

**ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI
2014-YL-021**

**YÜZEYALTI DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNDE
DAMLATICI DEBİ DEĞİŞİMLERİNİN TARLA
KOŞULLARINDA SU UYGULAMA EŞDAĞILIMI
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLEREK MODELLENMESİ**


Safiye Pınar TUNALI

**Tez Danışmanı:
Prof. Dr. Necdet DAĞDELEN**

AYDIN

ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı öğrencisi Safiye Pınar TUNALI tarafından hazırlanan ‘Yüzeyaltı Damla Sulama Sistemlerinde Damlaticı Debi Değişimlerinin Tarla Koşullarında Su Uygulama Eşdağılımı Açısından Değerlendirilerek Modellenmesi’ başlıklı tez, 16.06.2014 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı Soyadı	Kurumu	İmzası
Başkan : Prof.Dr. Necdet DAĞDELEN	A.D.Ü. Ziraat Fakültesi	
Üye : Doç. Dr. Erhan AKKUZU	E.Ü. Ziraat Fakültesi	
Üye : Yrd. Doç. Dr. Selin AKÇAY	A.D.Ü. Ziraat Fakültesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu **Yüksek Lisans** tezi, Enstitü Yönetim Kurulunun Sayılı kararıyla tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cengiz ÖZARSLAN
Enstitü Müdürü

ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

AYDIN

Bu tezde sunulan tüm bilgi ve sonuçların, bilimsel yöntemlerle yürütülen gerçek deney ve gözlemler çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce, sonuç ve bilgilere bilimsel etik kuralların gereği olarak eksiksiz şekilde uygun atıf yaptığımı ve kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

16/06/2014

Safiye Pınar TUNALI

ÖZET

YÜZEYALTI DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNDE DAMLATICI DEBİ DEĞİŞİMLERİNİN TARLA KOŞULLARINDA SU UYGULAMA EŞDAĞILIMI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLEREK MODELLENMESİ

Safiye Pınar TUNALI

Yüksek Lisans Tezi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Necdet DAĞDELEN

2014, 39 sayfa

Yüzeyaltı damla sulama sisteminde, damlatıcı debi değeri damlatıcının çıkışında bulunan toprağın negatif (geri) basıncı nedeniyle azalmaktadır. Bu çalışmada yüzeyaltı damla sulama sisteminde kullanılan lateral hatlarında bulunan damlatıcılardaki debi değişimleri incelenmiştir. Öncelikle, tarla koşullarında bitki materyali bulunmaksızın, akış değişimini gösteren debi değişim katsayısı (CV_q) değerleri farklı özelliklere sahip damlatıcılar yardımıyla belirlenmiştir. Bu amaçla, toprak yüzeyine ve toprağın 30 cm derinliğine yerleştirilen basınç ayarlı (1.6 ve 2.3 L/h debiye sahip) ve basınç ayarlı olmayan (2 ve 4 L/h debiye sahip) damlatıcılar kullanılmıştır. Buna ek olarak, toprağın 30 cm derinliğine gömülen lateral hatlarında bulunan damlatıcılara ait negatif basınç değerlerinin değişim katsayıları (CV_{hs}) ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler yardımıyla HYDRUS 2D programı kullanılarak toprakta bulunan su tutma eğrisi parametreleri olan α ve k_s değerleri belirlenmiştir. Daha sonra ise aynı çalışma koşulları ve orta bünyeli heterojen topraklar için yüzey ve yüzeyaltı damla sulama sisteminde kullanılan lateralleri simüle etmek amacıyla MATLAB programlama dili yardımıyla hazırlanan bir simülasyon programı kullanılmıştır. Basınç ayarlı damlatıcıların CV_q değerleri, hem toprak yüzeyinde ve hem de toprak altında kullanıldığında birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, özellikle 2 L/h debiye sahip basınç ayarlı olmayan damlatıcıların CV_q değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum, yüzeyaltı damla sulamada basınç ayarlı olmayan damlatıcı debilerinin kendinden ayarlı olmadığından, damlatıcı debisi ile toprağın negatif basınç değerlerinin birbirleri ile etkileşimleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, basınç ayarlı olmayan damlatıcılar yüzeyaltı damla sulamada kullanıldığında yüzey damla sulamaya oranla daha fazla eş su dağılımı göstermişlerdir. Basınç ayarlı damlatıcılardaki eş dağılım ise hem yüzey ve hem de yüzeyaltı damla sulamada birbirleriyle benzerlik göstermiştir. Yüzeyaltı damla sulamada meydana gelen negatif basınç değerleri kabul edilen maksimum değere eşit veya bu değerin altında kalmıştır.

Anahtar sözcükler: yüzeyaltı damla sulama sistemleri, performans analizi, su uygulama eş dağılımı

ABSTRACT

EFFECT OF EMITTER DISCHARGE VARIABILITY OF SUBSURFACE DRIP IRRIGATION ON WATER APPLICATION UNIFORMITY UNDER FIELD CONDITIONS

Safiye Pınar TUNALI

M.Sc. Thesis, Department of Farm Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Necdet DAĞDELEN

2014, 39 pages

Emitter flow rate in subsurface drip irrigation decreases due to the high pressure of soil water at the discharge point of emitter. In this study, the variation in emitter discharge in subsurface drip irrigation laterals is examined. First, coefficient of variation of the emitter (CV_q) was measured in field conditions without plant material with different drippers. For this purpose, four different dripper models are used: 2 L/h non-compensating, 4 L/h non-compensating, 1,6 L/h compensating and 2,3 L/h compensating models. Additionally, the soil pressure coefficient of variation CV_{hs} was measured in buried emitters. By the help of the measured values in the soil, water retention curve parameters were determined with HYDRUS 2D program. Then, the irrigation uniformity was simulated with a MATLAB program in surface and subsurface drip irrigation laterals under the same operating conditions and medium textured heterogeneous soils. CV_q values of the compensating emitter models were similar for both the surface and subsurface conditions. However, CV_q values were decreased for the 2-L/h non-compensating model. This shows a possible self-regulation of non-compensating emitter discharge in SDI, due to the interaction between effects of emitter discharge and soil pressure. This resulted in a greater values of the irrigation uniformity of SDI non-compensating emitters than surface drip irrigation. The uniformity with pressure-compensating emitters would be similar in both cases, provided the overpressures in SDI are less than or equal to the compensation range lower limit.

Key words: subsurface drip irrigation systems, performance analysis, water application uniformity

ÖNSÖZ

Türkiye'nin tarımsal potansiyel bakımından önde gelen alanlarından olan Büyük Menderes Havzası, entansif tarımın yapıldığı oldukça verimli bir bölge olup, çok çeşitli ürün deseni bulunmaktadır. Sahip olduğu ekolojik özellikler nedeniyle, Ege Bölgesi ve Türkiye tarımına önemli katkıları sözkonusudur. Tarım dışındaki sektörlerin de (turizm, sanayi vb.) dâhil olması nedeniyle ekonomik faaliyetler büyük bir su talebi ve rekabeti yaratmaktadır. Öngörülen iklim değişikliği senaryolarına dayandırılan su bütçesi simülasyonlarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 2030 yılına kadar yüzey sularının yaklaşık %20'sinin azalacağı görülmektedir. Havzaların azalan yüzey suyu potansiyeli başlıca tarım, ev ve sanayi alanlarındaki su kullanıcıları arasında ciddi su sıkıntısı yaratacağını göstermektedir. Böylece ürünler normalden daha fazla suya ihtiyaç duyarken, iklime bağlı olarak azalan yağış değerleri de su kaynakları üzerinde fazladan baskı oluşturacaktır. Gelecekte beklenen iklim değişikliği kaynaklı olumsuzluklarla başa çıkabilmek için, arazi kullanımı yönetim programlarında, sulama ve yerleşim alanlarındaki su iletim ve dağıtım sistemleri teknolojilerinde değişiklik yapılması teşvik edilmektedir. Bu nedenle, tarım alanlarında basınçlı sulama sistemlerinin kullanımının artışı önemli bir husustur.

Bu tez çalışması, basınçlı sulama sistemlerinden önemli biri olan yüzeyaltı damla sulamanın su uygulama eş dağılımı açısından değerlendirilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Yüzeyaltı damla sulama sistemleri, damla sulama ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın, yüzeyaltı damla sulama sistemi laterallerinin bölgemizde kullanılabilirliği irdelenerek, özellikle iklim değişiminin olumsuz etkilerine karşı alınacak teknik önlemlere dâhil edilip edilemeyeceğinin araştırılması için kaynak olacağı düşünülmektedir.

Beni bu konuda çalışmaya yönlendiren merhum hocam Prof. Dr. Ömer Faruk DURDU'ya, tez çalışmamın her aşamasında değerli fikir ve görüşlerini paylaşarak, sonsuz destek ve sabır gösteren danışman hocam Prof. Dr. Necdet DAĞDELEN'e, çalışmam süresince bölüm olanaklarını kullanmam konusunda sağladığı kolaylıklar yanında görüş ve katkıları ile bana yol gösteren hocam Prof. Dr. Fuat SEZGİN'e, HYDRUS programının kullanımı konusunda benden yardımlarını esirgemeyen hocam Dr. Kürşad DEMİREL'e, denemenin kurulması ve arazi çalışmaları sırasında bana yardımcı olan çalışma arkadaşım Araş. Gör. Talih GÜRBÜZ'e, bu çalışmayı ZRF-12028 numaralı proje ile destekleyen Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine, bu zorlu süreçte beni yalnız bırakmayan eşim Ulaş TUNALI'ya ve benden maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1. Materyal	9
3.2. Yüzeyaltı Damlatıcı Debi Özelliklerinin Belirlenmesi	11
3.3. Yüzeyaltı Lateralindeki Su Uygulama Eş Dağılımı Değişiminin Belirlenmesi	14
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	17
4.1. Yüzey ve Yüzeyaltı Damlatıcı Debi Özelliklerinin Belirlenmesi	21
4.2. Damla Sulama Laterallerindeki Su Uygulama Eş Dağılımı Değişiminin Belirlenmesi	25
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	33
KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	39

KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

h_0	Optimum işletme basıncı
P_w	Topraktaki ağırlık yüzdesi cinsinden nem içeriği
W_w	Toprak örneğinin yaş ağırlığı (gr)
W_s	Toprak örneğinin kuru ağırlığı (gr)
q	Damlatıcı debisi
h	İşletme basınç yükü
k	Akış katsayısı
x	Akış rejim katsayısı
CV_q	Debi değişim katsayısı
CV_m	Damlatıcı üretim farklılığı katsayısı
u	Standart Gauss değişkeni
r_0	Küresel boşluk yarıçapı
K_s	Satüre olmuş (doygün) topraklarda hidrolik geçirgenlik
α	Gardner düzeltme katsayısı
h_s	Negatif (geri) basınç
CV_{h_s}	Negatif basınç değişim katsayısı
\bar{h}_s	Negatif basınç değerlerinin ortalaması
V_q	Debi varyansı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Deneme alanından bir görünüm.....	9
Şekil 4.1. Denemeden seçilen damlatıcıların akış değerleri.....	24
Şekil 4.2. Giriş basıncı (CV_q) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eş dağılımı (2 L/h basınç ayarlı olmayan damlatıcı).....	26
Şekil 4.3. Giriş basıncı (CV_q) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eş dağılımı (4 L/h basınç ayarlı olmayan damlatıcı).....	26
Şekil 4.4. Giriş basıncı (CV_q) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eş dağılımı (1,6 L/h basınç ayarlı damlatıcı).....	27
Şekil 4.5. Giriş basıncı (CV_q) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eş dağılımı (2,3 L/h basınç ayarlı damlatıcı).....	27

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Basınç ayarlı damlatıcılar için kullanılan değişkenler	11
Çizelge 3.2. Basınç ayarlı olmayan damlatıcılar için kullanılan değişkenler.....	12
Çizelge 4.1. Topraktaki kum, kil ve mil yüzdeleri.....	17
Çizelge 4.2. 2011 yılında sulamadan önce alınan toprak örnekleri.....	18
Çizelge 4.3. 2011 yılında sulamadan sonra alınan toprak örnekleri	19
Çizelge 4.4. 2012 yılında sulamadan önce alınan toprak örnekleri.....	20
Çizelge 4.5. 2012 yılında sulamadan sonra alınan toprak örnekleri	21
Çizelge 4.6. Denemelerdeki ortalama debi ve ortalama toprak basıncı değerleri... ..	21
Çizelge 4.7. Denemelerdeki debi ve toprak basıncı değişimleri	22
Çizelge 4.8. Basınç Ayarlı olmayan damlatıcılardaki debi değişim oranları.....	23
Çizelge 4.9. Toprak özelliklerine göre ortalama debi ve toprak basınç değerleri	25
Çizelge 4.10. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı laterali için deneme sonuçları (2L/h debili Basınç ayarlı olmayan r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0 = 10$ m olan damlatıcılar)	28
Çizelge 4.11. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı laterali için deneme sonuçları (4L/h debili Basınç ayarlı olmayan r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0 = 10$ m olan damlatıcılar)	29
Çizelge 4.12. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı laterali için deneme sonuçları (1,6L/h debili Basınç ayarlı r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0 = 10$ m olan damlatıcılar)	29
Çizelge 4.13. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı laterali için deneme sonuçları (2,3L/h debili Basınç ayarlı r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0 = 10$ m olan damlatıcılar)	30

