

Yağmurlama Sulama Sistemlerinde Su Dağılımı ile Tasarım Kriterleri Arasındaki İlişkiler*

İlknur KUTLAR¹

M. Ali TOKGÖZ²

Geliş Tarihi: 12.07.2002

Özet: Bu çalışmada, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde, 1000 x 1000 m boyutlarındaki (1000 da) bir model alanda alternatif yağmurlama sulama sistemlerinin tertibi yapılmış, değişik bitkiler için sistem unsurları boyutlandırılmış, maliyet analizleri yapılmış, eş su dağılım düzeyleri elde edilmiş ve yağmurlama sistemlerinde birim alana düşen yıllık toplam masraflar ile verim değerleri karşılaştırılarak mevcut durumda kullanılan projelendirme kriterlerinin geçerliliği araştırılmıştır. Sonuçta, en ekonomik çözümün, başlık tertip aralıklarına ve lateral boyunca debi dağılımına ait eş su dağılım düzeylerine bağlı olmadığı, projelendirmenin alternatif sistem tertiplerinde ve farklı bitkilerde ekonomik analizlere göre yapılması gerektiği bulunmuştur. Bunun yanında, yağmurlama sulama sistemlerinde, başlık tertip aralıkları, lateral boru uzunluğu arttıkça ve lateral boru çapı azaldıkça, sistem maliyetinin düştüğü, ayrıca eş su dağılım düzeyi düştükçe verimde de azalma olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: yağmurlama sulama, eş su dağılım düzeyi, su-verim ilişkileri, sistem maliyeti

Relationships Between Water Distribution Uniformity and Design Criteria in Sprinkler Irrigation

Abstract: In this study, the alternative sprinkler irrigation systems for different crops were planned and designed for 1000 da (1000mx1000m) of a model area considered in the research and Application Farm of Faculty of Agriculture, University of Ankara. In these systems, cost analysis, water distribution uniformities, annual total costs, and crop yields were determined. Validity of the existing design criteria of sprinkler irrigation systems was found that the most economical solution was not depend on the water distribution uniformity, system design should be done by considering alternative system layouts and crop characteristics. In addition system cost decreased when sprinkler spacings and lateral length were lower. Crop yields decreased due to poor water distribution uniformity.

Key Words: sprinkler irrigation, water distribution uniformity, yield response to water, system cost

Giriş

Bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarının yağışlarla karşılanamayan kısmının toprağa kontrollü olarak verilmesi biçiminde tanımlanan sulama, en önemli tarımsal girdilerden biridir ve bitkisel üretimde kararlılığı sağlayan, diğer tarımsal girdilerin etkinliğini artıran bir unsurdur (Korukçu ve Yıldırım 1981). Tarım alanları sulamaya açılırken, mevcut iklim, toprak, topografya, bitki ve su kaynağı özellikleri ile ekonomik ve sosyal koşullar dikkate alınarak koşullara en uygun sulama yöntemi seçilir, sulama yönteminin gerektirdiği sulama sistemi planlanır, sistem unsurları boyutlandırılır, sistemin kurulma ve işletme ilkeleri belirlenir ve sistem öngörüldüğü biçimde kurularak işletilir. Bunun yanında sistemde izleme ve değerlendirme yapılarak, varsa sorunlar ortaya konur ve bu sorunların giderilmesi çalışmaları yapılır.

Yağmurlama sulama yönteminde, arazi üzerine belirli aralıklarla yerleştirilen yağmurlama başlıklarından basınç altında püskürtülerek doğal yağışa benzer biçimde verilen sulama suyu, bitki yada toprak yüzeyine düşer ve infiltrasyonla toprak içerisine girerek bitki kök bölgesinde depolanır. Sulama suyunun toprak yüzeyinde eş dağılımlı

olması, toprak içerisinde de eş dağılımlı olmasını sağlar (Balaban ve Korukçu 1969, Aküzüm 1976, Yıldırım 1996).

Bu çalışmada amaç, topraktaki nem eksikliğine duyarlılıkları farklı olan bitkilerin yağmurlama yöntemiyle sulanması koşulunda, değişik eş su dağılım düzeyi elde edilen başlık tertip aralıkları, lateral boru çapı ve lateral uzunlukları için, bitkilerin su-verim ilişkilerinden yararlanarak, birim alan verimindeki azalma miktarlarının ve yağmurlama sulama sistem maliyetlerinin elde edilmesidir. Bu değerlerin karşılaştırılması sonucunda, yaygın olarak kullanılan ölçütlerden olan, yağmurlama başlıkları için $Cu \geq \%84$ ve lateral boru hatları için $Cu \geq \%97$ tasarım ölçütlerinin geçerliliği saptanmaya çalışılmıştır.

