

Sebze üretiminde damla sulama yönetiminin temel ilkeleri

Ruhi BAŞTUĞ^{1*}

¹ Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya

Alınış Tarihi: 17 Mart 2014 Kabul Tarihi: 25 Haziran 2014

Özet

Damla sulama, normal olarak suyu tüm toprak hacminin bitkinin bulunduğu belirli bir bölümüne verdiği için, her damlatıcının yakınında veya bir lateral hat boyunca sınırlı bir toprak hacmi ıslatılır. Bu; sulama sisteminin tasarımı, işletimi ve yönetimi ile kültürel uygulamaların yönetimi açısından göz önünde tutulması gereken önemli bir konu olup, sebze yetiştiriciliğinde damla sulama sistemlerinin uygun yönetimi için gerek duyulan; toprağın hidrolik özellikleri, bitkinin gelişme ve su kullanma özellikleri ve ayrıca buharlaştırma istemine ilişkin bilgilerle birlikte dikkate alınmalıdır. Sulama programı, bu özellikleri birleştirmeli ve mevcut sulama sistemi ile kültürel kısıtlara uyarlamalıdır. Ayrıca, topraktaki bitki besin maddelerinin yıkanmasına yol açabilecek aşırı su uygulamalarından kaçınmak için sulama ve gübre yönetim programları uyumlu olmalıdır.

Anahtar kelimeler: Damla sulama, Sebze üretimi, Sulama programlaması

Principles of drip irrigation management in vegetable production

Abstract

Because drip irrigation normally supplies water to a specific part of the soil volume occupied by plant, limited areas to be wetted in soil volume near each emitter or along each lateral line. This is an important context for irrigation system design, operation and management and cultural practices management. Therefore, this characteristic must be taken into consideration for appropriate management of vegetable drip irrigation systems with knowledge requires including of soil hydraulic characteristics, plant growth and water use characteristics and evaporative demand. The irrigation schedule must integrate these features and conform to existing irrigation system and cultural constraints. Additionally, irrigation management program

* Sorumlu yazar (Corresponding author): rbastug@akdeniz.edu.tr

must be coupled with the fertilizer management program to avoid excessive water applications that leach plant nutrients in soil.

Keywords: Drip irrigation, Vegetable production, Irrigation scheduling

1. Giriş

Sebze üretiminde damla sulama, diğer sulama yöntemlerine göre bir çok üstünlüğe sahiptir. Bu yöntemde su, bitki kök bölgesine plastik bir iletim borusu ile ulaştırılır ve boru duvarına içten veya üstten geçmeli, debisi denetlenebilir damlaticılar aracılığıyla uygulanır. Suyun bu şekilde uygulanması yağmurlama yöntemi ile karşılaştırıldığında, potansiyel yaprak hastalıklarını azaltır ve su uygulama randımanını artırır. Ayrıca bu yöntemde sıvı gübre, sulama suyuna enjekte edilerek su ve gübre uygulamaları bitkinin gereksinimlerine göre programlanabilir. Damla sulama özellikle, su tutma ve kation değişim kapasitesi düşük olan kumlu topraklarda yararlı olur (Clark, 1992). Ancak, uygun yönetilmeyen sistemlerde damla sulama maliyet artışına veya verimde azalmaya yol açabilir. Yönetim etkinlikleri, sulama sisteminin bakımı ve sulama programlaması konularını içerir.

Bu makalede; dikkate alınacak toprak ve bitki özellikleri, buharlaştırma istemi, sulama programlaması yöntemleri, damlaticı lateral boru ve sulama sistemi özelliklerini içeren özel konular yanında sebze üretiminde damla sulama yönetiminin temel ilkelerinin açıklanması amaçlanmıştır.

2. Toprak ve Bitkiye İlişkin Özellikler

2.1. Toprağın su tutma kapasitesi ve izin verilebilir tüketim

Toprak özellikleri, sulama programlaması ve bitki su yönetiminde önemli bir rol oynar. Çünkü toprak belirli bir poroziteye veya gözenek hacmine ve bitkinin kullanımı açısından sınırlı bir su tutma kapasitesine sahiptir. Toprak, tarla kapasitesi (TK) düzeyine kadar doyduktan sonra drenaj meydana gelir. Bitkinin suyu topraktan alması, toprakta kalan suyun bitkilerce kullanılmadığı devamlı solma noktasına (DSN) kadar devam eder.

