülasyonlar sonucunda drenaj ile tahliye edilen su miktarı ve arazinin eğim ve yapısına bağlı olarak meydana gelebilecek yüzey akış miktarının simülasyonları yapılmış ve analiz edilmiştir.

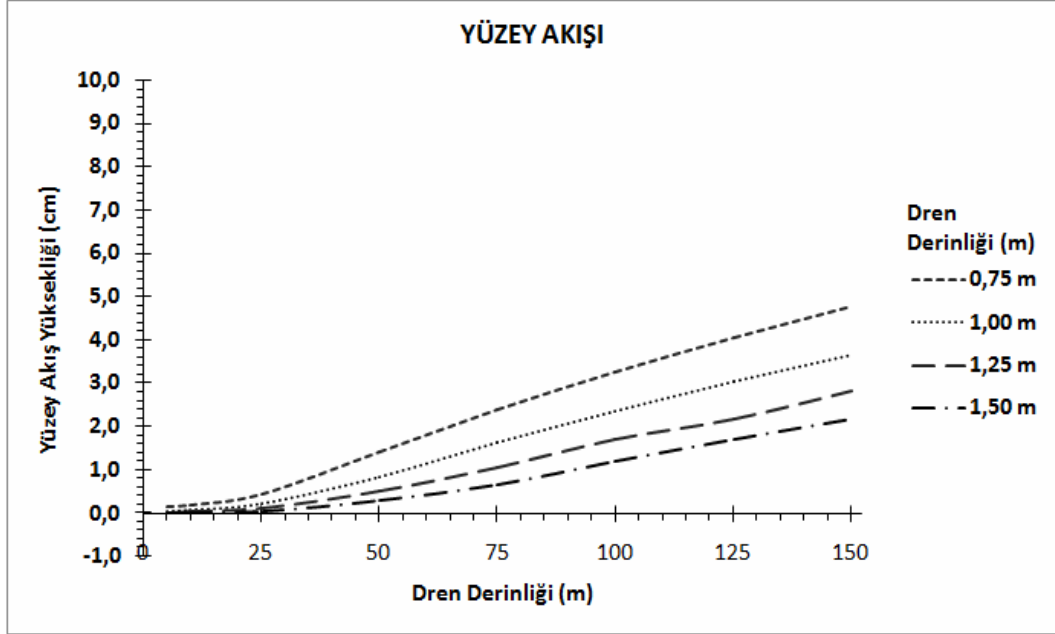
Şekil 4.7.'de farklı dren aralık ve derinliklerine göre yıllık drenaj miktarları görülmektedir. Drene edilen su miktarı dren aralığı arttıkça önce hızlı daha sonra da

yavaşlayan bir şekilde azalma göstermektedir. Dren derinliğine bağlı olarak ta drenaj ile uzaklaşan su miktarı artmaktadır.



Şekil 4.7. Dren aralık ve derinliklerine göre yüzey altı drenaj miktarı.

Şekil 4.8.'de ise yıllık yüzey akış miktarları görülmektedir. Yüzey akışında başlıca etken toprağın infiltrasyon özellikleri, arazinin eğimi ve yüzey yapısıdır. DRAINMOD uzun yıllar iklim verilerinden, arazi özelliklerinden ve arazinin drenaj kapasitesinden yola çıkarak alternatif dren aralık ve dren derinliklerinde yüzey akış yüksekliğini hesaplayabilmektedir. Yapılan analiz sonucunda yüzey akışın dren aralıklar ve derinliklerine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Dren aralığı arttıkça yüzey akışın arttığı görülmektedir. Bu artma 25 m' ye kadar yavaş 25 m' den sonra ise hızlı olmaktadır. Dren aralıklarının artması sonucu drene edilen su miktarı azalacağı için toprak doymun duruma gelmekte ve infiltrasyonun da azalması ile yüzey akışı artmaktadır. Aynı sebepten dolayı dren derinliği azaldıkça drene edilen su miktarı azalmakta ve yüzey akışı artmaktadır.



Şekil 4.8. Dren aralık ve derinliklerine göre yüzey akış yüksekliği.

4.2. Sulamannın Drenaj Parametrelerinin Seçimine ve Verime Etkisi

Çalışmanın yapıldığı alanda yaygın olarak yetiştirilen mısır ve soya için kurak geçen yaz döneminde sulama yapılmaktadır. Bu nedenle uygulanan sulama suyu miktarlarının bir su denge modeli olan DRAINMOD' a girdi olarak girilmesi düşünülmüştür. Bu bağlamda CropWat ile soya fasulyesinin ve mısırın yıllık yetişme döneminde toplam su gereksinimleri belirlenmiş ve uzun yıllar yağış değerlerinden hesaplanan etkili yağışlar göz önünde bulundurularak sulama suyu gereksinimleri hesaplanmıştır. Ayrıca CropWat'da dönemsel sulama planlaması yapılmış ve sulama suyu kaybı en az olan sulama planlanması Çizelge 4.3a ve 4.3b' de verilmiştir.

Çizelge 4.3a. Soya Sulama Suyu Gereksinimi ve Planlanması

Tarih	Kök Böl. Topl. Alın. Su (mm)	Kök Böl. Alınabil. Su (mm)	Yağış (mm)	Etkili Yağış (mm)	ETc	ETc/ETm (%)	Su Açığı (mm)	Sul. Gün Aralığı	Sulama Miktarı (mm)	Sul. Kaybı (mm)
1/5	54,0	27,0	6,7	0,0	1,5	100	1,5			
6/5	66,6	34,0	6,6	6,6	1,6	100	2,9			
11/5	79,2	41,2	6,4	6,4	1,7	100	4,9			
16/5	91,8	48,7	6,2	6,2	1,7	100	7,3			
21/5	104,4	56,4	6,0	6,0	1,9	100	10,3			
26/5	117,0	64,3	5,8	5,8	2,6	100	16,0			
31/5	129,6	72,6	5,7	5,7	3,2	100	25,0	30	24,0	0
5/6	142,2	81,1	5,5	5,5	3,9	100	13,6			
10/6	154,8	89,8	5,4	5,4	4,6	100	29,7			
15/6	167,4	98,8	5,3	5,3	5,3	100	49,3	15	48,0	0
20/6	180,0	108,0	5,2	5,2	5,8	100	24,5			
25/6	180,0	108,0	5,1	5,1	5,9	100	48,7			
30/6	180,0	108,0	5,1	5,1	5,9	100	73,2	15	48,0	0
5/7	180,0	108,0	5,0	5,0	5,9	100	49,8			
10/7	180,0	108,0	5,0	5,0	5,9	100	74,4			
15/7	180,0	108,0	5,0	5,0	5,9	100	98,9	15	48,0	0
20/7	180,0	108,0	5,0	5,0	5,8	100	75,2			
25/7	180,0	108,0	5,1	5,1	5,8	100	99,1			
30/7	180,0	108,0	5,1	5,1	5,0	94,8	121,1	15	48,0	0
4/8	180,0	108,0	5,2	5,2	5,6	100	96,0			
9/8	180,0	108,0	5,3	5,3	5,1	97,5	117,5			
14/8	180,0	108,0	5,4	5,4	3,8	76,2	132,6	15	48,0	0
19/8	180,0	110,2	5,5	5,5	5,0	100	105,1			
24/8	180,0	121,0	5,6	5,6	4,3	99,8	122,4			
29/8	180,0	131,8	5,8	5,8	3,6	96,6	135,4	15	48,0	0
3/9	180,0	142,6	6,0	6,0	2,9	100	97,5			
8/9	180,0	153,4	6,1	6,1	2,3	100	104,2			
Top.			150,1	143,4	567,9	98,4%			312,0	0,0