- Çizelge 4.14. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı laterali için deneme sonuçları (2L/h debili Basınç ayarlı olmayan h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0 = 0,003$ m olan damlatıcılar)30
- Çizelge 4.15. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı laterali için deneme sonuçları (4L/h debili Basınç ayarlı olmayan h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0 = 0,003$ m olan damlatıcılar)31
- Çizelge 4.16. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı laterali için deneme sonuçları (1,6L/h debili Basınç ayarlı h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0 = 0,003$ m olan damlatıcılar)31
- Çizelge 4.17. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı laterali için deneme sonuçları (2,3L/h debili Basınç ayarlı h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0 = 0,003$ m olan damlatıcılar)32

1. GİRİŞ

Kısıtlı su kaynakları ve küresel ısınmanın getirdiği olumsuzluklar, sulama sistemlerindeki suyun optimum düzeyde ve minimum kayıpla kullanılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır (Karakaya, 2009). Türkiye su zengini bir ülke değildir. Kişi başına düşen yıllık su miktarına göre ülkemiz su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1519 m³ civarındadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1120 m³/yıl civarında olacağı söylenebilir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Ayrıca bütün bu tahminler mevcut kaynakların 20 yıl sonrasına hiç tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir. Bu sebeple Türkiye'nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynakların çok iyi korunup, akılcı kullanılması gerekmektedir (Anonim, 2012a). Bu nedenle basınçlı sulama sistemlerinin tarımda kullanılması gün geçtikçe önem kazanan bir konudur.

Leliart (1987) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre basınçlı sulama yöntemleri yağmurlama sulama yöntemleri ve yersel sulama yöntemleri olmak üzere iki ana başlık altında toplanmıştır. Yüzey ve yağmurlama gibi klasik yöntemlerde sulama suyu, toprağa ve bitkiye bağlı olarak, belli aralıklarla verilir. Sulama aralığı olarak tanımlanan bu süreler, birkaç günden birkaç haftaya dek değişebilirler. Uygulamadan hemen sonra kök bölgesinin tümü hemen yaklaşık olarak, tarla kapasitesine ulaşır. Sulamayla birlikte depolanan suyun tüketimi başlar. Toprak nemi iki sulama arası dönemde giderek azalır. Böylece bitkiler, çok ıslaktan olabildiğince en kuru düzeye dek sürekli değişen toprak nem koşullarında gelişirler, kök bölgesindeki nemin yüksek düzeyde tutulduğu, küçücük nem azalışlarının bile anında önlenebildiği koşullarda bitkilerden, belirgin ölçüde yüksek ürün alındığı kabul edilmektedir. Ancak açıklanan koşulun, yüzey veya geleneksel yağmurlama sulama yöntemleriyle gerçekleştirilme olanağı yoktur.

Teknik yönden çok sık (örneğin günlük) sulama yapılabilmesi için az miktarda ve düzenli olarak su uygulayan sürekli bir sisteme gereksinim vardır. Böyle bir uygulama, yerleşik-sabit, dairesel hareketli yağmurlama sistemleri veya küçük miktarlardaki suyu bitkinin hemen yakınına, çok sayıda noktaya götürebilen sürekli bir ekipmanla başarılabılır. Günümüzde bu gibi çok sık sulama yapabilen

sistemler, ekonomik olarak kullanılabilir hale gelmiştir. Araştırmacı ve üreticiler, “yersel sulama sistemleri” olarak adlandırılan sulama teknolojisini geliştirmeye başlamışlardır.

Yersel sistemlerin gelişmesinin ardındaki bir diğer düşünce, sulama suyunu toprak yüzeyine, klasik yöntemlerde yapılandan daha türdeş dağıtabilen etkin bir sulama yöntemi yaratma isteğidir. Bu amaca ulaşmak için sulama suyunun tarlanın yalnızca herhangi bir noktasına değil istenilen her noktasına ekonomik olarak iletilmesi gerekmektedir.

Suyun genellikle su dağıtım hattına yerleştirilmiş damlatıcılar ve uygulayıcılar aracılığı ile kesintili veya sürekli damlalar, serpinti veya sisleme halinde; çok sık ve küçük miktarlarda doğrudan toprak yüzeyine veya içerisine verildiği sulama yöntemi olarak tanımlanan yersel sulama yöntemlerinden önemli biri de yüzeyaltı damla sulama yöntemidir.

Yüzeyaltı damla sulama yöntemi genel bir ifadeyle, suyun nokta veya çizgi kaynaklı damlatıcılar aracılığı ile toprak yüzeyinin hemen altına verildiği yöntem olarak tanımlanır. Sulamada kullanılan debi, genellikle, damla sulamadaki ile aynıdır (Kanber, 2002). Bir sulama sisteminin iyileştirilmesi var olan sistemin izlenmesi ve iyileştirilmesi ile mümkündür. Sulamadan beklenen yararın sağlanabilmesi için koşulları en uygun sulama yönteminin seçilmesi, yöntemin gerektirdiği sistemin tekniğe uygun projelendirilmesi, projede öngörüldüğü biçimde kurulmasına ve işletilmesine bağlıdır (Yıldırım ve Korukçu, 1999).

Yüzeyaltı damla sulama genellikle kuru bir toprak yüzeyindeki bitkilere su ve besin sağlamak için kullanılmaktadır (Ben Gal vd., 2004). Bu sistem yüzey suyundaki sağlık tehlikeleri, koku, yer altı suyu kirliliği ve akışı azaltmaya yardım etmektedir (Trooien vd., 2002). Yüzeyaltı damla sulama sistemlerindeki damlatıcılar toprakta; su tasarrufu, yabancı ot kontrolü, yüzey akış ve buharlaşmanın minimize edilmesi, lateral ve damlatıcıların ömrünün uzatılması, tarlada ağır makine kullanımının kolaylaştırılması ve düşük kaliteli sularla kullanılabilmesi ile insan temasının önlenmesini sağlayacak şekilde konumlandırılabilir (Camp 1998; Lamm 2002). Yüzeyaltı damla sulama sistemlerinin tercih edilmesindeki bir başka neden de yüzey damla sulama sistemlerinde laterallerin sezonluk olarak kurularak toplanması sırasında harcanan emeğin oldukça azalmasıdır (Lazarovitch vd., 2006).

Otomatik bir yüzeyaltı damla sulama sisteminin en büyük avantajlarından biri bitkinin ihtiyaç duyduğu besinleri sulama yardımıyla günde üç kere gibi çok sık aralıklarla uygulama yeteneğidir. Pamukta ihtiyaç duyulan pozitif verim artışını, sık sulama sayesinde elde etmek mümkündür (Bordovsky vd., 1992, Radin vd., 1992). Ancak, eğimli alanlarda, bir yüzeyaltı damla sulama bölgesinde suyun eş dağılımı, sulama şebekesinin sonunda suyun düşük debide aktığı zamanda sık sulama döngüsü olumsuz olarak etkilenebilmektedir. İyi tasarlanmış bir yüzeyaltı damla sulama sisteminin eş dağılım avantajları çok sık sulama yüzünden azalabildiği unutulmamalıdır (Bordovsky ve Porter, 2006).

Toprağın hidrolik özellikleri yüzeyaltı damla sulama sistemindeki damlatıcı debilerini etkileyebilmektedir. Sulama sırasında, negatif basınç (geri basınç) toprakta noktasal kaynaklı damlatıcı akış koşullarını oluşturan bir yüzeyaltı damlatıcısının yakınlarında oluşabilmektedir (Philip 1992). Toprak koşullarının yarattığı negatif basınç etkileri yüzeyaltı damla sulama sistemlerinin performansını etkileyebilmektedir. Sulama süresi ve miktarı normalde nominal damlatıcı debisine bağlı olarak belirlenmektedir. Damlatıcı debilerinde meydana gelen değişim, sulama süresi ve miktarında çeşitli hatalara neden olabilmektedir. Buna ek olarak, damlatıcı debi değişim değeri tarlada ya da tarlanın belirli yerlerinde eş dağılımda farklılıklara yol açabilmektedir. Geleneksel olarak, bir lateral boyunca meydana gelen damlatıcı debilerindeki değişim sistemin hidrolik özelliklerine ve damlatıcıların üretim özelliklerine bağlıdır (Dasberg ve Or, 1999). Ayrıca, kurulum sırasında tarlada toprak hidrolik özellikleri ve farklı boyutlardaki toprak boşlukları nedeniyle her bir damlatıcıda ayrı ayrı uniform olmayan debi meydana gelerek, sulama uygulamalarına bağlı olarak belirgin bir basınç farkı söz konusu olabilmektedir (Warrick ve Shani 1996; Ben Gal vd., 2004).

Damla sulama sistemlerinde eş su dağılımının belirlenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ancak Büyük Menderes Havza sınırları içerisinde yüzeyaltı damla sulamayla ilgili yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Bu çalışmanın ana amacı, toprak hidrolik özelliklerinin, damla sulamanın özelliklerinin ve sistem basıncının yüzeyaltı damla sulama laterallerinde damlatıcı debi eşdağılımı üzerine etkilerinin değerlendirilmesidir. Bu amaçla, tarla koşullarında yüzey ve yüzeyaltı damla sulamadaki damlatıcı akış değişimlerini inceleyerek, iki yöntem arasında karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca, damlatıcı çıkış noktasındaki toprak basıncı değişimleri de ölçülüp, karşılaştırılmıştır. Toprak altına yerleştirilen laterallerdeki debi değişimlerinin nedenleri analiz edilerek, miktarları ölçülecektir. Bunun

yanında, damla sulama laterallerinin eş dağılımının yüzeyaltı damla sulama sistemlerinde kullanılan ve farklı üretim değişkenlerine sahip damlaticılar ile karşılaştırılması planlanmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yüzeyaltı damla sulamadaki en önemli problemlerden biri de performans ve eş dağılımın değerlendirilmesidir. Yüzey damla sulama sistemleri için eş dağılımın ölçülmesi kolay olmasına rağmen yüzeyaltı damla sulama sistemleri için çok daha zordur. Çünkü tüm damlaticıların toprak altında olması nedeniyle hemen gözlenerek ölçülememektedir. Damla sulamada eş dağılımın belirlenmesi amacıyla kullanılan yöntemlerin tamamı yüzeyaltı damla sulama için de kullanılabilir. Ancak, bunun tek yolu damlaticı debilerinin ölçülebilmesi için toprağın kazılmasıdır. Sistem basıncı ve debisinin ölçülmesi ile sistem performansı değerlendirilerek, sistemdeki eş su dağılımı birçok yöntemle belirlenebilir (Camp, 1998).

Atıksuların sulamada kullanımına ilişkin bilgi ve teknolojilerin artışı ile birlikte, yüzeyaltı damla sulama sistemlerinin kullanımı da yaygınlaşmıştır. Yüzey damla sulamanın aksine toprak hidrolik özellikleri yüzeyaltı damla sulama sistemlerini etkiler. Özellikle 2 m gibi düşük basınçlarda çalışan sistemlerde bu etki görülebilmektedir. Lazarovitch vd. (2006) yüzeyaltı damla sulama laterallerinin sonunda meydana gelebileceği tahmin edilen problemlerin çözümünde yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Laterallerdeki yük kayıpları ve damlaticı çıkışlarındaki toprakların etkilerini kavramak için modeller geliştirilmiştir. Birleştirilmiş olan model; yüzeyaltı damla sulama laterallerinin performans değerlendirmesindeki lateral çapı, uzunluğu ve eğimi, damlaticının nominal çıkışı ve kuvveti, damlaticı girişindeki basıncı, toprak hidrolik özellikleri ve toprağın konumsal değişiklikleri gibi girdilerin değiştirilmesini sağlamıştır. Bu model iki ayrı sayısal değer için debi değişim katsayılarını tanımlamada kullanılmıştır.

Bucks ve Davis (1986) tarafından yapılan bir çalışmada damla sulama sistemlerinin tarla koşullarında birçok değişikene maruz kaldığı ve özellikle damlaticıların hidrolik karakteristiklerinin tarla bazında eş su dağılımını büyük oranda etkilediği ortaya konmuştur.