DSN ile TK arasındaki fark toprağın kullanılabilir su tutma kapasitesi (KSTK) olarak tanımlanır. Tipik kumlu tın bir toprağın doygunlukta, TK'de ve DSN'nda içerdiği su hacimsel olarak sırasıyla %30, %16 ve %8'dir. Bu toprağın KSTK'si hacim olarak (%16-%8=) %8 olacaktır. Toprakların

kullanılabilir su tutma kapasiteleri %3'ten başlayarak kumlu topraklarda %8'e, kumlu tın topraklarda %10'a ve kumlu killi tın topraklarda %15'e kadar değişir. Kil veya silt içeriği fazla olan topraklar daha yüksek su tutma kapasitesine sahiptirler (Smith ve Warrick, 2007).

Bitkiler açısından kullanılabilir suyun hacimsel miktarı, bitkinin kök gelişimine ve toprağın su tutma özelliklerine bağlıdır. Olası bitki stresinden kaçınmak için sulamalar genellikle, topraktaki kullanılabilir suyun izin verilebilir bir yüzdesi tüketildiği zaman başlatılacak biçimde programlanır. Bu düzey, duyarlı bitkilerde %30'dan başlayarak kurağa dayanıklı bitkilerde %70'e kadar değişir. Damla sulamada bu değer genellikle % 30 alınır.

2.2. Toprak yüzeyinin tamamen ıslatılmaması ve bitki kök bölgesi

Damla sulama sistemlerinde su, lateral boru boyunca bitki ve toprak özelliklerine bağlı olarak düzenli (Ör: 30, 45 cm gibi) aralıklarla yerleştirilmiş damlatıcılardan denetimli biçimde yavaş su damlaları halinde toprağa dağılır ve tarlanın sadece belirli bir oranı ıslanır.

Damlatıcıdan itibaren suyun yatay dağılımı toprağın kapilaritesinden, düşey dağılımı ise kapilarite ve yerçekiminden etkilenir. Uygulanan su ve sulama sistemiyle iletilen kimyasallar, damlatıcıların yakınında daha büyük konsantrasyonda olacaktır. Sistemi çalıştırma (sulama) süresi, su dağılımını etkileyecektir. Kumlu topraklarda yanal su dağılımı orta ve ağır bünyeli topraklara göre daha zayıf olur (Clark, 1992). Sık aralıklı sulama, bazı toprak tiplerinde yanal su hareketini etkileyebilir. Toprağın infiltrasyon hızını aşan damla sulama uygulaması, suyun göllenmesine ve yüzey akışa yol açar. Bu, genellikle ağır bünyeli topraklarda meydana gelir. Özellikle kumlu topraklarda sık aralıklı damlatıcılar nemi, toprak profili içinde daha eşdüze dağıtacaktır. Damlatıcı aralıklarının seçimi ve sulama programlamasında yardımcı olmak amacıyla, toprakların ıslanma özelliklerini saptamak için test yapılmalıdır.

2.3. Bitki su tüketimi ve sulama suyu kullanımı

Bitkinin su tüketim hızı ve miktarı; solar radyasyon, sıcaklık, bağıl nem ve rüzgardan etkilenen bir enerji alış veriş sürecinin suyu buharlaştırma istemi ile ilişkilidir (Campbell, 1977). İyi sulanan, eş boyda, aktif büyüyen, tam örtüye ulaşmış, kıyas (çim) bitkisinin yüzeyinden meydana gelen evapotranspirasyon miktarını ifade eden buharlaştırma istemi kıyas bitki su tüketimi (ET_0); olarak tanımlanır (Doorenbos ve Pruitt, 1977; Allen vd., 1998; Allen vd., 2011). Bir dizi gelişme dönemine sahip yıllık sebzelerde,

başlangıç evresindeki su tüketimi, bitki örtüsü henüz tamamlanmamış olduğundan düşük düzeydedir. Bitkinin kullandığı miktar (ET_c) yukarıda sözü edilen kıyas bitkinin istemine (ET_0) göre çok farklı olduğundan, sulama programlaması için gerçek su tüketimi tahminlerine gerek vardır ve bu $ET_c \div ET_0$ oranı ile tanımlanan uygun bitki (su kullanım) katsayısı (K_c) yardımıyla belirlenebilir. Sebze bitkileri için araştırma sonuçlarına dayanan derlenmiş K_c değerleri mevcuttur (Allen vd., 2007). Ancak bitki katsayılarının varsayılan maksimum bitki örtüsü düzeyine dayanması nedeniyle, kullanımlarında tarlaya özgü bazı uyarlamalar gerekebilir (Hartz, 1996).