Yağmurlama sistemlerinde kullanılan herhangi bir yağmurlama başlığı, genellikle, daire biçiminde bir alanı ıslatmaktadır. Bu ıslatma alanında genellikle başlık yakınına fazla miktarda su düşmekte ve ıslak çepere doğru gidildikçe su miktarında da azalma olmakta, sonuçta toprak içerisinde eş olmayan bir su dağılımı meydana

* Yüksek Lisans Tezi'nden hazırlanmıştır

¹ Selçuk Üniv. Ziraat Fak. Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü-Konya

² Ankara Üniv. Ziraat Fak. Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü-Ankara

gelmektedir (Aközüm 1976, Korukçu ve Yıldırım 1981, Yıldırım 1996). Tekil yağmurlama başlığına ilişkin ıslatma alanında toprağa giren suyun oluşturduğu dağılım, yağmurlama başlığının su dağılım eğrisi olarak tanımlanmaktadır. Bu eğrinin biçimi üzerinde ilk olarak Christiansen (1937) çalışmış ve eğri biçimini altı farklı sınıfta değerlendirmiştir. Su dağılım eğrilerinde, başlık yakınında toprağa daha fazla su girdiği ve ıslak çepere doğru gittikçe azaldığı saptanmıştır. Christiansen (1941), $Cu \geq 84$ olduğunda ıslatma desenindeki su dağılımının kabul edilebilir düzeyde olacağını belirtmiş ve yağmurlama başlıklarının, bu koşulu sağlayacak aralıklarla yerleştirilmesini önermiştir. Yağmurlama sulama sistemlerinde lateral boru hattı boyunca kabul edilebilir düzeyde başlık debisi dağılımı için, $Cu \geq 97$ olacak biçimde lateral boru büyüklüğünün seçilmesi gerektiğini öneren Perold (1977), Christiansen eş dağılım katsayısının (Cu) doğrudan bulunabileceği grafikler geliştirmiştir. Benzer çalışma, Yıldırım (1980) tarafından da yapılmış ve farklı boru cinsi ve çapları için Cu eş dağılım katsayısının doğrudan bulunabileceği grafikler oluşturulmuştur.

Başlık aralıklarının seçiminde $Cu \geq 84$, lateral boru büyüklüğünün seçiminde $Cu \geq 97$ kuralları sonucunda elde edilecek eş-su dağılım düzeyinin her zaman ekonomik olmadığını belirten Benami (1967), eş dağılım katsayılarının kullanılmasında bitki cinsi, toprak özellikleri ve sağlanacak gelirin gözönünde tutulması gerektiğini vurgulamıştır. Bu düşünce ile bir araştırma yapan Yıldırım (1988), şeker pancarının yağmurlama yöntemiyle sulanması koşulunda, su-verim ilişkilerini de kullanarak farklı Christiansen eş dağılım katsayıları, diğer bir anlatımla, bir lateralın sulayacağı alanda farklı su dağılım düzeyleri için sistem maliyetleri ve elde edilecek gelir değerlerini bulmuş, yıllık fayda-masraf oranlarını karşılaştırmış ve sonuçta, yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımında, sözü edilen $Cu \geq 84$ ve $Cu \geq 97$ koşullarının yeterli olmadığını, daha düşük düzeydeki su dağılımında daha yüksek fayda-masraf oranının elde edilebileceğini bulmuştur. Kültür bitkilerinde su-verim ilişkilerinin ifadesinde, uygulamada yaygın olarak Doorenbos and Kassam'ın (1979) geliştirdiği;

$$\left[\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m} \right) \right] = ky \left[\left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right) \right]$$

FAO modeli kullanılmaktadır. Bu eşitlikte;

- Y_a : Gerçek verim, kg/da,
 Y_m : Maksimum verim, kg/da,
 Ky : Su-verim ilişkisi faktörü,
 ET_a : Gerçek bitki su tüketimi, mm/mevsim,
 ET_m : Maksimum bitki su tüketimi, mm/mevsim,

- $(1 - Y_a / Y_m)$: Oransal verim azalması ve
 $(1 - ET_a / ET_m)$: Oransal bitki su tüketimi

değerlerini göstermektedir. Yağmurlama sulama sistemlerinde, sulanan alanın değişik noktalarında farklı sulama suyu miktarlarının uygulanması söz konusu olduğu için, bu modelden yararlanarak değişik su dağılım düzeylerinde oransal verim azalması ve dolayısıyla gerçek verim değerlerini elde etmek mümkündür (Yıldırım 1988).