Çizelge 4.3b. Mısır Sulama Suyu Gereksinimi ve Planlanması

Tarih	Kök Böl. Topl. Alın. Su (mm)	Kök Böl. Alınabil. Su (mm)	Yağış (mm)	Etkili Yağış (mm)	ETc	ETc/ETm (%)	Su Açığı (mm)	Sul. Gün Aralığı	Sulama Miktarı (mm)	Sul. Kaybı (mm)
1/5	54,0	27,0	6,7	0,0	1,2	100	1,2			
6/5	63,7	31,8	6,6	5,9	1,2	100	1,2			
11/5	73,4	36,7	6,4	6,2	1,3	100	1,3			
16/5	83,1	41,5	6,2	6,2	1,3	100	1,5			
21/5	92,8	46,4	6,0	6,0	1,4	100	2,2			
26/5	102,5	51,2	5,8	5,8	1,5	100	3,4			
31/5	112,2	56,1	5,7	5,7	2,1	100	6,9			
5/6	121,8	60,9	5,5	5,5	2,7	100	13,5			
10/6	131,5	65,8	5,4	5,4	3,3	100	23,2	40	24,0	0,8
15/6	141,2	70,6	5,3	5,3	3,9	100	12,9			
20/6	150,9	75,5	5,2	5,2	4,5	100	28,9			
25/6	160,6	80,3	5,1	5,1	5,1	100	48,1	15	48,0	0
30/6	170,3	85,2	5,1	5,1	5,7	100	22,4			
5/7	180,0	90,0	5,0	5,0	6,2	100	47,6			
10/7	180,0	90,0	5,0	5,0	6,2	100	73,5	15	60,0	0
15/7	180,0	90,0	5,0	5,0	6,1	100	39,3			
20/7	180,0	90,0	5,0	5,0	6,1	100	64,9			
25/7	180,0	90,0	5,1	5,1	6,0	100	90,0	15	48,0	0
30/7	180,0	90,0	5,1	5,1	5,9	100	66,7			
4/8	180,0	90,0	5,2	5,2	5,8	100	90,9			
9/8	180,0	90,0	5,3	5,3	4,7	88,4	110,9	15	48,0	0
14/8	180,0	91,8	5,4	5,4	5,4	100	85,5			
19/8	180,0	100,8	5,5	5,5	4,8	99,5	104,9			
24/8	180,0	109,8	5,6	5,6	3,8	91,9	119,3	15	48,0	0
29/8	180,0	118,8	5,8	5,8	3,5	100	84,1			
3/9	180,0	127,8	6,0	6,0	2,8	100	93,5			
8/9	180,0	136,8	6,1	6,1	2,3	100	99,9			
Top.			150,1	142,5	525,9	99			276	0,8

Sulama planlaması yapılırken araştırma alanında uygulanan sulama yönetimi de dikkate alınarak infiltrasyon sonucu taban suyunu artıracak sulama suyu kayıplarından kaçınılmış ve bölgede uygun olan ilk sulama ve son sulama tarihleri referans alınarak ve CropWat programıyla en uygun sulama planlaması yapılmaya çalışılmıştır. Ayrıca toprağın infiltrasyon hızı dikkate alınarak bir seferde verilen su miktarları yüzey akışa geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır.

DRAINMOD'un sulama yapılması durumunda kullanılabilen sulama suyu girdilerini kapsayan fonksiyonu sayesinde CropWat ile belirlenen soya ve mısır için su gereksinimleri modele girilmiş ve hem soya hem de mısır için tekrar simülasyonlar yapılmıştır. Bu simülasyon sonuçları farklı drenaj parametreleri ile yeni analizler gerçekleştirilmiştir.

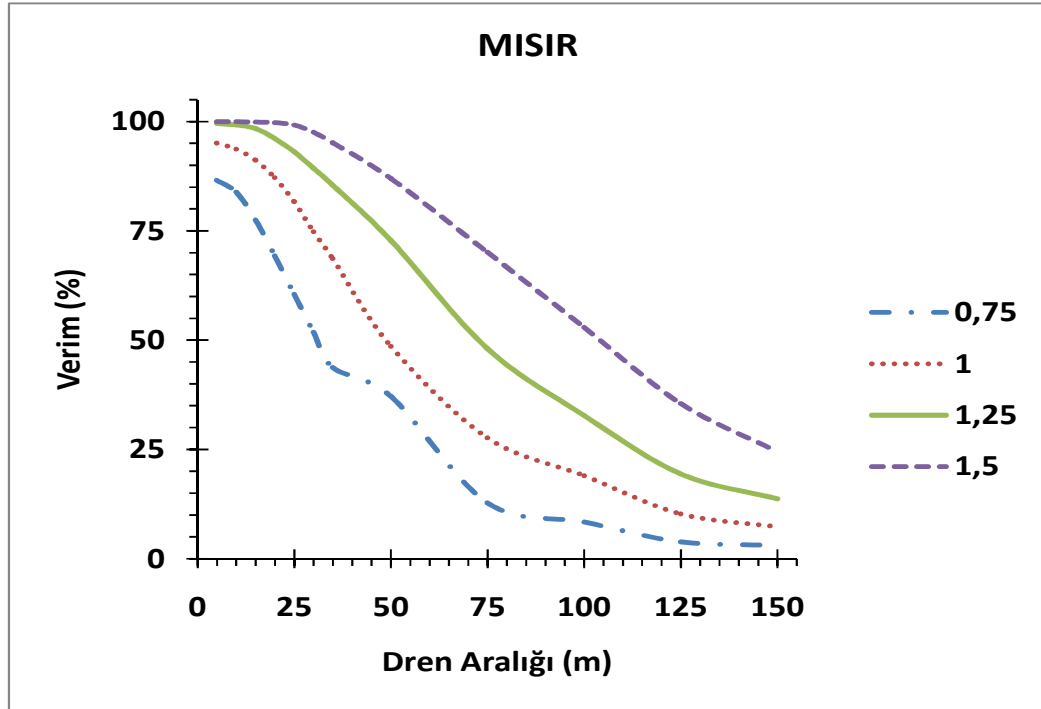
Sulamanın yapıldığı dönemlerde taban suyunun yükseldiği ve dren aralık ve derinliklerine göre de değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Dren derinliğini az, dren aralığının da çok olduğu durumlarda sulamaya bağlı taban suyu yükselmesinin ürün verimine olan olumsuz etkisi en yüksek seviyeye çıkmıştır. Sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerinin ürün nispi verimine olan etkilerini belirlemek için model ile simülasyonlar yapılmış ve model çıktıları (Çizelge 4.4a. ve 4.4b) grafik üzerinde değerlendirilmiştir (Şekil 4.9a. ve 4.9b.).