ET_0 'ı belirlemek için birkaç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler sıcaklık, solar radyasyon, rüzgar hızı ve hava nemi gibi bilgilere gerek duyarlar. Kurak iklimlerde ET_0 'ı tahmin yöntemlerinin yalnızca sıcaklık ve gün uzunluğuna dayandığı kabul edilebilir. Solar radyasyona dayalı yöntemler genellikle nemli iklimler için en doğru ET_0 modelleridir, fakat genellikle matematiksel açıdan karmaşıktırlar (Allen vd., 1998).

3. Sulama Programlaması Yöntemleri

Damla sulamada sulama programlaması, sistemin hidrolik tasarım ve bakımına ilişkin unsurları, toprak ve bitki özelliklerini, atmosferik istemi birleştirilerek; bitkinin su ihtiyacını, bitki büyümesi ve hasadına ilişkin kültürel esaslar ile birlikte düzenleyen bir yönetim sağlar (Howell ve Meron, 2007).

3.1. Pan buharlaşmasına dayalı sulama programlaması

Sulama programlamasında iklimsel etkenlerin ortak etkisi sonucu bir pandan olan buharlaşmayı temel almak oldukça anlaşılabilir bir yaklaşımdır. Çünkü, pan buharlaşması (E_{pan}), meteoroloji istasyonlarının çoğunda ölçülür ve buharlaştırma istemini belirlemede kullanılan basit bir yöntemdir. Pan, ölçüm yerine standart koşullarda yerleştirilen, belirli boyutlara sahip bir buharlaşma kabı olup en yaygın kullanılan tipi Class A Pan (A sınıfı buharlaşma kabı)'dır (Doorenbos ve Pruitt, 1977; Allen vd., 1998).

Suyun taşınımı, solar radyasyon, yansıma ve panın bulunduğu yere özgü koşullar farklı olacağından pandan buharlaşan su miktarı, çevresindeki bitkilerin su kullanımını ile aynı olmaz. Çizelge 1, E_{pan} 'ı ET_0 'a dönüştürmek için kullanılabilen rüzgar, nem ve çevredeki toprak ve bitki örtüsü koşullarını baz alan pan katsayılarını ($ET_0 \div E_{pan}$ oranını) vermektedir. Örneğin, 0.75'lik bir

pan katsayısı ET_0 'ın, pan buharlaşmasının %75'i olarak hesaplanacağını gösterir.

Çizelge 1. Farklı toprak örtüsü, ortalama bağıl nem ve rüzgar hızı koşulları için A sınıfı buharlaşma kabı (pan) katsayıları (Doorenbos ve Pruitt, 1977'den uyarlanmıştır).

Günlük ort. rüzgar hızı (km/gün)	Bitki örtüsünün rüzgar tarafındaki mesafesi (m)	Pan çevresinde kısa-yeşil bitki örtüsü var		Pan çevresinde çıplak toprak var	
		Ortalama bağıl nem (%)			
		≤ %70	> %70	≤ %70	> %70
Hafif <175	1	0.65	0.75	0.80	0.85
	10	0.75	0.85	0.70	0.80
	100	0.80	0.85	0.65	0.75
	1000	0.85	0.85	0.60	0.70
Orta 175-425	1	0.60	0.65	0.75	0.80
	10	0.70	0.75	0.65	0.70
	100	0.75	0.80	0.60	0.65
	1000	0.80	0.80	0.55	0.60
Kuvvetli 425-700	1	0.50	0.60	0.65	0.70
	10	0.60	0.65	0.55	0.65
	100	0.65	0.70	0.50	0.60
	1000	0.70	0.75	0.45	0.55

Pan toprak yüzeyinden 15 cm yüksekte ahşap bir ızgara üzerine yerleştirilmelidir. Kaba taze su konmalı, suyun derinliği günlük veya gün aşırı düzenli olarak bir ölçüm aygıtı ile izlenmeli, düşük konsantrasyonlu bakır sülfat ($CuSO_4$) veya klor [$1-2$ ppm ($mg\ l^{-1}$)] kullanılarak pan, alglerden ve diğer organik gelişimlerden arı ve temiz tutulmalıdır (Clark, 1992).

