

**SÜREKLİ SOLMA NOKTASININ TAYİNİNDE
YENİ BİR YAKLAŞIM:
DİFÜZYON- TOPRAK NEM İLİŞKİSİ**

**Hatice Kübra TAMSA
Yüksek Lisans Tezi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Fatih KONUKCU
2013**

**T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜREKLİ SOLMA NOKTASININ NEM TAYİNİNDE
YENİ BİR YAKLAŞIM: DİFÜZYON- TOPRAK NEM İLİŞKİSİ**

Hatice Kübra TAMSA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL YAPILAR ve SULAMA ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Fatih KONUKCU

TEKİRDAĞ-2013

Her hakkı saklıdır.

Prof. Dr. Fatih KONUKCU danışmanlığında, Hatice Kübra TAMSA tarafından hazırlanan “Sürekli Solma Noktasının Nem Tayininde Yeni Bir Yaklaşım: Difüzyon- Toprak Nem İlişkisi ” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’ (Tarımsal Yapılar ve Sulama Yüksek Lisans Programı)’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Aydın ADİLOĞLU (Jüri Başkanı) :

İmza :

Prof. Dr. Fatih KONUKCU (Danışman):

İmza :

Doç. Dr. Tolga ERDEM (Üye)

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

Bu tez, Namık Kemal Üniversitesi BAP tarafından (NKUBAP 2010/02) desteklenmiştir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SÜREKLİ SOLMA NOKTASININ NEM TAYİNİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM: DİFÜZYON- TOPRAK NEM İLİŞKİSİ

Hatice Kübra TAMSA

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Bu çalışmanın amacı difüzyon-toprak nem ilişkisine bağlı olarak toprakların sürekli solma noktası (PWP) değerlerini matematiksel olarak açıklamak ve model ile simüle edilen PWP verilerini, biyolojik yöntemle (denemelerle sonuçları) ve laboratuvar yöntemiyle (basınç levhasında -15Atm'e karşılık gelen nem içeriği) ölçülen PWP değerleri ile karşılaştırarak modeli test etmektir. Modelleme çalışmalarında, toprak nem içeriğine karşı, i) toplam nem difüzyonu (D), ii) sıvı (Dl)-buhar (Dv) fazları nem difüzyonu ve iii) Dv/D eğrileri oluşturulmuştur. Bu grafikler üzerinde, D eğrisinde rölatif minimum nokta, Dl-Dv eğrilerinin kesişim noktası ve Dv/D eğrisinde oranın 1 olduğu minimum nem içeriği PWP olarak. Yıl 2011'de killi tın (CL) ve kumlu killi tın (SCL) toprak ile, buğdayda kardeşlenme sonrası ve sapa kalkama sonrası; ayçiçeği bitkisinde ise vejetatif gelişme sonrası ve tabla oluşumu sonrası dönemlerde bitkilere su stresine maruz bırakılmış ve ölümlerin gerçekleştiği PWP'ler saksılarda klorofil ölçümleri ile belirlenmiştir. Deneysel yöntemle elde edilen solma noktası değerleri killi tın toprakta her iki bitki için de % 7,5; kumlu killi tın toprakta ise buğdayda her iki gelişme periyodunda da % 5,5; ayçiçeğinde ise vejetatif gelişme sonrasında % 6, tabla oluşumu sonrasında % 6,8 olarak belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, D eğrisindeki rölatif minimum değer ile Dl-Dv eğrilerinin kesişim noktası değerleri aynı olup CL için %7, SCL için %5; Dv/D eğrisindeki maksimum değer ise CL ve SCL için sırasıyla %4 ve %3 olarak tespit edilmiştir. Buna göre D'deki rölatif minimum değer veya Dl-Dv eğrilerinin kesişim noktası ölçülen biyolojik verilerle çok iyi bir uyum göstermiştir. Laboratuvarda bulunan PWP değerleri (CL: 21,35; SCL: 15,74) ise hem biyolojik hem de simülasyon değerlerinden çok büyüktür.

Anahtar kelimeler: Biyolojik yöntem, laboratuvar yöntemi, matematiksel modelleme, buğday, ayçiçeği

2013, 35 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

A NEW APPROACH IN THE DETERMINATION PERMANENT WILTING POINT: SOIL WATER DIFFUSION RELATIONSHIP

Hatice Kübra TAMSA

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural

Supervisor: Prof. Dr. Fatih KONUKCU

The objectives of this research were to define the permanent wilting point (PWP) theoretically from diffusion-soil moisture relationship and to test the MODEL with the biological (real field trail) and laboratory (corresponding moisture content at pressure plate value of -15 Atm) methods. In modelling studies, against soil moisture i) total water diffusion (D), ii) liquid (DI) versus vapour (Dv) diffusion and iii) Dv/D curves were formed. The relative minimum point on D, crossing point on DI-Dv and minimum moisture content point where Dv/D became 1 were accepted as PWP. As for the biological method, PWP were observed in 2011 by pot trails in clay loam and sandy clay loam soils for wheat (following tillering and stem elongation stages) and sunflower (following miniature terminal bud and %50 flowering stages) by chlorophyll measurements. Experimental PWP values for CL were the same for both plants, 7,5% whereas they were 5,5% for both stages of wheat and 6% and 6,8% for miniature terminal bud and %50 flowering stages of sunflower, respectively, in SCL soils. As for the simulation results, the relative minimum point on D and crossing point on DI-Dv curves were the same, 7% and 5% for CL and SCL, respectively while the maximum water contents on Dv/D curves, where the ratio became 1, were 4% and 3%, respectively for CL and SCL. This showed that the relative minimum point on D or crossing point on DI-Dv curves could be accepted as PWP since they were in good agreement with the biological results. However, the laboratory results of 21,35% and 15,74% for CL and SCL were significantly greater than of both simulation and biological methods.

Keywords : Biological method, laboratory method, mathematical modelling, wheat, sunflower

2013, 35 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca engin bilgi ve deneyimlerini esirgemeyerek eğitim hayatıma bambaşka bir bakış açısı kazandıran, karşılaştığım tüm zorluklarda ilgi ve anlayışıyla daima destek olan, gerek bilimsel anlamda gerekse hayata dair öğrettikleriyle her zaman yoluma ışık tutan değerli danışman hocam Prof. Dr. Fatih KONUKCU'ya en derin şükranlarımı sunarım. Laboratuvar ve tarla çalışmalarımnda yardımcı olan proje ekibine, Araş. Gör. Dr. Alpay BALKAN ve Araş. Gör. Dr. Erhan GEZER'e; manevi desteklerinden dolayı çalışma arkadaşım Zir. Müh. Vasfiye ILIKPINAR' a; bu konuma gelmemde büyük emekleri olan hocalarıma, hayatımın her safhasında yanımda olup, attığım her adımda desteğini, anlayış ve sevgisini eksik etmeyen aileme yürekten teşekkür ederim.

Bu çalışma Namık Kemal Üniversitesi BAP biriminin desteği ile gerçekleştirilmiştir, şükranlarımı sunarım.

Hatice Kübra TAMSA

Şubat 2013

İÇİNDEKİLER

Sayfa

	No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MATERYAL ve METOT.....	8
3.1. Materyal.....	8
3.1.1. Araştırma Alanının Tanımı.....	8
3.1.2. Araştırma Alanının İklim Özellikleri.....	9
3.1.3. Araştırmada Kullanılan Toprak.....	10
3.1.4. Bitkiler.....	11
3.1.5. Sulama Suyu.....	11
3.1.6. Deneme Ortamı.....	11
3.1.7. Klorofilmetre.....	11
3.2. Metot.....	13
3.2.1. Deneme toprağının hazırlanması ve saksılara doldurulması.....	13
3.2.2. Sulamalar, stres uygulamaları ve nem takibi.....	13
3.2.3. Klorofilmetre ölçümleri.....	14
3.2.4. Deneme konuları.....	14
3.2.5. Sürekli solma noktası tayininde teorik yaklaşım ve matematiksel modelleme.....	15
3.2.6. Sonuçların karşılaştırılması.....	16
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	17
4.1. Laboratuvar Yöntemine Göre Sürekli Solma Noktası.....	17
4.2. Biyolojik Yöntemle Belirlenen Sürekli Solma Noktası.....	17
4.2.1. Killi tın toprak ile buğdayda kardeşlenme sonrası sürekli solma noktası.....	17
4.2.2. Killi tın toprak ile buğdayda sapa kalkma sonrası sürekli solma noktası.....	17
4.2.3. Kumlu killi tın toprak ile buğdayda kardeşlenme sonrası sürekli solma noktası.....	19
4.2.4. Kumlu killi tın toprak ile buğdayda sapa kalkma sonrası sürekli solma noktası.....	19

4.2.5. Killi tın toprak ile ayçiçeğinde vejetatif gelişme sonrası sürekli solma noktası.....	20
4.2.6. Killi tın toprak ile ayçiçeğinde tabla oluşumu sonrası sürekli solma noktası.....	21
4.2.7. Kumlu killi tın toprak ile ayçiçeğinde vejetatif gelişme sonrası sürekli solma noktası.....	22
4.2.8. Kumlu killi tın toprak ile ayçiçeği tabla oluşumu sonrası sürekli solma noktası.....	22
4.3. Matematiksel Modelleme İle Sürekli Solma Noktası Simülasyonu.....	24
4.3.1. Killi tın toprağın matematiksel modellemeyle sürekli solma noktası simülasyonu.....	24
4.3.2. Kumlu kil tın toprağın matematiksel modellemeyle sürekli solma noktasının simülasyonu.....	27
4.4. Sonuçların Karşılaştırması.	29
5. SONUÇLAR.....	31
6. YARARLANILAN KAYNAKLAR.....	32
ÖZGEÇMİŞ.....	35

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

No

Şekil 3.1. Deneme alanının Google Earth paket programından elde edilen fotoğrafı.....	8
Şekil 3.2. Tekirdağ ili Google Earth paket programından elde edilen fotoğrafı.....	9
Şekil 3.3. Denemede kullanılan karışım toprak ve poşetlere doldurulmuş hali.....	10
Şekil 3.4. Deneme ortamı olarak kullanılan plastik örtünün dıştan ve içten görünümü....	12
Şekil 3.5. Klorofilmetre ile ölçümün yapılması.....	12
Şekil 3.6. Kumlu tınlı tekstürünün su içeriğine karşılık buhar difüzyonu (D_v) / toplam difüzyon (D) oranındaki değişimi (Konukcu et al. 2004).....	16
Şekil 4.1. Killi tın toprakta kardeşlenme sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli buğday bitkilerinde klorofil değişimi.....	18
Şekil 4.2. Killi tın toprakta sapa kalkma sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli buğday bitkilerinde klorofil değişimi.....	18
Şekil 4.3. Kumlu killi tın toprakta kardeşlenme sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli buğday bitkilerinde klorofil değişimi.....	19
Şekil 4.4. Kumlu killi tın toprakta sapa kalkma sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli buğday bitkilerinde klorofil değişimi.....	20
Şekil 4.5. Killi tın toprakta vejetatif gelişme sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli ayçiçeği bitkilerinde klorofil değişimi.....	21
Şekil 4.6. Killi tın toprakta tabla oluşumu sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli ayçiçeği klorofil değişimi.....	22
Şekil 4.7. Kumlu killi tın toprakta vejetatif gelişme sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli ayçiçeği bitkilerinde klorofil değişimi.....	23
Şekil 4.8. Kumlu killi tın toprakta tabla oluşumu sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli ayçiçeği bitkilerinde klorofil değişimi.....	24
Şekil 4.9. Killi tın toprağın hacimsel su içeriğine karşı hesaplanan sıvı (D_l) ve buhar (D_v) fazındaki nem difüzyonu değişimi.....	25
Şekil 4.10. Killi tın toprağın hacimsel su içeriğine karşı hesaplanan toplam difüzyon (D) değişimi.....	26
Şekil 4.11. Killi tınlı toprak tekstürünün su içeriğine karşılık buhar difüzyonu (D_v) / toplam difüzyon (D) oranındaki değişimi.....	26
Şekil 4.12. Kumlu killi tın toprağın hacimsel su içeriğine karşı hesaplanan sıvı (D_l) ve buhar (D_v) fazındaki nem difüzyonu değişimi.....	27

Şekil 4.13. Kumlu killi tın toprağın hacimsel su içeriğine karşı hesaplanan toplam difüzyon (D) değişimi.....	28
Şekil 4.14. Killi tınlı toprak tekstürünün su içeriğine karşılık buhar difüzyonu (Dv) / toplam difüzyon (D) oranındaki değişim.....	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

No

Çizelge 2.1. Bazı toprakların sürekli solma noktaları ve tarla kapasitelerinde hacim yüzdesi olarak içerikleri.....	7
Çizelge 3.1. Deneme alanında ölçülen iklim verileri ve bitki gövdesi sıcaklıkları.....	9
Çizelge 3.2. Deneme alanından alınan toprağın ve karışım toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	10
Çizelge 4.1. Konularına göre laboratuvar, biyolojik ve matematiksel simülasyon yöntemiyle belirlenen solma noktası değerleri.....	29

1. GİRİŞ

Topraktaki su miktarının azalmasıyla birlikte bitkiler önce strese girerler; nem azalması devam ederse ölürlür. Bitkilerin canlılığını kaybetmeye başladığı ve tekrar su verilse bile hayata dönemedikleri minimum toprak nem içeriği sürekli solma noktası olarak tanımlanmaktadır. Sürekli solma noktası konsepti ilk olarak 1912 yılında Brigs ve Shantz (Taiz and Zeiege, 1991) tarafından ortaya atılmıştır. California Davis Üniversitesinden Veihmeyer ve Hendrickson (1928) sürekli solma noktasının bir toprak sabitesi (karakteristiği) olduğunu, çevre şartlarıyla pek ilişkili olmadığını savunmuştur. Richard ise (Taiz and Zeiege, 1991) Sürekli solma noktasını fiziksel olarak -15 atm' lik (veya -15 bar = -1500J/Kg = -150 m su sütunu) emme basıncı veya negatif hidrolik yükte toprağın içerdiği su miktarı olarak tanımlamıştır. Mevcut teoride, topraklarda -15 atmosfer nem tansiyonundan daha büyük bir kuvvetle suyun tutulması (veya toprakta bu tansiyona karşılık gelen su miktarından daha az su bulunması) durumunda bitkilerin bu suyu emerek alamadıkları için öldükleri kabul edilmektedir.