Grafikler incelendiğinde dren aralığının artmasıyla verimlerin hızla düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi yağışa ek olarak sulamanın yapılması ve zaten taban suyu problemi olan toprakta drenajın yetersiz kalması ve bitkinin yükselen taban suyundan aşırı su stresine girerek olumsuz etkilenmesidir. Dren aralıkları 5 m gibi maksimum sıklıkta olmasına rağmen sulama yapıldığı için kuraklık stresi görülmemekte ve verimlerde sulamasız şartlarda olduğu gibi azalma olmamaktadır. Dren derinliklerinin artması da yine sulama ile artan drenaj ihtiyacını karşılamada daha etkili olduğu için verimleri artırmaktadır. Böylece drenaj sorunu olan sığ su tablasına sahip böyle bir toprakta iyi bir drenaj sistemi olmadan sulamanın düşünülmemesi gerçeği bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Verim yüzdelerini 90 ve üzerinde tutarsak uygun drenaj parametrelerine baktığımızda mısır için; 1 m dren derinliği için dren aralığı en fazla 15

m. alınabilir. 1,25 m. ve 1,5 m dren derinliği için ise dren aralıkları sırasıyla 30 m. ve 45 m. alınabilir. Soya için bakıldığında; 1 m dren derinliği için dren aralığı yine 15 m. dren derinliği 1,25 m ve 1,5 m için ise 30 m ve 50 m'ye kadar dren aralığı seçilmesi verimleri % 90'ın altına düşürmemektedir.

Çizelge 4.4a. Mısır da sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı verim yüzdeleri.

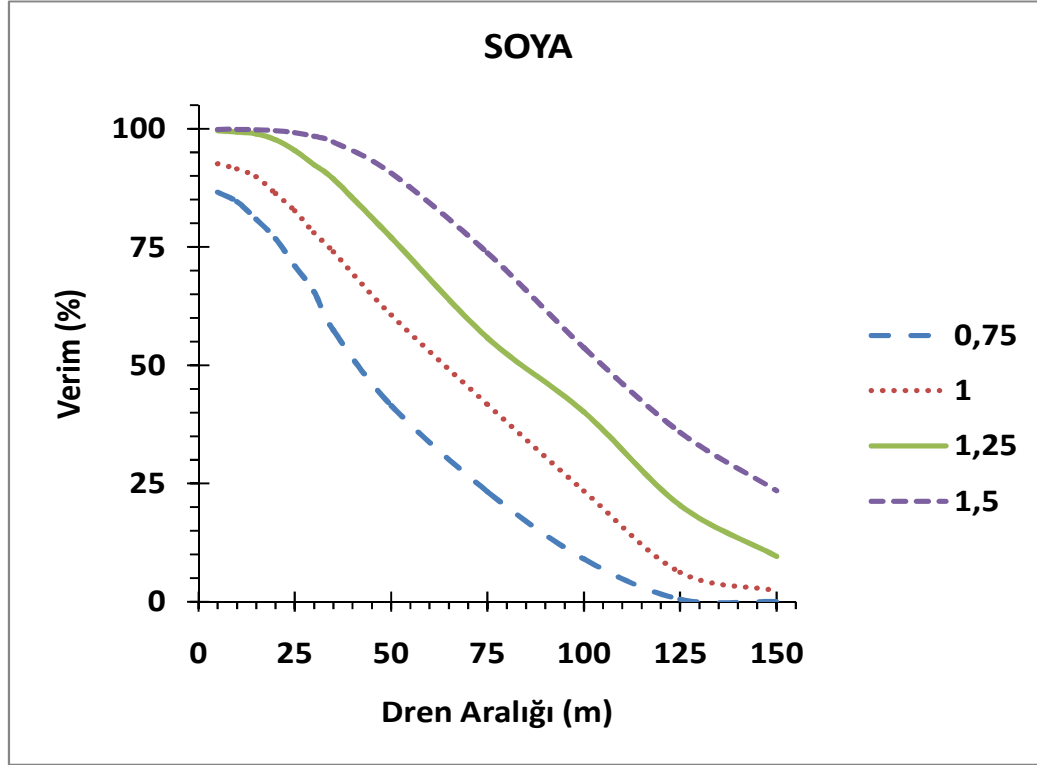
Mısır		Dren Aralıkları (m)										Nispi Verim (%)
		5	10	15	25	35	50	75	100	125	150	
Dren Derinlikleri (m)	0,75	87	84	78	70	44	37	13	8	4	3	
	1,00	95	94	91	81	69	49	28	19	10	7	
	1,25	100	99	98	93	86	73	48	33	19	14	
	1,50	100	100	100	99	95	87	70	53	36	25	



Şekil 4.9a. Mısır da sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı verim yüzdelerini gösteren grafik.

Çizelge 4.4b. Soya da sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı verim yüzdeleri.

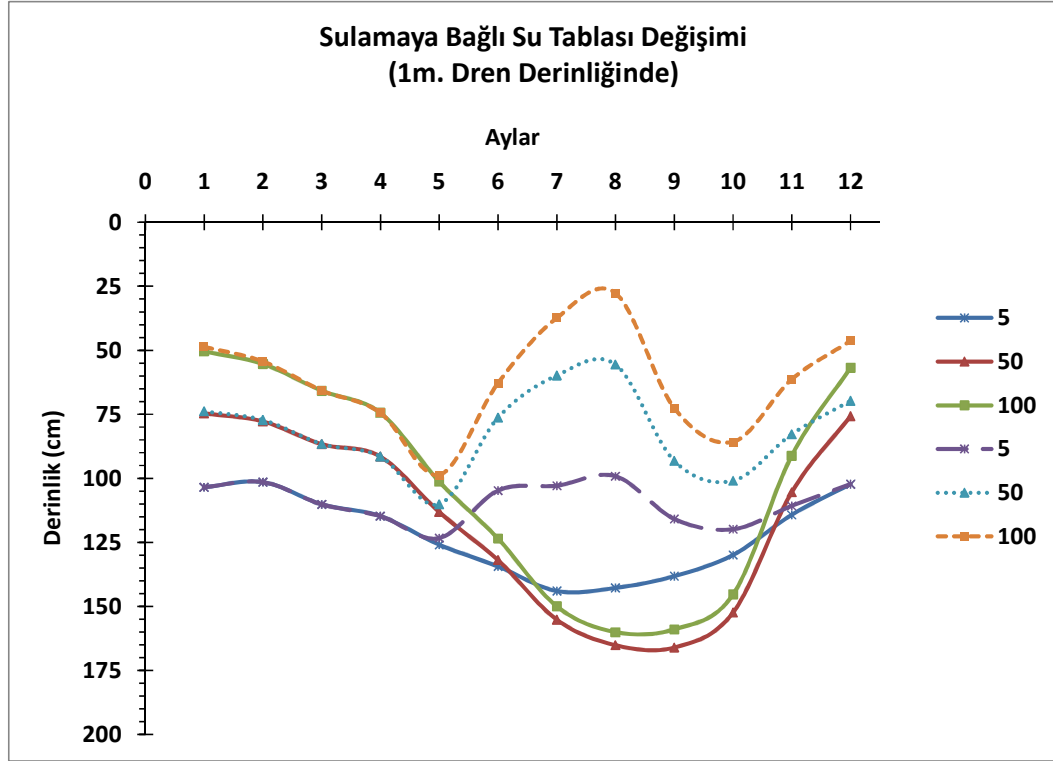
Soya		Dren Aralıkları (m)										Nispi Verim (%)
		5	10	15	25	35	50	75	100	125	150	
Dren Derinlikleri (m)	0,75	87	85	81	71	57	42	23	9	1	0	
	1,00	93	92	90	83	74	61	42	23	6	2	
	1,25	100	99	99	95	89	77	56	40	20	10	
	1,50	100	100	100	99	97	91	74	54	36	24	



Şekil 4.9b. Mısır da sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı verim yüzdelerini gösteren grafik.

