



Sulamada toprağın ıslanma derinliğinin belirlenmesi

İmanverdi Ekberli*, Coşkun Gülser

OMÜ Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü
*Sorumlu yazar/corresponding author: iman@omu.edu.tr

Geliş/Received 04/07/2017 Kabul/Accepted 25/04/2018

ÖZET

Sulama suyu miktarının belirlenmesi için vejetasyon dönemindeki bitki kök sisteminin gelişimine bağlı olarak toprakta ıslanma derinliğinin bilinmesi önemli bir faktördür. Bu çalışmada, mısır yetiştirilen alandaki toprağın ıslanma derinliği, aktif toprak katmanı, sulama suyu miktarı, topraktaki nem değişimi ve tarla kapasitesi değerlerine göre matematiksel yaklaşım kullanılarak hesaplanmıştır. Toprağın 40, 50, 60, 70 ve 80 cm'lik aktif toprak katmanlarında, 900 m³ ha⁻¹ sulama suyu miktarı için sırasıyla "ıslanma katsayıları" 1.62, 1.43, 1.26, 1.13 ve 1.02, ıslanma derinlikleri ise 109, 116, 109, 95 ve 84 cm olarak hesaplanmıştır. Aynı toprak katmanlarında, 950 m³ ha⁻¹ sulama suyu miktarında ise, sırasıyla "ıslanma katsayıları" 1.71, 1.51, 1.33, 1.19, 1.07, ıslanma derinlikleri (*H*) ise 119, 128, 122, 106 ve 94 cm olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, sulamada ıslanma derinliğine etki eden temel faktörlerin sulama suyu miktarı ve aktif kök bölgesi derinliğinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler:
Islanma derinliği
Islanma katsayısı
Sulama
Toprak nemi

The Determination of wetting depth of soil in irrigation

ABSTRACT

Knowing wetting depth of soil is an important factor to determine the irrigation water amount depends on the development of plant root system in vegetation period. In this study, wetting depth of soil in corn grown area was estimated according to active soil layer, irrigation water amount, soil moisture change and field capacity using mathematical approach. In 40, 50, 60, 70, 80 and 90 cm soil layers, "wetting coefficients" and wetting depths for irrigation water amount of 900 m³ ha⁻¹ were determined as 1.62, 1.43, 1.26, 1.13, 1.02, and 109, 116, 109, 95, 84 cm, respectively. In the same soil layers, "wetting coefficients" and wetting depths for irrigation water amount of 950 m³ ha⁻¹ were determined as 1.71, 1.51, 1.33, 1.19, 1.07 and 119, 128, 122, 106, 94 cm, respectively. As a result, it was determined that basic factors effecting on wetting depth in irrigation were irrigation water amount and depth of active root zone.

Keywords:
Wetting depth
Wetting coefficient
Irrigation
Soil moisture

© OMU ANAJAS 2018

1. Giriş

Sulama süreci toprak katmanlarının, dolayısıyla bitki kök bölgesinin ıslanmasına, nemin oluşumuna ve profildeki dağılımına etki yapan temel faktördür. Sulama uygulaması sürecinde toprakların ıslanması, birbirine bağımlı olan iki aşamada değerlendirilebilir. Birinci aşama, toprak yüzeyinde biriken suyun aşağı katmanlara geçmesi zamanını da kapsayan sulama öncesi ve sonrası arasındaki periyot; ikinci ise sulama sonrasında nemin toprak profili boyunca dağılmasını içeren zaman aralığı olmaktadır (Aydarov,1985; Averianov, 1971). Sulama sonucunda toprak profilinde su rezervi oluşmakta, sulama aralıklarındaki evapotranspirasyon olaylarında tedricen tüketilmektedir. Genel olarak taban suyunun derinde olması durumunda,

toprağın üst katmanları taban suyunun kapillar yükselmesi ile ıslanmamakta, dolayısıyla sulama ile ıslanmış bölge ile taban suyu arasındaki toprak katmanlarında nem miktarı da fazla olmamaktadır. Bu durumda, sulama suyu miktarının düzenlenmesi açısından, ıslanma derinliğinin belirlenmesi önemlidir. Islanma derinliği, önemli düzeyde sulama suyu miktarına bağlı olup, aktif toprak katmanının (bitki kök bölgesinin) tarla kapasitesi veya tarla kapasitesine yakın düzeyde ıslanması koşulunu göz önüne alarak belirlenmektedir (Kostyakov, 1960). Aktif toprak katmanında nemin tarla kapasitesi düzeyine ulaşması için, aktif toprak derinliğinden daha fazla katmanının ıslatılması gerekir. Tın bünyeli toprakların 0-30 cm ve 0-70 cm üst katmanlarında nem miktarının tarla kapasitesi düzeyine ulaşması için sırasıyla 30-75 cm ve

90-105 cm derinliklerinin ıslatılması gerekmektedir. Benzer durum farklı bünyeye sahip diğer topraklar içinde söz konusu olmaktadır. Sulama suyu miktarının belirlenmesinde bu durumun göz önüne alınması gerekir (Averianov, 1971).