Bu sabit değer hala kabul görmeye birlikte tarla koşullarında herhangi bir toprağın sürekli solma noktası değerinin sabit olmadığı, bitki-toprak-atmosfer şartlarının bir fonksiyonu olarak değiştiği bilinmektedir. Ancak bu değerın matematiksel olarak açıklanması konusunda bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Sürekli solma noktası, sulama miktarı ve zamanının belirlenmesinde ve toprak-bitki atmosfer modellerinin oluşturulmasında ihtiyaç duyulan en temel toprak nem sabiteleri arasında yer almaktadır.

Bu çalışmanın amacı, difüzyon-toprak nem ilişkisine bağlı olarak toprakların sürekli solma noktası değerlerini matematiksel olarak açıklamak ve model ile simüle edilen verileri, ölçülerek elde edilen değerlerle karşılaştırarak modeli test etmektir. Matematiksel model, "bitkilerin ortamda bulunan sıvı fazdaki toprak suyundan veya nem tansiyonundan bağımsız olarak faydalanabileceği ancak gözeneklerdeki sıvı fazdaki suyun yerini buhar fazının almasıyla birlikte kökler vasıtasıyla buhar fazındaki suyu alınamayarak bitkinin öldüğü" hipotezine dayanmaktadır.

Tez çalışması teorik ve deneysel çalışmaları içermektedir. Teorik çalışmalar kapsamında, çalışılan toprak tekstürleri için su içeriği-difüzyon ilişkisi su içeriğine karşılık önce toplam difüzyon ve sonra sıvı ve buhar fazdaki nem difüzyonu açıklanmıştır.

Deneysel alışmalar kapsamında ise buğday ve ayıeği bitkisinin gerçek koşullarda sürekli solma noktası değerleri belirlenmiştir. Deneysel alışmalar ile teorik çalışmalar karşılaştırılmıştır.

Sürekli solma noktasının, fiziksel kuralları temel alan matematiksel modelle hesaplanması, daha sonraki yapılacak toprak nem takibi, bitki su stresi ve toprak-bitki-su atmosfer sistemi ile ilgili çalışmalara ve teknolojik gelişmelere yeni ve farklı bir bakış açısı getirebilir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tüm canlılar gibi bitkilerde hayatını devam ettirebilmeleri için suya ihtiyaç duymaktadırlar. Bitkilerin toprak suyunu alabilmeleri için köklerini toprak profili içinde yaymaları gerekmektedir. Kök yayılımı ise, toprakların köklere gösterdiği direnç, toprak bünyesi ve bitkilerin köklenme karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir. Kök etrafındaki ve köklerin içindeki ozmotik potansiyel gradyanı sayesinde bitkiler kökleri ile toprak suyunu adsorbe edebilmektedirler. Bitkilerin yaprakları ve kökleri arasındaki su potansiyeli gradyanı sayesinde ise su bitki içinde hareket etmektedir. Yaprak buhar basıncı ile atmosferin buhar basıncı arasındaki fark sayesinde de yapraklardan terleme ile su kaybı olmaktadır. Eğer atmosferik talep bitki yapraklarından terleme yolu ile kaybolan su miktarında fazla ise (toprak su içeriğinin düşük olması, toprak profili içinde suyun köklere doğru hareketinin kısıtlı olması veya yaprak su potansiyeli ile toprak su potansiyeli gradyanının düşük olması nedeniyle olabilir), bitkiler su stresine girmekte ve biyolojik aktiviteleri yavaşlatmaktadırlar. Eğer yeterli su sağlanmazsa, bitki hücrelerinin basınç potansiyeli düşecek (turgor kaybı olarak da bilinir), yapraklar sürekli olarak solacak ve en sonunda bitkiler ölecektir (Tolk 2003).

Sürekli solma noktası veya solma noktası bitkilerin solmaya başladığı anda, toprağın içerdiği nem miktarı olarak tanımlanmaktadır. Solma noktasının altında bitkiler topraktan suyu almaya güçleri yetmez ve solmaya başlarlar. Yeniden toprağa su verilse bile bitkiler yaşamına dönemezler. Sürekli solma noktasının fiziksel tanımı ise yaklaşık olarak -15 bar'lık (≈ -15 Atm = 150 m su sütunu) emme basıncı veya negatif hidrolik yük altındaki bir toprağın tuttuğu su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Ancak, solma noktasında toprak neminin gerilimi; evapotranspirasyon hızına, bitki çeşidine, toprağın bünyesine ve tuz içeriğine bağlı olarak 7 – 40 atm arasında değişebilmektedir. Laboratuvar koşullarında toprağın 15 Atm basınç altında tutabildiği nem içeriği, sürekli solma noktası olarak kabul edilmektedir.

Briggs ve Shantz (1912)' göre, bitkilerin, geniş bir su içeriği aralığında solarak öldüğü ilk kez Alman araştırmacılar tarafından 1859 yılında fark edilmiştir. Bitkilerin solarak öldüğü su içeriği değerinin bitkiye göre değişip değişmediğini açıklığa kavuşturmak için Briggs ve Shantz (1912), yarı-kurak iklim koşullarında, birçok toprak tekstürü ve bitki ile çalışmalar yaparak, solma noktalarını tayin etmişlerdir. Araştırmacılar, sürekli solma noktası tanımı yerine "solma katsayısı (wilting coefficient)" terimini kullanmışlardır.

Veihmeyer and Hendrickson (1928), solma noktası için ayçiçeği bitkisini (*Helianthus annuus* L.) indikatör bitki olarak tayin edip, Briggs ve Shantz (1912)' in çalışmalarını devam ettirmişlerdir. Furr and Reeve (1945)'in prosedürü solma noktası tayininde standart ayçiçeği metodu olarak kabul edilmiştir.

Richards (1928), solma noktasında toprakların içerdiği su miktarının toprakların tekstürüne göre değişiklik göstereceğini, nem içeriği yerine nem geriliminin kullanımını önermiştir. Richards (1928)' in önerdiği bu nem tansiyonu değeri (-15 Atm) günümüzde de sulama uygulamalarında başarı ile kullanılmaktadır.

Sürekli solma noktası hakkında Tolk (2003) tarafından bir makale kaleme alınmıştır. Bu makalede sürekli solma noktası ile ilgili temel bilgiler, solma noktasının belirlenmesinde ayçiçeği metodu ve arazi koşullarında solma noktası (biyolojik metot) konularına yer verilmiştir. Yazar, temel bilgiler kısmında, toprak-bitki-atmosfer ortamında, bitkilerin topraktan suyu almasında veya düşük nem içeriğinde solarak ölmesinde birçok faktörün etkili olduğunu bildirmiştir.

Sürekli solma noktası tayinde standart ayçiçeği metodunda, bitkiler transpirasyondan başka su kaybının olmadığı kaplarda yetiştirilmektedir. Bitkilere üçüncül yapraklarını çıkarıncaya kadar yeterli miktarda su verilir ve bu dönemden sonra sulama kesilir. Çıkan yapraklar soluncaya kadar bitkiler atmosferik buharlaşma talebinin düşük olduğu bir ortamda bulundurulur. Yaprakların sürekli olarak solup solmadığından emin olmak için, bitkiler nemli ve karanlık bir odada gece boyunca bekletilir. Eğer yapraklar solgunluğunu muhafaza ediyor ise standart ayçiçeği metodunda amaca ulaşılmış demektir. Solmanın meydana geldiği noktadaki toprak su içeriği veya buna karşılık gelen su potansiyeli (matrik potansiyel, veya nem gerilimi olarak da adlandırılır) belirlenerek ilgili toprağın sürekli solma noktası tayin edilir (Tolk 2003).

Solma noktasına karşılık gelen su içeriğinin matrik potansiyel olarak değerini tespit etmek amacıyla Richards and Weaver (1943) basınçlı drenaj aparatını kullanmışlardır. Araştırmacılar bu amaçla elenmiş 119 üniform toprak örneğini alarak, 15 bar basınç altındaki gözenekli seramik kap veya geçirgen membran çemberinde su içeriğini tayin etmiş ve bulunduğu değerlerin Furr and Reeve (1945)'in standart ayçiçeği metodunda bulunduğu değerlere yakın olduğunu görmüşlerdir.

Gözenekli seramik kap metodu ile toprakların matirik potansiyel-su içeriği ilişkisinin belirlenmesi ayrıntılı olarak Cassel ve Nielsen (1986)' da ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Ratliff et al. (1983) tarla koşullarında biyolojik yönteme göre bitkilerin topraktan su almayı durdurduğu ve strese girerek öldüğü nem içeriklerini takip ederek sürekli solma noktalarını tayin etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada araştırmacılar, bitkilerin yetiştiği gerçek şartlarda ve bitki-toprak-atmosfer interaksiyonunun sağlandığı durumda, sürekli solma noktası hakkında bilgi elde etmeyi amaçlamışlardır. Denemelerinde kontrol olarak tanımlanmış konulara (üniform toprak koşulları, düşük buharlaşma koşulları, üniform kök bölgesi, v.s) yer verilmesi yanında, üniform olmayan kök bölgesi, farklı kök yayma bölgesi, farklı bitki türü, yıllar, buharlaşma interaksiyonuna göre sürekli solma noktası tayini yapılmıştır. Yağışlardan sonraki nem dağılımı, bitki durgunluk döneminin kestirilememesi, üst toprak profilinin kuruması ve üniform olmayan nem dağılımı koşulları çalışmayı bir kat daha zorlaştırmıştır. Çalışmada, önce toprak profili yeteri kadar sulanmış ve bitkilerin yeterince gelişmesi ve kök yayılmasına kavuşması sağlanmıştır. Böylece bitkilerin normal su kullanım paternine ulaşması hedeflenmiştir. Daha sonra sulamalar kesilerek bitkilerin solarak öldüğü noktadaki su içeriği veya nem tansiyonu saptanmıştır. Sürekli solma noktası değerlerinin konulara göre oldukça büyük farklılık gösterdiğini bulmuşlardır.

Ratliff et al. (1983), standart ayçiçeği metodu ve basınç levhası metodu ile elde edilen sürekli solma noktası değerlerinin arazi şartlarında uygulanabilirliğini de araştırmışlardır. Bir çok bitkide, kum, siltli tın ve kumlu killi tın için, basınç levhası yöntemi ile elde edilen değerlerin arazi şartlarında elde edilen değerlerden önemli oranda küçük olduğunu; tın, siltli kil ve kil için ise daha büyük olduğunu bulmuşlardır. Sürekli solma noktasının iklim ve bitkiye has değişebileceği yorumunu yapmışlardır.

Cabelguenne and Debaeke (1998) mısır (*Zea mays L.*), ayçiçeği (*Heliantus annus L.*), sorgum (*Sorghum bicolor L.*) ve kışlık buğday (*Triticum aestivum L.*)' in sürekli solma noktası değerlerinin, derin siltli killi tın topraklarda, öngörülen değerlerin alt sınırlarında değiştiğini; bu değerlerin sadece çalışma yapılan bölgenin iklim şartlarında (veya benzer iklim şartlarında) geçerli olabileceğini vurgulamışlardır.

Savage et al. (1996), sorgum (*Sorghum bicolor L.*) ve pamuk (*Gossypium hirsutum L.*) bitkisinde basınç levhası metodu ile elde edilen sürekli solma noktası değerlerinin arazi şartlarında elde edilen değerlere çok yakın olduğunu sonucuna ulaşmışlardır.

Souza et al. (2000) pamuk bitkisi için kumlu, siltli ve killi toprak bünyeleri için sera şartlarında sürekli solma noktalarını tayin etmiştir. Laboratuvar şartlarında sürekli solma noktası su içeriğini ağırlık yüzdesi olarak %10,94 belirlenirken, sera şartlarında %5,54 olarak belirlenmiştir.

Procopio et al. (2004) killi toprak bünyesi ile saksı koşullarında fasulye (*Faseolus vulvaris L.*) bitkisinin çiçeklenme öncesi ve tane dolumu öncesi dönemde sürekli solma noktasını sırasıyla %15,66 ve %16,65 bulmuştur. Aynı toprak için laboratuvar koşullarında belirlenen değer ise %10,9 olmuştur. Buradan gelişme döneminin sürekli solma noktası üzerine etkisi az olurken belirleme yönteminin etkisinin daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır.

Balland et al. (2008) üç farklı toprağın porozite ve bünye sınıfına göre sürekli solma noktalarının değişimini araştırmış ve kil içeriğine göre değişimin önemli olduğunu bulmuştur. Buna göre kil içeriği %19 ve %13 olan topraklar için sürekli solma noktası değerlerini sırasıyla %10 ve %5 bulmuşlardır.

Al-Rumikhani (2002), yedi yıl boyunca sırasıyla nadas, arpa, mısır, domates, buğday ve yonca ekilerek değerlendirilen ve %76 kil, %17,6 silt ve %6,4 kum fraksiyonlarına sahip toprakta 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 cm toprak profilinde sürekli solma noktası değerlerini %4 ile %7 arasında bulmuştur.

Machado et al. (2005) üç limon çeşidi ile çalışarak, fotosentez gibi bazı fizyolojik faktörlerin de sürekli solma noktası üzerinde önemli etkileri belirtmiştir.

Salvestro et al. (2012) fasulye bitkisi ile sürekli solma noktalarını laboratuvar ve arazi şartlarında belirlemişlerdir. Biyolojik metot olarak adlandırılan arazi yönteminde sürekli solma noktası %18,2 olarak bulunurken laboratuvar şartlarında bulunan sürekli solma noktası değeri %8 ile daha düşük belirlenmiştir.