Tam gelişmiş bitki örtüsünden su kullanımı, pandan buharlaşan su miktarının yaklaşık %75-80'i kadar olabilir. Bitkiler toprak yüzeyini tamamen örtmediği zaman, gerçek su tüketimi pan buharlaşmasının %75'inden daha az olacaktır. Sebze bitkileri için su kullanımı; mevsimin ilk 1/3'ü süresince pan buharlaşmasının %10-15'i, mevsim ortası süresince pan buharlaşmasının %40-50'si, üretim mevsiminin son 1/3'ü süresince ise pan buharlaşmasının %60-80'i kadar olabilir (Clark vd., 1990, 1991).

Bitkinin kullandığı su miktarı milimetre (mm) derinlik olarak belirtilir. Damla sulama ile sulanan sıra bitkilerinde, uygulanan su toprakta ıslak bir bant oluşturduğundan, birim sıra uzunluğu için litre (l) birimiyle hacim olarak ifade edilebilir (Clark, 1992). Bu amaçla Eşitlik 1'den yararlanılabilir:

$$V = (C_1)(d) \quad (1)$$

Burada V =su gereksiniminin hacimsel ifadesi, C_1 =dönüştürme katsayısı ve d =su derinliğidir. Çizelge 2’de V ve d için farklı ölçü birimlerine karşılık gelen C_1 değerleri verilmektedir. Örneğin: Eksenleri arasında 1 m aralık olan yüksek yataklarda yetiştirilen ve günlük su tüketimi 4 mm olan domates bitkisi için gerekli su hacmi $V=100 \times 4=400 \text{ l } (100 \text{ m})^{-1} \text{ gün}^{-1}$ ’dür. Eğer tarla, toplam 15000 m sıra uzunluğuna sahipse $15000 \div 100=150$ olup $150 \times 400=60000 \text{ l } =60 \text{ ton } (m^3)$ su gerekecektir.

Çizelge 2. Derinlik (d , mm) olarak uygulanan suyu hacme dönüştürmek için kullanılacak C_1 değerleri (Clark, 1992)

Bitki sıra aralığı (m)	Birim alandaki bitki sıra uzunluğu ($m \text{ ha}^{-1}$)	C_1 değeri	Su hacminin (V 'nin) birimi
-	-	10000	l ha^{-1}
1.0	10000	100	$\text{l } (100 \text{ m})^{-1}$
1.5	6667	150	$\text{l } (100 \text{ m})^{-1}$
2.0	5000	200	$\text{l } (100 \text{ m})^{-1}$

Damla sulama sistemlerinde su uygulama randımanı %80-90 olabilir. Yukarıdaki örnek için su uygulama randımanı %90 alınırsa toplam $60000 \div 0.90=66666 \text{ l gün}^{-1} =66.7 \text{ ton } (m^3) \text{ gün}^{-1}$ suya gereksinim olacaktır.

3.2. Toprağa dayalı sulama programlaması yöntemleri

Kökler, çoğu zaman toprak içinde eşdüze olarak dağılmaz ve bitki veya damlatıcı çevresinde yoğunlaşabilirler. Toprak nem düzeyinin izlenmesi, istenen sınırlar içinde olup olmadığının ve söz konusu zamandaki sulama yönetim düzeyinin uygun olup olmadığının belirlenmesinde yardımcı olabilir. Bitki kök bölgesindeki toprak nemi düzeyini izlemek için tansiyometreler, elektriksel direnç blokları, toprak kapasitans problemleri, nötron prob (Clark, 1990; Hartz, 1996), TDR vb. aygıtlardan yararlanılabilir. Ancak bunlardan, direnç blokları ve nötron prob tekniği damla sulama ile sebze üretimi için uygun değildir (Hartz, 1996).

Tansiyometreler, bu amaçla kullanılacak ucuz ve kullanışlı araçlardır. İstenen nem koşullarını gösteren tansiyometre okumaları toprak özelliklerine bağlı olarak değişir. Genel olarak, tınlı veya killi topraklarda TK’de tansiyometre okumaları 30 cb (kPa), çok kumlu topraklarda 7-9 cb (kPa) olabilir. Sulamalar genellikle, çok kumlu topraklarda kullanılabilir suyun alt sınırına karşılık gelen 10-20 cb (kPa)’dan bazı killi ve tınlı topraklarda

70-80 cb (kPa)'a yükselebilen okumalara göre düzenlenmelidir. Tansiyometreler, uygulanan sulama suyu düzeyini izlememede de kullanılabilirler. Toprak nemini ölçen cihazların tümü yerel koşullara göre kalibre edilmelidirler.