4.3. Sulamasız ve Sulama Dikkate Alınarak Elde Edilen Model Çıktılarının Birbirleriyle Karşılaştırılması

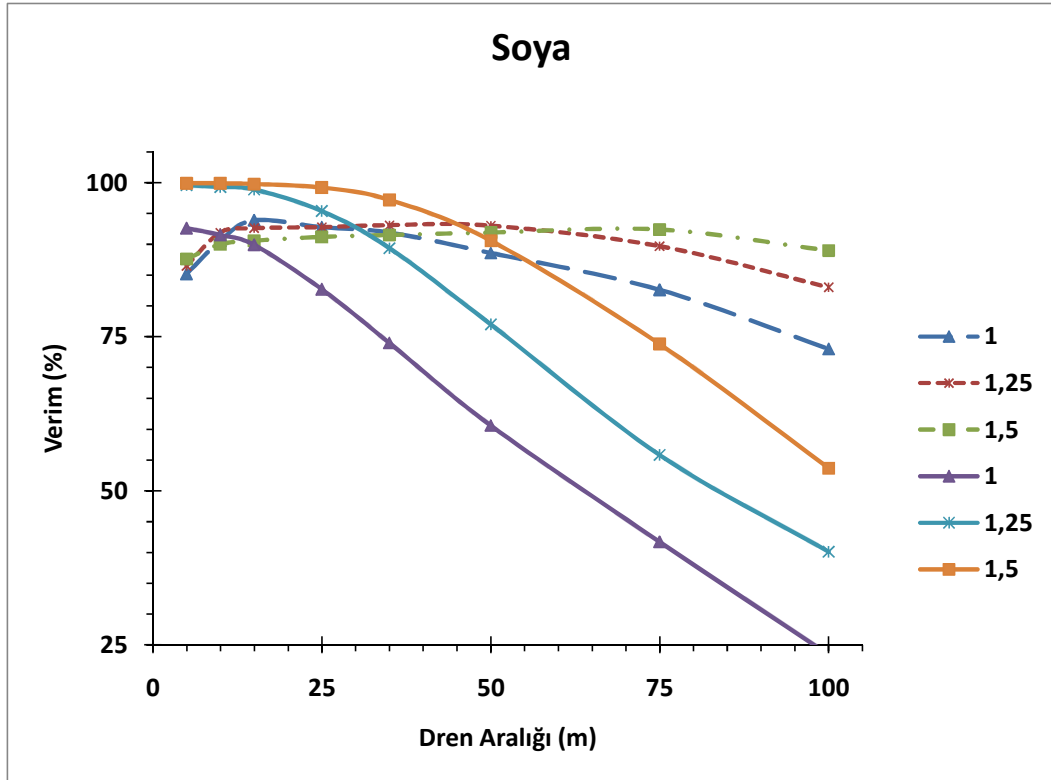
Modelden her iki koşullar için alınan çıktılarda en dikkat çekici durumun doğal olarak taban suyu değişimi olduğu söylenebilir. Bu dikkat çekici değişimi göstermek için 1 yıllık dönemde 1 m sabit dren derinliğinde 5, 50 ve 100 m dren aralıkları için su tablası değişimleri Şekil 4.10.'da gösterilmiştir, (kesikli çizgiler sulama yapılması, sürekli çizgiler ise sulamasız koşullardaki su tablası düzeylerini göstermektedir).



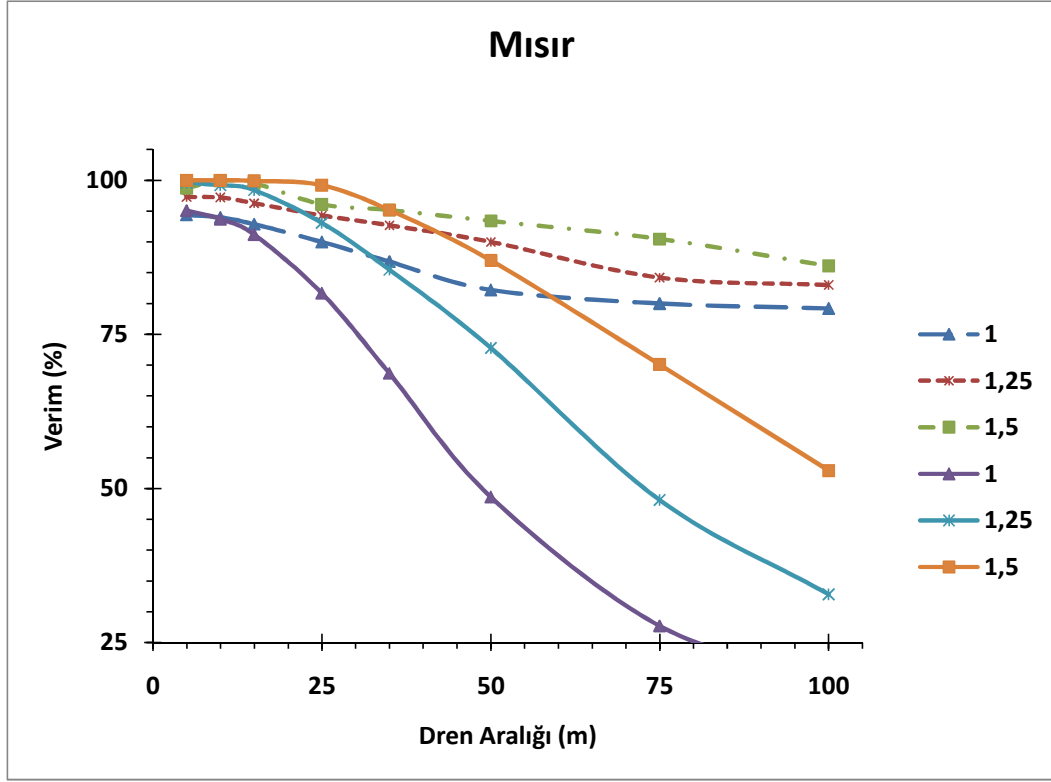
Şekil 4.10. Sulamaya bağlı su tablası değişim grafiği.

Grafikte sulamanın başlayacağı döneme kadar su tablası düzeyinin aynı gittiği daha sonra sulama ile aranın açıldığı ve bu açılmanın dren aralığının artmasına bağlı olarak büyüdüğü görülmektedir. Sulama döneminden sonra ise taban suyu düzeyleri yaklaşmakta ama aynı olmamaktadır, bunun nedeni sulama sonucu yüzey altına sızan suyun taban suyu seviyesinde hala etkili olmasıdır.