Çoğu hidrolojik model, toprakların tarla kapasitesi (-0,33 Atm) ve solma noktasına (-15 Atm) karşılık gelen su içeriğine ihtiyaç duymaktadır. Bu iki parametrenin laboratuvar ve tarla şartlarında hassas bir şekilde belirlenmesi, zor, zaman alıcı ve pahalıdır. Üstelik çok sayıda toprak tekstürünü içeren bölgesel çalışmalarda ortalama tarla kapasitesi ve solma noktası değerlerinin kullanılması gerektiğinde, mevcut veriler sınırlı kalabilir. Bu durumda, toprakların rutin tekstür, hacim ağırlığı ve organik madde analizleri sonucu elde edilen verilerden çoklu regresyon yoluyla tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri ucuz, basit fakat

biraz daha az hassas bir şekilde hesaplanabilir. Bu metodun avantajı çok kolay ve kısa zamanda oldukça çok sayıda veri noktasının dikkate alınmış olmasıdır. Böylece bölge yersel olarak daha iyi temsil edildiği için daha güvenilir hidrolojik parametreler üretilmiş olacaktır (Vereecken et al. 1992; Finke et al. 1996).

Bazı toprakların sürekli solma noktaları (-15 Atm) ve tarla kapasitelerinde (-0,33 Atm) hacim yüzdesi olarak içerdikleri nem miktarları Çizelge 2.1.' de özetlenmiştir (Hillel 1980).

Bauer and Black (1992), organik karbon içeriğine bağlı olarak hafif, orta ve ağır bünyeli üç toprak için bitkilere yararlı su kapasitesini, dolayısıyla tarla kapasitesi ve solma noktasını tayin etmiştir.

Gupta and Larson (1979), Vereecken et al. (1989), Bruand et al. (2003), Heuscher et al. (2005) ve Pollocco (2008) toprakların bünye ve hacim ağırlıklarından pedo-transfer fonksiyonlarını oluşturan ve bu fonksiyonlar ile de toprakların karakteristik nem tutma eğrilerini modelleyen araştırmacılar bazılarınıdır. Merdun et al (2006) ve Keshavarzi et al (2010) toprakların pedo-transfer fonksiyonlarını yapay sinir ağlarıyla modellemişlerdir.

Çizelge 2.1. Bazı toprakların sürekli solma noktaları ve tarla kapasitelerinde hacim yüzdesi olarak içerikleri.

Toprak tekstürü	Tarla kapasitesi (%)	Sürekli solma noktası (%)
Kum	10	5
Tınlı kum	12	5
Kumlu tın	18	8
Kumlu killi tın	27	17
Tın	28	14
Kumlu kil	36	25
Siltli tın	31	11
Silt	30	6
Killi tın	36	22
Siltli killi tın	38	22
Siltli kil	41	27
Kil	42	30

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

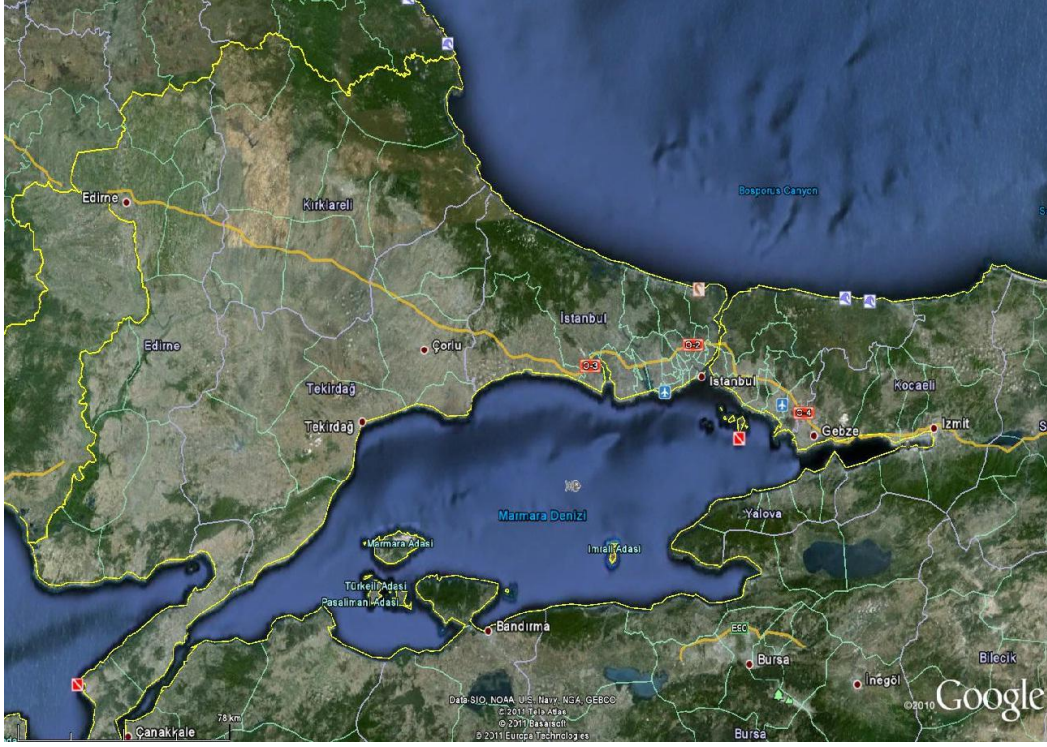
3.1.1. Araştırma alanının tanımı

Araştırma Tekirdağ ili Namık Kemal Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi deneme arazisinde yürütülmüştür. Araştırma yerinin denizden yüksekliği 17 m, enlem derecesi $40^{\circ} 59'$ Kuzey ve boylam derecesi $27^{\circ} 45'$ Doğudur. Deneme alanının Google Earth paket programından elde edilen uydu görüntüsü Şekil 3.1. de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Deneme alanının Google Earth paket programından elde edilen fotoğrafı

Tekirdağ ili doğudan İstanbul'un Silivri ve Çatalca, kuzeyden Kırklareli'nin Vize, Lüleburgaz, Babaeski ve Pehlivan köyü, güneyden Marmara Denizi ve Çanakkale'nin Gelibolu ilçesiyle çevrilidir. 6.313 km² yüzölçümüne sahip ilin denizden yüksekliği 0-200 m arasındadır. Tekirdağ ilinin coğrafi konumuna Google Earth paket programından elde edilen uydu görüntüsü Şekil 3.2.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Tekirdağ ili Google Earth paket programından elde edilen fotoğrafı

3.1.2. Araştırma alanının iklim özellikleri

Araştırma alanı Marmara havzasında olup, yazları sıcak ve kurak, kışları ise yağışlı ve soğuktur. İlkbahar ve sonbahar ayları ise yağmurlu geçmektedir (Tovep, 1984). Denemelerin yürütüldüğü 2011 yılının ilgili dönemindeki iklim verileri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme alanında ölçülen iklim verileri ve bitki gövdesi sıcaklıkları

Aylar	Ort. Sıcaklık (°C)	Max. Sıcaklık (°C)	Min. Sıcaklık. (°C)	Yağış (mm)	Rüzgar hızı (m/s)	Buharlaştırma* (mm/gün)
Mart	6,3	10,5	2,3	32,0	3,8	-
Nisan	9,7	14,1	5,4	73,7	3,7	2,2
Mayıs	15,7	20,7	10,8	48,0	2,3	2,6
Haziran	20,9	26,3	15,4	115,1	2,4	4,6
Temmuz	24,4	30,2	18,0	11,4	2,3	6,3
Ağustos	23,1	29,2	17,1	21,3	2,7	6,2
Eylül	20,9	28,7	14,3	-	2,2	4,3

*: A sınıfı buharlaştırma kabından ölçülen değerlerdir

3.1.3. Araştırmada kullanılan toprak

Araştırmada iki farklı toprak tipi kullanılmıştır. Bunlar, Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanından alından toprak ile kum karıştırılarak elde edilen bozulmuş toprak karışımlarıdır. Bu amaçla araştırma alanına yakın bir yerden alına toprak kurutulup, öğütölmüş ve 2 mm' lik elekten geçirilmiştir. Karışım toprağı ise ¼ (kum/toprak) kum ile karıştırılarak elde edilmiştir. Hazırlanan topraklar daha sonra saksılara doldurulmuştur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Denemede kullanılan karışım toprak ve poşetlere doldurulmuş hali

Deneme alanından alınan toprağın ve karışım toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Denemde alanında kullanılan toprağın toplam tuz ve pH değerleri saturasyon ekstratından ölçölmüştür.

Çizelge 3.2. Deneme alanından alınan ve karışım toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak	Saturasyon %	pH	Toplam tuz %	Kireç % CaCO ₃	Bitkilere Yarayışlı		Bünye Sınıfı	Tarla Kapası. %	Solma Noktası %	Hacim ağırlığı g/cm ³
					P (P ₂ O ₅) kg/da	K (K ₂ O) kg/da				
Toprak	52	6,9	0,07	-	6,18	30,33	Killi Tın	22,17	14,43	1.48
Karışım	39	7,0	0,07	-	6,18	20,56	Kumlu killi tın	15,58	10,29	1.53

3.1.4. Bitkiler

Çalışmada, Flamura 85 (*Triticum aestivum L.*) buğday ve 64 G 46 ayçiçeği çeşidi (*Heliantus annus L.*) materyal olarak kullanılmıştır.

Flamura-85; TAREKS A.Ş. tarafından 1999 yılında tescil ettirilen Romanya orijinli kışlık ekmeleklik buğday çeşididir. Kılçıklı, beyaz, uzun ve yarı eğik başak yapısına; ortalama 85-95 cm bitki boyuna; iri, kırmızı renkli ve sert- yarısert tane yapısına sahiptir (Balkan 2011).

64 G 46; PIONEER Tohumculuk Dağıtım ve Pazarlama Ltd. Şti. tarafından 2007 yılında üretim izni alınmış, orta geççi, ortalama 170 cm boyunda, orabaşa, mildiyöye ve kurağa dayanıklı, ortalama % 42-47 yağ oranına sahip, yağlık bir ayçiçeği çeşididir (Balkan 2011).

Buğday bitkisi Mart 2011'un ilk haftasında ayçiçeği ise Nisan 2011 ayının ilk haftasında ekilmiştir. Denemede, ele alınan buğday çeşidi 2 farklı tekstüre sahip toprak içeren 40 cm çaplı 70 cm boyundaki siyah polietilen torbalara 500 tohum/m² ekim sıklığı uygulanarak yetiştirilmiştir. Ayçiçeği çeşidi ise, yine 2 farklı tekstüre sahip toprak içeren 40 cm çaplı 70 cm boyundaki siyah polietilen torbalara her torbada 1 bitki olacak şekilde yetiştirilmiştir.

3.1.5. Sulama suyu

Ozmotik etki nedeniyle stres oluşturarak sürekli solma noktasını değiştirmemesi için kalite problemi olmayan şebeke suyu tercih edilmiştir. Şebeke suyunun EC değeri 0,2 dS/m, SAR değeri ise 4,7'dir. Sulama suyu deneme alanına yakın bir yerdeki vanadan temin edilmiştir.

3.1.6. Deneme ortamı

Denemeler, stres döneminde bitkilerin yağış almasını engellemek amacıyla plastik örtü altında yürütülmüştür. Plastik örtü yanlardan kolayca açılarak havalandırma imkanına sahiptir (Şekil 3.4).

3.1.7. Klorofilmetre

Bitkilerin su stresine karşı fotosentez aktivitelerini takip etmek ve solma anında klorofilini tamamen kaybederek canlılığını kaybettiği anı belirlemek amacıyla KONICA MINOLTA marka ve SPAD 502 Plus model klorofilmetre kullanılmıştır (Şekil 3.5).

Buğdayda kardeşlenme dönemi (Zadoks 23. dönem) ve sapa kalkma dönemi sonunda (Zadoks 49. dönem), bitkilerin ana sapı üzerinde tam olarak açılmış en son yaprak üzerinde 3 farklı yerden (yaprağın sapa yakın kısmı; yaprağın ortası ve yaprağın uç kısmı) ölçümler yapılmış, ortalaması alınarak SPAD (Soil-Plant Analysis Development) değeri olarak saptanmıştır (Balkan 2011). Klorofilmetrenin yapımcı firmasına göre SPAD değer skalasında 1 = klorotik veya sarı renk, 50 = koyu yeşil renk olarak belirtilmiştir (Uzunlu 2006).



Şekil 3.4. Deneme ortamı olarak kullanılan plastik örtünün dıştan ve içten görünümü



Şekil 3.5. Klorofilmetre ile ölçümün yapılması

Ayçiçeğinde vejetatif dönem sonunda (R1 dönemi) ve çiçeklenme döneminde (R5.5), bitki üzerinde tam olarak açılmış en son yaprak üzerinde 3 farklı yerden (yaprağın sapa yakın kısmı; yaprağın ortası ve yaprağın uç kısmı) ölçümler yapılmış, ortalaması alınarak SPAD (Soil-Plant Analysis Development) değeri olarak saptanmıştır (Balkan 2011).

3.2. Metot

3.2.1. Deneme toprağının hazırlanması ve saksılara doldurulması

Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi arazisi tarım topraklarının üst 30 - 40 cm' lik profilinden yeterince toprak alınarak kurutulmuş, öğütülerek 2 mm' lik elekten gerilmiştir. Karışım toprak için, hacimsel olarak 1:4 (kum:toprak) oranında kum katılmıştır. İstenilen hacim ağırlığında saksılara (plastik torba) kolayca doldurulabilmesi için hafifçe nemletilip, üstü kapatılmış ve bir gün dinlenmeye bırakılmıştır. Hazırlanan topraklar bir gün sonunda, 40 cm çapında 70 cm derinliğindeki plastik torbalara ölçülerek eşit miktarlarda doldurulmuştur. Tesadüfi örnekleme ile her toprak tipinden alınan 10 adet saksının ortalama hacim ağırlığı killi tın (normal toprak) için $1,48 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$; kumlu killi tınlı toprak (karşım) için ise $1,53 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Topraklar saksılara Ocak 2011'de doldurularak, ekim zamanına kadar bekletilip, toprağın oturması ve az da olsa strüktür kazanması sağlanmıştır. Her bir tekstür için 60 adet olmak üzere toplam 120 adet saksı toprak ile doldurulmuştur.