3.3. Su bütçesi ile sulama programlaması

Topraktaki suyu veya toprağa su katkısı ve kayıplarını dikkate alan su bütçeleri veya hesaplama yöntemleri, sulamaları programlamaya yardımcı olarak kullanılır. Bu bilgiler, mevcut toprak suyu düzeyini, izin verilebilir tüketimin üzerinde tutmak için sulama gerekip gerekmediğini belirlemeye kullanılır (Clark, 1992). Temel bir su bütçesi denklemi şöyle ifade edilir:

$$CS = PS + R + I - ET_c \quad (2)$$

Burada, CS =toprakta mevcut (depolanmış) su, PS =önceki depolanmış su, R =yağış, I =sulama ve ET_c =bitki su tüketimidir. Sulama ve kök sistemleri üretim alanında eşdüze dağılmışsa Eşitlik 2'deki değerler, derinlik (mm) olarak ifade edilebilir. Damla sulama sistemleriyle sulanan sıra bitkilerinde hektara litre, sulanan işletme birimine litre veya birim sıra uzunluğu (100 m)'ye litre gibi hacim birimlerini kullanmak daha uygun olabilir.

PS'nin başlangıç düzeyi olarak, tüm profilin suyla dolu olduğu TK'deki toprak suyu düzeyini almak olasıdır. Etkili yağış; gerçek yağıştan, yüzey akış ve kök bölgesi dışına çıkan drenajın toplamı çıkarılarak bulunur. Kullanılabilir toprak suyunu belirlemek için PS, R ve I'nın uygun düzeyleri birlikte değerlendirilmelidir. Sonra o günkü depolama düzeyini elde etmek için günlük ET_c miktarı kullanılabilir toprak suyundan çıkarılır. O günkü depolama düzeyi izin verilebilir tüketim düzeyine indiğinde, toprak profilini tarla kapasitesine veya eğer tuz yıkanması gerekliyse tarla kapasitesinin de üzerine çıkarmak için sulama programlanmalıdır.

3.4. Bitkiye dayalı sulama programlaması yöntemleri

Bitkilerin; su eksikliğinin bir belirteci olarak kullanılması yoluyla sulamalar, programlanabilir. Hafif solma veya turgor kaybı, düşük bitki su potansiyelinin bir göstergesidir. Bu durum; topraktaki kullanılabilir suyun azalması, tam gelişmemiş veya zarar görmüş kök sistemi veya hücresel su taşınımına içsel bitki direncinin yüksek olması gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Turgor kaybı, bitki büyümesi ve gelişmesinin azalmasına yol

açarak verimi etkiler. Su eksikliği koşullarını belirlemede yaprak su potansiyeli ölçümlerinden yararlanılabilir (Boyer, 1985), ancak bunlar ticari üretim sistemleri için kullanışlı olmayabilirler (Bennett, 1990). Çünkü damla sulamada bitkinin yeşil aksamı ıslatılmaz, sadece toprağın nem koşulları iyileştirilir. Bu ise bitkinin solma durumunu gidermeyebilir ve bazen üstten sulama gerekebilir.

Belirli koşullarda solmanın ilerlemesi durumunda kullanılabilir nemin düşmesine işaret etmede bitki sıcaklığından yararlanılabilir. O zaman sulamaları programlamada, infrared termometre tekniği ile ölçülen yaprak sıcaklığı ve diğer meteorolojik koşullardan belirlenen bitki su stresi indeksi (CWSI) kullanılabilir (Jackson vd., 1981; Idso, 1982; Reginato ve Howe, 1985; Hatfield, 1990).

3.5. Sulama programlamasında birleşik yöntemler

Tek bir yöntemle, toprak-bitki-su sisteminin gereksinimleri ve dengelerini doğru değerlendirmek çoğu zaman olası değildir. O nedenle etkin bir sulama programlaması yaklaşımı bir tek yöntemle güvenmez, iki veya daha fazla yöntemin birleşiminden oluşur. Programlanan uygulamanın yeterli olup olmayacağından ve bitki besin maddelerinin yıkanıp yıkanmayacağından emin olmak için su bütçesi yaklaşımı ile, evaporatif isteme ve toprak-bitki durumuna ilişkin tarla koşullarında elde edilen bilgiler birlikte kullanılmalıdır (Clark, 1992; Howell ve Meron, 2007).