Islanma derinliğine çeşitli çevresel faktörlerde önemli düzeyde etki yapmaktadır (Li ve ark., 2016). Stirzaker ve ark. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, üç tabakadan oluşan bir kök bölgesinin sulanmasının planlanması üç yaklaşımla değerlendirilmiş, sulama planlanmasında ıslanma derinliğinin önemli olduğu gösterilmiştir. Çeşitli sulama yöntemlerinin uygulamasında ıslanma derinliğinin belirlenmesi, sulama yöntemi modellerinin yapılmasında ve modellerin uygulanabilirliğinin kontrol edilmesinde gerekli parametre olmaktadır (Cook ve ark., 2006; Singh ve ark., 2006; Zhang ve ark., 2015; Jiang ve ark., 2016). Kuklik ve Hoang (2014), sulama alanında bir toprak profilindeki nem içeriğinin dağılımını etkileyen temel ilişkileri ve ıslak toprak hacminin geometrisini araştırarak, ıslak toprak derinliğini belirlemek için bir yöntem geliştirmiş, ıslanma derinliğinin >1 m olabilme olasılığını göstermişler. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanında 1994-1995 yıllarında yürütülen bir çalışmada, sulanan pamuk bitkisinin bitki su tüketiminin ortalama % 42'sinin, kök gelişiminin ise ağırlık olarak % 65 kadarının profilin ilk 30 cm'lik katmanında, ıslanma derinliğinin ise 108 cm'de olduğu saptanmıştır (Ertek ve Kanber, 2000).

Bitki kök sisteminin derinliği toprakta ıslanma derinliğinin belirleyici bir parametresi, sulama suyu miktarı ise toprağın ıslanma derinliğine etki yapan temel faktördür. Farklı sulama yöntemlerinin kullanılması, toprakların yatay ve dikey ıslanma derinliklerinin düzenlenmesine imkan sağlamaktadır (Lubana ve Narda, 1998; Elmaloglou ve Diamantopoulos, 2007; 2009; Dogan ve ark., 2008; Zhang ve ark., 2012; Li ve ark., 2016). Şimşek ve ark. (2005), mısır-soya birlikte ekim sisteminde sulama ve verim ilişkisinin belirlenmesine ait bir çalışmada, sulama suyu miktarlarını hesaplamak için etkili kök derinliğini (minimum ıslanma derinliğini) 90 cm olarak almışlardır. Karahan ve ark. (2014) tarafından toprak özellikleri ile tarla kapasitesi arasındaki ilişkilerin irdelenmesine ait yapılan bir çalışmada ise, toprakların ıslanma derinliği ile tarla kapasitesi arasında ilişki olduğu gösterilmiştir. Farklı toprak koşullarında sulama sistemlerinin önemli tasarım ve çalışma parametreleri hakkında daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi için yapılan matematiksel modellerde ıslanma derinliğinin de göz önüne alınması gereklidir (Soulis ve ark., 2015). Bazı araştırmalarda ıslanma derinliğinin belirlenmesinde teorik ve ampirik ifadeler kullanılmaktadır (Schwartzman ve Zur, 1986; Chu, 1994; Sepaskhah ve Chitsaz, 2004; Elmaloglou ve Malamos, 2007; Ali ve ark., 2015).

Bu çalışmanın amacı, Averianov (1971)'in Kostyakov (1960) formülüne dayanan matematiksel

yaklaşımına göre, ıslanma derinliğinin matematiksel olarak irdelenmesi; sulama öncesi ve sonrası elde edilen toprak nemi değerlerine göre ıslanma derinliğinin belirlenmesidir.