Materyal ve Yöntem

Araştırmada, arazi çalışmaları, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde, 1998 yılı yaz aylarında yürütülmüştür. Araştırma ve Uygulama Çiftliği, 39°36' kuzey enlemi ile 32°40' batı boylam üzerindedir. Ortalama yüksekliği 1050 m dir. Yarı kurak iklim özelliklerine sahiptir. Çiftliğe en yakın olan Haymana meteoroloji istasyonundan alınan bazı iklim elemanlarının uzun yıllar ortalamasına göre, değerleri; yıllık yağış 385.3 mm, yıllık ortalama sıcaklık 9.5°C, yıllık ortalama bağıl nem %65.2, yıllık ortalama rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri 2.1 m/s ve yıllık ortalama güneşlenme süresi 7.1 h olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, model olarak ele alınan alanın toprak bünye sınıfı kil (C) dir. Toprakta taban suyu, drenaj, tuzluluk ve sodyumluluk gibi sorunlar bulunmamaktadır. Model alanda kullanılabilir su tutma kapasitesi 142.5 mm/90 cm, su alma hızı ortalama 7.8 mm/h biçimindedir.

Araştırmada, teknik özellikler Çizelge 1 de verilen tek memeli, orta basınçlı, tarla tipi başlıklar kullanılmıştır. Göz önüne alınan model alan 1000x1000 m boyutlarındadır. Bu alan için yapılan yaklaşımlar aşağıda verilmiştir. Yağmurlama sistemi yarı sabittir. Ana boru hattı gömülüdür ve 10 atm. işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşmaktadır. Lateral boru hattında 8 atm işletme basınçlı alüminyum borular kullanılmaktadır. Su kaynağı derin kuyudur ve dinamik yüksekliği 50 m dir. Kuyu, alanda tarımı yapılan bitkilerin su ihtiyacını tam olarak karşılayacak kapasitededir. Alanda elektrik enerjisi mevcuttur ve sulama suyu model alana dalgıç tipi pompa ile alınmıştır. Alanda şeker pancarı, patates ve soya tarımı yapılmaktadır ve her yıl alanın tamamında yalnızca bu bitkilerden biri yetiştirilmektedir. Tarımı yapıldığı öngörülen şeker pancarı, topraktaki nem eksikliğine dayanıklı, soya orta derecede dayanıklı ve patates ise duyarlı bir bitkidir (Doorenbos ve Kassam 1979).

Bitki su ihtiyacının tam karşılandığı koşulda, birim alan verimlerinin, şeker pancarında 6000 kg/da soyada 350 kg/da ve patatesde 3500 kg/da olduğu yaklaşımları yapılmıştır (Doorenbos and Kassam 1979). DİE'den elde edilen bilgilere göre, bu ürünlerin 1999 yılı ortalama satış fiyatları sırasıyla 27 000, 95 833 ve 85 481 TL/kg dir.

Araştırma alanına ilişkin iklim elemanlarından yararlanarak, kıyas bitki su tüketimleri Penman-Monteith yöntemi ile, Smith'te (1992) ilkeleri verilen CROPWAT bilgisayar paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tüm değerler bu programa girilerek aylık periyotlar için,

Çizelge 1. Denemede kullanılan yağmurlama başlığının teknik özellikleri

Meme çapı (mm)	İşletme basıncı, h_0 (atm)	Başlık debisi, q (m^3/h)	Tertip aralıkları, $S_1 \times S_2$ (m)	Yağmurlama hızı, I_y (mm/h)
4.5	2.0	0.91	12 x 12	6.3
			18 x 12	4.2
			18 x 18	2.8
2.5	1.00	1.00	12 x 12	6.8
			18 x 12	4.6
			18 x 18	3.1
3.0	1.10	1.10	12 x 12	7.6
			18 x 12	5.1
			18 x 18	3.4

