

Aynı Damlatıcıya Sahip Damla Sulama Borularında Boru Çapının En Uygun Boru Uzunluğuna Etkisi

Vedat DEMİR¹ Hüseyin YÜRDEM²

Summary

The Effect of Pipe Diameters on the Optimum Length of Drip Irrigation Pipes With the Same Type of Emitter

In this study, the optimum lateral lengths of drip irrigation pipes in two different diameters and with the same type of emitter were examined. Two different diameters (OD: 14.8 mm, ID: 13.0 mm and OD: 15.8 mm, ID: 14.0 mm) having the same in-line type emitter with 20, 25, 33, 40, 50, 60 and 75 cm emitter spacing were used. The technical properties of the emitter were determined. And the frictional losses in these laterals were calculated from measured head loss and flow rate. The experimental pressure-flow rate and frictional loss equations were used to calculate the optimum lateral lengths at 1.0 and 1.5 bar operating pressures and various slopes by using a computer program. The variations of optimum lateral lengths with two different diameter pipes under various operating conditions were determined as a percentage. From the study, it was concluded that the optimum lengths of small diameter laterals were shorter than the other laterals ranging between 3.07 % and 9.92 %.

Key Words: Drip irrigation pipes, friction loss

Giriş

İdeal bir damla sulama, bütün damlatıcılardan eşit miktarda su çıkışının sağlanmasıyla mümkün olmaktadır. Böylece, sulama periyodu boyunca her bitkiye mümkün olduğunca eşit miktarda suyun ulaşması sağlanmaktadır. Damla sulamada eş su dağılımının yüksek olması, kök bölgesinden derine sızacak su miktarını da azaltmakta ve bitkinin gereksinim duyduğu miktardaki suyun kök bölgesine verilmesini sağlamaktadır. Eş su dağılımının düşük olması durumunda ise aynı alanı sulamak için daha fazla sulama suyu gerekmektedir. Ayrıca

¹) Yrd.Doç.Dr. E.Ü.Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, 35100 Bornova-İzmir
e-mail : demir@ziraat.ege.edu.tr

²) Dr. E.Ü.Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, 35100 Bornova-İzmir
e-mail : yurdem@ziraat.ege.edu.tr

her bitkiye düşen su miktarı farklı olacağından, verimde de farklılıklar ortaya çıkacaktır. Uygun şekilde projelendirilen bir damla sulama sistemi sayesinde, lateraller suyun eşit dağılımını gerçekleştirmekte ve bu da diğer sulama yöntemlerine göre önemli avantajlar sağlamaktadır.

Damla sulama sisteminde, lateral iç çapı, lateral iç yüzeylerinin pürüzlülüğü, damlaticıların lateral içinde kalan kısımlarının kesit daralmasına etkisi, akış kesit alanının lateral boyunca aynı olmaması, lateral eğimi gibi nedenlere bağlı olarak oluşan sürtünme kayıpları, lateral boyunca basıncın, dolayısıyla damlaticı debilerinin değişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle hat boyunca eş bir su dağılımı sağlanamamaktadır (4, 10, 12, 13, 15).

Bu çalışmada, aynı tip damlaticıların değişik aralıklı olarak yerleştirilmesiyle imal edilen iki farklı çaplı damla sulama borusu ele alınmış ve bu borularda meydana gelen sürtünme kaybının, eş su dağılımına, dolayısıyla da en uygun lateral uzunluğuna etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

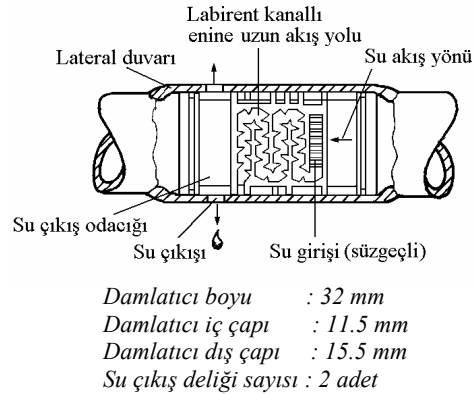
Materyal

Çalışmada, yerli olarak imal edilen labirent kanallı enine uzun akış yollu içine geçik (in-line) tip damlaticıların, 20, 25, 33, 40, 50, 60 ve 75 cm aralıklarda yerleştirildiği, iki farklı dış çaplı (14.8 mm (iç çap:13.0 mm) ve 15.8 mm (iç çap:14.0 mm)) damla sulama boruları kullanılmıştır. Söz konusu borular aynı firmada aynı ekstrüderde imal edilmiştir. Borularda kullanılan damlaticı Şekil 1'de verilmiştir.