2. Materyal ve Yöntem

Toprakta ıslanma derinliğinin belirlenmesinde Azerbaycan'ın Siyezen-Sumgayıtovası içerisinde su – tuz değişiminin belirlenmesi için kurulan vesulama yapılan denemeye ait sonuçlardan yararlanılmıştır (Ekberli, 1989). Siyezen-Sumgayıt ovası yaklaşık 60.000 ha alana sahip olup, yıllık yağış miktarı ve sıcaklık değerleri sırasıyla 160-265 mm ve 12.5-13.9 °C arasında değişmektedir. Havanın nispi rutubeti % 65-80, ortalama yıllık buharlaşma miktarı ise 1064 mm olmaktadır. Abduev (1960; 1968)'e göre, Siyezen-Sumgayıt ovasında çoğunlukla kahverengi topraklar yer almaktadır. Deneme arazisinin alanı 24 ha olup, yağmurlama sulama (900-950 m³ ha⁻¹ su miktarıyla) yapılarak mısır bitkisi yetiştirilmiştir.

Deneme arazisinin 0-150 cm toprak katmanında organik madde miktarı az (% 0.31-0.87), pH değeri 8.5-9.5, ortalama kireç miktarı % 0.97 olarak belirlenmiştir. Toprağın 0-100 cm katmanında kil miktarı % 52.35-89.79 arasında olup, aşağı katmanlarda azalmakta, 150 cm'den daha derinlerde ise kum miktarı artmaktadır. Hacim ve özgül ağırlık değerleri ise sırasıyla 1.39-1.61 gr cm⁻³ ve 2.64 - 2.75 gr cm⁻³ arasında değişmektedir. Toprak yüzeyinin su geçirgenliği 0.028 - 0.032 m gün⁻¹, taban suyunun seviyesi ve dalgalanma amplitütü sırasıyla 5 - 7 m ve 0.5 - 0.75 m, tuz konsantrasyonu ise 10.8-16.8 gr L⁻¹'dir.

Deneme arazisi topraklarında sulama öncesi ve sonrası gravimetrik nem miktarları, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi uygun yöntemlerle belirlenmiştir. Ekosistemin matematiksel modellenmesi yöntemine göre (Ekberli, 2008), sulama döneminde ıslanma derinliğinin belirlenmesinde Averianov (1971)'in Kostyakov (1960) formülüne dayanan matematiksel yaklaşımı kullanılmıştır.

3. Sulama Döneminde ıslanma Derinliğinin Matematiksel İrdelenmesi

Kostyakov (1960)'a göre, sulama suyu miktarı (m³/ha) aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$n_1 = 100h\rho(w - w_1) \quad (1)$$

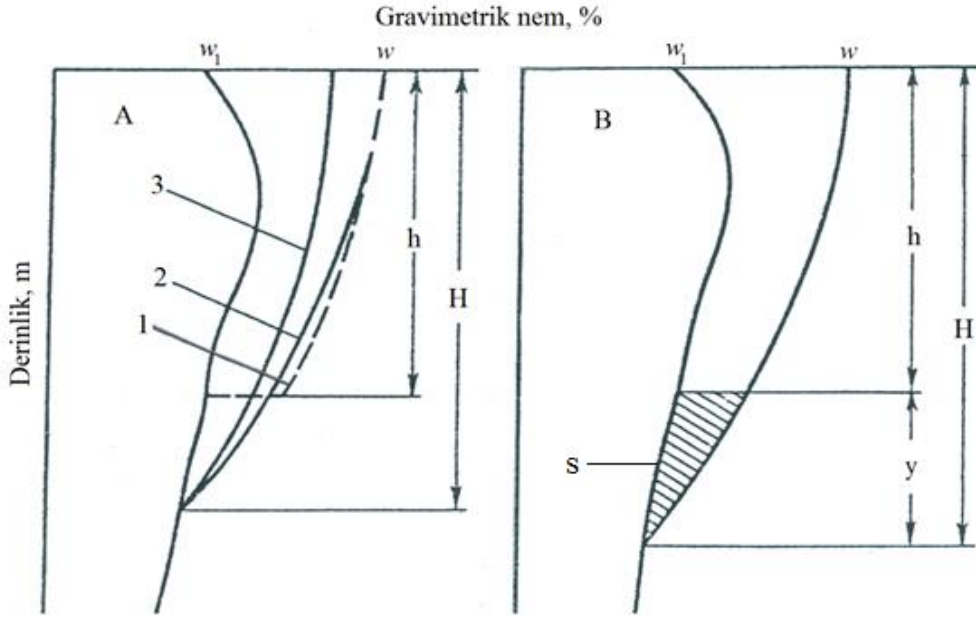
Burada,

h - aktif toprak katmanı (vejetasyon döneminde bitki boyuna ve gelişimine göre değişmektedir), m;
 ρ - toprak katmanının (h) ortalama hacim ağırlığı, t m⁻³;
 w - tarla kapasitesi, %; w_1 - sulama öncesi toprak nemidir, %.