3.2.2. Sulamalar, stres uygulamaları ve toprak nem takibi

İki farklı toprak tekstürü ile buğday ve ayçiçeği bitkilerinin ikişer farklı dönemde su stresi uygulamaları başlatılarak, toprak tekstürünün ve gelişme dönemlerinin bu bitkilerin sürekli solma noktalarına etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Buğdayda kardeşlenme sonu ve sapa kalkma dönemi sonundan itibaren; ayçiçeğinde vejetatif gelişeme sonu ve tabla oluşumu sonundan itibaren olmak üzere ikişer farklı dönemde sulamalar kesilmiş ve sürekli solma noktasına kadar sulama yapılmayarak bitkiler takip edilmiştir.

Örneğin killi tınlı toprak dolu olan 30 buğday saksısı 15'erli iki gruba ayrılmıştır. Birinci gruptaki 15 saksının tamamı kardeşlenme sonuna kadar düzenli olarak sulanmışlardır. Kardeşlenme sonunda, 3 saksı alınarak gravimetrik nem tayini yapılarak stres başlangıcında toprak nemi belirlenmiştir. Üç saksı da kontrol amaçlı olarak bu gruptaki tüm bitkiler ölünceye kadar düzenli olarak sulanmaya devam edilmiştir.

Kardeşlenme döneminde sulamaları kesilen saksıların 3 tanesi strese başladıktan 10 gün sonra, 3 tanesi 20 gün sonra ve geriye kalan 3 saksı da bitkiler öldüğü zaman alınarak gravimetrik nem tayini yapılmıştır. Böylece stres başlangıcından sürekli solma noktasına kadar hem toprak nem değişimi hem de klorofil değişimi takip edilmiştir. İkinci gruptaki 15 saksı da benzer şekilde sapa kalkma döneminin sonuna kadar düzenli olarak sulanmıştır. Sapa kalma dönemi sonunda 3 saksı alınarak gravimetrik nem tayini yapılarak stres başlangıcında toprak nemi belirlenmiştir. Üç saksı da kontrol amaçlı olarak bu gruptaki tüm bitkiler ölünceye kadar düzenli olarak sulanmaya devam edilmiştir. Sapa kalkma döneminde sulamaları kesilen saksıların 3 tanesi strese başladıktan 10 gün sonra, 3 tanesi 20 gün sonra ve geriye kalan 3 saksı da bitkiler öldüğü zaman alınarak gravimetrik nem tayini yapılmıştır. Aynı işlemler paralel olarak, 30 kumlu killi tınlı toprak ile doldurulmuş saksılarla, buğdayın yine iki farklı döneminde başlatılacak stres konusu ile tekrarlanmıştır.

Buğday için izlenen bu yol ayçiçeği içinde iki farklı toprak tekstürü ve iki farklı stres dönemi için tekerrür edilmiştir.

Verileri analizlerinde gravimetrik nem tayininde ve klorofil ölçümlerinde 3 saksının ortalama değerleri kullanılmıştır.

3.2.3. Klorofilmetre ölçümleri

Klorofil ölçümleri günlük olarak öğle saatlerinde (Balkan 2011)'de belirtildiği şekilde yapılmıştır.

3.2.4. Deneme konuları

Denemeler, faktöriyel tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Toprak tekstürü ve bitki gelişme dönemleri faktör olarak değerlendirilmiştir.

Buğdaydaki ölçümler, kardeşlenme dönemi (Zadoks 23. dönem) ve sapa kalkma dönemi sonunda (Zadoks 49. dönem); ayçiçeğindeki ölçümler ise, vejetatif dönem sonunda (R1 dönemi) ve çiçeklenme döneminde (R5.5) (Berlungd, 2007) yapılmıştır. Konular aşağıda özetlendiği gibidir:

CL-B-K: Killi tın – Buğday- Kardeşlenme sonrası stres (15 saksı)

CL-B-S: Killi tın – Buğday- Sapa kalkma sonrası stres (15 saksı)

SCL-B-K: Kumlu killi tın – Buğday- Kardeşlenme sonrası stres (15 saksı)

SCL-B-S: Kumlu killi tın – Buğday- Sapa kalkma sonrası stres (15 saksı)

CL-A-V: Killi tın – Ayçiçeği- Vejetatif gelişme sonrası stres (top15 saksı)

CL-A-T: Killi tın – Ayçiçeği- Tabla oluşumu sonrası stres (15 saksı)

SCL-A-V: Kumlu killi tın – Ayçiçeği- Vejetatif gelişme sonrası stres (15 saksı)

SCL-A-T: Kumlu killi tın – Ayçiçeği- Tabla oluşumu sonrası stres (15 saksı)

3.2.5. Sürekli solma noktasına tayininde teorik yaklaşım ve matematiksel modelleme

Modelleme çalışmaları kapsamında söz konusu toprak tekstürleri için, nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak sıvı fazda, buhar fazda ve toplamda difüzyon değerleri hesaplanmıştır. Herhangi bir nem içeriğinde buhar fazındaki difüzyon değeri toplam difüzyona oranlanarak, su stresinin başladığı nokta, stres bölgesi ve sürekli solma noktası tanımlanmıştır. Konukcu et al. (2004) kumlu-tın bir toprak tekstürü için buharlaşma cephesinin matematiksel olarak tanımlanmasında bu tür hesaplamaları yapmıştır. Konukcu et al. (2004)'ün izlediği bu yöntem uygun olarak demede kullanılan toprak tekstürü için de aynı hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 3.6'da Konukcu et al. (2004)'ün kumlu tın toprak için yaptığı hesaplamalar görülmektedir.

Konukcu et al. (2004)'te verilen prosedüre göre, toprak su içeriğinin bir fonksiyonu olarak, toplam nem difüzyonu (D , m^2/s), sıvı fazlı difüzyon (D_l , m^2/s) ve buhar fazlı difüzyon değerleri (D_v , m^2/s) saturasyon nem içeriği ve hava kurusu nem içeriği aralığında hesaplanır ve grafiklenir. Toprak nem içeriğine karşı buhar fazdaki difüzyon, toplam difüzyona oranlandığında (D_v/D), grafikte 3 farklı bölge ayırt edilir. Şekil 3.6'da Konukcu et al. (2004)'ten kumlu tınlı toprak için oluşturulmuş bir grafiğin orijinali verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde: i) %14 nem içeriğinden daha fazla su içeriyorsa gözeneklerdeki mevcut suyun tamamı sıvı fazda (buhar faz ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan oran sifıra yakın bulunmuştur), buhar fazı ihmal edilebilir ve bitki su stresi yaşamaz, ii) %14 ile %5 nem içeriğinde toprak gözeneklerindeki sıvı ve buhar fazındaki su içerikleri birbiriyle kıyaslanacak düzeydedir ve bu aralıkta nem azaldıkça su stresi şiddetlenmektedir, iii) %5 nem içeriğinden daha az nem içeriğinde toprak neminin tamamı buhar fazındadır (sıvı faz ihmal edilecek kadar az olduğun D 'nin tamamı buhar fazı difüzyonuna eşit olup, oran 1' e yakındır) ve %5 su içeriğinde bitki ölür. Böylece %5 ve daha düşük nem içeriğinde toprakta sıvı fazda su bulunmadığı için bitki alacak su bulamaz ve ölür. Bu nedenle sürekli solma noktası bu toprak tekstürü için %5 olarak alınır.

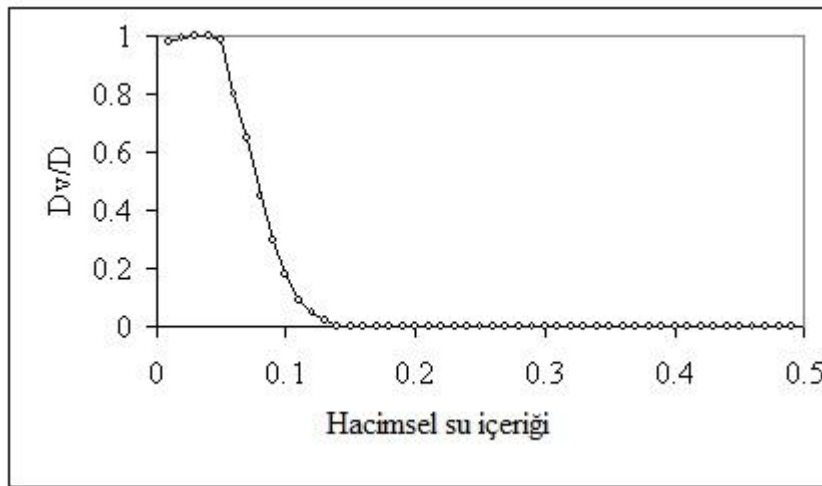
3.2.6. Sonuçların karşılaştırılması

Çalışma kapsamında sürekli solma noktası, *laboratuar metoduna* göre, arazi koşullarındaki *biyolojik metoda* göre ve teorik simülasyon metoduna göre 2 farklı toprak tekstürü, 2 farklı bitki türü ve her bitkinin 2 farklı gelişme döneminde strese bırakılarak belirlenmiştir. Yönteme göre belirlenen sürekli solma noktası değerleri birbirleriyle karşılaştırılmış, bitkinin toprağın gelişme döneminin etkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Laboratuar yönteminde toprakların sürekli solma noktası, basınç levhası kullanılarak, -15 Atm basınca karşılık gelen nem içeriği olarak belirlenmiştir. Toprağa göre farklılık gösterirken, bitki türleri ve gelişme dönemleri dikkate alınmamaktadır.

Biyolojik yöntem, arazi koşullarında, toprağın, iklimin, bitkinin ve gelişme döneminin birlikte interaksiyonu sonucu bitkilerin su stresi nedeniyle öldüğü toprak nem içeriği olarak belirlenmektedir. Bu çalışmada bitkilerin ölümü fotosentez aktivitesi veya b klorofil ölçümü ile tespit edilmiştir. Klorofil değerinin 0 (sıfır) olduğu andaki toprak nem içeriği biyolojik sürekli solma noktası olarak alınmıştır. Bu yönteme göre belirlenen değerler gerçek solma noktası değerleri olup, diğer iki yöntemin (laboratuar yöntemi ve modelleme) doğruluğu bu yönteme göre değerlendirilmiştir.

Teorik yöntemde, Konukcu et al. (2004)'te önerildiği şekilde her iki toprak tekstürü için de sürekli solma noktaları modellenmiştir. Deneysel olarak elde edilen biyolojik sürekli solma noktası sonuçları ve gözlemler, teorik yaklaşım ve simülasyon çalışması ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.6. Kumlu tınlı toprak tekstürünün su içeriğine karşılık buhar difüzyonu (D_v)/ toplam difüzyon (D) oranındaki değişimi (Konukcu et al. 2004).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Laboratuvar yöntemine göre sürekli solma noktası

Laboratuvar koşullarında basınç levhası kullanılarak killi tın ve kumlu killi tın toprağın sürekli -15 Atm matrik potansiyele karşılık gelen sürekli solma noktası değerleri sırasıyla, hacimsel olarak % 21,35 ve % 15,75 olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler, Hillel (1980) tarafından verilen ortalama sürekli solma noktası değerleri ile (sırasıyla %21 ve %17, Çizelge 2.1) uyumludur.

4.2. Biyolojik yöntemle belirlenen sürekli solma noktası

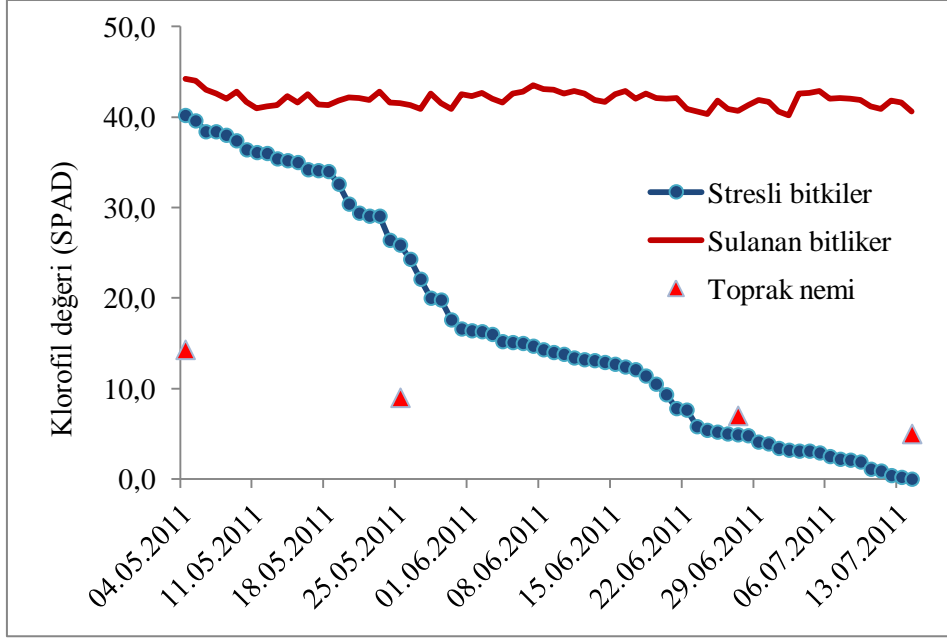
4.2.1. Killi tın toprak ile buğdayda kardeşlenme sonrası sürekli solma noktası

Killi tın toprakta yetiştirilen buğday bitkisi, kardeşlenme dönemi sonuna kadar düzenli olarak sulanmış ve bu dönem sonundan itibaren sulamalar kesilerek su stresine maruz bırakılmıştır. Kardeşlenme sonrasına denk gelen 4 Mayıs 2011 ile ölümlerin gerçekleştiği 13 Temmuz 2011 tarihleri arasında strese maruz bırakılan bitkilerin günlük klorofil değerleri kaydedilerek, yine günlük ölçülen sulamalı bitkilerin klorofil değerleri ve toprak nem içerikleri Şekil 4.1'de karşılaştırılmıştır. Şekil 4.1.'den görüldüğü gibi, strese maruz kalmayan buğday bitkisinin bu dönemdeki klorofil değeri 41 ± 2 SPAD olarak ölçülürken, stresli bitkilerin klorofil değerleri zamanla toprak nem azalmasının bir fonksiyonu olarak düzenli bir şekilde düşmüş ve sonunda bitkilerin ölümü ile sıfır değerini almıştır. Ölçümlerin yanında bitkilerde yapılan gözlemlerde bu sonuçları doğrulamaktadır. Yaklaşık 10 günde bir yapılan toprak nem içeriği ölçümlerine göre, bitki ölümlerinin gerçekleştiği toprak nem içeriği gravimetrik %5, hacimsel olarak ise % 7,5'tir. Yani, % 7,5 değeri killi tın bir toprakta buğdayın kardeşlenme sonrası biyolojik sürekli solma noktası değeri olarak kabul edilebilir.