ortalama günlük bitki su tüketimleri ile yıllık toplam sulama suyu ihtiyaçları elde edilmiştir. Bu hesaplamalarda, sulama randımanı $E = \%70$ alınmış ve kullanılabilir su tutma kapasitesinin $\% 50$ si tüketildiğinde ($R_y = 0.50$) sulamaya başlanacağı öngörülmüştür (Korukçu ve Yıldırım 1981, Güngör ve Yıldırım 1989). Çizelge 1'de verilen işletme basıncı ve tertip aralıklarında ıslatma desenleri, ayrıntıları Korukçu ve Yıldırım'da (1981) verilen birlikte çalışan lateraller deneme yöntemine göre belirlenmiştir. Bu amaçla, deneme alanında 4 adet yağmurlama başlığı, her defasında farklı tertip aralıklarında olacak biçimde yerleştirilmiştir. Başlıklar arasına 2 m ara ile su toplama kapları, aynı kotta olacak biçimde kurulmuştur. Yağmurlama başlıklarına, farklı işletme basınçlarında, 2 saat süre ile su verilmiş ve kaplarda toplanan su hacimleri ölçülmüştür (Aküzüm 1976, Yıldırım 1996). Farklı tertip aralıklarında elde edilen ıslatma desenlerine ilişkin eş su dağılım düzeyi, Christiansen eş dağılım katsayısından yararlanılarak saptanmıştır.

$$C_{ub} = 100 \left(1 - \frac{\sum d}{h_n}\right) \quad (1)$$

Eşitlikte; C_{ub} =yağmurlama başlıklarının oluşturduğu ıslatma desenlerine ilişkin Christiansen eş dağılım katsayısı (%), d =su toplama kaplarında ölçülen su hacimlerinin ortalamadan olan mutlak sapmaları (cm^3), h_n = ölçülen su hacimlerinin ortalaması (cm^3) ve n =su toplama kabı sayısıdır.

Lateral boru hattı boyunca, yağmurlama başlıklarının basınçları, Yıldırım'ın (1980) geliştirdiği;

$$h_i = h_l + E_i \Delta h_n + \Delta h_g \quad (2)$$

$$E_i = e^{-\frac{2.666(1-L_i)^{0.573}}{L_i^{0.509}}} \quad (3)$$

eşitliklerinden yararlanarak hesaplanmıştır. Arazi çalışmaları sonucunda, farklı işletme basınçlarındaki başlık debileri ölçülmüş ve araştırmada kullanılan yağmurlama başlıkları için debi-basınç ilişkisi;

$$q = 0.201h^{0.5} \quad (4)$$

biçiminde saptanmış ve (2) nolu eşitlikle elde edilen başlık basınçları yerine konularak, lateral boyunca başlık debileri elde edilmiştir. Bu eşitliklerde; h_i = i başlığın basıncı (m), h_l = lateral sonundaki başlık basıncı (m), E_i = i başlık ile lateral sonundaki başlık arasında oluşan yük kayıplarının lateral toplam yük kayıplarına oranı, Δh_n = uç başlıklar arasındaki yük kayıpları (m), Δh_g = ardışık başlıklar arasında eğimden kaynaklanan yükseklik farkı (m), L_i = i başlık ile sondaki başlık arasındaki uzunluğun toplam lateral uzunluğuna oranı ve q = başlık debisi (m^3/h)'tır.

$$C_{u_i} = 100 \left(1 - \frac{\Delta \bar{q}}{\bar{q}}\right) \quad (5)$$

Araştırmada, lateral boru uzunluğunun 125m, 250m ve 500m, lateral boru dış çapının ise 50mm, 75mm ve 100mm olduğu koşullar gözönüne alınmış ve bu koşullar

için lateral boyunca başlık debileri arasındaki farklılık düzeyi; Christiansen eşdağılım katsayısı ile ifade edilmiştir. Bu eşitlikte, C_{u_i} = lateral boyunca başlık debilerinin farklılık düzeyine ilişkin Christiansen eşdağılım katsayısı (%), $\Delta \bar{q}$ = başlık debilerinin ortalamadan olan mutlak sapmalarının ortalaması (m^3/h) ve \bar{q} = ortalama başlık debisi (m^3/h)'tır. Bir lateral boru hattının suladığı alanda, lateral boyunca ortalama başlık debisinin olduğu noktadaki ıslatma deseninde düşen su miktarının ortalaması, uygulanması gereken toplam sulama suyu miktarı (dt , mm) olarak alınmış ve diğer başlıklara ait ıslatma desenlerinde farklı noktalara düşen su miktarları, ortalama başlık debisinin olduğu ıslatma desenindeki su miktarları (q_i/q) ile düzelterek hesaplanmıştır. Bu parametrede, q_i = lateral boyunca i başlığın debisi, (m^3/h) ve \bar{q} = lateral boyunca başlık debilerinin ortalaması (m^3/h)'tır.