(1) ifadesinden görüldüğü gibi, sulama suyu miktarının belirlenmesi, toprağın h katmanının tarla kapasitesi düzeyine kadar ıslanması koşuluna

dayanmakta, sulama suyunun h katmanından fazla derinliğe geçişi göz önüne alınmamaktadır. Fakat aktif bölgeden fazla derinliğe geçen su miktarı göz önüne alınmadığı durumda, h katmanında nemin tarla kapasitesi düzeyinde olması mümkün olmamaktadır. Şekil 1(A)'da, 1 eğrisiyle gösterilen bu durum gerçekleşle çelişki oluşturmaktadır. Derinlik boyunca ıslanma süreci toprakların su ve fiziksel özelliklerine bağlı olup, Şekil 1(A)'da 2 ve 3 eğrilerine benzer biçimde

gerçekleşme olasılığına sahip olabilir. Her iki durumda da nemlenme süreci tarla kapasitesi düzeyine ulaşmamakta, dolayısıyla genel ıslanma derinliğinin azalması, toprağın çabuk kuruması ve buna uygun olarak vejetasyon periyodunda sulama sayısının artması söz konusu olmaktadır. Bu yaklaşımdan yola çıkarak, genel olarak toprağın aktif katmanının tarla kapasitesi düzeyinde ıslanmasını sağlayan sulama uygulaması tavsiye edilmektedir.



A- h derinliğinden aşağı sızan su olmaması durumu, B- h derinliğinden aşağı sızan su olması durumu (H -ıslanma derinliği, m; h - aktif toprak derinliği, m; S - geçiş bölgesi; y - geçiş bölgesinin yüksekliği, m; w_1 - sulama öncesi topraktaki nem miktarı, %; w - tarla kapasitesi, %; 1- tarla kapasitesi eğrisi; 2, 3- ıslanma sürecinde nem değişimi eğrileri).

Şekil 1. Sulama döneminde toprağın yaklaşık ıslanma şeması (Averianov, 1971)

Sulama suyunun bir kısmının toprağın h katmanından fazla derinliğe sızması durumunda, nemlenme eğrisi Şekil 1(B)'de gösterilen biçimde olabilir. Toprağın h katmanından aşağı derinlikte, tarla kapasitesine uygun w nem değeri w_1 başlangıç nem değerine geçmekte ve teorik olarak yüksekliği y (m) olan S geçiş bölgesini oluşturmaktadır. Bu durumda tam ıslanma derinliği

$$H = h + y \quad (2)$$

gibi olarak; gerçek sulama miktarını (1) ifadesiyle hesaplamak için, toprağın h katmanından aşağı derinliğin ıslanmasını sağlayan sulama suyunun bir kısmını ifade eden $\eta > 1$ "ıslanma katsayısı" eklenir ve sulama suyu miktarını hesaplamak için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$n = 100\eta h \rho (w - w_1) \quad (3)$$

Sulanan bitkilerin çeşidine ve sulama koşullarına bağlı olarak, (2) ifadesinde h derinliği bilinmekte, y 'nin ise belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için, (3) ile ifade edilen sulama miktarı iki bileşene ayrılmaktadır:

$$n = n_1 + n_2 \quad (4)$$

Burada, n_1 - suyun aşağı derinliğe sızmaması durumunda, aktif toprak katmanının tarla kapasitesi düzeyinde ıslanması için (1) ifadesiyle hesaplanan gerekli su miktarı; n_2 ise y geçiş bölgesinin ıslanmasına harcanan sulama suyu miktarıdır. (1) ifadesine benzer biçimde n_2 için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$n_2 = 100 y \rho_y (\beta - \beta_1) \quad (5)$$

Burada, ρ_y - y katmanında ortalama hacim ağırlığı; β , β_1 - y katmanında sırasıyla sulama sonrası ve sulama öncesi ortalama gravimetrik nem miktarlarıdır.

n , n_1 , n_2 'nin sırasıyla (3), (1) ve (5) ifadeleri (4)'de yerine konarak, y için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$100\eta h\rho(w - w_1) = 100h\rho(w - w_1) + 100y\rho_y(\beta - \beta_1)$$

$$h\rho(w - w_1)(\eta - 1) = y\rho_y(\beta - \beta_1)$$

$$y = \frac{h\rho(w - w_1)(\eta - 1)}{\rho_y(\beta - \beta_1)} \quad (6)$$

(6) ifadesindeki h , ρ , w , w_1 , η parametrelerinin deneysel olarak belirlenmesi mümkün olmakta, ρ_y , β , β_1 değerleri ise y 'ye bağlı ve benzer denklemle belirlenmektedir. Bu ise (6) ifadesinin yapılmasında teorik çelişki oluşturmaktadır. Bu çelişkinin ortadan kaldırılması aşağıdaki varsayıma dayanmaktadır:

Toprağın aktif katmanı veya bitki kök sisteminin oluşum bölgesi, birçok tarım bitkileri için genel olarak 50-80 cm arasında değişmektedir. Bazı araştırmacıların

(Abduyev, 1960; 1968; Averianov, 1971) ve deneme arazisi topraklarının deneysel verilerinden oluşturulan Çizelge 1'den de görüldüğü gibi, toprakların üst katmanlarındaki hacim ağırlığı çoğunlukla düşük olup 0.97 ile 1.25 gr cm⁻³ arasında değişmektedir. Alt toprak katmanlarında hacim ağırlığı artmakta ve değişim aralığı azalmaktadır. Toprak tekstürü ve arazi kullanımına bağlı olarak, aktif toprak katmanlarında hacim ağırlığına ait değişim aralığı da artmaktadır. Alt toprak katmanlarında hacim ağırlığındaki değişim az olduğu için hesaplamada (yüksek hatasız olarak) hacim ağırlığının bilinmeyen ρ_y değeri yerine, toprağın aktif katmanından sonra gelen Δh_i katmanının hacim ağırlığının kullanılması mümkündür. Bu nedenle (6) ifadesinin oluşumundaki teorik çelişki ortadan kalkmakta ve pratikte yaklaşık olarak kullanımı sağlanmaktadır.

Çizelge 1. Bazı toprakların hacim ağırlığı, gr cm⁻³

Derinlik, cm	Kahverengi toprak			Tipik çernozem
	Killi	Killi (mera)	Kumlu kil	
0-10	1.25	1.14	1.15	0.97
10-20	1.26	1.48	1.32	1.16
20-30	1.28	1.50	1.45	1.11
30-40	1.31	1.41	1.42	1.18
40-50	1.32	1.40	1.35	1.16
50-60	1.35	1.42	1.35	1.21
60-70	1.37	1.43	1.37	1.21
70-80	1.46	1.43	1.41	1.28
80-90	1.55	1.47	1.41	1.22
90-100	1.58	1.50	1.40	1.25
100-110	1.58	1.60	1.46	1.26
110-120	1.60	1.62	1.47	1.28
120-150	1.61	1.52	1.46	1.34

Geçiş bölgesinde (S), toprağın nem miktarı tarla kapasitesinden başlangıç nem miktarına kadar azalmakta ve y katmanında ortalama nem değeri $\beta - \beta_1$ olmaktadır. Toprağın y katmanında oluşan S ıslanma bölgesinin yaklaşık üçgen biçiminde olduğu varsayılırsa, bu alanın orta doğrusunun özelliğine göre, $\beta - \beta_1$ değeri w ve w_1 nem değerlerinin h derinliğindeki ψ ve ψ_1 değerleriyle aşağıdaki gibi ifade etmek mümkün olabilir:

$$\beta - \beta_1 = \frac{\psi - \psi_1}{2} \quad (7)$$

(7) ifadesi (6)'da yerine konursa,

$$y = \frac{2h\rho(w - w_1)(\eta - 1)}{\rho_y(\psi - \psi_1)} \quad (8)$$

elde edilir.

Burada, y - geçiş bölgesinin derinliği, m; h - toprağın aktif (hesaplama) katmanı, m; ρ - h katmanının ortalama hacim ağırlığı, t m⁻³; w - h katmanının tarla kapasitesine uygun gravimetrik nem değeri, %; w_1 - h katmanında sulamadan önceki nem miktarı, %; η - h katmanından aşağı katmanlara sızan sulama suyu kısmını gösteren katsayı; ρ_1 - h aktif katmanından sonra gelen Δh toprak horizonunun hacim ağırlığı, t m⁻³; ψ_1 - sulama öncesi h derinliğindeki (noktasındaki) gravimetrik nem miktarı, %; ψ - h derinliğinde, tarla kapasitesine uygun gravimetrik nem miktarıdır, %.

Deneysel verilere bağlı olarak, her bir toprak tipi için η katsayısının belirlenmesi için (3)'den aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\eta = \frac{n}{100\rho h(w - w_1)} \quad (9)$$

Genel olarak, η “ıslanma katsayısı” sulama suyu miktarına ve toprağın hacim ağırlığına bağlı olmaktadır (Averianov, 1968).