Yöntem

Denemeler E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Pompa Deneme Laboratuvarında amaca uygun olarak hazırlanan deneme düzenlerinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında ele alınan damlaticının 30 adedinin debileri, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ve 2.5 bar çalışma basınçlarında üç tekrarlı olarak ölçülmüştür. Her bir basınç değerinde ölçülen debi değerlerinden yararlanılarak, damlaticının basınç-debi ilişkisi ve yapım farklılığı katsayısı değeri aşağıdaki eşitliklerle saptanmıştır (4, 7, 8, 11, 12).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan damlaticının genel görünüşü ve ölçüleri

$$q = kh^x$$

$$V_m = S_q/q$$

q : Damlatıcının ortalama debisi (L/h)
 h : Çalışma basıncı (bar)
 k : Damlatıcı boyutlarını karakterize eden katsayı
 x : Damlatıcı akış rejimi katsayısı
 V_m: Yapım farklılığı katsayısı
 S_q : Bir çalışma basıncında ölçülen debilerin standart sapması

İkinci aşamada, denemeye alınan laterallerde oluşan sürtünme kayıpları belirlenmiştir. Bu amaçla eğimsiz olarak deneme düzenine yerleştirilen laterallerin basınç yükseklikleri, farklı su geçiş hızlarında piyezometre tüpleri yardımıyla ölçülmüş, her ölçüm esnasında su sıcaklıkları da kaydedilmiştir. Ölçülen basınç yükseklikleri yardımıyla her bir lateral için, Darcy-Weisbach sürtünme faktörü değerleri (f) ile Reynolds sayıları (Re) arasındaki ilişkilere ($f = aRe^b$) ait eşitlikler belirlenmiştir (6, 9, 12).

Belirlenen bu eşitliklerden yararlanılarak her bir lateral için, lateral üzerinde birbiri ardısıra gelen damlatıcılar arasında kalan lateral bölümündeki sürtünme kayıplarını veren genel ve damlatıcı aralığında debiye bağlı sürtünme kaybı eşitlikleri geliştirilmiştir (3, 5, 6, 12).

Genel kayıp eşitliği; $\Delta h_f = K \Delta L \frac{\Delta Q^m}{D^{2m+n}} \Rightarrow \Delta h_f = K \Delta L \frac{V^m}{D^n}$

Debiye bağlı kayıp eşitliği; $\Delta h_f = K_1 Q^m$

Δh_f : Damlatıcılar arasında kalan lateral bölümündeki sürtünme kaybı (mSS)

K : Lateralde oluşan akış rejimine ve iç çapa bağlı bir katsayı

ΔL : Damlatıcı aralığı (m)

V : ΔL lateral bölümündeki su hızı (m/s)

ΔQ : ΔL lateral bölümündeki debi (m³/s)

D : Lateral iç çapı (m)

Q : Toplam damlatıcı debisi (L/h)

m,n : Lateraldeki akış rejimine bağlı katsayılar

Çalışmanın son aşamasında, denemelerle belirlenen; basınç-debi ve sürtünme kayıp eşitlikleri kullanılarak birbiri ardısıra gelen damlatıcılar arasındaki lateral bölümünde meydana gelen yük kayıpları, farklı çalışma basınçları ve eğim dereceleri de dikkate alınarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda Christiansen eşdağılım katsayısı ve debi değişim değerleri de aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (1, 2, 3).

$$C_u = 100 \left(1 - \frac{\Delta q}{q} \right)$$

$$q_{\text{degisim}} = \frac{q_{\text{max}} - q_{\text{min}}}{q_{\text{max}}}$$

C_u : Christiansen eşdağılım katsayısı (%) q_{değişim} : Damlatıcı debi değişimi

Δq : Damlatıcı debilerinin ortalamadan mutlak değer olarak sapmalarının ortalaması (L/h)

q : Ortalama damlatıcı debisi (L/h)

q_{max} ve q_{min} : Lateral boyunca oluşan en yüksek ve en düşük damlatıcı debisi (L/h)

Bu hesaplama sırasında $Cu \geq 97.5$ veya $q_{\text{değişim}} \leq 0.10$ koşulunu sağlayan sonuç en uygun lateral uzunluğu (L_u) olarak belirlenmiştir (2, 4, 6, 10, 12). Bu amaçla Ek 1’de akış şeması verilen bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Ayrıca, denemede ele alınan her iki çap borunun değişik çalışma basınçları ve eğim dereceleri için belirlenen en uygun lateral uzunluklarından yararlanılarak, en uygun lateral uzunluklarında meydana gelen yüzde değişim değerleri de hesaplanmıştır.