Camp vd. tarafından 1984 – 1993 yılları arasında yapılan bir çalışmada damlaticı çıkış eş dağılımı açısından hem yüzey damla sulama ve hem de yüzeyaltı damla sulama sistemleri değerlendirilmiş ve bu çalışma sonucunda yüzeyaltı damla

sulama sisteminin kurulumu ve işletilmesi sırasında gereken özen gösterildiğinde, sistem ömrünün 8 – 10 yıla kadar rahatlıkla uzatılabileceği dile getirilmiştir (Camp vd., 1993).

Warrick ve Shani (1996) yaptıkları çalışmada, toprağın değişkenliğinin yüzeyaltı damlatıcılarındaki suyun debisini etkilediğini ortaya koymuşlardır. Bu durum toprakta basınç birikmesine neden olarak, suyun damlatıcılardan uzağa iletilmesine engel olmaktadır. Bu çalışmada, toprak hidrolik özelliklerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanan ve ortaya çıkan debi değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir analiz geliştirilmiştir. Hesaplanan debi miktarı arttığında veya toprağın hidrolik iletkenliği azaldığında, (diğer faktörlerin eşit olduğu düşünülürse) damlatıcı çıkışlarındaki basınç artarak, debi azalmaktadır.

Ayars vd. (1999), eş su dağılımı açısından yüzeyaltı damla sulama laterallerini değerlendirmiştir. Özellikle çalışmanın yapıldığı bölgede yüzeyaltı laterallerinin, bitki kökleri tarafından damlatıcıların tıkanmasında engelleyici bir rol oynadığı gözlenmiştir.

Lesikar vd. (2004) Teksas Eyaletine bağlı üç farklı lokasyonda yapmış oldukları çalışmada yüzeyaltı damla sulama sistemindeki uygulama eş dağılımlarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada belirlenen lokasyonlardaki üç farklı lateral üzerinde bulunan damlatıcıların debi değerleri laboratuvar koşullarında belirlenmiş, elde edilen sonuçlara göre eş dağılım değerlerinin hem bireysel olarak laterallerde ve hem de farklı lokasyonlarda geniş aralıklarda olduğu gözlenmiştir. Bazı lokasyonlardaki farklılıkların damla sulama laterallerindeki işletme basıncı değerlerinin normalden daha düşük olmasından kaynaklandığı, ayrıca bu düşük işletme basıncı değerlerinin de tasarım ve / veya kurulum sorunlarına bağlı olabileceği öne sürülmüştür.

Bordovsky ve Porter (2006) yaptıkları çalışmada, “Yüzeyaltı damla sulama sistemi tasarımında eş dağılım standartlarının düşürülmesiyle pamuk lif verimi açısından maliyeti nasıl etkiler?” sorusuna cevap aramışlar ve bu amaçla yüzeyaltı damla sulama lateralleri üzerinde bulunan damlatıcıların eş dağılım değerlerini incelemişlerdir. Yüzeyaltı damla sulama tasarımlarının parsellerdeki konumsal ürün verimleri üzerinde oldukça büyük etkileri olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Deneme süresince olağandışı koşullarda yüzeyaltı damla sulama sistemlerinde beklenen farklılıklar gözlenmese de, bazı durumlarda, yüzeyaltı damla sulama

kurulum maliyetlerinde önemli sayılabilecek bir azalmanın meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Toprak hidrolik özellikleri, yüzeyaltı laterallerindeki debileri etkileyebilmektedir. Bu nedenle topraktaki negatif basınç damlatıcısının uzağına suyun iletimini sınırlandırmaktadır. Laterallerin sonuna doğru ilerledikçe toprak tipine, damlatıcı nominal akışına, damlatıcı çıkış noktasının etrafında bulunan boşluklara ve damla sulama sisteminin hidrolik özelliklerine bağlıdır. Yüzeyaltı damla sulama sistemlerinin uygun kurulumu ve işletilmesi için, tarladaki konumsal değişimler göz önünde bulundurulmalıdır. Toprağın homojenliği damlatıcı çıkışındaki uniformiteyi etkilemektedir. Toprak değişimi genelde diğer faktörlere oranla daha çok etkilidir (örn. imalattaki değişiklikler, basınç hattında sapma ve damlatıcı tıkanması). Lazarovitch vd. (2006) yaptıkları bir çalışmada, damlatıcı debisi seçiminin olası akış değişikliklerinin aşılması için oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Birbirine yakın damlatıcı aralığı ve basınç ayarlı damlatıcıların kullanılmasıyla daha düşük debi değerinin yanı sıra damlatıcı etrafında yapay boşluklar oluşturularak lateral boyunca debi değişimi en aza indirilebilir.

Kötü sulama koşulları, su uygulama eş dağılımı açısından ürün veriminde bir azalmaya neden olabilmektedir. Damla sulama; düşük işletme basıncı nedeniyle enerji kullanımının azaltılması, sadece kök bölgesi ıslatıldığı için daha az su ve besin maddesi kullanılması ve sık sulamalardan dolayı bitki köklerinin su ve besin maddelerini daha kolay almasına olanak sağladığı için önemli bir potansiyele sahiptir (Dasberg ve Or, 1999). Diğer sulama yöntemleriyle karşılaştırıldığında, yüzeyaltı damla sulamanın buharlaşma, yüzey akış ve derine sızma yoluyla oluşan su kaybını minimuma indirmede daha iyi bir kapasiteye sahip olduğu görülmektedir (Camp 1998).

Lazarovitch ve ark. (2005), tarla koşullarında iki farklı damlatıcıya toprak tarafından oluşturulan basıncı ölçmüş ve aynı debi ile toprak tipi olmasına rağmen Shani ve ark.'a göre daha düşük değerler elde etmiştir (3m'ye kadar).

Gil vd. (2008) da laboratuvar koşullarında aynı hacim ağırlığına sahip toprakların bulunduğu saksılarda toprak özelliklerinin etkisini incelemişlerdir. Ancak, tarla denemelerinde elde ettikleri aynı akış hızı ve benzer topraklar için gözlenen negatif basınç diğer araştırmalara göre daha düşüktür. Çünkü bu koşullarda, toprağın yapısı su basıncına etki eden toprağın mekanik direncini arttırmıştır.

Warrick ve Shani (1996) ve Lazarovitch vd. (2006) toprak özelliklerinin mekânsal değişkenliğinin de dâhil olduğu bir yüzeyaltı damla sulama laterali boyunca oluşan debi değişimini incelemiştir. Bu araştırmacılar denemelerindeki mekânsal değişkenliği belirleyebilmek için variogramlar kullanmışlardır. Warrick ve Shani (1996) tarafından yapılan çalışmada laterallerdeki hidrolik değişkenlikler göz ardı edilmiş, bunun yanında, Lazarovitch vd. (2005, 2006) tarafından yapılan çalışmalarda ise dikkate alınmıştır. Yapılan bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar, yüzeyaltı damla sulamanın yüzey damla sulamaya oranla uniformitenin daha az olduğunu göstermiştir.

Yakın zamanda yapılan çalışmalar bitkisel üretim üzerine yüzeyaltı damla sulama sisteminin değişkenlerinin (laterallerin yerleşimi ve uzunluğu) ve işletiminin etkisi olduğunu göstermiştir (Camp vd. 1997b; Ayars vd. 1999; Bordovsky ve Porter 2006; Grabow vd. 2006). Bununla birlikte, yüzeyaltı damla sulama laterallerinde su uygulama eşdağılımının ölçülmesi ile ilgili yapılan bazı çalışmaların daha farklı özelliklerdeki topraklarda da yapılması gerekliliği halen devam etmektedir (Phene vd. 1992; Sadler vd. 1995; Camp vd. 1997a; Safi vd. 2007). Sadler vd. (1995) laterallerin değerlendirilmesi ile ilgili laterallerin yerleştirildiği derinliklere bağlı olarak damlatıcı debisinde %2.8 ile 3 arasında bir artış olduğunu bildirmiş; bu etkinin eş su dağılımı hesaplamalarında önemli hatalara neden olacağı sonucuna varmışlardır. Yukarıda sözü edilen çalışmaların büyük bir kısmında yüzeyaltı damla sulama eş dağılımı diğer sulama yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Daha önce yapılan araştırmalarda yüzeyaltı damla sulamadaki damlatıcı debilerine toprak özelliklerinin etkisi üzerinde çalışılmış ve toprak özelliklerinin farklılığı dikkate alınarak debi değişimleri üzerine denemeler yapılmıştır. Ancak, laboratuvar denemelerinin hiçbirinde birden fazla gömülü damlatıcı debi değişimi incelenmemiş ve farklı damlatıcılar üzerinde yapılan arazi çalışmalarını destekleyici nitelikte olmamıştır.

Bu çalışmanın ana amacı, tarla koşullarında yüzey ve yüzeyaltı damla sulamadaki damlatıcı debi değişimlerini inceleyerek, iki yöntem arasında karşılaştırma yapmaktır. Ayrıca, damlatıcı çıkışındaki toprağın negatif basınç değişimleri de ölçülüp, karşılaştırılmıştır. Toprağın altına yerleştirilmiş laterallerin debi değişimi analiz edilerek, miktarları ölçülmüştür. Bununla birlikte, damla sulama laterallerinin farklı üretim değişkenlerine sahip damlatıcılardaki eş su dağılımları karşılaştırılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışması, Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde tarla koşullarında yürütülmüştür. Araştırma, Eylül 2011 ve Ağustos 2012 olmak üzere iki dönemde yürütülmüştür. Çalışmada parsellerin sulanması için gerekli olan sulama suyu, deneme alanında bulunan yer altı su kaynağından (kuyudan) sağlanmıştır. Sulama suyu, bir motopomp yardımıyla kuyudan alınarak 63 mm dış çaplı kaytanlı polivinil klorür (PVC) borular ile araştırma alanına getirilmiştir.



Şekil 3.1. Deneme alanından bir görünüm

İlk denemede (Eylül 2011) oluşturulan 4 adet parselde, her parselde sıraya tek lateral gelecek şekilde 16 mm dış çaplı polietilen (PE) yüzeyaltı lateral boruları toprağın 30 cm altına serilerek parseller oluşturulmuştur. 2 adet yüzeyaltı damla sulama laterali sırasıyla 1.6 ve 2.3 L/h debili içten geçik damlatıcılı olup, damlatıcı

aralıkları 50 cm'dir. Her bir lateral boru hattı başına yine 16 mm çaplı vanalar takılarak sulamaların kontrollü yapılması sağlanmıştır. Tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulan deneme iki tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemenin parsel uzunlukları 50 m (1 sıra) olmak üzere toplam 50 m²'dir. Yanal sızmaları önlemek için parsel aralarında ise 1 m boşluk bırakılmıştır. Deneme sahasının başına bir manometre konularak laterallere ulaşan suyun basıncı (optimum işletme basıncı), h₀, deneme süresince takip edilmiş, 1 atmosfer (≈10mSS) değerinde tutulmuştur.

İkinci üretim döneminde ise (Ağustos 2012) aynı deneme alanında bu kez yüzeyaltı damlatıcıları ve yüzey damlatıcıları arasındaki değişimlerin gözlenmesi amacıyla her iki tip lateralden de iki ayrı debiye sahip lateraller kullanılmıştır. Yüzeyaltı lateralleri bir önceki denemede kullanılan 1.6 ve 2.3 L/h debiye sahipken yüzey lateralleri ise sırasıyla 2 ve 4 L/h debiye sahip lateraller arasından seçilmiştir. Yine her bir lateralın damlatıcı aralıkları 50 cm olarak seçilmiştir.

Topraktaki nem değişimini belirlemek amacıyla gravimetrik yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla her bir parselin ortasından, bir toprak burgusu yardımıyla toprağın 120 cm derinliğine kadar, her 30 cm'lik katmanın yaklaşık ortasından (200 gr civarında) bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır. Bu toprak örnekleri, nemin buharlaşması engellenecek biçimde, daha önce darası alınmış kaplara konarak deneme alanında bulunan laboratuvarında yaş ağırlıkları elde edilmiştir. Daha sonra kurutma fırınında 105⁰C'de 24 saat bekletilen toprak örnekleri tekrar tartılarak kuru ağırlıkları saptanmıştır. Aşağıdaki eşitlik yardımıyla farklı derinliklerdeki toprak nemi değerleri hesaplanmıştır (Güngör vd., 2002).

$$P_w = \frac{W_w - W_s}{W_s} * 100 \quad (1)$$

Burada; P_w toprağın ağırlık yüzdesi cinsinden nem içeriği (%), W_w toprak örneğinin yaş ağırlığı (gr) ve W_s toprak örneğinin kuru ağırlığı (gr) olarak tanımlanmaktadır.