4. Bulgular ve Tartışma

Toprakta başlangıç nem miktarının tarla kapasitesinin % 60-70'i kadar olduğu durumda, aktif toprak katmanındaki nemin tarla kapasitesi düzeyine ulaşması için, 900 - 950 m³ ha⁻¹ su uygulanması gerekmektedir. Dolayısıyla, toprak katmanının ıslanma parametrelerinin belirlenmesi için sürekli ekim yapılan alanlardan elde edilen verilerin kullanılması mümkündür.

Deneme döneminde bitki kök bölgesi (aktif toprak katmanı) ortalama olarak 70 cm'dir. Deneme alanının ağır killi bünyeye sahip toprağının her 10 cm katmanında belirlenen hacim ağırlığı değerlerine göre,

0-70 cm katmanındaki ortalama hacim ağırlığı $\rho = 1.31$ gr cm⁻³; $h = 70$ cm olan aktif toprak katmanının alt kısmında (70-80 cm'de) hacim ağırlığı $\rho_1 = 1.46$ gr cm⁻³ olmaktadır (Çizelge 1).

Deneme alanında sulama öncesi ve sonrası nem değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'den de görüldüğü gibi, 10 cm'lik üst toprak katmanında sulama sonrası nem değerleri, tarla kapasitesinin % 0.9'unu oluşturmaktadır. 20-70 cm toprak derinliğinde ise sulamadan sonraki nem değerleri, tarla kapasitesi değerleri ile yaklaşık örtüşmektedir. Toprağın nem değerleri 70 cm derinlikten sonra azalmakta, 120 cm'den daha derin katmanlarında ise sulama öncesindeki başlangıç nem değerlerine yaklaşmaktadır.

Çizelge 2'deki deneysel veriler kullanılarak, aktif toprak bölgelerinin ρ , $\omega - \omega_1$, $\psi - \psi_1$, ρ_y parametreleri için belirlenen değerler Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2. Deneme alanının sulama öncesi ve sonrası gravimetrik nem değerleri

Derinlik, cm	Gravimetrik nem, %		Tarla kapasitesi, %
	Sulamadan önce	Sulamadan sonra	
10	17.8	29.2	32.6
20	19.2	31.8	32.0
30	21.6	29.3	29.6
40	21.8	29.8	29.4
50	22.5	28.2	28.6
60	22.5	28.1	28.3
70	22.3	27.4	28.0
80	21.7	25.3	27.4
90	20.5	23.7	25.9
100	20.4	22.6	25.7
110	19.8	22.4	25.4
120	19.1	19.8	25.3
130	18.6	19.5	24.8
140	17.4	18.3	24.5
150	17.6	18.7	24.0

Çizelge 3. Aktif toprak bölgelerindeki hacim ağırlıkları ve nem değişimleri

Parametreler	Derinlik, m				
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
ρ , gr cm ⁻³	1.28	1.28	1.28	1.30	1.33
$\omega - \omega_1$, %	10.83	9.86	9.18	8.69	8.31
$\psi - \psi_1$, %	7.6	6.1	5.8	5.7	5.7
ρ_y , gr cm ⁻³	1.32	1.35	1.37	1.46	1.55

Aktif toprak bölgelerindeki hacim ağırlıkları ve nem değişimleri göz önüne alınarak, (9), (8) ve (2) ifadelerine göre, sırasıyla “ıslanma katsayısı” (η),

geçiş bölgesinin yüksekliği (y) ve ıslanma derinliği (H) belirlenmiş, elde edilen değerler Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. İslanma parametrelerinin değerleri

Sulama suyu miktarı, m ³ /ha	İslanma parametreleri	Derinlik, m				
		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
900	η	1.62	1.43	1.26	1.13	1.02
	y, cm	69	66	49	25	4
	H, cm	109	116	109	95	84
950	η	1.71	1.51	1.33	1.19	1.07
	y, cm	79	78	62	36	14
	H, cm	119	128	122	106	94