Bulgular ve Değerlendirme

Çalışmada ele alınan damlatıcının deneme sonucunda bulunan teknik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Denemeye alınan damlatıcının teknik özellikleri

Çalışma basıncı h (bar)	Ortalama damlatıcı debisi q (L/h)	Damlatıcı parametreleri ($q = k h^x$)		Korelasyon katsayısı r	Yapım farklılığı katsayısı Vm
		K	x		
0.5	2.07	3.0189	0.5430	0.99	0.049
1.0	3.04				
1.5	3.75				
2.0	4.37				
2.5	4.99				

Damlatıcının değişik aralıklarda yerleştirilmesiyle imal edilen iki farklı çaplı damla sulama borusunun laboratuvar denemeleri sonucu elde edilen sürtünme kayıp eşitlikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Denemeye alınan damla sulama borularının sürtünme kayıp eşitlikleri

Dış (iç) çap (mm)	Damlatıcı aralığı ΔL (cm)	f-Re ilişkisi $f = a Re^b$			Sürtünme Kayıp Eşitlikleri $\Delta h_f = K \Delta L \frac{V^m}{D^n}$, $\Delta h_f = K_1 Q^m$			
		a	b	R	K	m	n	K_1
14.8 (13.0)	20	0.6867	-0.2722	0.97	$8.1667 \cdot 10^{-4}$	1.7278	1.2722	$9.6218 \cdot 10^{-7}$
	25	0.5646	-0.2569	0.99	$8.2938 \cdot 10^{-4}$	1.7431	1.2569	$1.0400 \cdot 10^{-6}$
	33	0.4908	-0.2483	0.97	$8.1186 \cdot 10^{-4}$	1.7517	1.2483	$1.2276 \cdot 10^{-6}$
	40	0.8888	-0.3181	0.99	$5.6089 \cdot 10^{-4}$	1.6819	1.3181	$2.1413 \cdot 10^{-6}$
	50	0.6604	-0.2902	0.99	$6.1258 \cdot 10^{-4}$	1.7098	1.2902	$2.1802 \cdot 10^{-6}$
	60	0.5026	-0.2643	0.98	$6.6660 \cdot 10^{-4}$	1.7357	1.2643	$2.1684 \cdot 10^{-6}$
15.8 (14.0)	75	0.5102	-0.2751	0.99	$5.8295 \cdot 10^{-4}$	1.7249	1.2751	$2.6553 \cdot 10^{-6}$
	20	0.9313	-0.2785	0.98	$1.0153 \cdot 10^{-3}$	1.7215	1.2785	$9.0076 \cdot 10^{-7}$
	25	0.7517	-0.2638	0.96	$1.0039 \cdot 10^{-3}$	1.7362	1.2638	$9.5285 \cdot 10^{-7}$
	33	0.7545	-0.2749	0.97	$8.6447 \cdot 10^{-4}$	1.7251	1.2749	$1.2181 \cdot 10^{-6}$
	40	0.7539	-0.2818	0.97	$7.8529 \cdot 10^{-4}$	1.7182	1.2818	$1.4429 \cdot 10^{-6}$
	50	0.7368	-0.2876	0.97	$7.0842 \cdot 10^{-4}$	1.7124	1.2876	$1.7302 \cdot 10^{-6}$
	60	0.6235	-0.2714	0.98	$7.4974 \cdot 10^{-4}$	1.7286	1.2714	$1.8510 \cdot 10^{-6}$
	75	0.6183	-0.2757	0.98	$7.0063 \cdot 10^{-4}$	1.7243	1.2757	$2.2629 \cdot 10^{-6}$

Basınç-debi ilişkisini veren eşitliklerle sürtünme kayıp eşitlikleri kullanılarak elde edilen, değişik çalışma basınçları ve eğim dereceleri için belirlenen en uygun lateral uzunluklarından yararlanılarak bu çalışmada ele alınan her iki boru çapı için en uygun lateral uzunluklarının yüzde değişim değerleri hesaplanmış ve her bir işletme koşulu için yüzde değişim değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. Farklı dış çaplı damla sulama borularının değişik işletme koşullarında eş su dağılımını ($Cu \geq \% 97.5$ veya $q_{\text{değişim}} \leq 0.10$) sağlayan lateral uzunlukları