Sulamaya bağlı olarak su tablasının yükselmesinin bitki için aşırı su şartlarından dolayı stres ortamı yaratmaması için drenaj performansının artırılmasına gereksinim vardır. Yani dren derinliğinin artması ve dren aralığının azalması gerekmektedir. Farklı drenaj parametrelerinde sulamanın soya ve mısır verimine etkisini incelemek için hazırlanan ve Şekil 4.11a. ve 4.11b.' de gösterilen grafiklere bakıldığında (ilk serilerle temsil edilen eğriler sulamasız şartları göstermekte) sulamanın iyi drenaj şartlarında verimi artırdığı görülmekte. Dren aralıklarının artmasına ve dren derinliklerinin azalmasına bağlı olarak drenaj miktarının azalması durumunda ise verimde azalmalar sulamasız şartlara göre daha fazladır. Bu da drenajsız ya da drenaj kalitesinin düşük olduğu koşullarda sulamanın ürün verimi için olumlu olmaktan çok olumsuz etkiye sahip olduğunu gösterir.



Şekil 4.11a. Soya için sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı olarak verimdeki değişimleri gösteren grafik.



Şekil 4.11b. Mısır için sulama yapılması durumunda farklı drenaj parametrelerine bağlı olarak verimdeki değişimleri gösteren grafik.

4.4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada daha önce herhangi bir yüzeyaltı borulu drenaj sistemi tesis edilmeyen ve sorunlu bir bölgede bulunan Marmaracık Gölü kurutma alanında tesis edilmesi düşünülen drenaj sistemine ilişkin parametrelerin belirlenmesine yönelik olarak DRAINMOD simülasyon modeli başarıyla uygulanmış ve yapılan simülasyon ve analizler sonucunda mısır ve soya fasulyesi için optimum drenaj parametreleri belirlenmiştir. Buna göre her iki bitki için nispi verimi % 90 ve üzerinde tutan aralıklar optimum olarak kabul edilmiştir. Nispi ürün veriminin % 90 ve üzerinde tutan farklı dren derinlik ve aralıkları belirlenmiştir. Bunlar içerisinde yine toprağın yıkanması nedeniyle bitki besin elementlerinin, bitki için son derece önemli olan minerallerin dren suyuyla uzaklaştırılmasını en aza indirmek için düşük drenaj yoğunluğuna sahip alternatifler tercih edilmiştir. Düşük drenaj yoğunluklu alternatifler içerisinde, dren derinliklerinin nispeten az, dren aralıklarının da fazla olması nedeniyle sistemin araziye

uygulanabilirliğinin daha kolay olacağı, maliyetin düşürüleceği ve iş gücünden de tasarruf kazanılacağı düşünülmüştür. Ayrıca, drenaj parametreleri belirlenirken arazide ekilmekte olan her iki ürün mısır ve soya fasulyesi için de uygun olacak parametreler üzerinde durulmuştur.

Ayrıca bölgede yapılan sulama uygulamaları da dikkate alınarak modele sulama girdileri girerek alınan sonuçlar da değerlendirilmiştir. Sulamanın drenaj parametrelerine etkisi dren derinliklerinin artırılması ve dren aralıklarının sıklaştırılması şeklinde olmuştur. Sulamanın iyi drenaj koşullarının olmaması durumunda taban suyunu yükseltmesine bağlı olarak verimde meydana getirdiği düşmelere ek olarak iyi drenaj şartlarında toprağın yıkanması gibi diğer bir olumsuz etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Bu yüzden verim bakımından yakın değerler içinden drenajı en düşük tutan aralık ve derinliklerin seçimine özen gösterilmiştir.

Yapılan geniş kapsamlı simülasyon ve analizler sonucunda yukarıda belirtilen etkenler de göz önünde bulundurularak mısır ve soya fasulyesi için sulamasız şartlarda en uygun dren aralığı ve dren derinliği sırasıyla, 50 m ve 1.00 m olarak, sulama uygulamalarında ise 30 m. ve 1,25 m. olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma ile, Bursa-Yenişehir ovası Marmaracık gölü kurutma alanında DRAINMOD simülasyon modeli kullanılarak optimum drenaj parametrelerinin belirlenebileceği gösterilmeye çalışılmış, sulama stratejileri ve su yönetim sistemlerinin planlanması açısından da bir rehber olması hedeflenmiştir.

Ayrıca ileriye yönelik olarak, sadece verimi optimum kılan dren aralık ve derinliklerinin değil, karlılığı da dikkate alacak ekonomik analizlerin de yapılması ve buna göre karı optimum kılan dren aralık ve derinliklerinin seçilmesinin daha doğru olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

ADDISCOT, T.M., and R.J. WAGENET. 1985. Concepts of Solute Leaching in Soils: A Review of Modeling Approaches. J. Soil Sci. 36: 411-424.

AHUJA. L. R., W.J. RAWLS, D. R. NIELSEN, and R. D.WILLIAMS. 1999. Determining soil hydraulic properties and their field variability from simpler measurements. 1185-1212. In R.W.Skaggs and J.van Schilfgaarde (ed.) Agricultural drainage. Argon. Monogr. 38. ASA, CSSA. And SSSA. Madison, WI.

AMOOZEGAR. A., and G.V.WILSON. 1999. Methods for measuring hydraulic conductivity and drainable porosity. P. 1127-1183. In R.W.Skaggs and J.van Schilfgaarde (ed.) Agricultural drainage. Argon. Monogr.38.ASA.CSSA, and SSSA.Madison.WI.

AMATYA, D.M., SKAGGS, R.W. and GREGORY, J.D., 1995. Comparison of Methods of Estimating REF-ET. ASCE J. Irrig. Drain. Eng., 121(6): 427-435.

AMATYA, D.M., SKAGGS, R.W. and GREGORY, J.D., 1997. Evaluation of A Watershed Scale Forest Hydrology Model. Agric. Water Manage. 32: 32-258.

ANONİM, 2004. Bursa-Yenişehir Meteoroloji İstasyonu Uzun Yıllar İklim Rasatları. DMİ Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı kayıtları. Ankara.

ANONİM, 2006a. <http://www.zmo.org.tr/etkinlikler/6tk05/013rizakanber.pdf>. Erişim Tarihi: 20.09.2006. Konu: Sulama, Drenaj ve Tuzluluk.

ANONİM, 2006b.http://www.khgm.gov.tr/ENVANTER/En_ToprakSu.mht. Erişim Tarihi: 20.12.2006. Konu: Türkiye Sulama ve Drenaj Envanteri.

ANONİM, 2006c. <http://ysehirmyo.uludag.edu.tr/html/yenisehirhakkinda.htm>. Erişim Tarihi: 28.10.2006, Yenişehir Hakkında.

ANONİM, 2006d. www.byenisehir.com/main2.asp - 31k Erişim Tarihi: 22.12.2006. Konu: Yenişehir Coğrafi Konum.

ANONİM, 2006e. <http://www.meteor.gov.tr/2006/zirai/zirai-calismalar.aspx?subPg=e>. Erişim Tarihi : 12.10.2006. Konu: Türkiye İklimi.

ANONİM, 2007. Drainage. <http://en.wikipedia.org/wiki/Drainage>. Erişim Tarihi : 04.01.2007. Konu: Drainage.

ATALAY, İ. 1994. Türkiye Coğrafyası. Ege Üniversitesi Yayınları.

BAHÇECİ, İ. 1984. Konya Ovası Kapalı Drenaj Projeleme Kriterleri. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel No.96, Rapor Seri No.78, Konya, 39 s.