4. Damla Sulama Sistemine İlişkin Özellikler

4.1. Damla sulama lateral borusunun debisi

Damla sulama lateral borusundaki akışta su, küçük çıkış noktalarından veya orifislerden damlayarak çıkar. Çoğu damlatıcılarda su debisi işletme basıncıyla değişir ve bu, programlama ve yönetim açısından önemli bir özelliktir. Damlatıcı aralığının seçiminde bitki sıra aralığı, umulan kök dağılımı ve toprağın hidrolik özellikleri esas alınmalıdır. Damlatıcı akış debileri yaygın olarak 0.8-8 l h⁻¹ arasında değişir. Ancak damlatıcı debisi, sulama sistemi tasarımı ve programlama amaçları için daha yararlı olan damlatıcı lateral borusunun birim uzunluğuna (100 metreye) veya birim alana (hektara) debi değerlerine dönüştürülebilir (Clark,1992):

$$Q_l = (C_2)(Q_d)/S_d \quad (3)$$

$$Q_t = (C_3)(Q_d)(L_u)/S_d \quad (4)$$

Burada, Q_l =birim uzunluk için lateral debisi, Q_t =birim alan için toplam su debisi, C_2 ve C_3 =dönüştürme katsayıları, Q_d =damlatıcı debisi, L_u =sulanan birim alan için damlatıcı lateral boru uzunluğu ve S_d =damlatıcı aralığıdır.

Q_d , L ve S_d 'nin farklı birim birleşimleri için kullanılabilecek uygun C_2 ve C_3 değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Örneğin: Üzerinde 30 cm aralıklı 1.5 l h^{-1} debili damlatıcılar bulunan lateral borularının kullanıldığı bir damla sulama sisteminde 1 ha alandaki toplam lateral uzunluğu 5500 m ise $Q_l = [(10000) \times (1.5)] / (30) = 500 \text{ l h}^{-1} (100 \text{ m})^{-1}$ veya $Q_l = [(166.7) \times (1.5)] / (30) = 8.3 \text{ l dak}^{-1} (100 \text{ m})^{-1}$ olup $Q_t = [(100) \times (1.5) \times (5500)] / (30) = 27500 \text{ l h}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ veya $Q_t = [(1.67) \times (1.5) \times (5500)] / (30) = 459.3 \text{ l dak}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ olarak hesaplanır. Su uygulama randımanı %90 ise Q_l ya da Q_t değerleri 0.9'a bölünerek, toplam debi değerleri sırasıyla $Q_l = 556 \text{ l h}^{-1} (100 \text{ m})^{-1}$; $Q_l = 9.2 \text{ l dak}^{-1} (100 \text{ m})^{-1}$; $Q_t = 30556 \text{ l h}^{-1} \text{ ha}^{-1}$; $Q_t = 510.3 \text{ l dak}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ bulunur.

Çizelge 3. Damlatıcı debilerini birim uzunluk için debi ve birim alana hacime dönüştürmek için Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'de kullanılacak C_2 ve C_3 değerleri (Clark,1992)

Q_d birimi	S_d birimi	L_u birimi	C_2 değeri	C_3 değeri	Q_l birimi	Q_t birimi
l h^{-1}	cm	m ha^{-1}	10000	100	$\text{l h}^{-1} (100 \text{ m})^{-1}$	$\text{l h}^{-1} \text{ ha}^{-1}$
l h^{-1}	cm	m ha^{-1}	166.7	1.67	$\text{l dak}^{-1} (100 \text{ m})^{-1}$	$\text{l dak}^{-1} \text{ ha}^{-1}$

Damla sulama sistemlerinde arazi çoğunlukla işletme birimlerine (bölgeye) bölünerek sulanır. Dolayısıyla, sulanan her bir işletme biriminde sistemin çalıştırılma süresi, randımanla düzeltilmiş Q_l veya Q_t değerlerinin sırasıyla işletme birimindeki toplam boru uzunluğu (her 100 m için) veya işletme birimindeki üretim alanı (ha) ile çarpılmak suretiyle belirlenebilir.