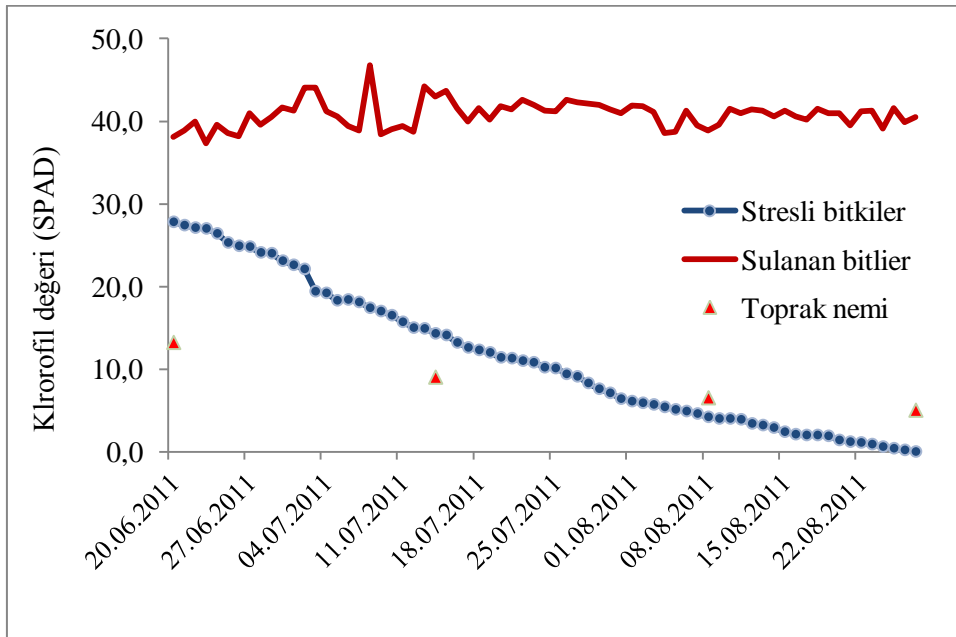
4.2.2. Killi tın toprak ile buğdayda sapa kalkma sonrası sürekli solma noktası

Killi tın toprakta, sapa kalkma dönemi sonrasına denk gelen 26 Haziran 2011 ile ölümlerin gerçekleştiği 27 Temmuz 2011 tarihleri arasında strese maruz bırakılan ve sulanan buğday bitkilerinin günlük klorofil değerleri ile toprak nem içerikleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.2.'den görüldüğü gibi, strese maruz kalmayan buğday bitkisinin bu dönemdeki klorofil değeri $43 \pm 2,5$ SPAD olarak ölçülürken, stresli bitkilerin klorofil değerleri zamanla toprak nem azalmasının bir fonksiyonu olarak düzenli bir şekilde düşmüş ve sonunda bitkilerin ölümü ile sıfır değerini almıştır.

Yaklaşık 10 günde bir yapılan toprak nem içeriği ölçümlerine göre, bitki ölümlerinin gerçekleştiği toprak nem içeriği gravimetrik %5, hacimsel olarak ise % 7,5'tir. Yani, % 7,5 değeri killi tın bir toprakta buğdayın sapa kalkma sonrası biyolojik sürekli solma noktası değeri olarak kabul edilebilir.



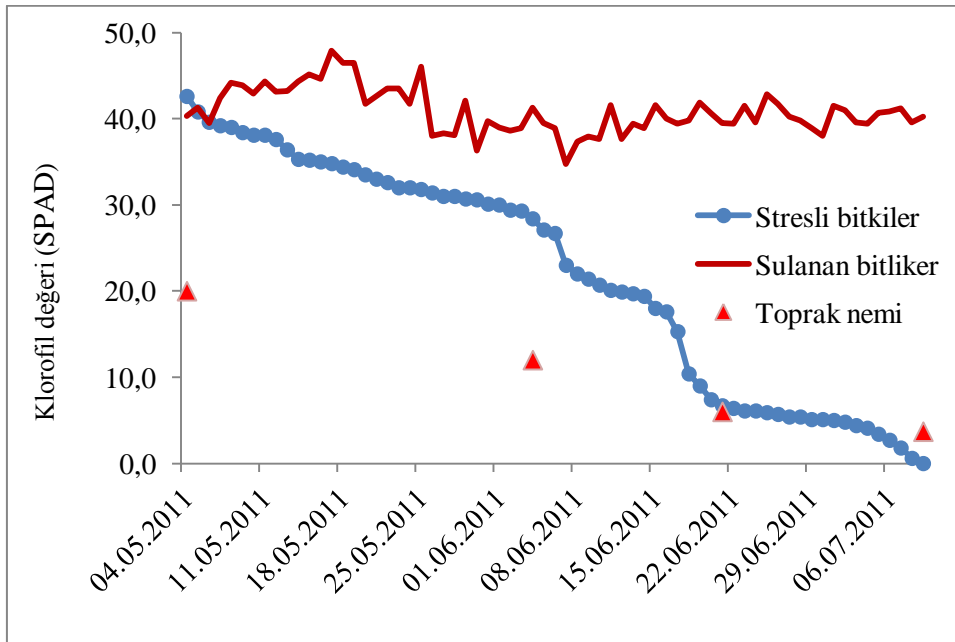
Şekil 4.1. Killi tın toprakta kardeşlenme sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli buğday bitkilerinde klorofil değişimi



Şekil 4.2. Killi tın toprakta sapa kalkma sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli buğday bitkilerinde klorofil değişimi

4.2.3. Kumlu killi tın toprak ile buğdayda kardeşlenme sonrası sürekli solma noktası

Kumlu killi tın toprakta, kardeşlenme dönemi sonrasına denk gelen 4 Mayıs 2011 ile ölümlerin gerçekleştiği 13 Temmuz 2011 tarihleri arasında strese maruz bırakılan ve sulanan buğday bitkilerinin günlük klorofil değerleri ile toprak nem içerikleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.3.'ten görüldüğü gibi, strese maruz kalmayan buğday bitkisinin bu dönemdeki klorofil değeri $43 \pm 2,5$ SPAD olarak ölçülürken, stresli bitkilerin klorofil değerleri zamanla toprak nem azalmasının bir fonksiyonu olarak düzenli bir şekilde düşmüş ve sonunda bitkilerin ölümü ile sıfır değerini almıştır. Yaklaşık 10 günde bir yapılan toprak nem içeriği ölçümlerine göre, bitki ölümlerinin gerçekleştiği toprak nem içeriği gravimetrik % 3,5 hacimsel olarak ise % 5,5'tir. Yani, % 5,5 değeri kumlu killi tın bir toprakta buğdayın kardeşlenme sonrası biyolojik sürekli solma noktası değeri olarak kabul edilebilir.

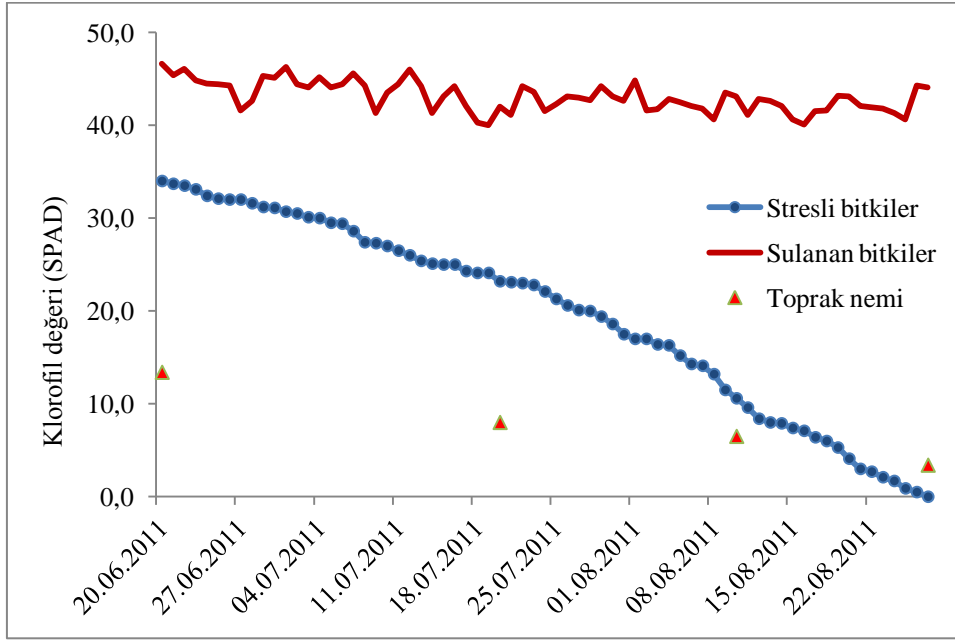


Şekil 4.3. Kumlu killi tın toprakta kardeşlenme sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli buğday bitkilerinde klorofil değişimi

4.2.4. Kumlu killi tın toprak ile buğdayda sapa kalkma sonrası sürekli solma noktası

Kumlu killi tın toprakta, sapa kalkma dönemi sonrasına denk gelen 26 Haziran 2011 ile ölümlerin gerçekleştiği 27 Temmuz 2011 tarihleri arasında strese maruz bırakılan ve sulanan buğday bitkilerinin günlük klorofil değerleri ile toprak nem içerikleri Şekil 4.4'te verilmiştir.

Şekil 4.4.'ten görüldüğü gibi, strese maruz kalmayan buğday bitkisinin bu dönemdeki klorofil değeri 43 ± 2 SPAD olarak ölçülürken, stresli bitkilerin klorofil değerleri zamanla toprak nem azalmasının bir fonksiyonu olarak düzenli bir şekilde düşmüş ve sonunda bitkilerin ölümü ile sıfır değerini almıştır. Yaklaşık 10 günde bir yapılan toprak nem içeriği ölçümlerine göre, bitki ölümlerinin gerçekleştiği toprak nem içeriği gravimetrik % 3,5 hacimsel olarak ise % 5,5'tir. Yani, % 5,5 değeri kumlu killi tın bir toprakta buğdayın sapa kalkma sonrası biyolojik sürekli solma noktası değeri olarak kabul edilebilir.

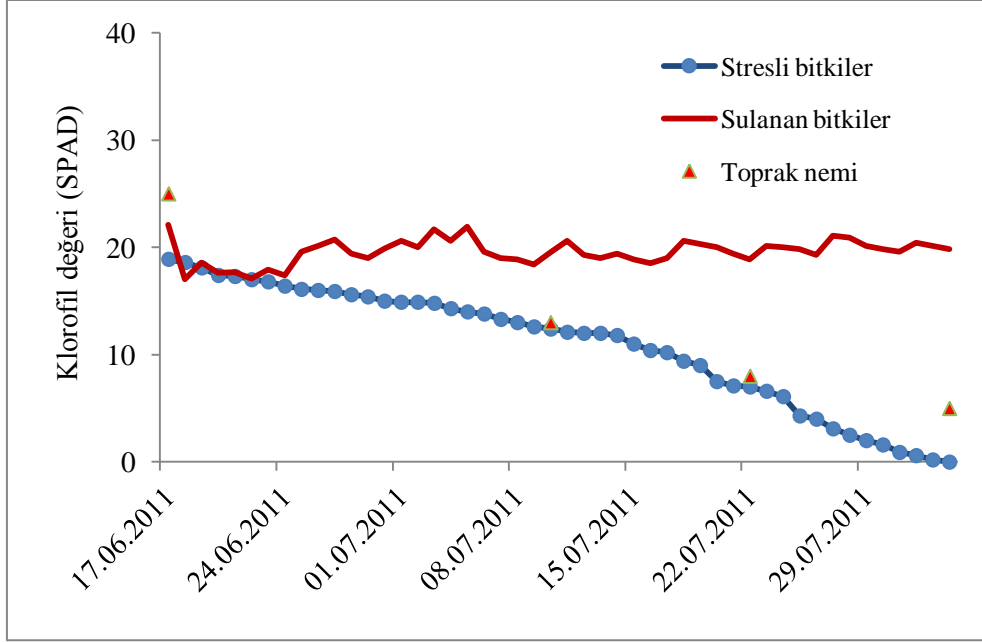


Şekil 4.4. Kumlu killi tın toprakta sapa kalkma sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli buğday bitkilerinde klorofil değişimi

4.2.5. Killi tın toprak ile ayçiçeğinde vejetatif gelişme sonrası sürekli solma noktası

Killi tın toprakta yetiştirilen ayçiçeği bitkisi, vejetatif gelişme dönemi sonuna kadar düzenli olarak sulanmış ve bu dönem sonundan itibaren sulamalar kesilerek su stresine maruz bırakılmıştır. Vejetatif gelişme sonrasına denk gelen 14 Haziran 2011 ile ölümlerin gerçekleştiği 03 Ağustos 2011 tarihleri arasında strese maruz bırakılan bitkilerin günlük klorofil değerleri kaydedilerek, yine günlük ölçülen sulamalı bitkilerin klorofil değerleri ve toprak nem içerikleri Şekil 4.5'te karşılaştırılmıştır. Şekil 4.5.'den görüldüğü gibi, strese maruz kalmayan ayçiçeği bitkisinin bu dönemdeki klorofil değeri $20 \pm 1,5$ SPAD olarak ölçülürken, stresli bitkilerin klorofil değerleri zamanla toprak nem azalmasının bir fonksiyonu olarak düzenli bir şekilde düşmüş ve sonunda bitkilerin ölümü ile sıfır değerini almıştır.