BELMANS, C., J. G. WESSELING, and R. A. FEDDES, 1983. Simulation Model of the Water Balance of a Cropped Soil: SWATRE. *J. Hydrol.* 63: 271–286.

BIGGER J. W., R. J. WAGENET, J. L. HUTSON and D. E. ROLSTON. 1990. Predicting Soil Profile Salinity using LEACHMS. p. 157-164. In. Proc. Symp. Land Drain. Salinity Control in Arid and Semi-Arid Regions, Vol.2, Cairo, Egypt. 25 February-2 March. Drain. Res. Inst., Water Res. Center, Cairo, Egypt.

BRAVO, N. J. And G. O. SCHWAB. 1977. Effect of Openings on inflow into Corrugated Drains. *Transaction of the ASAE*, 20(1): 100-104.

BREVE, M.A., R.W. SKAGGS, H. KANDHIL, J. E. PARSONS, and J. W. GILLIAM. 1994. Prediction of Nitrogen Losses Via Drainage Water with DRAINMOD-N. P. 120-130. In. K.L. Campbell et al. (ed.) Proc. 2nd Conf. Environ. Sound Agric., Orlando, FL. 20-22 April. ASAE, St. Joseph, MI.

BRONSWIJK, J. J. B. 1988. Effects of Swelling and Shrinkage on the calculation of Water Balance and Water Transport in Clay Soils. *Agric. Water Manage.* 27:125–142.

BRONSWIJK, J. J. B., J. E. GROENENBERG, C. J. RITSEMA, A. L. M. VAN WIJK, and K. NUGROHO. 1995. Evaluation of Water Management Strategies for Acid Sulphate Soil Using a Simulation Model: A Case Study in Indonesia. *Agric. Water Manage.* 27: 125–142.

BRONSWIJK, J. J. B., K NUGROHO, I. B. ARIBAWA, J. E. GROENENBERG, and C.J. RITSEMA. 1993. Modeling of Oxygen Transport and Pyrite Oxidation in Acid Sulphate Soils. *J. Environ. Qual.* 22: 544–554.

BUITENDIJK, J. 1984. FLOWEX: A Numerical Model for Simulation of Vertical Flow of Moisture in Unsaturated Layered Soils. Nota 1494. (In Dutch.) Inst Land Water Manage. Res., Wageningen, the Netherlands.

CHANG, A. C., SKAGGS R. W., HERMSMEIER, L. F., JOHNSON, W. R. 1983. Evaluation of a Water Management Model for Irrigated Agriculture. *Trans. ASAE* 26(2), 412–418.

CHIANG, C.T.,R.S. BROUGHTON, and N.FOROUD. 1978. Drainage rates and water table depths. *J.Irrig. Drain. Div. (ASCE)* 104 (IR4): 413-433.

CHUNG, S. O., A. D. WARD, and C. W. SCHALK. 1992. Evaluation of the Hydrologic Component of the ADAPT Water Table Management Model. *Trans. ASAE* 35: 571–579.

ÇİZİKÇİ, S., B. SÖNMEZ, İ.K. ERSÖZ, K. AVCI, N. ÖZER. 2001. Drainmod Simülasyon Modeli ile Drenaj Sistem Parametrelerinin Planlanması. T.C. KHGM, APK

Dair. Bař. Toprak ve Su Kaynakları Araç. Ens. řb. Md. Yayın no: 119. s.115–130. Ankara.

DE LAAT, P. J. M., R. H. C. M. ATWATER, and P. J.T. van BAKEL. 1981. GELGAM- A Model for Regional Water Management. P. 25–53. In Proc. Tech. Meet. 37. Versl. Meded. Comm. Hydrol. Onderz. TN027. The Hague, Netherlands.

DEMİR, A. O. 1989. Bazı Kararlı Akış Drenaj Eşitliklerinin Model Denemeleri ile Kendi İçerisinde Karşılaştırılması. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel No.23, Rapor Seri No.20, Erzurum, 59 s.

DEMİR, A. O. 2001. Drenaj ve Arazi Islahı. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Ders Notları No: 86. Bursa.

DESMOND, E. D., A. D. WARD, N. R. FAUSEY, and S. R. WORKMAN. 1996. Comparison of Daily Water Table depth Predictions by Four Simulation Models. Trans. ASAE 39: 111-118.

ERNST, L. F. 1975. Formulae for Groundwater Flow in Areas with Subirrigation by means of open Conduits with a Raised water Level. Misc. Reprint 178. Inst. Land Water Management Res., Wageningen, The Netherlands.

EVANS, R.O. ve SKAGGS R.W. 1992. Evaluation of Stress Day Index Model to Predict Corn and Soybean Yield Response to Soil-Water Stresses. Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University.

EVANS, R. O. VE SKAGGS R. W. 1993. Stres Day Index Model to Predict Corn and Soybean Yield Response to Water Table Management. Transactions of Workshop on Sunsurface Drainage Simulation Models, 15th Int. Congress ICID, the Hague. p. 219–234.

EVANS, R.O. VE SKAGGS R.W., GILLIAM, J.W., 1995. Controlled Versus Conventional Drainage Effects on Water Quality. J. Irrigation Drainage Eng. ASCE 121 (4): 271–276.

EVANS, R.O., and N.R.FAUSEY. 1999. Effects of inadewuate drainage on crop growth and yields. P. 13-54, In R.W.Skaggs and J.van Schifgaarde (ed.) Agricultural drainage. Argon. Monogr. 38. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

FAO. 1992. CROPWAT-A Computer Program for Irrigation Planning and Management. FAO Irrigation and Drainage Paper no.46. Food and Agriculture Organization, Rome.

FAO. 2000. Crops and Drops. Making the Best Use of Water for Agriculture: Production and Food Security. Agrifor. U.K.

FEDDES, R. A. 1987. Simulating Water Management and Crop Production with the SWACRO-Model. P. A27-A40. In Proc. 3rd Int. Workshop land Drain., Columbus, OH. 7–11 december. Dep. Agric. Eng., ohio State Univ., Columbus, OH.