Gravimetrik yöntemle toprak örnekleri her iki denemede de hem sulamadan bir gün önce ve hem de sulamadan bir gün sonra olmak üzere iki ayrı zamanda alınmıştır.

Damlatıcı çıkışındaki toprak örneklerinin tekstürünü tanımlamak için Bouyoucos yoğunluk ölçüm yöntemi (Day 1965) kullanılmıştır.

3.2. Yüzealtı Damlatıcı Debi Özelliklerinin Belirlenmesi

Eş dağılım, damlatıcı üretim farklılıklarına, arazi eğimine bağlı olarak değişen sulama ünitesinin hidrolik değişkenliğine ve borulardaki yük kayıplarına, damlatıcıların basınç ve sıcaklığa karşı duyarlılıklarına ve damlatıcıların tıkanmasına bağlı olarak değişim göstermektedir (Mizyed ve Kruse 1989; Rodriguez – Sinobas vd. 1999). Bir sulama ünitesindeki su dağılımı genellikle yukarıdaki faktörlerin ilk ikisini içerecek şekilde hesaplanmaktadır. Sonuç olarak, su uygulamalarındaki değişkenlik hem damlatıcı üretim farklılıklarına hem de hidrolik değişkenliğe bağlıdır.

Orifislerdeki basınç yükü ve serbest akım değerleri arasındaki potansiyel ilişki damlatıcı debilerine de uygulanabilmektedir (Karmeli ve Keller, 1975):

$$q = k * h^x \quad (2)$$

Burada; q damlatıcı debisi, h işletme basıncı, k akış katsayısı ve x ise üs değeridir. Bu değerler denemede kullanılan lateraller için ilgili firma kataloğundan alınmıştır. İlgili değerlere ait tablolar çizelge 3.1. ve 3.2. de gösterilmiştir (Anonim 2012b, 2012c).

Çizelge 3.1. Basınç ayarlı damlatıcılar için kullanılan değişkenler

Debi (L/h)	İşletme Basıncı Aralığı (Bar)	Su Akış Alanı Genişlik-Derinlik-Uzunluk (mm)	Filtreleme Alanı (mm ²)	K Sabiti	x (işletme basıncı aralığına göre)	Tavsiye Edilen Gübreleme (mikron) (mesh)
0.7	0.5 - 4.0	0.70 x 0.65 x 40	98	0.7	0	130/120
1.0	0.5 - 4.0	0.83 x 0.74 x 40	130	1.0	0	130/120
1.6	0.5 - 4.0	1.26 x 0.70 x 40	130	1.6	0	200/80
2.3	0.5 - 4.0	1.26 x 0.95 x 40	130	2.3	0	200/80
3.5	0.5 - 4.0	1.59 x 1.15 x 40	150	3.5	0	200/80

Çizelge 3.2. Basınç ayarlı olmayan damlatıcılar için kullanılan değişkenler

Debi (L/h)	İşletme Basıncı Aralığı (Bar)	Su Akış Alanı Genişlik-Derinlik-Uzunluk (mm)	Filtreleme Alanı (mm ²)	K Sabiti	X (işletme basıncı aralığına göre)	Tavsiye Edilen Gübreleme (mikron) (mesh)
1.00	3.0 – 3.5	0.60 x 0.80 x 75	70	0.348	0.46	130/120
1.50	3.0 – 3.5	0.73 x 0.85 x 75	70	0.520	0.46	130/120
2.00	3.0 – 3.5	0.76 x 1.08 x 75	70	0.693	0.46	130/120
4.00	3.0 – 3.5	1.06 x 1.40 x 75	76	1.387	0.46	130/120
8.00	3.0 – 3.5	1.68 x 1.40 x 37	76	2.774	0.46	130/120

Sulama sistemi boyunca k, h ve x değerleri, herhangi bir sulama ünitesinde debi değişimi üzerinde etkili olmuştur. Bu durum normal bir dağılımda dikkate alınmıştır (Solomon 1977, Anyoji ve Wu 1994). Bu hipotez son değişimin temel nedeni olan damlatıcı üretim farklılıklarına daha uygundur. Sulama ünitesindeki normal debi dağılımı, ortalama (değerlendirilen örneğin ortalama debisi) ve standart sapma (veya ölçülen debi değerlerinin CV_q değişim katsayısı değerleri) olmak üzere iki parametreye bağlı olarak nitelendirilecektir. Sıcaklığın sabit ve damlatıcı tıkanıklıklarının az olduğu durumda, damlatıcı debi değişim katsayısı (CV_q), hidrolik değişkenlik ve üretim farklılığı katsayısına (CV_m) bağlı olacaktır. Bu iki değişkeni Eşitlik 2'ye eklersek:

$$q = k * h^x * (1 + u * CV_m) \quad (3)$$

Burada u, ortalaması 0 ve standart sapması 1 olan normal rasgele değişkendir.

Üretim farklılığı katsayısı (CV_m) üretici tarafından üretilen ve herhangi bir tarlada çalıştırılmadan ya da kullanılmadan önce aynı marka, model ve boyuttaki damlatıcılarda oluşan rastgele örnek akış değişkenliğinin ölçüsüdür (ASAE, 1996).

Yüzeyaltı ve yüzey damla sulama arasındaki önemli farklardan biri damlatıcı debisinin toprak özelliklerinden etkilenebilir olmasıdır. Philip (1992), toprağın altına gömülmüş noktasal kaynaklı suyun hareketi üzerinde çalışmış ve birçok toprakta kaynak etrafında, negatif basınç nedeniyle daire şeklinde bir doymuş bölgenin oluştuğu sonucuna varmıştır. Sürekli bir akış rejiminde damlatıcı

çıkışında oluşan negatif basıncı belirlemek için analitik bir eşitlik geliştirmiştir. Shani vd. (1996) yüzeyaltı sulamanın farklı koşulları için bu eşitliğin uygulanabilirliğini test etmişlerdir. Bu araştırmacılar, toprak boşluklarında oluşan basıncı (negatif /geri basınç) (h_s) toprağın hidrofiziksel özelliklerine bağlı damlatıcı debileriyle (q) ilişkilendirmek için Philip eşitliğini şu şekilde kullanmışlardır:

$$h_s = \left(\frac{2 - \alpha * r_0}{8\pi * K_s * r_0} \right) * q - \frac{1}{\alpha} \quad (4)$$

Burada q sürekli akım rejimindeki damlatıcı debi değerini, r_0 oluşan küresel boşluğun yarıçapını, K_s satüre olmuş (doygun) toprağın hidrolik geçirgenliğini ve α Gardner (1958) tarafından belirlenen satüre olmuş toprağın hidrolik geçirgenliğini tanımlayan düzeltme katsayısını vermektedir.

Orta dereceli akışlar için, tahliye noktasındaki basınç lineer ve damlatıcı akış oranı eğimi r_0 , K_s ve α 'ya bağlı olarak değişen düz bir çizgi şeklindedir.

Shani vd. (1996) farklı debilere sahip damlatıcılar kullanarak, damlatıcı çıkışlarında oluşan negatif basınç değerlerini ölçmüşlerdir (ve 8 mSS'na kadar ulaşan sonuçlar kaydetmişlerdir). Bu araştırmacılar damlatıcı debisinden daha düşük infiltrasyon değeri elde edilen topraklardaki suyun basıncının yükseldiğini ortaya çıkarmışlardır. Bu durumda, damlatıcıların karşısında küçük bir basınç farkı meydana gelmiş ve bunun sonucunda, Eşitlik 2'de verilen serbest akımla karşılaştırılan damlatıcı debisi düşmüştür. Debi düşüşü, nominal damlatıcı debisine bağlı olarak hafif bünyeli topraklarda daha fazladır.

Bu nedenle, yüzeyaltı damlatıcısının çıkışında bir basınç farkı varsa, damlatıcı içi ve toprak arasındaki hidrolik eğim azalır ve damlatıcı debisini Eşitlik 5'teki şekilde azaltmak gerekmektedir:

$$q = k * (h_0 - h_s)^{\alpha} \quad (5)$$

Birden fazla damlatıcının aynı anda çalıştığı koşullar için Eşitlik 5 şu şekilde değişmektedir:

$$q = k * (h_0 - h_s)^{\alpha} * (1 + u * CV_m) \quad (6)$$

Burada u standart Gauss değişkenidir.

Eşitlik 6'da, q 'nın varyansı V_q , u ve h_s rasgele değişkenlerinin varyans fonksiyonlarını tahmin etmede kullanılan delta yöntemi yardımıyla hesaplanmıştır (Oehlert 1992):

$$V_q = Vh_s * \left[x * k * (h_0 - \bar{h}_s)^{x-1} \right]^2 + \left[k * (h_0 - \bar{h}_s)^x * CV_m \right]^2 - 2 * cov(\bar{h}_s, u) * \left[x * k * (h_0 - \bar{h}_s)^{x-1} \right] * \left[k * (h_0 - \bar{h}_s)^x * CV_m \right] \quad (7)$$

Burada; Vh_s çıkış noktasında oluşan basınç farkı ve \bar{h}_s ise topraktaki negatif basınç değerlerinin ortalamasıdır.

Yukarıdaki eşitlik debi değişim katsayısı (CV_q) cinsinden şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$CV_q = \frac{1}{q} \left[Vh_s * \left[x * k * (h_0 - \bar{h}_s)^{x-1} \right]^2 + \left[k * (h_0 - \bar{h}_s)^x * CV_m \right]^2 - 2 * cov(\bar{h}_s, u) * \left[x * k * (h_0 - \bar{h}_s)^{x-1} \right] * \left[k * (h_0 - \bar{h}_s)^x * CV_m \right] \right]^{0,5} \quad (8)$$

Bu çalışmada, damlatıcı debisi ve toprak özellikleri üzerine etkisi $cov(\bar{h}_s, u)$ belirlenerek değerlendirilmiştir. Diğer değişkenler Eşitlik 8'de denemeden elde edilen değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Herhangibir ilişkinin olmadığı koşullar için, toprak özelliklerinin etkisi damlatıcı debisinden bağımsız olacağından Eşitlik 8 aşağıdaki gibi değişmektedir:

$$CV_q = \frac{1}{q} \left[Vh_s * \left[x * k * (h_0 - \bar{h}_s)^{x-1} \right]^2 + \left[k * (h_0 - \bar{h}_s)^x * CV_m \right]^2 \right]^{0,5} \quad (9)$$

3.3. Yüzealtı Lateralindeki Su Uygulama Eş Dağılımı Değişiminin Belirlenmesi

Topraktaki yüzealtı lateralinde meydana gelecek olan su uygulama eş dağılımını simule etmek için denemede aynı α ve k_s değerleri kullanılarak bir MATLAB programı kullanılmıştır.

MATLAB tüm mühendislik alanında, sayısal hesaplamalar, veri çözümlenmesi ve grafik işlemlerinde kolaylıkla kullanılabilen bir programlama dilidir. Yüksek seviyeden programlama dilleri ile yapılabilen hesaplamaların pekçoğunu MATLAB ile yapmak mümkündür. Buna karşılık MATLAB'ın fonksiyon kütüphanesi sayesinde diğer programlama dillerine göre MATLAB'ta daha az sayıda komutla çözüm üretmek mümkündür. Gerçekte MATLAB, M-dosyaları (M-files) olarak bilinen pek çok sayıda fonksiyon dosyalarından (altprogramlardan) ibarettir. M-dosyaları ASCII formatında olup okunabilirliği olan, MATLAB programlama dili kodlarından oluşmuştur. Bu yüzden M-dosyaları kütüphanesi kullanıcı tarafından müdahale edilebilir. Ancak bu kodlara zorunlu olunmadıkça müdahale edilmemesi, değiştirilmesi gerekir. MATLAB'ın kullanım yerleri; Denklem takımlarının çözümü, dogrusal ve dogrusal olmayan diferansiyel denklemlerinin çözümü, integral hesabı gibi sayısal hesaplamalar; veri çözümlenme işlemleri; istatistiksel hesaplamalar ve çözümlenmeler; grafik çizimi ve çözümlenmeler; bilgisayar destekli denetim sistemi tasarımı olarak sıralanabilir (Chapra ve Canale, 2008).

Tamamı aynı h_0 basıncı ile çalışan 100 adet basınç ayarlı olmayan damlatıcısı bulunan lateralin davranışı simule edilmiştir. Bu koşul, ihmal edilebilir hidrolik değişkenliğe sahip laterallerin tarla koşullarına eşdeğerdir. İşletme basıncı değerleri damla sulamada standart olarak kabul edilen 5 – 15 mSS olarak alınmıştır. Denemede üretim farklılığı katsayısı (CV_m) da dikkate alınmıştır. Küresel boşluk yarıçapı (r_0) 0.001-0.006 m arasında alınarak, CV_m simülasyonlara dâhil edilmiştir. Bu değerler, Eşitlik 4 kullanılarak denemeden elde edilen veriler yardımıyla hesaplanmıştır. Ayrıca, r_0 değeri her bir simülasyondaki tüm çıkış noktalarında sabit tutulmuştur. Benzer şekilde, aynı simülasyon basınç ayarlı damlatıcılarla da tekrarlanmıştır.