4.2. Sulama programlaması ve damlatıcıların yerleştirilmesi

Damla sulamada suyun damlatıcının bulunduğu noktadan bitkiye ulaşması toprağın hidrolik özellikleri ile ilgili olduğundan, kısa bir çalıştırılma süresinde istenen hacimdeki su uygulanabildiği halde, su köklerin alabileceği yere ulaşamayabilir. Bu durum yaygın olarak, kök sisteminin henüz tam gelişmediği, bitkinin gelişme döneminin başlangıcında görülür. Bu nedenle,

olgunlaşmamış bitki sistemlerinde suyu kök bölgesine uygulamak için yeterli bir çalıştırma (sulama) süresinin programlanması gerekebilir. Kökler ıslak bölgelerin içine doğru geliştikçe programlar buna uyarlanabilir.

Yine, her sulama devresindeki çalıştırma süresi de önemlidir. Damlatıcı, toprak, bitki ve sulama sistemi kısıtlayıcılarına bağlı olarak, bir gündeki toplam çalıştırma süresi bir veya daha çok devreye bölünebilir. Kısa süreli (Ör. 15 dak devre⁻¹) çoklu devreler, uygulanan suyun derine sızmasını azaltır, ancak aynı zamanda damlatıcı yakınındaki yanal su dağılımını sınırlandırabilir (Clark, 1992). Besin maddelerini yıkayabilecek kadar uzun sulama süresi söz konusu değilse, uygulanan suyun damlatıcılar arasında tam olarak dağılımı, damlatıcı aralığı arttıkça azalacaktır.

4.3. Sulama sisteminin özellikleri

Sulama yönetimi ve programlanması; sistem tasarımını, sulanacak işletme birimi sayısını ve kimyasal gereksinimleri dikkate almalıdır. İşletme birimleri; su sağlama sistemi, sulamacı kişi, bitki sayısı, su ve gübre değişkenlerine ilişkin sınırlamalar dikkate alınarak belirlenir. Tüm işletme birimleri, maksimum sistem işletim süresini aşmadan günlük olarak sulanmalıdır. Farklı işletme birimlerinde farklı su ve gübre yönetim programları uygulanabilir, ancak uygun denetleyici ve gübreleyici enjeksiyon aygıtı olmaksızın bunu gerçekleştirmek güçtür.

Damla sulamada gübreleme yönetimi ve sulama programlanması önemli bir konudur. Gübrelemede enjeksiyon süresi sulama süresini aşacak kadar uzun olmamalıdır. Bu, enjektör pompası büyüklüğü ve yerleşiminin, ayrıca uygulama programının uygun seçilmesi ile sağlanabilir. Enjeksiyon noktasının sulanacak işletme birimine mümkün olduğunca yakın yerleştirilmesi, enjekte edilen materyalin sulama sisteminin ana ve yan boruları içindeki kalış süresini azaltacaktır (Clark, 1992; Nakayama vd., 2007).

Gübre enjeksiyonundan sonra bir su akıtma periyodunun programlanması, gübre materyalinin dağıtım boruları dışına atılması açısından önemlidir. Kalıntı gübreler, bakteriyel veya fungal kolonilerin besinlerini oluşturarak bunların damlatıcılar içinde, laterallerde veya boru şebekesi içinde gelişmelerine yol açabilirler. Önlem alınmazsa, bunlar tıkanmalara neden olacaktır. Benzer şekilde, gübrenin hareketi ve dağılımı da dikkate alınmalıdır ve enjekte edilen gübrenin damlatıcıdan dışarı ve bitkinin kök bölgesine doğru hareketi için ilave bir su akıtma süresi gerekir.

Sulama programlaması ile ilgili olarak bakım gereksinimleri ayrı bir ilgi konusudur. Öneriler, genellikle periyodik olarak klorür veya asitlerin enjeksiyonu doğrultusundadır (Pitts vd., 1990; Nakayama vd., 2007). Ayrıca, enjeksiyon periyotları, 30-60 dakikalık bir temas süresi sağlamalıdır.

5. Sonuç

Damla sulama ile sebze üretiminde sulamaların programlanması, devamlı ilgi isteyen, dinamik bir süreçtir. Dikkate alınması gereken konular; toprak ve bitki özellikleri, buharlaştırma istemi, bitki su gereksinimleri, sulama programlaması yöntemleri, damlatıcı lateral borusu ve sulama sisteminin özelliklerini kapsar.

İşletilebilir ve etkin bir sisteme ulaşmak için, sulama programlamasının; bitki gereksinimleri ve toprağın su tutma özelliklerini sistemin uygulama özellikleriyle bağdaştırması gerekir.