- FEDDES, R. A., and A. I. M. VAN WIJK. 1990. Dynamic Land Capability Model: A Case History. *Phil. Trans. R. Soc. (London)* 329: 411–419.
- FEDDES, R. A., J. G. WESSELING, and H. ZARADNY. 1978. Simulation of Water use and Crop Yield. *Simulation Monogr. PUDOC, Wageningen*.
- FOUSS, J. L., R. L. BENGSTON, and C. E. CARTER. 1987. Simulation Subsurface Drainage in the Lower Mississippi Valley with DRAINMOD. *Trans. ASAE* 30: 1679–1688.
- GREEN, W. H. and G. AMPT. 1911. Studies of Soil Physics, Part I.-The Flow of Air and Water Through Soils. *J. Agricultural Science* 4:1-24.
- HEATWOLE, C. D., K. L. CAMPBELL, and A. B. BOTTCHER. 1987. Modified CREAMS Hydrology Model for Coastal Plain Flatwoods. *Trans ASAE* 30: 1014–1022.
- HILER, E. A. 1969. Quantitative Evaluation of Crop Drainage Requirements. *Trans. ASAE*, 12: (3) 499–505.
- JENSEN, M. E., R. D. BURMAN, and R. G. ALLEN. 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water requirements. ASCE Manual Rep. Eng Practice no. 70. ASCE, New York.
- JOHNSON, K. E., H. H. LIU, J. H. DANE, L. R. AHUJA and S. R. WORKMAN. 1995. Simulating Fluctuating Water Tables and Tile Drainage with A Modified Root Zone Water Quality Model and A New Model WAFLOWM. *Trans. ASAE* 38: 75–83.
- KABAT, P. 1989. Water In the Unsaturated Zone. 29th Int. Course on Land Drainage. p.64. Wageningen-the Netherlands.
- KABAT, P., and M.J.D. HACK-TEN BROKE. 1989. Input data for agro hydrological simulation models: Some parameter estimation techniques. P. 45-62. In H.A.J. van Lanen and A.K.Bregt (ed.) Application of computerized EC soil map and climate data. Comm. Europ.Commun.Rep.EUR 12039 En.Direc.-Generale Agric., Luxembourg.
- KANDIL, H. M. 1992. DRAINMOD-S: A Water Management Model for Irrigated Arid Lands. Ph. D. Diss. North Carolina State Univ., Raleigh, NC.
- KANDIL, H., C. T. MILLER, and R. W. SKAGGS. 1992. Modeling Long-Term Solute Transport in Drained Unsaturated Zones. *Water Resour. Res.* 28: 2799–2809.
- KANDIL, H. M., R. W. SKAGGS, S. ABDEL DAYEM, and Y. AIAD. 1995. DRAINMOD-S: Water Management Model for Irrigated Arid Lands, Crop Yield and Applications. *Irrig. Drain. Syst.* 9: 239-258.

KARA, T., ARSLAN, H., 2004. Bafra Ovası Sulama Alanında Tabansuyu ve Tuzluluk Araştırması. Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. DSİ Genel Müdürlüğü, 20–21 Mayıs, 2004, Ankara, s.89–96.

KARVONEN , T. 1988. A Model for Predicting the Effects of Drainage on Soil Moisture, Soil Temperature and Crop Yield. Ph. D. Diss. Helsinki Univ. Technol., Helsinki, Finland.

KARVONEN, T., and R. W. SKAGGS. 1993. Comparison of Different Methods for Computing Drainage Water Quantity and Quality. p. 201-218. In. E. Lorre (ed.) Trans. Workshop on Subsurface Drain. Simulation Models, 15th Int. Congress. ICID, The Hague.

KIRKHAM, D., 1957. Theory of land drainage. In: Drainage of Agricultural Lands, Agronomy Monograph No.7, American Society of Agronomy, Madison WI, USA.

KIRKHAM, D. 1958. Seepage of Steady Rainfall Through Soil into Drains. American Geophysical Union Transactions 39:892-908.

KONYHA, K. D., and R. W. SKAGGS. 1992. A Coupled Field Hydrology-Open Channel Flow Model: Theory. Trans. ASAE 35: 1431–1440.

KONYHA, K.D., SKAGGS, R.W. and GILLIAM, J.W., 1992. Effects of Drainage and Water Management Practices on Hydrology. J. Irrig. Drain. Eng., 118(5): 807-819.

KUMOVA Y., YARPUZLU A. 1987. Drenaj Boru ve Zarf Malzemelerinin Arazi Koşullarında Karşılaştırılması. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel No.140, Rap. Seri No. 81, Tarsus, 48 s.

LESAFFRE, B., and D. ZIMMER. 1988. Subsurface Drainage Peak Flows in Shallow Soils. J. Irrig. Drain. Eng. 114: 387-406.

LUTHIN, J. N. 1978. Drainage Engineering. Robert E. Krieger Publ. Co., Huntington, NY.

MAAS, E.V., and S.R.GRATTAN. 1999. Crop yields as affected by salinity. P. 55-108. In R.W.Skaggs and J.van Schilfgaarde (ed.) Agricultural drainage. Argon.Monogr.38. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

MAAS, E.V., and G.J.HOFFMAN. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. J.Irrig. Drain.Div. (ASCE) 103 (IR2): 115-134.

McCARTY, E. J., J. W. FLEWELLING, and R. W. SKAGGS. 1992. Hydologic Model for Drainaged Watershed. J. Irrig. Drain. 118: 242–255.

ÖZER, N., ASLAN, C. 2004. Tarımsal Drenaj Çalışmaları, Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu Bildiriler Kitabı., 20-21 Mayıs 2004, Ankara, s. 59-68.

PARSONS, J. E., R. W. SKAGGS, and C. W. DOTY. 1987. Application of a Three Dimensional Water Management Model. Trans. ASAE 30: 960–968.

PARSONS, J. E., R. W. SKAGGS, and C. W. DOTY. 1991a. Development and Testing of a Water Management Simulation Model (WATRCOM): Development. Trans. ASAE 34: 120–128.

PARSONS, J. E., R. W. SKAGGS, and C. W. DOTY. 1991b. Development and Testing of a Water Management Simulation Model (WATRCOM): Field Testing. Trans ASAE 34: 1674–1682.

PIKUL, M. F., R. L. STREET, and I. REMSON. 1974. A Numerical Model Based on Coupled One-Dimensional Richards and Boussinesq Equations. Water Resour. Res. 10: 2953–02.

QUERNER, E. P. 1984. Program FEMSAT. Part 1. Calculation Method for Steady and Unsteady Ground Water Flow. Inst. Land. Water Manage. Res. Nota 1557. ICW, Wageningen, The Netherlands.

REYES, M. R., R. L. BENGSTON, J. L. FOUSS, and J. S. ROGERS. 1993. GLEAMS Hydrology Submodel Modified for Shallow Water Table Conditions. Trans. ASAE 36: 1771–1778.

SABBAGH, G. J., R. L. BENGSTON, and J. L. FOUSS. 1991. Modification of EPIC to Incorporate Drainage Systems. Trans ASAE 34: 467–472.

SEYMOUR, R. M. 1986. Corn Yield Response to Planting Date in Eastern North Carolina. M.s Thesis. NC State University Raleigh.

SHARMA, D. P., RAO, K.V.G.K., SINGH, K.N., KUMBHARE, P.S. 1993. Management of Subsurface Saline Drainage Water. Indian Farming 43 15±19.

SHARMA, D.P., RAO, K.V.G.K., SINGH, K.N., KUMBHARE, P.S. 1994. Conjunctive Use of Saline and Non-Saline Irrigation Waters in Semi-Arid Regions. Irrig. Sci. 15 25±33.

SHAW, R. H. 1978. Calculation of Soil Moisture and Stress Conditions in 1976 and 1977. Iowa State J. Res. 53: 1191–27.

SIMUNEK, J., T. VOGEL, and M. TH. VAN GENUCHTEN. 1994a. The SWMS_2D Code for Simulating Water Flow and Solute Transport in Two-Dimensional variably Saturated Media. Res. Rep. No. 132. U.S. Salinity Lab., USDA-ARS, Riverside, CA.

SIMUNEK, J., and M. TH. VAN GENUCHTEN. 1994b. The CHAIN_2d Simulating the Two-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in variably Saturated Porous Media, version 1.1. Res. Rep. No. 136. U.S. Salinity Lab., USDA-ARS, Riverside, CA.

SINGH, P., R. KANWAR. 1995. Modification of RZWQM for Simulation Subsurface Drainage by Adding a Tile Flow Component. Trans. ASAE 38: 489–498.