α ve k_s değerleri Genuchten-Muallem modelinden (van Genuchten, 1980) yararlanılarak bulunan HYDRUS-2D/3D programı (Simunek vd. 2006) kullanılarak belirlenmiştir. Bu program su tutma eğrisi parametrelerini (toprak tekstürü sınıfındaki doymuş toprak hidrolik iletkenliği: kil, mil ve kum oranları ve hacimsel yoğunluk) hesaplamak için ROSETTA sinir ağı modelinde (Schaap vd. 2001) esas alınan pedotransfer fonksiyonlarını kullanmaktadır.

Simülasyon programı ilk olarak 100 adet damlatıcı için, rastgele Gauss standart değişkeni olan u 'yu hesaplamıştır. Daha sonra, toprak basınç değerleri Eşitlik 4 ve

6'ya eşit olan tekrarlamalı bir hesaplama yöntemi, toprak altında bulunan damlatıcı debilerini hesaplamak için kullanılmıştır. Tekrarlamalı olan bu süreç, Eşitlik 3 ile yüzeydeki damlatıcılar için debi değerlerinin hesaplanmasıyla başlamıştır. Daha sonra toprak basıncı Eşitlik 4 ve 6 ile hesaplanarak, her iki değer de karşılaştırılmıştır. Eşitlik 4'ten elde edilen h_s değeri Eşitlik 6'dan elde edilen değerden daha büyük olduğunda, bu durumun aksine, ilk debi değeri düşmüştür. Her iki eşitlikten de hesaplanan toprak basınçları birbirine eşit olduğunda ise bu döngü durmuştur. Son olarak, yüzey damlatıcılar için CV_m olan debi değişim katsayısı CV_q , yüzey ve yüzeyaltı damlatıcıları için belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Damlatıcı çıkışındaki toprak örneklerinin tekstürünü tanımlamak için Bouyoucos yoğunluk ölçümü yöntemi (Day 1965) kullanılarak belirlenen araştırma alanı toprağının fiziksel özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Araştırma alanı topraklarının fiziksel özellikleri

Profil Derinliği (cm)	Bünye Dağılımı (%)			Bünye Sınıfı	Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	*Tarla Kapasitesi		*Devamlı Solma Noktası		Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi	
	Kum	Kil	Silt			%	mm	%	mm	%	mm
0 – 30	58.40	13.60	28.00	Kumlu-Tın	1.35	23.1	111.5	10.1	40.9	13.0	52.6
30 – 60	56.40	13.60	30.00	Kumlu-Tın	1.45	22.9	99.6	9.4	40.8	13.5	58.8
60 – 90	68.20	13.60	19.20	Kumlu-Tın	1.52	18.4	83.9	7.3	33.2	11.1	50.6
90 – 120	49.70	17.50	32.00	Kumlu-Tın	1.50	20.3	91.3	7.2	32.3	13.1	59.0

*: Kuru ağırlık yüzdesi

Çizelge 4.1. incelendiğinde araştırma alanı toprakları orta bünyeli topraklar sınıfına girdiği görülmüştür. Tarla kapasitesi değerlerinde toprak katmanlarından aşağıya doğru bir azalma olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, aşağı katmanlara doğru toprak bünyesini oluşturan kum yüzdesindeki artış olarak gösterilebilir.

Toprağın sulamadan önce ve sulamadan sonra nem değişimini belirlemek amacıyla gravimetrik yöntem kullanılarak alınan toprak örneklerine ait sonuçlar çizelge 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 22.08.2011 tarihinde sulamadan önce alınan toprak örnekleri

Konu	Toprak Katmanı	Dara	Yaş Ağırlık + Dara	Kuru Ağırlık + Dara	Toprak Nemi (%Pw)	Toprak Nemi (mm)	Toplam Toprak Nemi (mm)
Yüzeyaltı (10. m) 1. Tekerrür	0-30	49.58	204.11	184.95	14.15	50.66	174.28
	30-60	57.43	258.53	234.08	13.84	42.57	
	60-90	49.87	236.28	206.24	19.21	27.98	
	90-120	49.86	210.68	189.53	15.14	53.07	
Yüzeyaltı (20. m) 1. Tekerrür	0-30	48.90	246.79	222.26	14.15	50.68	157.91
	30-60	57.02	255.54	227.82	16.23	31.82	
	60-90	50.24	251.55	218.86	19.39	27.21	
	90-120	51.53	219.55	196.02	16.28	48.20	
Yüzeyaltı (10. m) 2. Tekerrür	0-30	56.42	213.24	192.90	14.90	47.40	175.83
	30-60	50.10	215.98	197.25	12.73	47.57	
	60-90	42.76	208.75	181.96	19.25	27.83	
	90-120	54.87	228.45	205.61	15.15	53.03	
Yüzeyaltı (20. m) 2. Tekerrür	0-30	47.88	246.84	220.54	15.23	45.97	169.77
	30-60	51.37	211.38	191.57	14.13	41.27	
	60-90	51.31	234.82	206.27	18.42	31.43	
	90-120	55.36	195.24	176.36	15.60	51.11	

Çizelge 4.3. 24.08.2011 tarihinde sulamadan sonra alınan toprak örnekleri

Konu	Toprak Katmanı	Dara	Yaş Ağırlık + Dara	Kuru Ağırlık + Dara	Toprak Nemi (%Pw)	Toprak Nemi (mm)	Toplam Toprak Nemi (mm)
Yüzeyaltı (10. m) 1. Tekerrür	0-30	52.08	253.25	227.81	14.48	49.26	182.74
	30-60	49.99	233.52	213.37	12.33	49.35	
	60-90	46.49	257.02	225.06	17.90	33.74	
	90-120	51.06	229.24	204.97	15.77	50.40	
Yüzeyaltı (20. m) 1. Tekerrür	0-30	47.76	252.63	224.31	16.04	42.45	126.71
	30-60	55.79	210.28	186.50	18.19	22.98	
	60-90	49.25	226.10	195.07	21.28	18.92	
	90-120	47.48	232.78	204.97	17.66	42.35	
Yüzeyaltı (10. m) 2. Tekerrür	0-30	50.55	226.02	212.71	8.21	76.53	187.85
	30-60	57.85	229.67	207.71	14.65	38.91	
	60-90	55.60	219.29	192.73	19.37	27.29	
	90-120	49.15	221.90	196.79	17.01	45.12	
Yüzeyaltı (20. m) 2. Tekerrür	0-30	45.25	212.98	193.76	12.94	55.93	148.55
	30-60	57.79	247.12	221.74	15.48	35.19	
	60-90	46.19	214.49	186.94	19.57	26.40	
	90-120	57.33	254.01	220.80	20.32	31.03	

Çizelge 4.4. 10.09.2012 tarihinde sulamadan önce alınan toprak örnekleri

Konu	Toprak Katmanı	Dara	Yaş Ağırlık + Dara	Kuru Ağırlık + Dara	Toprak Nemi (%Pw)	Toprak Nemi (mm)	Toplam Toprak Nemi (mm)
Yüzeyaltı (15. m) 1. Tekerrür	0-30	58.77	182.17	175.57	5.65	51.41	227.32
	30-60	58.69	203.38	196.65	4.88	52.88	
	60-90	57.16	211.07	204.41	4.52	55.57	
	90-120	56.51	197.78	192.09	4.20	67.45	
Yüzeyaltı (15. m) 2. Tekerrür	0-30	48.88	176.88	171.87	6.97	45.69	124.00
	30-60	48.53	153.95	149.55	6.89	43.82	
	60-90	50.2	189.3	183.96	9.33	34.50	
	90-120						
Yüzeyaltı (5. m) 1. Tekerrür	0-30	57.73	145.11	141.24	4.63	55.84	221.64
	30-60	57.32	155.95	151.47	4.76	53.42	
	60-90	58.14	147.30	142.14	6.14	48.47	
	90-120	60.26	153.00	148.56	5.03	63.91	
Yüzeyaltı (5. m) 2. Tekerrür	0-30	56.01	158.42	151.75	6.97	45.69	124.00
	30-60	54.23	180.78	172.62	6.89	43.82	
	60-90	46.20	161.81	151.94	9.33	34.50	
	90-120						
Yüzey (5. m) 1. Tekerrür	0-30	59.17	146.74	142.62	4.94	54.52	227.11
	30-60	55.03	195.62	191.25	3.21	60.40	
	60-90	59.87	153.78	151.01	3.04	62.07	
	90-120	59.36	184.99	175.40	8.26	50.12	
Yüzey (5. m) 2. Tekerrür	0-30	47.25	186.35	171.23	12.20	22.94	95.46
	30-60	44.50	162.64	150.98	10.95	25.56	
	60-90	48.38	174.12	157.12	15.63	6.90	
	90-120	59.31	222.85	207.14	10.63	40.06	
Yüzey (15. m) 1. Tekerrür	0-30	59.17	146.74	142.62	4.94	54.52	227.11
	30-60	55.03	195.62	191.25	3.21	60.40	
	60-90	59.87	153.78	151.01	3.04	62.07	
	90-120	59.36	184.99	175.40	8.26	50.12	
Yüzey (15. m) 2. Tekerrür	0-30	52.15	148.62	138.27	12.02	23.72	81.70
	30-60	50.07	170.09	158.31	10.88	25.86	
	60-90	54.64	173.68	158.00	15.17	8.93	
	90-120	46.54	185.82	168.09	14.59	23.19	

Çizelge 4.5. 12.09.2012 tarihinde sulamadan sonra alınan toprak örnekleri

Konu	Toprak Katmanı	Dara	Yaş Ağırlık + Dara	Kuru Ağırlık + Dara	Toprak Nemi (%Pw)	Toprak Nemi (mm)	Toplam Toprak Nemi (mm)
Yüzeyaltı (15. m)	0-30	50.11	180.43	175.57	3.87	59.14	173.11
	30-60	57.22	172.5	166.82	5.18	51.51	
	60-90	53.61	182.29	178.6	2.95	62.45	
	90-120	-	-	-	-	-	
Yüzey (15. m)	0-30	53.23	204.31	198.06	4.32	57.22	157.11

4.1. Yüzey ve Yüzeyaltı Damlatıcı Debi Özelliklerinin Belirlenmesi

Çizelge 4.6. denemelerdeki ortalama debi ve toprağın negatif basınç değerlerini göstermektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda olduğu gibi (Shani vd. 1996; Gil vd. 2008), basınç ayarlı olmayan damlatıcı debisi Eşitlik 6 kullanılarak belirlenen bir değere düşmüştür. Bu durum, çıkış noktasındaki negatif basıncın giriş basıncına oranla daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanında infiltrasyon da debi değerini etkilemektedir. Topraktaki damlatıcı debisinde meydana gelen azalma nominal damlatıcı debisi ile orantılıdır.

Çizelge 4.6. Denemelerdeki ortalama debi ve ortalama toprak basıncı değerleri

	YÜZEY		YÜZEYALTI	
	2 L/h	4 L/h	1,6 L/h	2,3 L/h
Giriş debisi ($q_{\text{yüzey}}$) (L/h)	2.01	3.98	1.58	2.28
Ortalama damlatıcı debisi (\bar{q}) (L/h)	1.88	3.54	1.58	2.28
Negatif basınç ortalaması (\bar{h}_s) (m)	0.59	2.14	0.57	1.03
Rölatif varyasyon – debi ortalaması (%)	6.92	15.92	0.00	0.00

Basınç ayarlı ve basınç ayarlı olmayan damlatıcılardaki h_s değerleri birbirinden farklılıklar gösterse de; basınç ayarlı damlatıcılarda herhangi bir debi değişimi gözlenmemiştir. Bu nedenle, ortaya çıkan farkların denemeden kaynaklanan hatalar nedeniyle olduğu düşünülebilir.