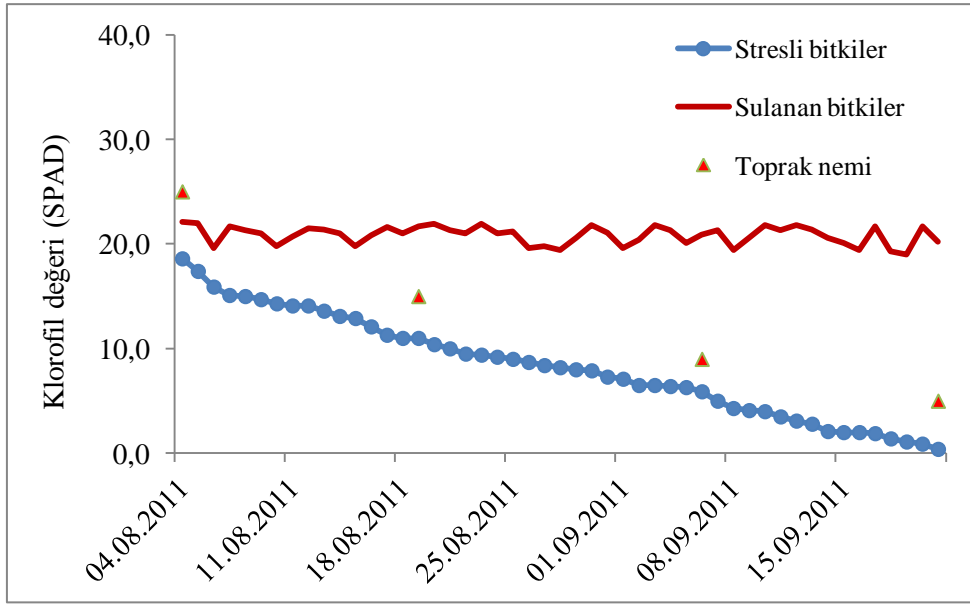
On günde bir yapılan toprak nem içeriği ölçümlerine göre, bitki ölümlerinin gerçekleştiği toprak nem içeriği gravimetrik % 5, hacimsel olarak ise % 7,5'tir. Yani, % 7,5 değeri killi tın bir toprakta ayçiçeğinin vejetatif gelişme sonrası biyolojik sürekli solma noktası değeri olarak kabul edilebilir.



Şekil 4.5. Killi tın toprakta vejetatif gelişme sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli ayçiçeği bitkilerinde klorofil değişimi

4.2.6. Killi tın toprak ile ayçiçeğinde tabla oluşumu sonrası sürekli solma noktası

Killi tın toprakta yetiştirilen ayçiçeğinin tabla oluşumu sonrasına denk gelen 4 Ağustos 2011 ile ölümlerin gerçekleştiği 21 Eylül 2011 tarihleri arasında, stresli ve sulanan bitkilerinde klorofil değişimleri ve toprak nem içerikleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6.'dan görüldüğü gibi, strese maruz kalmayan ayçiçeği bitkisinin bu dönemdeki klorofil değeri $21 \pm 1,5$ SPAD olarak ölçülürken, stresli bitkilerin klorofil değerleri zamanla toprak nem azalmasının bir fonksiyonu olarak düzenli bir şekilde düşmüş ve sonunda bitkilerin ölümü ile sıfır değerini almıştır. On günde bir yapılan toprak nem içeriği ölçümlerine göre, bitki ölümlerinin gerçekleştiği toprak nem içeriği gravimetrik %5, hacimsel olarak ise % 7,5'tir. Yani, % 7,5 değeri killi tın bir toprakta ayçiçeğinin tabla oluşumu sonrası biyolojik sürekli solma noktası değeri olarak kabul edilebilir.



Şekil 4.6. Killi tın toprakta tabla oluşumu sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli ayçiçeği bitkilerinde klorofil değişimi

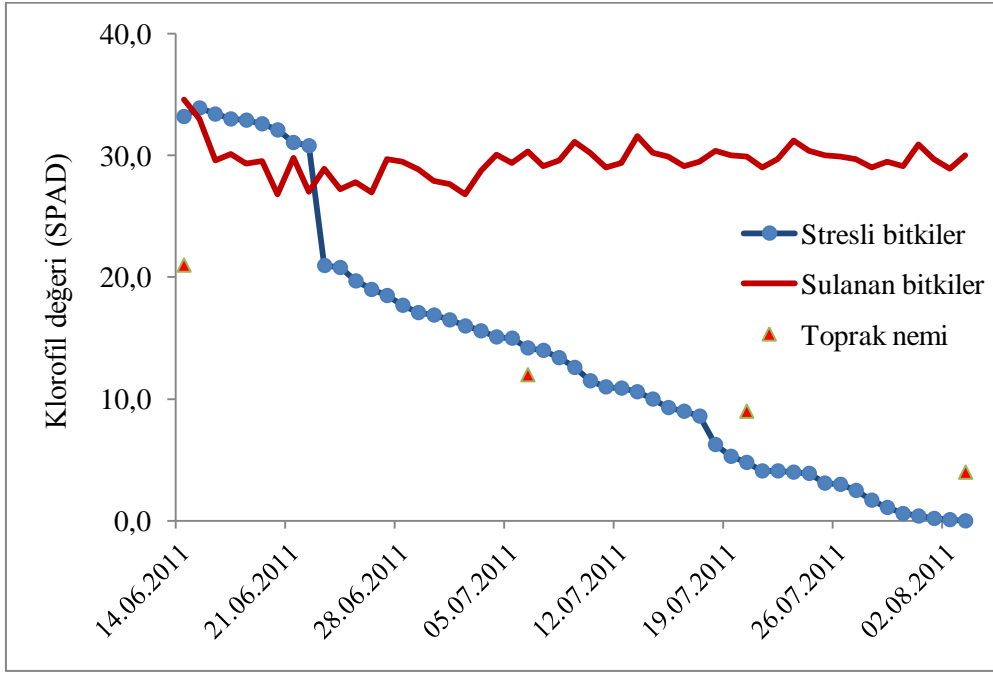
4.2.7. Kumlu killi tın toprak ile ayçiçeğinde vejetatif gelişme sonrası sürekli solma noktası

Kumlu killi tın toprakta yetiştirilen ayçiçeğinin vejetatif sonrasına denk gelen 14 Haziran 2011 ile ölümlerin gerçekleştiği 03 Ağustos 2011 tarihleri arasında, stresli ve sulanan bitkilerinde klorofil değişimleri ve toprak nem içerikleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.7.’den görüldüğü gibi, strese maruz kalmayan ayçiçeği bitkisinin bu dönemdeki klorofil değeri $29,5 \pm 1,5$ SPAD olarak ölçülürken, stresli bitkilerin klorofil değerleri zamanla toprak nem azalmasının bir fonksiyonu olarak düzenli bir şekilde düşmüş ve sonunda bitkilerin ölümü ile sıfır değerini almıştır. On günde bir yapılan toprak nem içeriği ölçümlerine göre, bitki ölümlerinin gerçekleştiği toprak nem içeriği gravimetrik %4, hacimsel olarak ise % 6’tır. Yani, % 6 değeri kumlu killi tın bir toprakta ayçiçeğinin vejetatif gelişme sonrası biyolojik sürekli solma noktası değeri olarak kabul edilebilir.

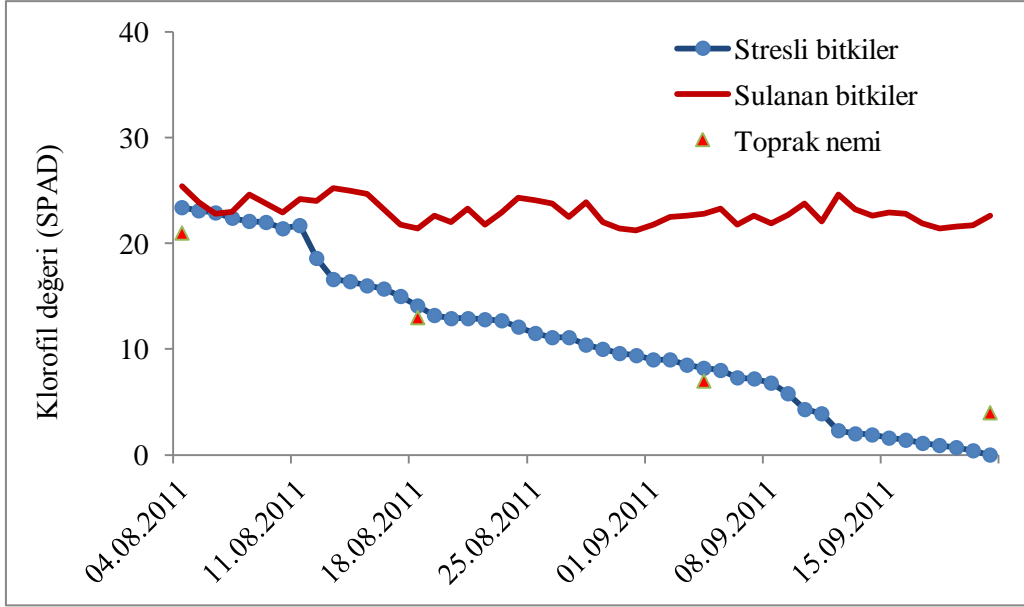
4.2.8. Kumlu killi tın toprak ile ayçiçeğinde tabla oluşumu sonrası sürekli solma noktası

Kumlu killi tın toprakta yetiştirilen ayçiçeğinin tabla oluşumu sonrasına denk gelen 4 Ağustos 2011 ile ölümlerin gerçekleştiği 21 Eylül 2011 tarihleri arasında, stresli ve sulanan bitkilerinde klorofil değişimleri ve toprak nem içerikleri Şekil 4.8’de verilmiştir.

Şekil 4.8.'den görüldüğü gibi, strese maruz kalmayan ayçiçeği bitkisinin bu dönemdeki klorofil değeri $23 \pm 1,5$ SPAD olarak ölçülürken, stresli bitkilerin klorofil değerleri zamanla toprak nem azalmasının bir fonksiyonu olarak düzenli bir şekilde düşmüş ve sonunda bitkilerin ölümü ile sıfır değerini almıştır. On günde bir yapılan toprak nem içeriği ölçümlerine göre, bitki ölümlerinin gerçekleştiği toprak nem içeriği gravimetrik % 4,5, hacimsel olarak ise % 6,8'dir. Yani, % 6,8 değeri kumlu killi tın bir toprakta ayçiçeğinin tabla oluşumu sonrası biyolojik sürekli solma noktası değeri olarak kabul edilebilir.



Şekil 4.7. Kumlu killi tın toprakta vejetatif gelişme sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli ayçiçeği bitkilerinde klorofil değişimi



Şekil 4.8. kumlu killi tın toprakta tabla oluşumu sonrası toprak nem içeriğinin azalmasına karşı sulanan ve stresli ayçiçeği bitkilerinde klorofil değişimi

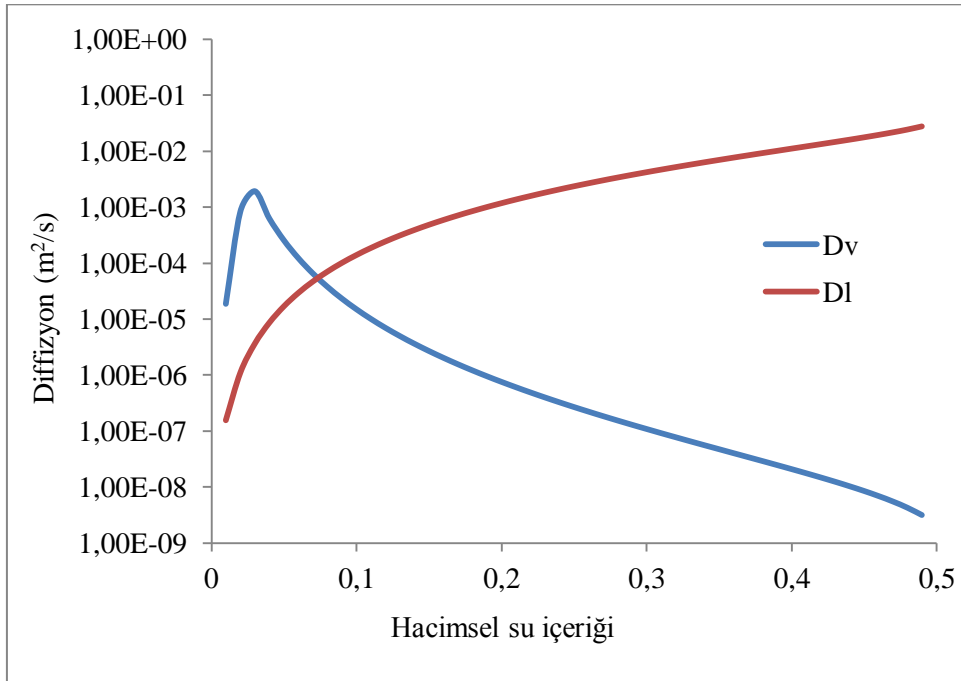
4.3. Matematiksel modelleme ile sürekli solma noktası simülasyonu