Dış (iç) çap (mm)	Damlatıcı aralığı ΔL (cm)	Çalışma basıncı h (bar)	Lateral uzunlukları (m)							
			Eğimsiz	Aşağı eğimli			Yukarı eğimli			
				% 0	% 1	% 2	% 3	% 1	% 2	% 3
14.8 (13.0)	20	1.0	29.8	31.2	32.8	34.4	28.2	26.6	25.2	
		1.5	30.0	31.0	32.2	33.2	29.0	27.8	26.8	
	25	1.0	35.0	37.3	39.3	41.0	32.8	30.8	28.8	
		1.5	35.3	36.8	38.3	39.8	33.8	32.5	31.0	
	33	1.0	42.9	45.9	49.2	51.5	39.6	36.6	33.7	
		1.5	42.9	45.2	47.5	49.5	40.9	38.9	36.6	
	40	1.0	48.8	52.8	57.2	60.0	44.4	40.4	36.8	
		1.5	49.2	52.0	55.2	58.0	46.4	43.6	40.8	
	50	1.0	57.0	63.0	68.0	73.0	51.5	46.0	41.0	
		1.5	57.5	61.5	65.5	69.0	54.0	50.0	46.5	
	60	1.0	65.4	72.6	79.2	84.0	57.6	51.0	44.4	
		1.5	66.0	70.8	76.2	79.8	60.6	55.8	51.0	
	75	1.0	77.3	87.8	96.0	103.5	66.8	57.8	48.8	
		1.5	78.0	85.5	92.3	96.8	71.3	64.5	57.8	
	15.8 (14.0)	20	1.0	30.8	32.6	34.2	35.8	29.2	27.6	26.0
			1.5	31.2	32.2	33.4	34.6	30.0	28.8	27.8
25		1.0	36.8	39.0	41.5	43.3	34.3	32.0	29.8	
		1.5	37.0	38.5	40.3	41.8	35.3	33.8	32.3	
33		1.0	45.2	48.8	52.5	55.1	41.6	38.3	35.0	
		1.5	45.5	48.2	50.5	52.8	43.2	40.9	38.6	
40		1.0	52.4	57.2	61.6	65.2	47.6	42.8	38.4	
		1.5	52.8	56.0	59.6	62.4	49.6	46.4	43.2	
50		1.0	62.0	68.5	74.5	79.5	55.0	49.0	43.0	
		1.5	62.5	67.0	72.0	75.5	58.0	53.5	49.0	
60		1.0	70.2	78.6	85.8	91.8	61.8	53.4	46.2	
		1.5	70.8	76.8	82.2	86.4	64.8	59.4	54.0	
75		1.0	81.8	93.8	102.8	111.0	70.5	60.0	50.3	
		1.5	83.3	90.8	98.3	104.3	75.0	67.5	60.0	

Çizelge 4. Çalışmada ele alınan damla sulama borularının değişik işletme koşulları için belirlenen lateral uzunlukları arasında birbirlerine göre yüzde değişim değerleri

Çalışma basıncı h (bar)	Damlaticı aralığı ΔL (cm)	Lateral uzunluklarının değişimi (%)						
		Eğimsiz % 0	Aşağı eğimli			Yukarı eğimli		
			% 1	% 2	% 3	% 1	% 2	% 3
1.0	20	3.36	4.49	4.27	4.07	3.55	3.76	3.17
	25	5.14	4.56	5.60	5.61	4.57	3.90	3.47
	33	5.36	6.32	6.71	6.99	5.05	4.64	3.86
	40	7.38	8.33	7.69	8.67	7.21	5.94	4.35
	50	8.77	8.73	9.56	8.90	6.80	6.52	4.88
	60	7.34	8.26	8.33	9.29	7.29	4.71	4.05
	75	5.82	6.83	7.08	7.25	5.54	3.81	3.07
1.5	20	4.00	3.87	3.73	4.22	3.45	3.60	3.73
	25	4.82	4.62	5.22	5.03	4.44	4.00	4.19
	33	6.06	6.64	6.32	6.67	5.62	5.14	5.46
	40	7.32	7.69	7.97	7.59	6.90	6.42	5.88
	50	8.70	8.94	9.92	9.42	7.41	7.00	5.38
	60	7.27	8.47	7.87	8.27	6.93	6.45	5.88
	75	6.79	6.20	6.50	7.75	5.19	4.65	3.81