Çizelge 4.7’de damlatıcıların hidrolik özellikleri yanında, Eşitlik 4’te kullanılan x ve k parametreleri ile üretim farklılığı katsayısı CV_m de verilmiştir. Çizelge ayrıca, deneme materyali olan toprak için bir varyans (debi değişim katsayısı CV_q ve negatif basınç) olarak ifade edilen debi değişimi yanında, negatif basınç değişim katsayısı CV_{hs} ’nin varyansı olan Var_{hs} ’yi de göstermektedir. Bu değerler yanında, Eşitlik 8’ den hesaplanan damlatıcı üretimine bağlı, negatif basınç ortalaması ve rastgele değişgen arasındaki kovaryans değeri [$cov(\bar{h}_s; u)$] ve Pearson korelasyon katsayısının değerini de çizelgede görmek mümkündür

Çizelge 4.7. Denemelerdeki debi ve toprak basıncı değişimleri

	YÜZEY		YÜZEYALTI	
	2 L/h	4 L/h	1,6 L/h	2,3 L/h
K (L/h/m³)	0.693	1.387	1.600	2.300
X	0.460	0.460	0	0
CV_m	0.054	0.010	0.023	0.019
h₀ (m)	10	10	10	10
CV_q	0.053	0.017	0.017	0.019
Var_{hs}	0.769	3.020	0.478	0.991
CV_{hs}	0.253	0.128	-0.194	0.200
cov (h_s;u)	-0.069	-0.642	-0.002	0
Korelasyon katsayısı	0.010	-0.997	-0.001	0.001

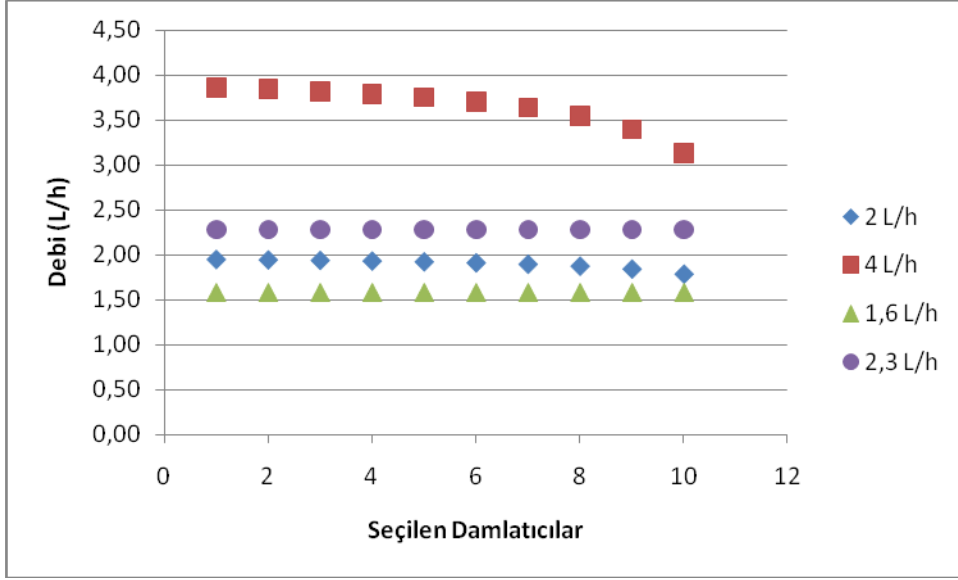
Çizelgede, 4 L/H debiye sahip basınç ayarlı olmayan damlatıcıların olduğu denemelerdeki $cov(\bar{h}_s; u)$ değerinin diğerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki basınç ayarlı damlatıcıda da CV_q , CV_m ’den daha küçük olduğu unutulmamalıdır. Her durumda, Pearson korelasyon katsayısının mutlak değeri, 1 olarak bulunmuştur. Bu durum, damlatıcı çıkışı ve toprak basıncı arasında olası bir güçlü etkileşim dikkate alınarak açıklanabilir. Aynı şekilde, denemelerin çoğunda korelasyon katsayısı pozitif değerler göstererek bu olasılığı desteklemiştir. Bu durumda, toprak özelliklerine bağlı olarak çıkış debisi arasındaki etkileşim CV_q ’nun azaltılması anlamına gelir. Böylece, homojen topraklarda yüzeyaltı damla sulama sistemlerinin su uygulama eş dağılımı, basınç ayarlı olmayan damlatıcılar ile artacaktır.

Aynı çalışma basıncında basınç ayarlı olmayan yüzey damlatıcılar, debi değişim katsayısı CV_q , damlatıcı üretim farklılığı değeri olan CV_m ’den kaynaklanmaktadır. Seçilen modellerde $CV_m \leq 0.054$ ’tür. Bu nedenle, ASAE

(1996) sınıflandırmasına göre bu tür topraklar çok iyi olarak sınıflandırılmış ve ihmal edilebilir düzeyde hidrolik değişkenlik gösteren bir sulama sisteminde de sulama eşdağılımı oldukça iyi olarak adlandırılmıştır. Toprak altında bulunan damlatıcıların debi değişimleri sadece üretim değişkenlerine değil, aynı zamanda toprak üzerindeki basınç artışına da bağlıdır. Damlatıcı çıkışlarında oluşan debilerin toprak üzerine etkisi ihmal edilebilir düzeyde ise, çıkış noktasındaki negatif basınç da ihmal edilebilmektedir. Toprakta gözlenen debi değişimi sadece üretim farklılıkları ve toprak etkilerine değil, aynı zamanda aralarındaki pozitif ilişkiye de bağlıdır. Eğer her iki ilişki de birbirinden bağımsız olursa, Eşitlik 9 aynı şekilde kalarak, ortaya çıkan değer CV_m 'den daha büyük olacaktır. Toprak altındaki damlatıcıların CV_q değerindeki düşüş nedeniyle debi değerinin kendiliğinden ayarlanması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu teoriye dayanarak, basınç ayarlı damlatıcılarda toprak yüzeyi ve toprağın altında herhangi bir debi değişimi meydana gelmediği varsayılmıştır. Ancak bu durum basınç ayarlı olmayan damlatıcılar için aynı değildir. Toprağın altına serildiğinde basınç ayarlı olmayan damlatıcılardaki debi değişimi oranları Çizelge 4.8.'deki gibi olmuştur. Eşitlik 5'te verilen değerler yerine konduğunda toprak yüzeyindeki debi değeri ne kadar fazla ise toprakta meydana getirdiği negatif basınç o kadar büyük olacağından toprak altına gelen debi miktarındaki azalma da o kadar fazla olacaktır. Bu durumda basınç ayarlı olmayan damlatıcıların da basınç ayarlı damlatıcılar gibi davrandığını söylemek mümkündür.

Çizelge 4.8. Basınç ayarlı olmayan damlatıcılardaki debi değişim oranları

	2 L/h	4 L/h
Toprak yüzeyindeki debi	2.01	3.98
Toprağın 30 cm altındaki debi	1.88	3.54
Debi azalma oranı (%)	6.47	11.06



Şekil. 4.1. Denemeden seçilen damlatıcı hatlarının akış değerleri

Denemede kullanılan lateral hatlarında bulunan dört farklı tipteki damlatıcıya ait simülasyondan elde edilen debi değerleri Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Damlatıcı debi değişimi değerleri yüzeyde bulunan laterallerde yüzey altına serilenlere oranla daha yüksek miktarlarda olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, basınç ayarlı damlatıcıların toprak altında etkili bir şekilde kullanılabilme yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Özellikle basınç ayarlı olmayan damlatıcılardan 4 L/h debiye sahip olan damlatıcıların debi değişimlerinin daha fazla olacağını söylemek mümkündür. Ortam koşullarının kontrollü tutulabilmesini sağlamak amacıyla bu denemeler boyunca bitki üzerinde çalışılmamış olmasına rağmen, denemenin tarla koşullarında yapılması nedeniyle CV_m değerlerine bağlı olarak elde edilen sonuçlar ortam koşullarından önemli ölçüde etkilenmiştir.

Yukarıda sözü edilen etki, negatif basınçtan dolayı daha yüksek düzeyde bir basınç farkı meydana gelse dahi basınç ayarlı damlatıcılarda gözlenmemiştir. Çünkü bu damlatıcıların yapımında kullanılan malzemenin içeriği, debiyi belli bir denge aralığında sabit tutarak, deneme boyunca bu değer altına düşmesini engellemiştir.

Her bir toprak için Eşitlik 4 ile belirlenen α , k_s , ortalama debi, negatif basınç ve ortalama r_0 değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

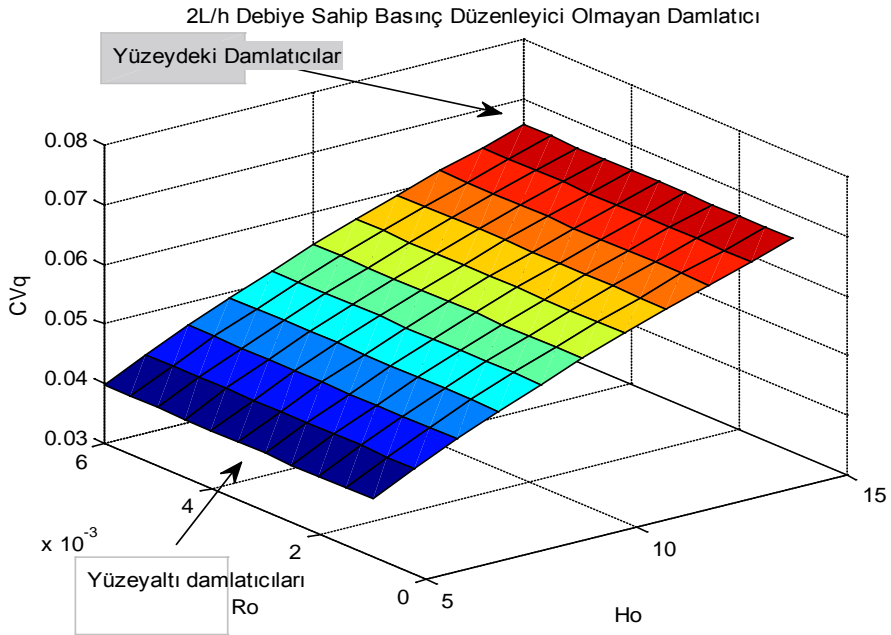
Çizelge 4.9. Toprak özelliklerine göre ortalama debi ve toprak basınç değerleri

	YÜZEY		YÜZEYALTI	
	2 L/h	4 L/h	1,6 L/h	2,3 L/h
K_s (m/s)	0.047	0.047	0.047	0.047
α (m ⁻¹)	2.180	2.180	2.180	2.180
\bar{q} (L/h)	1.897	3.735	1.584	2.281
\bar{h}_s (m)	0.329	1.036	0.441	0.837
r_0 (m)	0.003	0.004	0.002	0.003

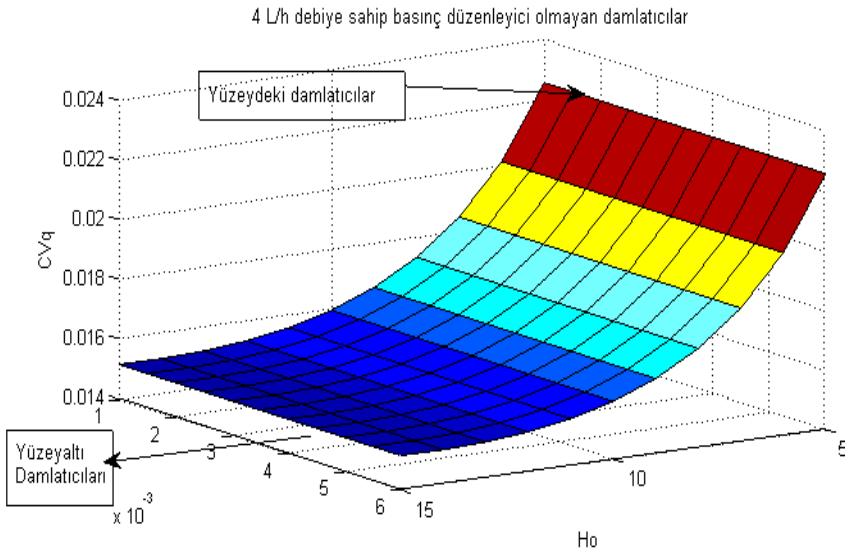
Ortalama h_s değerleri saksılarda yapılan çalışmalara (Gil vd. 2007, Gil vd. 2008) ve tarla denemelerinden (Shani vd. 1996) alınan sonuçlara oranla beklenenden daha fazla olmuştur. Dolayısıyla, benzer özellikteki topraklar için daha önce hesaplanan r_0 değerlerinden daha küçük değerlere ulaşılmıştır. Özellikle kontrollü ortamlarda yapılan denemelerde, toprak homojenleştirme prosedürüne bağlı olarak yapılan eleme işlemi sırasında toprağın doğal yapısının bozulması ve hatta toprağın daha sonradan sıkıştırılmış olsa bile basınç dayanımının daha az olması durumuyla karşılaşılabılır. Bu açıdan bakıldığında, çalışmanın kontrollü bir ortam yerine tarla koşullarında yapılması bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.2. Damla Sulama Laterallerindeki Su Uygulama Eş Dağılımı Değişiminin Belirlenmesi