4.3.1. Killi tın toprağın matematiksel modellemeyle sürekli solma noktasının simülasyonu

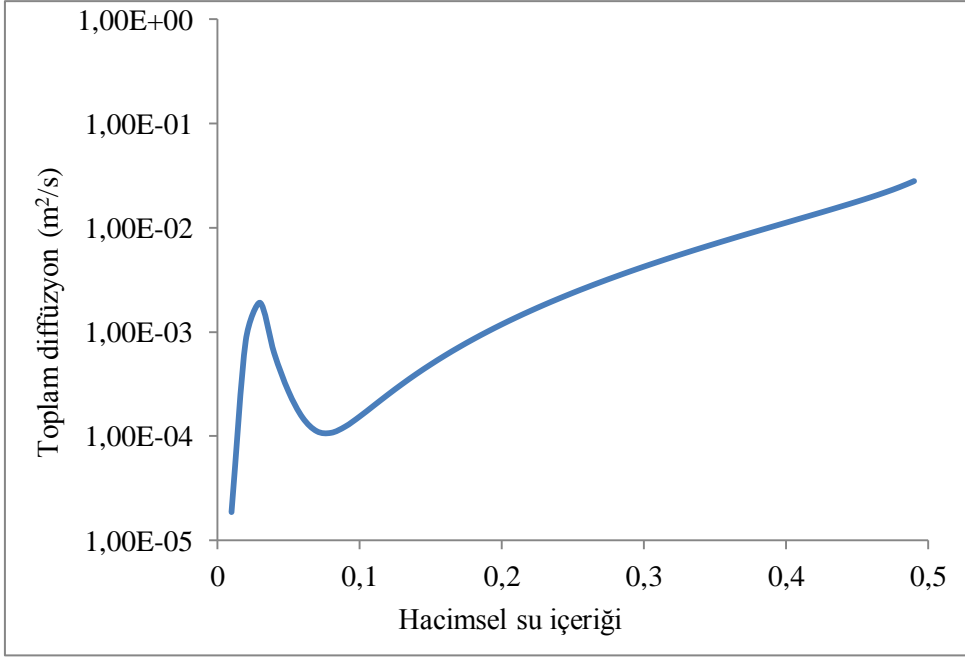
Killi tın toprağın hacimsel su içeriğine karşı hesaplanan sıvı (Dl) ve buhar (Dv) fazındaki nem difüzyonu Şekil 4.9; toplam nem difüzyonu (D) Şekil 4.10 ve buhar fazı nem difüzyonunun (Dv) toplam nem difüzyonuna(D) oranı (Dv/D) Şekil 4.11’de sunulmuştur. Şekil 4.9’dan toprağın sıvı fazdaki nem difüzyonunun toprak nem azalması karşısında üssel olarak azaldığı; buhar fazdaki nem difüzyonunun ise nem içeriğindeki azalmaya karşı artış gösterdiği ve maximum bir değerden sonra tekrar düşüşe geçtiği görülmektedir. Toplam nem difüzyonu ise ($D = Dv + Dl$, Şekil 4. 10), nem içeriğindeki azalmaya karşı önce azalmış ve düşük nem içeriğinde bir pik yaparak tekrar hızlı bir düşüşe geçmiştir. Oluşan bu “tava” şekli (Menenti 1984) tarafından da rapor edilmiştir. Şekil 4. 11 incelendiğinde: % 14’ten daha fazla su içeriyorsa gözeneklerdeki mevcut suyun tamamı sıvı fazdadır, buhar fazı ihmal edilebilir ve bitki su stresi yaşamaz, ii) % 14 ile % 4 nem içeriğinde toprak gözeneklerindeki sıvı ve buhar fazındaki su içerikleri birbiriyle kıyaslanacak düzeydedir ve bu aralıkta nem azaldıkça su stresi şiddetlenmektedir, iii) % 4 nem içeriğinden daha az nem içeriğinde toprak neminin tamamı buhar fazındadır ve % 4 su içeriğinde bitki ölür.

Menenti (1984), toprak profili içinde faz değişim noktasındaki su içeriğini, Şekil 4.9'daki sıvı-buhar difüzyon eğrilerinin kesim noktası olarak veya Şekil 4.10'daki "tava" şeklindeki toplam difüzyon eğrisindeki rölatif minimum noktası olarak ta alınabileceğini belirtmiştir. Bu durumda, hem kesim noktasında (Şekil 4.9) hem de rölatif minimum noktasında (Şekil 4.10) killi tın toprağın su içeriği % 7'dir. Bu yaklaşıma göre, killi tın toprağın sürekli solma noktası % 7'dir.

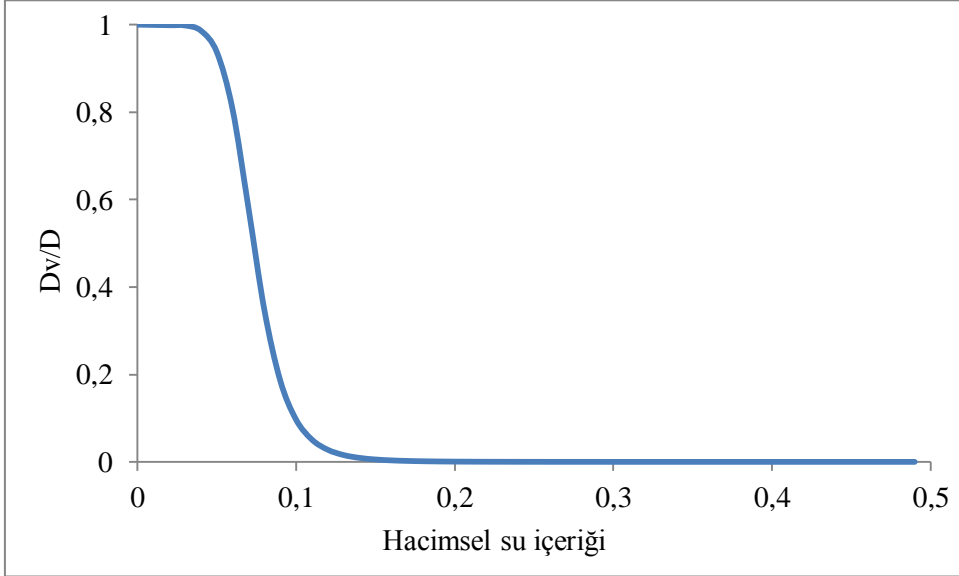
Şekil 4.11'de, toprağın sıvı fazdaki nem difüzyonu (ve ya sıvı fazdaki su içeriği) %14'ten sonra azalmaya başlayıp, %4'te sıfıra yaklaştığı için, % 14 - 4 aralğında herhangi bir nem değerinde ölümün gerçekleşeceği beklenebilir. Bu aralıkta tam olarak hangi nem içeriğinin sürekli solma noktası olacağı bitkilerin kök gelişim ve iklim durumu belirleyebilir.



Şekil 4.9. Killi tın toprağın hacimsel su içeriğine karşı hesaplanan sıvı (Dl) ve buhar (Dv) fazındaki nem difüzyonu değişimi



Şekil 4.10. Killi tın toprağın hacimsel su içeriğine karşı hesaplanan toplam difüzyon (D) değışimi



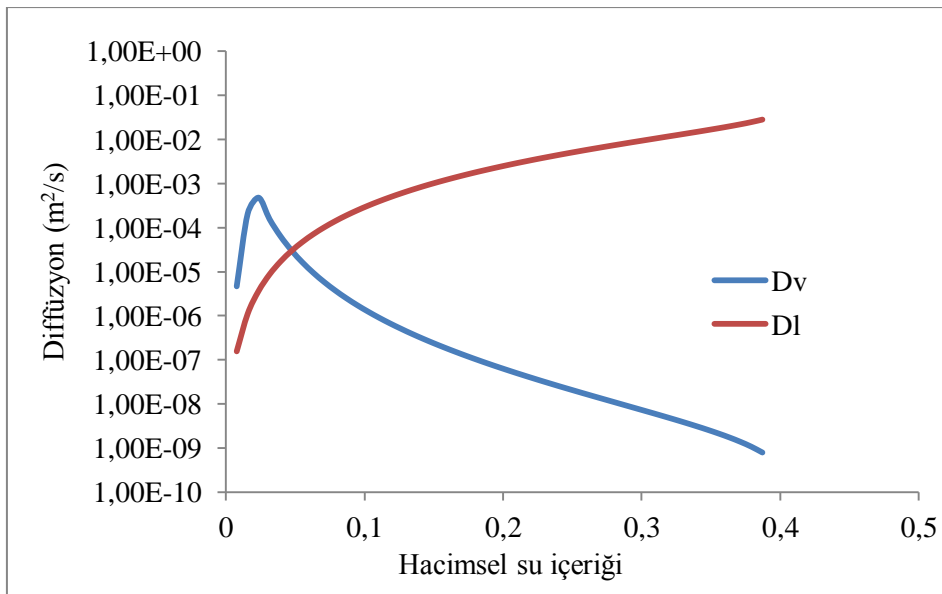
Şekil 4.11. Killi tınlı toprak tekstürünün su içeriğine karşılık buhar difüzyonu (Dv)/toplam difüzyon (D) oranındaki değışimi.

4.3.2. Kumlu killi tın toprağın matematiksel modellemeyle sürekli solma noktasının simülasyonu

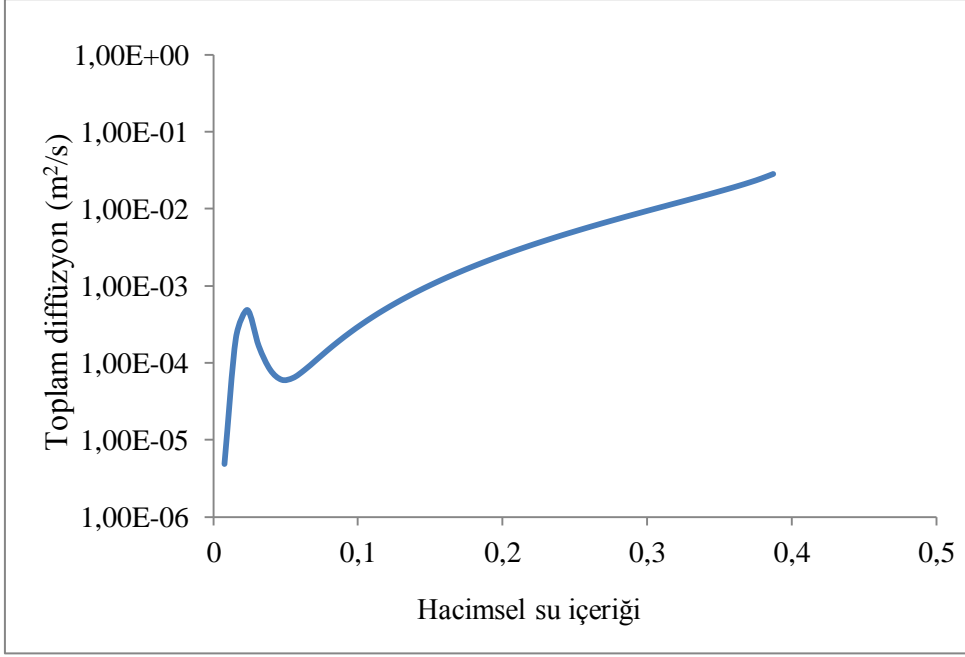
Kumlu killi tın toprağın hacimsel su içeriğine karşı hesaplanan sıvı (Dl) ve buhar (Dv) fazındaki nem difüzyonu Şekil 4.12; toplam nem difüzyonu (D) Şekil 4.13 ve buhar fazı nem difüzyonunun (Dv) toplam nem difüzyonuna(D) oranı (Dv/D) Şekil 4.14'de sunulmuştur. Şekil 4. 14 incelendiğinde: %14'ten daha fazla su içeriyorsa gözeneklerdeki mevcut suyun tamamı sıvı fazdadır, buhar fazı ihmal edilebilir ve bitki su stresi yaşamaz, ii) %14 ile %4 nem içeriğinde toprak gözeneklerindeki sıvı ve buhar fazındaki su içerikleri birbiriyle kıyaslanacak düzeydedir ve bu aralıkta nem azaldıkça su stresi şiddetlenmektedir, iii) % 4 nem içeriğinden daha az nem içeriğinde toprak neminin tamamı buhar fazındadır ve % 4 su içeriğinde bitki ölür.

Kumlu killi toprakta, hem kesim noktasında (Şekil 4.12) hem de rölatif minimum noktasında (Şekil 4.13) kumlu killi tın toprağın su içeriği % 5'tir. Buna göre, kumlu killi tın toprağın sürekli solma noktası % 5'tir.

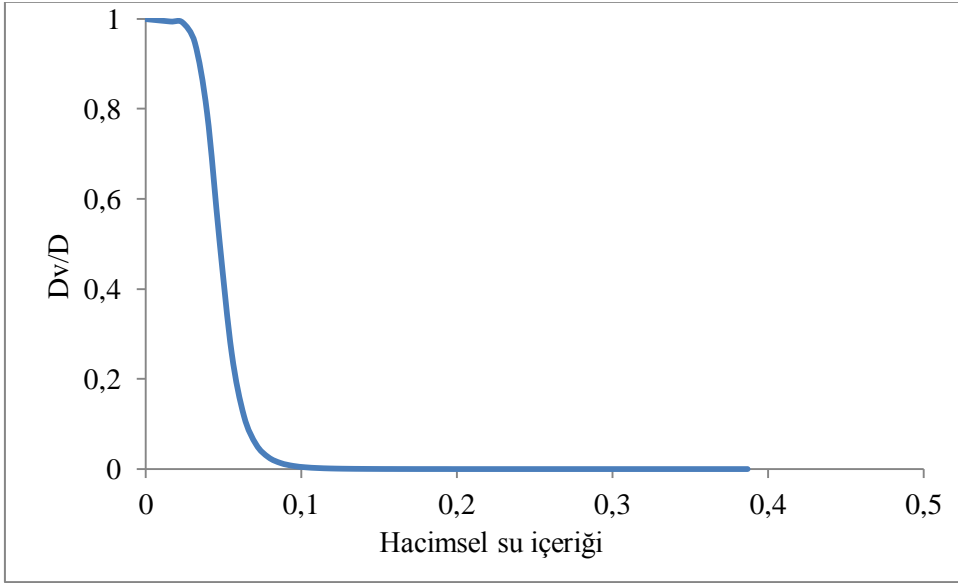
Şekil 4.14'te, toprağın sıvı fazdaki nem difüzyonu (ve ya sıvı fazdaki su içeriği) % 9'dan sonra azalmaya başlayıp, % 3'te sifıra yaklaştığı için, % 9-3 aralığında herhangi bir nem değerinde ölümün gerçekleşeceği beklenebilir. Bu aralıkta tam olarak hangi nem içeriğinin sürekli solma noktası olacağı bitkilerin kök gelişim ve iklim durumu belirleyebilir.