Çizelge 4 'ün incelenmesiyle de görüleceği gibi, aynı damlaticının % 7 oranında daha küçük çaplı boruda kullanılması durumunda, çeşitli çalışma koşullarında damlaticı aralığına bağlı olarak en uygun lateral uzunluğu, % 3.07-9.92 arasında daha kısa olmaktadır. Örneğin 1.5 bar çalışma basıncında %2 aşağı eğimde 50 cm damlaticı aralığı için hesaplanan en uygun lateral uzunluğu; 14.8mm çaplı boruda 65.5 m iken 15.8 mm çaplı boruda 72.0 m olup lateral uzunlukları arasında birbirlerine göre yüzde değişim değeri %9.92 dir (Çizelge 3, 4).

Damla sulama boruları yaygın olarak 16 mm dış çaplı olarak piyasaya sunulmakta ve bu şekilde anılmaktadır. Ancak imalatçı firmaların ekonomik koşullar ve rekabet ortamı nedeniyle malzemeden tasarruf yapma gerekçesiyle başvurduğu yöntemlerden en önde geleni, boru çapı ve/veya et kalınlığını değiştirmektir. Damla sulama boruları ve damlaticıları kapsayan yerli bir standardın olmaması, günümüz rekabet ortamında bunu kolayca uygulanabilir hale getirmektedir. Bu durum zamanla piyasada 16 mm dış çaplı olarak anılan fakat gerçekte çok daha küçük dış ve iç çapa sahip boruların yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Bunu ne yazık ki ne masa başında projeyi yapan mühendis, ne de gerçek kullanıcı olan çiftçi çoğu zaman fark edememekte, fark ettiğinde ise projede uygulama aşamasına gelindiğinden geri dönülememektedir.

Bu çalışmada ele alınan damla sulama borularının çaplarının birbirlerine çok yakın olmasına rağmen, en uygun lateral uzunluklarında % 10'a varan farklılıklar görülmüştür. Piyasada 16 mm olarak anılan fakat çok daha küçük çapa sahip damla sulama borularıyla karşılaşmak mümkün olduğundan en uygun lateral uzunluğunun belirlenmesinde dikkatli olmak gerektiği bir gerçektir. Bu sorunun çözümü için öncelikli olarak, damla sulama borularını ve damlatıcıları kapsayan yerli bir standardın oluşturulması gereklidir. Bu konuda hazırlanacak bir standart sayesinde, imalatçı firmalar daha dikkatli olmak zorunda kalacaklar ve ciddi firmalar da korunmuş olacaktır. Ayrıca, damla sulama sistemlerini projeleyenlerle, bu sistemleri kullanan üreticilerin, boru çaplarının anma çaplarından farklı olması durumunda, en uygun boru uzunluğu değerinin %10 lara varan oranlarda değişebileceği konusunda bilgilendirilmeleri yerinde olacaktır.

Özet

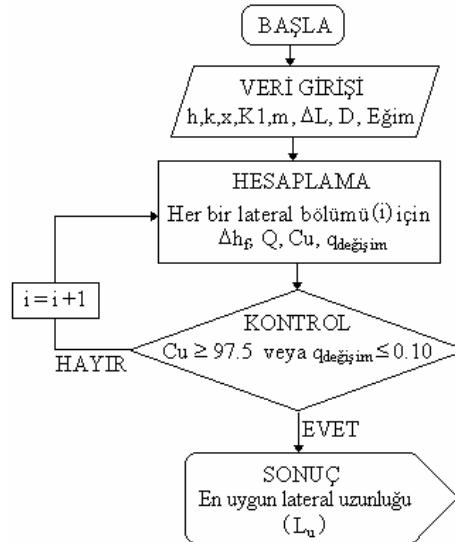
Bu çalışmada, aynı damlatıcının yer aldığı farklı çaplı damla sulama borularındaki en uygun lateral uzunlukları incelenmiştir. Bu amaçla, içine geçik uzun akış yollu, 20, 25, 33, 40, 50, 60 ve 75 cm damlatıcı aralıklı, 14.8 mm (iç çap:13.0 mm) ve 15.8 mm (iç çap:14.0 mm) dış çapa sahip iki farklı damla sulama borusu ele alınmıştır. Araştırmada, damlatıcı özellikleri belirlenmiş ve lateral borularda meydana gelen sürtünme kayıpları ölçülmüştür. Elde edilen basınç-debi ve sürtünme kayıp eşitlikleri kullanılarak, hazırlanan bir bilgisayar programı yardımıyla 1.0 ve 1.5 bar çalışma basınçları ile çeşitli eğim koşullarında, eş su dağılımı sağlayan lateral uzunlukları ortaya konulmuştur. Her iki çap için, çeşitli çalışma koşullarındaki en uygun lateral uzunluklarındaki sapmalar yüzde olarak belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; aynı tip damlatıcının küçük çaplı boruda kullanılması durumunda çeşitli çalışma koşullarında damlatıcı aralığına bağlı olarak lateral uzunluğu % 3.07 – 9.92 arasında daha kısa olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Damla sulama boruları, sürtünme kayıpları