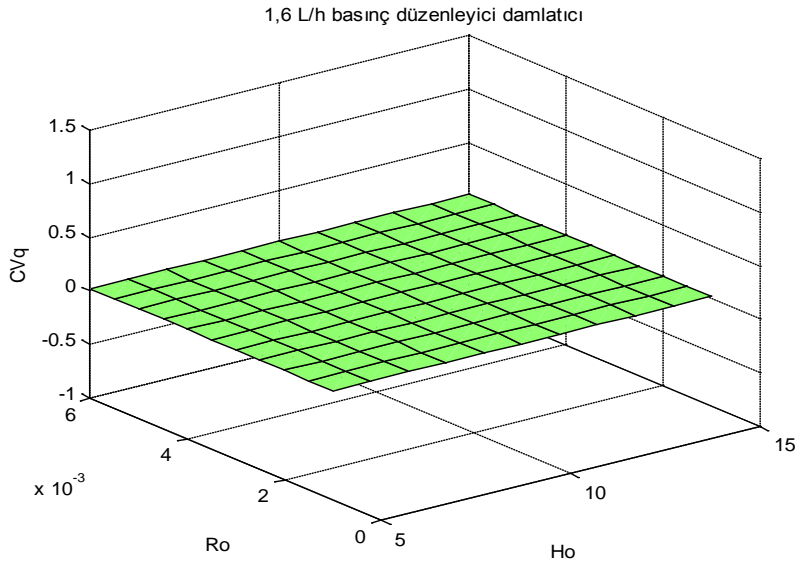
Bir lateralın eş su dağılımı Şekil 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'te görülmektedir. Şekilde, denemede kullanılan damlatıcılar için, CV_q debi değişim katsayısı hesaplanmıştır. Burada r_0 değeri sabit kabul edilmiştir. CV_q değeri ne kadar yüksek olursa eş dağılım da o kadar azalır. Deneme sonuçları yüzeyaltı damla sulamanın yüzey damla sulamaya oranla daha uniform olduğunu göstermiştir.



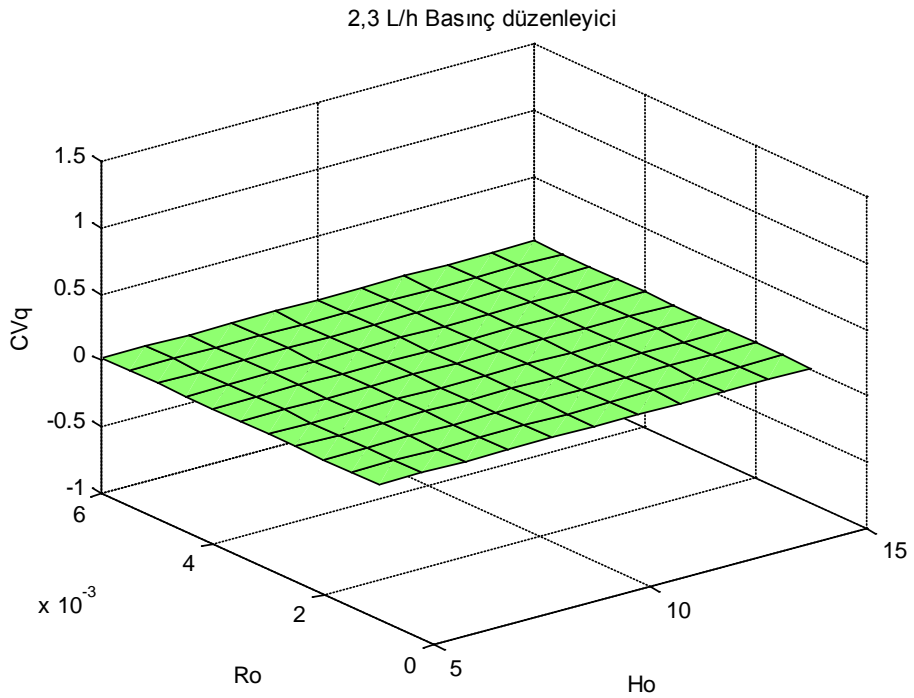
Şekil 4.2. Giriş basıncı (CV_q) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eşdağılımı (2 L/h basınç ayarlı olmayan damlatıcı)



Şekil 4.3. Giriş basıncı (CV_q) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eşdağılımı (4 L/h basınç ayarlı olmayan)



Şekil 4.4. Giriş basıncı (CV_q) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eşdağılımı (1.6 L/h basınç ayarlı)



Şekil 4.5. Giriş basıncı (CV_q) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eşdağılımı (2.3 L/h basınç ayarlı)

Debi değişkenliği ve eş su dağılımındaki ilerleme sonucunda ortaya çıkan damla boyutu daha büyük, küresel boşluk yarıçapı r_0 daha küçük ve optimum işletme basıncı h_0 ise daha az olmuştur. Basıncı ayarlı ve basıncı ayarlı olmayan damlatıcılar karşılaştırıldığında, basıncı ayarlı damlatıcılardaki sonuçların beklendiği üzere ihmal edilebilir miktarda olduğu görülmüştür.

Simülasyon sonuçlarına göre; izelge 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13'te hidrolik basıncı yüksekliği sabit tutularak elde edilen değişkenler; 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17'de ise küresel boşluk yarıçapı değerleri sabit tutularak elde edilen değişkenler görülmektedir. Denemenin yapıldığı arazide 2 L/h debili basıncı ayarlı olmayan damlatıcılar için elde edilen simülasyon sonuçlarına göre; 0.003 m boşluk yarıçapı r_0 (bakınız izelge 4.10 ve 4.14) ve 10 m hidrolik basıncı yüksekliği hesaplanan değerleri için CV_q 0.0532 ile 0.0545 arasında değişmektedir. Negatif basıncı ortalamaları için simule edilen değerlerin ölçülen değerlerle oldukça uyumlu olduğu gözlenmesine rağmen, debi değişim katsayısı değerleri genel olarak denemelere yakın değerlerdedir. Diğer negatif basıncı değişim katsayıları izelge 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14'de görülmektedir.

Çizelge 4.10. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için deneme sonuçları (2L/h debili Basıncı ayarlı olmayan r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0 = 10$ m olan damlatıcılar)

r_0 (m)	$q_{yüzey}$ (L/h)	$q_{yüzeyaltı}$ (L/h)	Q_{ort} rölatif varyasyon (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{h_s}
0.0010	2.01	1.66	17.53%	2.97	0.054	0.0524	0.0295
0.0015	2.01	1.78	11.56%	1.83	0.054	0.0526	0.0480
0.0020	2.01	1.84	8.74%	1.26	0.054	0.0528	0.0698
0.0025	2.01	1.87	7.10%	0.91	0.054	0.0530	0.0962
0.0030	2.01	1.89	6.03%	0.68	0.054	0.0532	0.1284
0.0035	2.01	1.90	5.27%	0.52	0.054	0.0533	0.1689
0.0040	2.01	1.92	4.70%	0.40	0.054	0.0534	0.2211
0.0045	2.01	1.92	4.27%	0.30	0.054	0.0535	0.2912
0.0050	2.01	1.93	3.92%	0.22	0.054	0.0535	0.3901
0.0055	2.01	1.94	3.63%	0.16	0.054	0.0536	0.5402
0.0060	2.01	1.94	3.40%	0.11	0.054	0.0536	0.7953

Çizelge 4.11. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için deneme sonuçları (4 L/h debili Basınç ayarlı olmayan r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0=10$ m olan damlatıcılar)

r_0 (m)	$q_{\text{yüzey}}$ (L/h)	$q_{\text{yüzeyaltı}}$ (L/h)	Q_{ort} rölatif varyasyon (%)	h_s (mwc)	CV_m	CV_q	CV_{h_s}
0.0010	3.98	2.51	73.77%	6.34	0.010	0.029	0.02740
0.0015	3.98	3.13	42.59%	4.07	0.010	0.024	0.04266
0.0020	3.98	3.39	29.45%	2.94	0.010	0.020	0.05914
0.0025	3.98	3.54	22.11%	2.26	0.010	0.018	0.07698
0.0030	3.98	3.63	17.41%	1.80	0.010	0.016	0.09635
0.0035	3.98	3.70	14.14%	1.48	0.010	0.015	0.11747
0.0040	3.98	3.75	11.73%	1.24	0.010	0.014	0.14058
0.0045	3.98	3.79	9.88%	1.05	0.010	0.013	0.16598
0.0050	3.98	3.81	8.41%	0.90	0.010	0.013	0.19402
0.0055	3.98	3.84	7.22%	0.77	0.010	0.012	0.22514
0.0060	3.98	3.86	6.24%	0.67	0.010	0.012	0.25987

Çizelge 4.12. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için deneme sonuçları (1.6 L/h debili Basınç ayarlı r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0=10$ m olan damlatıcılar)

r_0 (m)	$Q_{\text{yüzey}}$ (L/h)	$Q_{\text{yüzeyaltı}}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{h_s}
0.0010	1.58	1.58	0.00%	2.25	0.023	0.0225	0.031
0.0015	1.58	1.58	0.00%	1.34	0.023	0.0201	0.051
0.0020	1.58	1.58	0.00%	0.89	0.023	0.0184	0.077
0.0025	1.58	1.58	0.00%	0.62	0.023	0.0173	0.111
0.0030	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0165	0.157
0.0035	1.58	1.58	0.00%	0.31	0.023	0.0159	0.221
0.0040	1.58	1.58	0.00%	0.22	0.023	0.0155	0.321
0.0045	1.58	1.58	0.00%	0.14	0.023	0.0153	0.493
0.0050	1.58	1.58	0.00%	0.08	0.023	0.0153	0.864
0.0055	1.58	1.58	0.00%	0.03	0.023	0.0152	2.249
0.0060	1.58	1.58	0.00%	-0.01	0.023	0.0151	-6.714

Çizelge 4.13. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için deneme sonuçları (2.3 L/h debili Basınç ayarlı olmayan r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0=10$ m olan damlatıcılar)

r_0 (m)	$Q_{\text{yüzey}}$ (L/h)	$Q_{\text{yüzeyaltı}}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
0.0010	2.28	2.28	0.00%	3.44	0.019	0.0186	0.029
0.0015	2.28	2.28	0.00%	2.14	0.019	0.0186	0.047
0.0020	2.28	2.28	0.00%	1.49	0.019	0.0186	0.067
0.0025	2.28	2.28	0.00%	1.10	0.019	0.0186	0.091
0.0030	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0186	0.119
0.0035	2.28	2.28	0.00%	0.65	0.019	0.0186	0.153
0.0040	2.28	2.28	0.00%	0.51	0.019	0.0186	0.194
0.0045	2.28	2.28	0.00%	0.40	0.019	0.0186	0.247
0.0050	2.28	2.28	0.00%	0.32	0.019	0.0186	0.314
0.0055	2.28	2.28	0.00%	0.25	0.019	0.0186	0.404
0.0060	2.28	2.28	0.00%	0.19	0.019	0.0186	0.532

Çizelge 4.14. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için deneme sonuçları (2L/h debili Basınç ayarlı olmayan h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0=0.003$ m olan damlatıcılar)

h_0 (m)	$Q_{\text{yüzey}}$ (L/h)	$Q_{\text{yüzeyaltı}}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
5	1.42	1.40	0.74%	0.11	0.054	0.0398	0.1162
6	1.54	1.52	0.99%	0.17	0.054	0.0431	0.0787
7	1.66	1.63	1.18%	0.21	0.054	0.0462	0.0609
8	1.76	1.74	1.33%	0.26	0.054	0.0492	0.0503
9	1.86	1.83	1.44%	0.30	0.054	0.0519	0.0434
10	1.95	1.92	1.54%	0.34	0.054	0.0545	0.0384
11	2.04	2.01	1.63%	0.38	0.054	0.0570	0.0346
12	2.12	2.09	1.70%	0.41	0.054	0.0593	0.0316
13	2.20	2.17	1.76%	0.45	0.054	0.0616	0.0292
14	2.28	2.24	1.81%	0.48	0.054	0.0637	0.0273
15	2.35	2.32	1.86%	0.51	0.054	0.0658	0.0256

Çizelge 4.15. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için Tınlı topraktaki deneme sonuçları (4L/h debili Basınç ayarlı olmayan h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0=0.003$ m olan damlatıcılar)

h_0 (m)	$Q_{yüzey}$ (L/h)	$Q_{yüzeyaltı}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
5	2.90	2.74	7.96%	0.58	0.010	0.023	0.04718
6	3.15	2.98	8.66%	0.69	0.010	0.020	0.03929
7	3.38	3.20	9.15%	0.80	0.010	0.018	0.03418
8	3.59	3.40	9.52%	0.89	0.010	0.017	0.03055
9	3.79	3.60	9.80%	0.98	0.010	0.017	0.02783
10	3.98	3.78	10.02%	1.06	0.010	0.016	0.02569
11	4.16	3.96	10.20%	1.14	0.010	0.016	0.02396
12	4.33	4.12	10.34%	1.21	0.010	0.015	0.02252
13	4.49	4.28	10.46%	1.28	0.010	0.015	0.02131
14	4.65	4.44	10.56%	1.35	0.010	0.015	0.02026
15	4.80	4.59	10.65%	1.41	0.010	0.015	0.01935