Bu amaçla izlenecek adımlar: 1) bitkinin su gereksinimlerinin belirlenmesi ve sulama yönetimiyle uyumlu bir birime (mm, litre) çevrilmesi; 2) su bütçesi analizi ile bağdaştırmak için toprağın su tutma özelliklerinin belirlenmesi ve mm m^{-1} , litre ha^{-1} , 100 m yatak için litre [$\text{litre (100 m)}^{-1}$] veya uygun diğer birimlerle ifade edilmesi; 3) bitkinin kök bölgesi ve sulama sisteminin dağıtım kapasitesine ilişkin kısıtlamaların saptanması; 4) bitkilerin su tüketim, toprakta depolanan su ve yağış miktarlarını belirleyerek; toprak suyu depolamasını bitki için izin verilebilir tüketim düzeyi ile uyumlu biçimde sürdürmek için bir su bütçesinin geliştirilmesi ve 5) sulama programlarını gerçek tarla koşullarına uyumlu hale getirmek için tansiyometreler ve diğer toprak nemi ölçüm araçlarından yararlanarak, topraktaki nem düzeylerinin tarlada kontrol edilmesi veya sulama gereksiniminin bitkiye dayalı tekniklerle denetlenmesi, biçiminde özetlenebilir.

Kaynaklar

- Allen, R.G., Pereira, L.S., & Raes, D. (1998). Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome.
- Allen, R.G., Wright, J.L., Pruitt, W.O., Pereira, L.S., & Jensen, M.E. (2007). Water Requirements. pp.208-288. In: Hoffman, G. J. et. al. (Eds.) Design and Operation of Farm Irrigation Systems, ASABE, St. Joseph, MI, USA.

- Allen, R. G., Pereira, L.S. Howell, T.A., & Jensen, M.E. (2011). Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, 98, 899–920.
- Bennet, J.M. (1990). Problems associated with measuring plant water status. *HortScience*, 25(12):1551-1554.
- Boyer, J. S. (1985). Water transport. *Annual Review of Plant Physiology*, 36:473-516.
- Campbell, G.S. (1977). An Introduction to Environmental Biophysics. Springer-Verlag, New York.
- Clark, G.A. (1990). Measurement of soil water potential. *HortScience*, 25(12):1548-1551.
- Clark, G.A. (1992). Drip irrigation management and scheduling for vegetable production. *HortTechnology*, Jan./Mar. 1992, 2 (1):32-37.
- Clark, G.A., Stanley, C.D., Albrechts, E.E., Smajstrla, A.G., & Zazueta F.S. (1990). Tensiometer scheduled, drip irrigated strawberries, ASAE Paper No. 90-2532. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, Michigan, USA.
- Clark, G.A., Stanley, C.D., Maynard, D.N, Hochmuth, G.J., Hanlon, E.A., & Haman D.Z. (1991). Water and fertilizer management of microirrigated fresh market tomatoes. *American Society of Agricultural Engineer*, 34(2):429-435.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W.O. (1977). Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. FAO, p. 144, Rome.
- Hartz, T.K. (1996). Water management in drip-irrigated vegetable production. *HortTechnology*, July/Sept. 1996, 6 (3):165-167.
- Hatfield, J.L. (1990). Measuring plant stress with an infrared thermometer. *HortScience*, 25(12):1535-1538.
- Howell, T.A., & Meron, M. (2007). Irrigation Scheduling. pp.61-130. *In: Lamm, F. R. et. al. (Ed.), Microirrigation for Crop Production Design, Operation, and Management*. Elsevier, Amsterdam.
- Idso, S.B. (1982). Non-Water stressed baselines: A key to monitoring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*, 27:59-70.
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., & Pinter, P. J., Jr. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17:1133-1138.
- Nakayama, F.S., Boman, B.J., & Pitts, D.J. (2007). Maintenance. pp.389-430. *In: Lamm, F. R. et. al. (Eds.), Microirrigation for Crop Production Design, Operation, and Management*. Elsevier, Amsterdam.
- Pitts, D.J., Haman, D.Z., & Smajstrla, A.G. (1990). Causes and prevention of emitter plugging in micro irrigation systems. Fla. Coop. Ext. Ser. Bul. 258.
- Reginato, R.J., & Howe, J. (1985). Irrigation scheduling using crop indicators. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111:125-133.
- Smith, R.E., & Warrick, A.W. (2007). Soil Water Relations. pp.120-159. *In: Hoffman, G. J.et. al. (Ed.) Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, ASABE, St. Joseph, MI, USA.