SKAGGS, R. W. 1974. The Effect of Surface Drainage on Water Table Response to Rainfall. Trans ASAE 17: 406-411.

SKAGGS R. W. 1976. Evaluation of Drainage-Water Table Control Systems using A Water Management Model. P. 61-68. In proc. 3rd Natl. Drain. Symp., Chicago. 13-14 December. ASAE, St Joseph, MI.

SKAGGS, R. W., 1978. A Water Management Model for Shallow Water Table Soils. Raleigh, N.C.: Water Resources Institute, University of North Carolina.

SKAGGS, R. W., 1980. DRAINMOD Reference Report : Methods for Design and Evaluation of Drainage Water Management Systems for Soils with High Water Tables. USDA-SCS South National Technical Center, Fort Worth, TX.

SKAGGS, R. W., 1982. Field Evaluation of Water Management Simulation Model. Trans. ASAE, 25 (3) : 666-674

SKAGGS, R. W., 1990. DRAINMOD User Manual. Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695.

SKAGGS, R. W., 1999. Drainage Simulation Models. In: Skaggs, R. W., Van Schilfgaarde, J., (Eds.), Agricultural Drainage. Argon. Monogr. 38, ASA CSSA, and SSSA, Madison, WI, pp. 461–492.

SKAGGS, R. W., 2001. DRAINMOD Manual-Handout from DRAINMOD training. In: Proceedings of the ASAE International Meeting, Sacramento.

SKAGGS, R. W., M. A. BREVE, and J. W. GILLIAM. 1995. Predicting Effects of Water Table Management on Loss of Nitrogen from Poorly Drainaged Soils. Europ. J. Argon. 4: 441–451.

SKAGGS, R. W., N. R. FAUSEY, and B. N. NOLTE. 1981. Water Management Evaluation for North Central Ohio. Trans. ASAE 24: 922–928.

SÖNMEZ, B., 2004. Türkiye’de Çorak Islahı Araştırmaları ve Tuzlu Toprakların Yönetimi. Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 20-21 Mayıs, 2004, Ankara, s.157-162.

TEKİNEL, O., KANBER, R. 1987. Sulamada Tuzluluk ve Drenaj. Ç.Ü. Zir. Fak. Seri Konf. Osmaniye, 9 s.

- THORNTHWAITE, C.W., 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Geogr. Rev.* 38, 55–94.
- VAN BAKEL, P. J. T. 1986. A Systematic Approach to Improve Planning, Design and Operation of Regional Surface Water Management Systems : A Case Study Inst. Land Water Manage. Res. Rep. 13. ICW, Wageningen, Netherlands.
- VAN SCHILFGAARDE, J. 1965. Transient Design of Drainage Systems. *J Irrig. Drain. Div. ASCE*, 91(IR3): 9–22.
- VAN WIJK , A.L.M. 1987. Modeling the Effects of Drainage and Soils on Workability of Arable Land and on Bearing Capacity of Pasture. P. A139-A151. In. Proc. 3rd Int. Workshop land Drain., Columbus, OH. 7–11 December. Dep. Agric. Eng., ohio State Univ., Columbus, OH.
- WAGENET, R.J., and J. L. HUTSON. 1987. LEACHM, Leaching Estimation and Chemistry Models. Contin. Vol. 2. *Water Resour. Res. Inst.*, Cornell Univ. Ithaca, NY.
- WAHBA, M.A.S., EL-GANAINY, M., ABDEL-DAYEM, M.S., KANDHIL, H., GOBRAN, A. 2002. Evaluation of DRAINMOD for Simulating Water Table Management under Semi-Arid Conditions. *Irrig. Drain.* 51, 213–226.
- WANG, X., MOSLEY, C.T., FRANKENBERGER, J.R., KLADIVKO, E.J. 2006. Subsurface Drain Flow and Crop Yield Predictions for Different Drain Spacings using DRAINMOD. *Agric. Water Manage* 79(2), 113-136.
- WIND, G.P. 1979. Analog Modeling of Transient Moisture Flow in Unsaturated Soil. P. 1–54. In *Agriculture. Argon. Monogr.* 17. ASA, Madison, WI.
- WORKMAN, S.R., and R.W. SKAGGS, 1989. Comparison of two Drainage Simulation Models using Field Data Trans. *ASAE* 32:1933-1938.
- WORKMAN, S.R., and R.W. SKAGGS. 1990. PREFLO: A Water management Model capable of Simulating Preferential Flow. *Tans. ASAE* 33: 1939–1948.
- WORKMAN, S.R., and R.W. SKAGGS. 1991. Evaluation of the Water Management Model PREFLO. *Trans ASAE* 34: 2053–2059.
- YANG, C.C., PRASHER, S.O., WANG, S., KIM, S.H., TAN, C.S., DRURY, C., RAMANBHAI, MP. 2006. Simulation of Nitrate-N Movement in Southern Ontario, Canada with DRAINMOD-N. *Agricultural Water Management*, AGWAT-2336, p.8.
- YARPUZLU, A., DOĞAN, D., 1986. Tarsus Havzası Kapalı Drenaj Projeleme Kriterleri. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel No. 115, Rap. Seri No.65, Tarsus 37s.

YOUNG, T.C., and J.T. LIGON. 1972. Water Table and Soil Moisture Probabilites with Tile Drainage. Trans. ASAE 15: 448–451.

YOUNGS, E.G., 1991. A Note on the Power-Law Land Drainage Equation for Deep Soils. J. Agric. Eng. Res. 49: 161–163.

ZIMMER, D., E. LORRE, and B. LESAFFRE. 1995. Parameter Sensitivity and Field Evaluation of SIDRA Model. Irrig. Drain. Syst. 9: 279–296.

TEŞEKKÜR

Öncelikle lisansüstü eğitimim için olanak sağlayan U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne ve Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalına, bu çalışmanın hazırlanmasında başından beri tüm bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen sayın bölüm başkanı ve danışmanım Prof. Dr. Ali Osman Demir' e, Tarımsal Yapılar ve Sulama bölümünden tez savunma sınavı jüri üyeleri; Yrd. Doç. Dr. Hakan Büyükcangaz, Dr. Senih Yazgan'a ve Toprak bölümünden Yrd. Doç. Dr. Zeynal Tümsavaş'a, Tarımsal Yapılar ve Sulama bölümü öğretim elemanlarına, DRAINMOD programını kullanmam için lisans veren NC State Üniversitesi Biyoloji ve Ziraat Mühendisliği bölümünden Dr. R. Wayne Skaggs'a, DRAINMOD'un uzun yıllar iklim verilerinin sağlanmasında ve veri girişinde yardım eden DMI Genel Müdürlüğünde görevli tekniker Adem Altıntaş ve Yenişehir Meteoroloji İstasyon müdürlüğünde görevli ziraat mühendisi T.Engin Aldemir'e, her zaman eğitim hayatımda destek olan aileme teşekkür ederim.

Hüseyin İLHAN

Şubat - 2007

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Banaz' da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Büyükorhan ilk öğretim okulunda tamamladı. Liseyi Ankara Anadolu Meteoroloji Meslek Lisesinde okudu. 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümünden mezun oldu. Şu an Yenişehir Meteoroloji İstasyon Müdürlüğünde görev yapmaktadır.