Çizelge 4'ten görüldüğü gibi, sulama suyu miktarının 900 m³ ha⁻¹ olması durumunda, ıslanma katsayısı (η) toprağın 0.4 m ile 0.8 m katmanlarında 1.02 ile 1.62 arasında belirlenmiştir. Sulama suyu miktarının 950 m³ ha⁻¹ olması durumunda ise 1.07-1.71 arasında değişmektedir. Sulama suyu miktarı, toprağın hacim ağırlığı, aktif toprak derinliği, $\omega - \omega_1$ nem miktarının değişimi ıslanma katsayısına etki yapan temel faktörlerdir. Toprağın ıslanma derinliği (H), ıslanma katsayısına bağlı olmakta, sulama suyu miktarının 900 m³ ha⁻¹, aktif toprak derinliğinin 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 ve 0.8 m olması durumunda sırasıyla 109, 116, 109, 95 ve 84 cm olmaktadır. Sulama suyu miktarının 950 m³ ha⁻¹ olması durumunda ise, 119, 128, 112, 106 ve 94 cm olarak belirlenmektedir. Toprağın ıslanma derinliği, diğer faktörlerle beraber ρ_y ve $\psi - \psi_1$ değerlerine önemli düzeyde bağlı olmaktadır. Averianov (1968) tarafından yapılan bir çalışmada, $\eta = 1.15$ ve 1.20 değerlerinde, ıslanma derinliği sırasıyla 102 cm ve 112 cm olarak saptanmıştır. Bitkilerin vejetasyon sürecinde, gelişme dönemlerine bağlı olarak, aktif kök bölgesiderinliği değişmekte ve bitki çeşidine göre farklılık göstermektedir. Örneğin, vejetasyon döneminde arpa bitkisi için aktif toprak katmanı 0.5 – 0.8 m; silajlık mısır için ise 0.35-0.80 m olmaktadır (Şumakov, 1990). Vejetasyon döneminde aktif toprak katmanının farklılık göstermesi, diğer faktörlerle beraber ıslanma derinliğinin değişimine neden olmaktadır.

5. Sonuç

Sulama suyu miktarının ve zamanının düzenlenmesinde, toprakların ıslanma derinliğinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada, ıslanma derinliğinin belirlenmesi matematiksel olarak açıklanmış; sulama miktarı, sulama öncesi ve sonrası toprağın nem değerleri göz önüne alınarak ıslanma derinliği belirlenmiştir. Sulama suyu miktarının ve aktif toprak katmanı derinliğinin ıslanma derinliğine etki yapan temel faktör olduğu teorik ve deneysel olarak gösterilmiştir. $\eta > 1$ "ıslanma katsayısı"nın, farklı topraklar için daha detaylı olarak bulunması için, toprak katmanlardaki sulamadan öncesi ve sonrası nem miktarları, sulama suyu miktarı, hacim ağırlığı, aktif

toprak katmanının derinliği gibi deneysel parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. İslanma derinliğinin belirlenmesinde, sulama bölgesine özgü deneysel verilerin kullanılması gerekmektedir. Örneğin nem miktarının belirlenmesinde veri toplama esnasındaki hataların önüne geçilmesi için arazi yapısını yansıtmayan depresyon sahalarından örnekleme yapılmamalıdır. Her bir bitkiye ait aktif toprak bölgesinin maksimum değerinin kullanılması mümkün gözükmemektedir.

Kaynaklar

- Abduyev, M.R., 1960. Azerbaycanın düzenlik hissesinin delüvial formada şorlaşmış torpagları. Azerbaycan SSR Elmler Akademiyası Neşriyyatı. Bakı, 100 s.
- Abduyev, M.P., 1968. Pocu s delyuvialnoy formoy zasoleniya i voprosi ix melioraçii. İzdatelstvo Akademii Nauk Azerbaydjanskoj SSR. Baku, 270 s.
- Ali, S., Ghosh, N.C., Mishra, P.K., Singh, R.K., 2015. A holistic water depth simulation model for small ponds. Journal of Hydrology, 529: 1464–1477.
- Averianov, A., P., 1968. K voprosu opredeleniya polivnoy normi. Pucvovedeniye, No: 9.
- Averianov, A., P., 1971. Quality and depth of soil moistening during grop irrigation. Pucvovedeniye, 2: 60-65.
- Aydarov, İ., P., 1985. Regulirovaniye vodno-solevoy i pitatelnogo rejimov oroşayemih zemel. Moskova, Press BO "Agropromizdat", 304s.
- Chu, S.T., 1994. Green-Amptanalysis of wetting pattern for surface emitters. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 120. 414–421.
- Cook, F.J., Fitch, P., Thorburn, P.J., Charlesworth, P.B., Bristow, K.L., 2006. Modelling trickle irrigation: Comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. Environmental Modelling & Software, 21: 1353-1359.
- Dogan, E., Kirnak, H., Dogan, Z., 2008. Effect of varying the distance of collectors below a sprinkler head and travel speed on measurements of mean water depth and uniformity for a linear move irrigation sprinkler system. Biosystems Engineering, 99: 190-195.
- Ekberli, İ., (Akperov, İ.A.), 1989. Optimizaçiya vodno-solevogo rejima oroşayemih pocv Siazan-Sumgaitskogo massiva (Dissertaçiya na soiskaniye uçenoy stepeni kandidata selskohozyaystvennih nauk). Akademiya Nauk Azerbaydyanskoy SSR, Institut Pucvovedeniya i Agrohimi, Baku, 173 s.
- Ekberli, İ., 2008. Sistemli yaklaşımla ekosistemin analizinde matematiksel modelleme yöntemi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat fakültesinin Dergisi, 23(3):170-182.