Çizelge 4.16. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için Tınlı topraktaki deneme sonuçları (1.6 L/h debili Basınç ayarlı h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0=0.003$ m olan damlatıcılar)

h_0 (m)	$Q_{yüzey}$ (L/h)	$Q_{yüzeyaltı}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	H_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
5	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
6	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
7	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
8	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
9	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
10	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
11	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
12	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
13	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
14	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
15	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000

Çizelge 4.17. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için Tınlı topraktaki deneme sonuçları (2.3 L/h debili Basınç ayarlı h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0=0.003$ m olan damlatıcılar)

h_0 (m)	$Q_{yüzey}$ (L/h)	$Q_{yüzeyaltı}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
5	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
6	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
7	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
8	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
9	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
10	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
11	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
12	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
13	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
14	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
15	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000

Bu simülasyonların sonuçları damlatıcıların debi değişimlerine bağlı olan negatif basınç değerlerinin (h_s) değişkenliğini yansıtmaktadır. Ancak, lateralin genellikle düşük olma eğilimi gösteren hidrolik değişkenliğini içermemektedir. Bu koşullar altında, basınç ayarlı damlatıcılar kullanıldığında eş su dağılımının basınç ayarlı olmayan damlatıcılara oranla daha az olması olasıdır. Bununla birlikte, uniform topraklardaki senaryolara bakıldığında yüzeyaltı damla sulama eş dağılımının yüzey damla sulamaya oranla daha büyük olacağı görülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Basınç ayarlı damlatıcıların kullanılması tüm topraklardaki hem yüzeyaltı damla sulama ve hem de yüzey damla sulamada debi değişimini benzer şekilde etkilemiştir. Deneme alanındaki toprağın negatif basıncı, basınç ayarlı damlatıcının sınırları içerisinde kalmıştır. Toprak özelliklerinin damlatıcı debisi üzerine etkileri, deneme koşullarında önemli çıkmıştır. Dolayısıyla, toprak yüzeyinde kullanılan damlatıcılardaki debi değişiminin toprak altında kullanılan damlatıcılara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, basınç ayarlı olmayan damlatıcılar kullanıldığında, debi değişiminin, yüzeyaltı damla sulamada yüzey damla sulamaya göre daha fazla veya eşit olduğu görülmüştür. Daha fazla debi değişimi oluşması toprak içerisindeki negatif basıncın etkisi olarak açıklanabilir. İnfiltrasyon hızı düşük olan toprakların negatif basıncı daha yüksek olduğu için, bu basıncın debi değişimine etkisi daha fazla olmaktadır. Bu durumda yüzey damla sulamada üniformite daha yüksek olur.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, toprak özelliklerindeki değişkenliğin az olduğu homojen topraklarda, üniformite üzerine etki de daha az olacağından yüzeyaltı damla sulama yöntemi tercih edilebilir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar yukarıda verildiği gibidir. Ayrıca Özdemir (2013)'in yapmış olduğu çalışmaya benzer olarak, tarla koşullarında farklı bitkilerin de dâhil olduğu durumlarda eş su dağılımındaki değişimlerin gözlenmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Anonim 2012a. Devlet Su İşleri Genel Md., Toprak ve Su kaynakları, Ankara, <<http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>> Erişim: 12.10.2012.
- Anonim 2012b. Netafim Sulama Sistemleri San. Ve Tic. Ltd. Şti., Technical information, Adana, <http://www.netafim.com.tr/Data/Uploads/120301%20UniRam%20AS%20technical%20information.pdf> Erişim Tarihi: 09.10.2011
- Anonim 2012c. Netafim Sulama Sistemleri San. Ve Tic. Ltd. Şti., Technical information, Adana, <http://www.netafim.com.tr/Data/Uploads/120213%20Tiran%20technical%20information.pdf> Erişim Tarihi: 09.10.2011
- Anyoji, H., Wu, I.P. 1994. Normal distribution water application for drip irrigation schedules. **Transactions of the ASAE**, 37:159–164.
- ASAE, 2003. ASABE Standards Engineering Practices Data. 43rd edn., pp 864, MI, USA.
- Ayars, J.E., Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S., Mead, R.M. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. **Agricultural Water Management**, 42:1-27.
- Ben Gal, A., Lazarovitch, N., and Shani, U. 2004. Subsurface drip irrigation in gravel filled cavities. **Vadose Zone Journal**, 3:1407–1413.
- Bordovsky, J.P., Lyle, W.M., Lascano, R.J., Upchurch D.R. 1992. Cotton irrigation management with LEPA systems. **Transactions of the ASAE**, 35(3): 876-844.
- Bordovsky J.P., Porter D.O. 2006. Comparison of subsurface drip irrigation uniformity designs on cotton production. ASAE Paper 062276.

- Bucks, D.A., Davis, S. 1986. Historical Development In Trickle Irrigation System. **Proc. Third International Drip/Trickle Irrig. Cong.**, 119-126s, Michigan.
- Camp, C. R. 1998. Subsurface drip irrigation: A review. **Transactions of the ASAE**, 41:1353–1367.
- Camp, C.R., Sadler, E.J., Busscher, W.J., 1993. Performance and Longevity of Subsurface Microirrigation System, ASAE Annual Meeting, Chicago, IL., USA.
- Camp C.R., Sadler E.J., Busscher W.J. 1997a. A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, 40(4):1013–1020.
- Camp C.R., Sadler E.J., Busscher W.J. 1997b. Subsurface drip irrigation lateral spacing and management for cotton in the southeastern coastal plain. **Transactions of the ASAE**, 40(4):993–999.
- Chapra, S., Canale, R.P. 2008. Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler. (Dördüncü Basım) Literatür Yayıncılık, 1004 s, İstanbul.
- Dasberg, S., and Or, D. 1999. Drip irrigation (applied agriculture), Springer, 166, Telos, N.Y.
- Day, PR 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black CA vd. (ed) Methods of soil analysis. Part I: agronomy. 9: 545–567.
- Gardner, W.R. 1958. Some steady state solutions of unsaturated moisture flow equations with application to evaporation from a water table. **Soil Sci.**, 85:228–232.
- Gil M, Rodríguez-Sinobas L, Sa´nchez R, Juana L, Losada A. 2008. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity. **Irrig Sci.**, 26:451–458.

- Grabow G.L., Huffman R.L., Evans R.O., Jordan D.L., Nuti R.C. 2006. Water distribution from a subsurface drip irrigation system and dripline spacing effect on cotton yield and water use efficiency in a coastal plain soil. **Transactions of the ASAE**, 49(6):1823–1835.
- Güngör Y., Erözel A.Z., Yıldırım O., 2002. Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:1525, Ders Kitabı:478. Ankara.
- Kanber R., 2002. Sulama. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:174 Ders Kitapları Yayın No: A-52, 530 s, Adana.
- Karakaya, A. 2009. Büyük Menderes Havzasında Damla Sulama Sistemlerinin Tarla Koşullarında Performanslarının Değerlendirilmesi. ADÜ Fen Bil. Enst. Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 69 s, Aydın.
- Karmeli D, Keller J 1975. Trickle irrigation design. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corp., Glendora, CA.
- Lamm, F. R. 2002. Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation. **The International Meeting on Advances in Drip/Micro Irrigation**, Puerto de La Cruz, Tenerife, Canary Islands, December 2–5, 2002.
- Lazarovitch N.; Shani U.; Thompson T.L. and Warrick A.W. 2006. Soil Hydraulic Properties Affecting Discharge Uniformity of Gravity-Fed Subsurface Drip Irrigation Systems. **Journal Of Irrigation And Drainage Engineering**, 132(6):531-536.
- Lazarovitch, N., Šimůnek, J., and Shani, U. 2005. System dependent boundary condition for water flow from subsurface source. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 69:46–51.
- Leliart, J., 1987. Irrigation Systems. Post-Graduate Course in Eromology. Dep. Fo Soil Physics, Fac. Of Agric. Science, 70.s, Gent_Belgium.

- Lesikar B.J., Weynand V.L., Persyn R.A., 2004. Evaluation Of The Application Uniformity Of Subsurface Drip Distribution Systems, in the **On-Site Wastewater Treatment X, Conference Proceedings**, Pp. 073-083 Sacramento, California USA.
- Mizyed N, Kruse E.G. 1989. Emitter discharge evaluation of subsurface trickle irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, 32:1223–1228
- Oehlert G.W. 1992. A note on the delta method. **American Statistician**, 46:27–29.
- Özdemir, Y. 2013. Aydın Bölgesinde Pamukta Topraküstü ve Toprakaltı Damla Sulama Uygulamalarının İrdelenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (2013-YL-044), Aydın.
- Phene C.R., Yue R, Wu IP, Ayars JE, Shoneman RA, Meso B 1992. Distribution uniformity of subsurface drip irrigation systems. ASAE Paper 92–2569.
- Philip, J. R. 1992. What happens near a quasi-linear point source?. **Water Resources Research**, 28:47–52.
- Radin, J.W., Reaves L.L., Mauney J.R., French O.F. 1992. Yield enhancement in cotton by frequent irrigations during fruiting. **Agronomy Journal**, 84(4):551-557.
- Rodriguez-Sinobas L, Juana L, Losada A. 1999. Effects of temperature changes on emitter discharge. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 125:64–73.
- Sadler E., Camp C.R., Busscher W.J. 1995. Emitter flow rate changes caused by excavating subsurface microirrigation tubing. **In: Proc. Of the 5th int. microirrigation congress** ed. F.R. Lamm. ASAE, St. Joseph, pp. 763–768.
- Safi B, Neyshaboury R, Bazemi AH 2007. Water application uniformity of a subsurface drip irrigation system at various operating pressures and tapes lengths. **Turkish Journal Of Agriculture & Forestry**, 31:275–285.

- Schaap MG, Leij FJ, van Genuchten 2001. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. **Journal of Hydrology**, 251: 163–176
- Shani U, Xue S, Gordin-Katz R, Warrick, AW 1996. Soil-limiting from subsurface emitters. I: Pressure measurements. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 122:291–295.
- Simunek J, Sejna M, van Genuchten, MTh 2006. The HYDRUS-2D software package for simulating two- and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media. Technical Manual, Version 1.0 PC Progress. Prague, 213 p.
- Solomon, PE 1977. Manufacturing variation of emitters in trickle irrigation systems. ASAE Paper 77–2009.
- Trooien, T. P., Hills, D. J., and Lamm, F. R. 2002. Drip irrigation with biological effluent. **Proc., Irrigation Assn. Int. Irrigation Technical Conf.**, Irrigation Assn., Falls Church, Va., (www.oznet.ksu.edu/yuzeyalti_damla_sulama/Reports/2002/DIBioEff.pdf), (June 6, 2005).
- Van Genuchten, MTh 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci Soc Am J.**, 44:892–898.
- Warrick, A. W., and Shani, U. 1996. “Soil-limiting flow from subsurface emitters. II: Effect on uniformity.” **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 122 (5): 296–300.
- Yıldırım, O., Korukçu, A., 1999. Damla Sulama Sistemlerinin Projelenmesi. A.Ü. Ziraat Fak. Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ders Notları (Basılmamış), 272 s, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Safiye Pınar TUNALI
Doğum Yeri ve Tarihi : Uşak / 05.07.1981

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Teknolojisi Programı Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi : Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Makaleler

-SCI

-Diğer

b) Bildiriler

-Uluslararası

-Ulusal: Tunalı, S.P.; Durdu, Ö.F. 2010. Büyük Menderes Havzasında Meteorolojik Kuraklık Konumsal Dağılımının Standardize Yağış İndisi İle Analizi. 1. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, KAHRAMANMARAŞ.

c) Katıldığı Projeler: Durdu, Ö.F.; Karataş, B.S.; Tunalı, S.P. 2011. Büyük Menderesi Kirletmek Geleceğini Kirletmektir. T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı, Doğrudan Faaliyet Desteği. AYDIN.

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl :

- T.C. Ziraat Bankası A.Ş.(Ziraat Müh.) / 20.10.2007-29.01.2010
- Adnan Menderes Üniversitesi (Araştırma Görevlisi) / 06.02.2010-...

İLETİŞİM

E-posta Adresi : pinar.gulmez@adu.edu.tr

Tarih : 16.06.2014