Şekil 4.12. Kumlu killi tın toprağın hacimsel su içeriğine karşı hesaplanan sıvı (Dl) ve buhar (Dv) fazındaki nem difüzyonu değişimi.



Şekil 4.13. Kumlu killi tın toprağın hacimsel su içeriğine karşı hesaplanan toplam difüzyon (D) değişimi.



Şekil 4.14. Killi tınlı toprak tekstürünün su içeriğine karşılık buhar difüzyonu (Dv)/toplam difüzyon (D) oranındaki değişimi.

4.4. Sonuçların karşılaştırılması

Konulara göre laboratuvar, biyolojik ve matematiksel simülasyon yöntemiyle belirlenen sürekli solma noktası değerleri Çizelge 4.1.'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1. Konulara göre laboratuvar, biyolojik ve matematiksel simülasyon yöntemiyle belirlenen sürekli solma noktası değerleri (B-K: Buğday- Kardeşlenme sonrası stres; B-S: Buğday- Sapa kalkma sonrası stres; A-V: Ayçiçeği- Vejetatif gelişme sonrası stres; A-T: Ayçiçeği- Tabla oluşumu sonrası stres) % 21,35 ve % 15,75

Konular	Sürekli solma noktası değerleri (hacimsel %)					
	Laboratuvar (Basınç levhası, -15 Atm)		Biyolojik yöntem (Deneysel gözlem)		Simülasyon*	
	Killi tın	Kumlu killi tın	Killi tın	Kumlu killi tın	Killi tın	Kumlu killi tın
B-K	21,35	15,75	7,5	5,5	4-14-7	3-9-5
B-S	21,35	15,75	7,5	5,5	4-14-7	3-9-5
A-V	21,35	15,75	7,5	6,0	4-14-7	3-9-5
A-T	21,35	15,75	7,5	6,8	4-14-7	3-9-5

*: Her bir hücrede sunulan üç değer sırasıyla, tamamen buhar fazının hakim olmaya başladığı maksimum toprak nem içeriği; tamamen sıvı fazın hakim olmaya başladığı minimum toprak nem içeriği, sıvı ve buhar fazı eğrilerinin kesiştiği veya fazların eşit olduğu noktadaki nem içeriğine karşılık gelmektedir.

Çizelge 4.1'den görüldüğü gibi, killi tın ve kumlu killi tın toprağın sürekli solma noktası değerleri sırasıyla % 21,35 ve % 15,75 olup, toprak nem içeriğinin bu değere düşmesiyle birlikte bitkilerin ölmesi beklenmektedir. Sulama zamanının planlanmasında ve bir sulamada uygulanacak sulama suyunun hesaplanmasında hep bu varsayım baz alınmaktadır. Bu değerler, biyolojik yöntem olan deneysel gözlemlerle elde edilen değerlere kıyasla çok yüksektir. Killi toprakta sürekli solma noktası, bitkilere ve bitkilerin gelişme dönemlerine göre farklılık göstermeyerek % 7,5 olarak ölçülmüştür. Kumlu killi tın toprakta ise sürekli solma noktası değerleri, bitkiler arasında ve ayçiçeğinin gelişme dönemleri arasında farklılık gösterirken, buğdayın gelişme dönemleri arasında farklılık göstermemiştir. Buğdayda her iki gelişme döneminde de solma noktası % 5,5 olurken, ayçiçeğinin vejetasyon sonrası döneminde % 6, tabla oluşu sonrası dönem ise % 6,8 olmuştur. İki toprak teksürü karşılaştırıldığında, kıyasla daha ağır bünyeli toprak olan killi toprakta bitkilerin daha büyük sürekli solma noktası değerine sahip olması beklenen bir durumdur.

Kumlu killi tın torakta bitkilerden ve ayçiçeğindeki farklı gelişme dönemlerinden değişik sürekli solma noktası elde edilmesi, deneysel ortamda yapılabilecek hatalardan kaynaklanmış olabilir. Eğer olağan deneysel hatalardan kaynaklanmamış ise bitkilerin kök gelişimindeki farklılıklarla açıklanabilir. Ayçiçeği gibi kazık köklü bitkilerin köklerinde saçaklanma daha az olduğu için, gerçek arazi koşullarında suyu nispeten daha derin bölgelerden almaktadırlar. Ancak saksı ortamı 70 cm ile sınırlıdır. Buğday saçak köklü olduğu ve yüzeye yakın nispeten kuru olan bölgede köklerini muntazam yaymasından dolayı suyu daha kolay alarak, ayçiçeğine göre daha düşük nem içeriğine kadar yaşayabilmiştir.

Modelde, girdi olarak sadece toprak tekstürü ile ilgili parametreleri dikkate alındığı için, sürekli solma noktası değerleri sadece toprak tekstürüne göre farklılık göstermiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, killi tın toprakta tamamen buhar fazının hakim olmaya başladığı maksimum toprak nem içeriği %4; tamamen sıvı fazın hakim olmaya başladığı minimum toprak nem içeriği %14, sıvı ve buhar fazı eğrilerinin kesiştiği veya fazların eşit olduğu noktadaki nem içeriğine karşılık gelen nem içeriği % 7; kumlu killi tın toprakta ise aynı sırayla %3, %9 ve % 5 olarak hesaplanmıştır. Her bir toprak tekstürü için simüle edilen bu üç değerden hangisini dikkate alırsak alalım, laboratuvar şartlarında basınç levhası ile ölçülen ve pratikte yaygın olarak kullanılan sürekli solma noktası değerlerinden (killi tın için % 21,35, kumlu killi tın için % 15,75) çok daha düşük bulunmuştur.

Sıvı ve buhar fazı eğrilerinin kesiştiği veya fazların eşit olduğu noktadaki nem içeriğine karşılık gelen nem içeriği olarak kumlu tın toprak için simüle edilen % 7 değeri, he iki bitkinin farklı dönemlerindeki sürekli solma noktası değeri olarak ölçülen % 7,5 değerine oldukça yakındır. Yine aynı şekilde kumlu killi tın için simüle edilen % 5 değeri de, buğdayda her iki dönemde ölçülen % 5,5 ve ayçiçeğinde vejetasyon sonrasında ölçülen % 6 ve tabla oluşumu sonrası ölçülen % 6,5 değeri ile uyumlu bulunmuştur. Bu duruma göre, sıvı ve buhar fazı eğrilerinin kesiştiği veya fazların eşit olduğu noktadaki nem içeriği olarak simüle edilen değerler sürekli solma noktası değerleri olarak kabul edilebilir.

5. SONUÇLAR

Difüzyon-toprak nem ilişkisine bağlı olarak killi tın ve kumlu killi tın toprakların sürekli solma noktası değerleri matematiksel model ile simüle edilmiştir. Simüle edilen veriler, laboratuvarında ölçülen ve halen sulama uygulamalarında yaygın olarak kullanılan basınç levhası yöntemi ile elde edilen değerler yanında, buğday ve ayçiçeği için gerçek koşullarda ölçülen sürekli solma noktası değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Gerçek şartlarda elde edilen ölçüm değerleri, laboratuvar metodu ile elde edilen değerlerden çok daha düşük bulunmuştur.

Simülasyon sonuçları ile bu çalışma koşullarında elde edilen gerçek ölçüm değerleri karşılaştırıldığında, sıvı ve buhar fazı eğrilerinin kesiştiği veya fazların eşit olduğu noktadaki nem içeriklerinin, sürekli solma noktası değerleri olarak kabul edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Sürekli solma noktasının, toprak, bitki ve iklim koşullarına göre değişebileceği göz ardı edilmemelidir. Ele alınan bir toprak tekstüründeki sürekli solma noktasının, i) sıvı fazın hakim olduğu minimum su içeriği ile buhar fazının hakim olduğu maksimum su içeriği arasında olacağı, ii) bitki köklerinin çok iyi gelişmesi ve atmosferik buhar basıncının nispeten yüksek olması durumunda (düşük sıcaklı + yüksek oransal nem koşulları), buhar fazının hakim olduğu maksimum su içeriğine kadar düşebileceği, iii) bitki kök gelişiminin zayıf kaldığı ve atmosferik buhar basıncının nispeten düşük olduğu durumda (yüksek sıcaklı + düşük oransal nem koşulları), sıvı fazın hakim olduğu minimum su içeriğine yakın bir değer alacağı tahmin edilmektedir.

Elde edilen bulguların, farklı bitki, toprak, iklimde detaylı olarak çalışılarak desteklenmesi gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Al-Rumikhani, Y. A. 2002. Effect of crop sequence, soil sample location and depth on soil water holding capacity under center pivot irrigation. *Agricultural Water Management* 55(2):93-104.
- Balkan, A. 2011. Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.)’da Kurağa Dayanıklılıkla İlişkili Morfolojik ve Fizyolojik Özelliklerin Saptanması Üzerine Araştırmalar. Namık Kemal Üniv., Fen Bilimleri Enst., Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Basılmamış Doktora Tezi, 212 sf., Tekirdağ.
- Balland, V., Pollacco, J. A. P. and Arp, P. A. 2008. Modeling soil hydraulic properties for a wide range of soil conditions. *Ecological Modelling* 219(3/4):300-316.
- Bauer, A. and Black, A. L. 1992. Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 248_254.
- Berlungd, D.R. 2007. Sunflower production. NDSU Extension Service, N.D. Agricultural Experiment Station, North Dakota State University, September 2007, 117 pages, USA.
- Briggs, L. J. and H. L. Shantz. 1912. The wilting coefficient for different plants and its indirect determination USDA Bureau of Plant Industry Bull 230. U. S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- Bruand, A. P., Perez- Fernandez. and Duval, O. 2003. Use of class pedotransfer functions based on texture and bulk density of clods to generate water retention curves. *Soil Use Manage.* 19: 232_242.
- Finke, P. A., Woosten, J. H. M. and Jansen, M. J. W. 1996. Effects of uncertainty in major input variables on simulated functional soil behaviour. *Hydrol. Proc.* 10: 661_669.
- Gupta, S. C. and Larson, W. E. 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. *Water Resour. Res.* 15: 1633_1635.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of soil physics.* Academic press, New York.
- Keshavarzi A, Sarmadian F, Sadeghnejad M, Pezeshki P (2010). Developing Pedotransfer Functions for estimating some Soil Properties using Artificial Neural Network and Multivariate Regression Approaches, *ProEnvironment*, 3: 322- 330.
- Konukcu F, İstanbulluoğlu A and Kocaman I (2004), Definition of water content in drying soils; incorporating transition from liquid phase to vapour phase. *Aust J. of Soil Res.* 42:1- 8
- Machado, E. C., Schmidt, P. T., Medina, C. L. and Ribeiro, R V. 2005. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40(12):1161-1170.

- Menenti, M. (1984). Physical aspects and determination of evaporation in desert applying remote sensing techniques. Ph. D. Thesis/ICW Reoort 10: 202D, 197p.
- Merdun H, Cinar O, Meral R, Apan M. (2006). Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*, 90:108-116.
- Pollacco, J. A. P. 2008. A generally applicable pedotransfer function that estimates field capacity and permanent wilting point from soil texture and bulk density. *Can. J. Soil Sci.* 88: 761_774.
- Procópio, S. O., Santos, J. B., Silva, A. A., Donagemma, G. K. and Mendonça, E. S. 2004. Ponto de murcha permanente de soja, feijão e plantas daninhas. *Planta Daninha* 22(1):35-41.
- Ratliff, L. F.; Ritchie, J. T.; Cassel, D. K. Field-Measured Limits of Soil Water Availability as Related to Laboratory-Mesaured Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1983, 47, 770- 775.
- Richards, L.A. (1928). "The usefulness of capillary potential to soil moisture and plant investigators". *J. Agr. Res.* 37: 719–742.
- Savage, MJ.; Ritchie, JT.; Bland, W.L.; Dugas, W.A. Lower Limit of soil Water Avability. *Agron J.* 1996, 88, 644-651.
- Salvestro, A. C., Freitas, P. S., Rezende, R., Dallacort, R. and Vieira, V. C. Permanent wilting point of bean cultivated in DystrinTosols and Rhodic Ferralsols *Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.10 (1): 462-466. 2012*
- Souza, C. C., Oliveira, F. O. A., Silva, I. F. S. and Amorim Neto, M. S. 2000. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob-cultivo de algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 4(3):338-342.
- Taiz L and Zeiger E (1991). *Plant Physiology*. The Benjamin/ Cummings Publishing Co., Inc. Redwood City, CA.
- Tolk, JA (2003). Soils, Permanent Wilting Points. *Encyclopedia of Water Science*. Marcel Dekker Inc., New York, pp:927-929.
- Uzunlu, M. 2006. Aspirinin Kavun Fidelerinin Değişik Abiyotik Stres Koşullarına Karşı Toleranslarının Artırılması Üzerine Etkileri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv., Fen Bilimleri Enst., Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, 39 sf., Kahramanmaraş.
- Veihmeyer, F.J. and Hendrickson, A.H. (1928). "The relation of soil moisture to cultivation and plant growth". *Proc. 1st Intern. Congr. Soil Sci.* 3: 498–513.
- Vereecken, H., Diels, J., van Orshoven, J., Feyen, J. and Bouma, J. 1992. Functional evaluation of pedotransfer function for the estimation of soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1371_1378.

Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J. and Darius, P. 1989. Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. *Soil Sci.* 148: 389_403.

ÖZGEÇMİŞ

Hatice Kübra TAMSA 1988 İstanbul doğumludur. İlk ve orta öğrenimini Küçükçekmece İç Kumsal İlköğretim okulunda tamamladıktan sonra açık öğretim lisesini bitirmiştir. Ardından Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesini kazanarak lisans eğitimini Tekirdağ' da tamamlamıştır. Lisans eğitiminden sonra ara vermeden yüksek lisans eğitimine başlamış bir yandan da İstanbul' da özel bir şirkette proje mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2011 yılı haziran ayında Tokat Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğüne atanarak kamu görevine başlamıştır. Halen kamuda hizmet vermektedir.