- Elmaloglou, S., Diamantopoulos, E., 2007. Wetting front advance patterns and water losses by deeper colation under the root zone as influenced by pulsed drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 90: 160-163.
- Elmaloglou, S., Diamantopoulos, E., 2009. Effects of hysteresis on redistribution of soil moisture and deep percolation at continuous and pulse drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 96: 533-538.
- Elmaloglou, S.T., Malamos, N., 2007. Estimation of width and depth of the wetted soil volume under a surface emitter, considering root water-uptake and evaporation. *Water Resour Manage.*, 21: 1325-1340.
- Ertek, A., Kanber, R., 2000. Damla sisteminde farklı sulama programlarının pamuk bitkisinin değişik toprak katmanlardaki su tüketimine ve kök gelişimine etkilerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24: 283-291.
- Jiang, Y., Zhang, L., Zhang, B., He, C., Jin, X., Bai, X., 2016. Modeling irrigation management for water conservation by DSSAT-maize model in arid North western China. *Agricultural Water Management*, 177: 37-45.
- Karahan, G., Erşahin, S., Öztürk, H.S., 2014. Toprak koşullarına bağlı olarak tarla kapasitesi dinamiği. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30 (1): 1-11.
- Kostyakov, A.N., 1960. *Osnovı melioraçiy*. Press "Selhozgiz", 662 s.
- Kuklik, V., Hoang, T. D., 2014. Soil moisture regime under point irrigation. *Agricultural Water Management*, 134: 42-49.
- Li, P., Li, T., Vanapalli, S., 2016. Influence of environmental factors on the wetting front depth: A case study in the Loess Plateau. *Engineering Geology*, 214: 1-10.
- Li, X., Jin, M., Zhou, N., Huang, J., Jiang, S., Telesphore, H., 2016. Evaluation of evapotranspiration and deeper colation under mulched drip irrigation in an oasis of Tarimbasin, China. *Journal of Hydrology*, 538: 677-688.
- Lubana, P.P.S., Narda, N.K., 1998. Soil water dynamics model for trickle irrigated tomatoes. *Agricultural Water Management*, 37: 145-161.
- Schwartzman, M., Zur, B., 1986. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 112: 242-253.
- Sepaskhah, A.R., Chitsaz, H., 2004. Validating the Green-Ampt Analysis of Wetted Radius and Depth in Trickle Irrigation. *Biosystems Engineering*, 89 (2): 231-236.
- Singh, D.K., Rajput, T.B.S., Singh, D.K., Sikarwar, H.S., Sahoo, R.N., Ahmad, T., 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *Agricultural Water Management*, 83: 130-134.
- Soulis, K.X., Elmaloglou, S., Dercas, N., 2015. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. *Agricultural Water Management*, 148: 258-268.
- Stirzaker, R.J., Maeko, T.C., Annandale, J.G., Steyn, J.M., Adhanom, G.T., Mpuisang, T., 2017. Scheduling irrigation from wetting front depth. *Agricultural Water Management*, 179: 306-313.
- Şimşek, M., Şilbir, Y., Gerçek, S., Boydak, E., Kasap, Y., 2005. Mısır-soya birlikte ekim sisteminde su-verim ve alan eşdeğer oranı ilişkisinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11 (2): 147-153.
- Şumakov, B.B., 1990. *Meliorasiya i vodnoye hozyaystvo*. 6. Oroşeniye: Spravochnik. VO "Agropromizdat". Moskva, 415 s.
- Zhang, R., Cheng, Z., Zhang, J., Ji, X., 2012. Sandy loam soil wetting patterns of drip irrigation: a comparison of point and line sources. *Procedia Engineering*, 28: 506 - 511.
- Zhang, Y.Y., Zhao, X.N., Wu, P.T., 2015. Soil wetting patterns and water distribution as affected by irrigation for uncropped ridges and furrows. *Pedosphere*, 25(3): 468-477.