Kaynaklar

- 1.Anyoji,H., 1993. Drip Lateral Design Based on a Maximum to Minimum Pressure Heads Ratio. Irrigation Engineering and Rural Planning No.24. pg.32-43
- 2.Bralts,V.F. and I.Pai.Wu, 1979. Emitter Flow Variation and Uniformity for Drip Irrigation. ASAE Paper No.79-2099. Pg.34 ASAE, St.Joseph, Michigan, 49085.
- 3.Christiansen,J.E., 1942. Irrigation by Sprinkling. Bulletin 670. pp.124. College of Agricultural Experiment Station, University of California, Berkeley,USA.
- 4.Demir,V.,1991. Türkiye'de Kullanımı Yaygın Olan Damla Sulama Boruları ve Damlatıcılarının İşletme Karakteristikleri Üzerinde Bir Araştırma. E.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bornova, İzmir.

5. Demir, V. ve E. Uz, 1995. Damla Sulama Sistemlerinde Optimum Lateral Uzunluklarının Belirlenmesinde Kullanılan Sürtünme Kayıp Eşitliklerinin Karşılaştırılması. 16. Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, Bildiriler Kitabı, s.441-450, Bursa.
6. Demir, V., Uz, E., 1999. A Research on the Determination of the Technical Properties and Frictional Losses of the Components Used in Micro Irrigation Systems. 7th. International Congress On Mechanization and Energy in Agriculture. Pg.84-89. Adana/Turkey.
7. Demir, V. ve H. Yürdem, 2000. Türkiye’de Üretilen ve Yaygın Olarak Kullanılan Farklı Yapım Özelliklerine Sahip Damlatıcıların Teknik Özellikleri ve Yapım Farklılıkları. E.Ü.Z.F. Dergisi, 37 (2-3), s.85-92, Bornova-İzmir.
8. Howell, T.A. and E.A. Hiler, 1974. Trickle Irrigation Lateral Design. Transactions of the ASAE 15 (4): 902-908.
9. Howell, T.A. and F.A. Barinas, 1980. Pressure Losses Across Trickle Irrigation Fittings and Emitters. Transactions of the ASAE 23 (4): 928-933.
10. Korukçu, A., 1980. Damla Sulamasında Yan Boru Uzunluklarının Saptanması Üzerinde Bir Araştırma. A.Ü.Ziraat Fakültesi Yayınları: 742, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 432, A.Ü. Basımevi, Ankara.
11. Solomon, K., 1977. Manufacturing Variation of Emitters in Trickle Irrigation Systems. ASAE Paper No: 77-2009. ASAE, St. Joseph, Michigan, 49085.
12. Tüzel, İ.H., 1990. Yerli Yapım Damla ve Düşük Basıncılı Yağmurlama Sistemlerinin Bazı Teknik Özellikleri ve Projelendirme Kriterleri Üzerinde Bir Araştırma. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bornova, İzmir.
13. Watters, G.Z. and J. Keller, 1978. Trickle Irrigation Tubing Hydraulics. ASAE Paper No. 78-2015, Pg. 18. ASAE, St. Joseph, Michigan, 49085.
14. Wu, I. Pai, 1992. Energy Gradient Line Approach for Direct Hydraulic Calculation in Drip Irrigation Design. Irrigation Science 13: 21-29.
15. Wu, I. Pai. and H.M. Gitlin, 1973. Hydraulics and Uniformity for Drip Irrigation. Proc. Am. Soc. Civ. Engr., Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE 99 (IR2): 157-168.



Ek 1. Program akış şeması