Araştırmada, sistem unsurlarının boyutlandırılması, ayrıntıları Korukçu ve Yıldırım (1981) ile Yıldırım'da (1996) verilen ilkelere göre yapılmıştır. Bu amaçla, önce sistem tertipleri yapılmış ve uygulanacak net ve toplam sulama suyu miktarı, sulama aralığı ve sulamanın tamamlanacağı gün sayısı gibi ön projelendirme faktörleri hesaplanmıştır. Maliyet analizleri için, öncelikle tüm sulama sistemlerinin metraj cetvelleri ve proje keşif özetleri hazırlanmıştır. Proje keşif özetlerinde, Köy Hizmetleri 1999 yılı birim fiyat cetvellerinden yararlanılmıştır (Anonim 1999 a,b). Bu cetvellerde yer almayan işler için fiyatlar piyasa araştırmaları sonucunda bulunmuştur. Proje keşif bedelinden yola çıkarak, tesis masrafı, yatırım masrafı, yıllık sabit masraflar, yıllık enerji masrafı, yıllık bakım onarım masrafı, yıllık sulama işçiliği masrafı ve yıllık toplam masraf değerleri Balaban (1986) da verilen ilkelere göre hesaplanmıştır. Yıllık toplam masraflar ise, yıllık sabit masraflar ile yıllık işletme masraflarının toplanması sonucu elde edilmiştir (Balaban ve ark. 1970, Balaban 1986, Yıldırım 1996).

Bulgular ve Tartışma

Araştırmada göz önüne alınan bitkilerin büyüme mevsimi boyunca, aylık periyotlar için Penman-Monteith yöntemi ile hesaplanan kıyas bitki su tüketimleri, her bitki için Doorenbos ve Pruitt (1977)'ten yararlanarak hesaplanan bitki katsayıları, günlük ortalama bitki su tüketimleri ve yağmurlama yöntemiyle sulanması koşulunda mevsimlik toplam sulama suyu ihtiyaçları Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelgeden izleneceği gibi, en yüksek günlük bitki su tüketimi, Temmuz ayında, şeker pancarı için 6.10 mm/gün., soya fasulyesi için 5.82 mm/gün ve patates için 6.01 mm/gün olarak belirlenmiştir. En düşük yıllık toplam sulama suyu ihtiyacı 707.7 mm ile soyada elde edilmiş, bu değer patatesten $\%7.7$, şeker pancarında ise $\%22.3$ daha yüksek olmuştur.

Araştırmada kullanılan yağmurlama başlığının farklı işletme basıncı ve tertip aralıklarında elde edilen ıslatma desenlerine ilişkin Christiansen C_{ub} eş dağılım katsayıları

Çizelge 2. Günlük ortalama bitki su tüketimi değerleri

AYLAR	Kıyas bitki su tüketimi, ET (mm/gün)	Bitki katsayısı, kc			Bitki su tüketimi, ET (mm/gün)			Toplam sulama suyu ihtiyacı, d (mm/mevsim)		
		Şeker pancarı	Soya fasulyesi	Patates	Şeker pancarı	Soya fasulyesi	Patates	Şeker pancarı	Soya fasulyesi	Patates
Nisan	2.62	0.40	0.40	-	1.12	1.12	-	103.70	103.70	-
Mayıs	3.64	0.47	0.60	0.40	1.71	2.23	1.46	-	-	104.1
Haziran	4.73	0.87	1.02	0.70	4.12	4.81	3.34	52.8	54.0	53.5
								53.7	53.0	55.4
Temmuz	5.63	1.10	1.05	1.08	6.10	5.82	6.01	52.9	54.4	52.3
								59.4	56.3	56.3
								51.9	58.0	51.5
								52.0	57.5	52.0
								56.4	-	56.4
Ağustos	5.05	1.10	0.89	1.09	5.52	4.51	5.47	56.5	55.7	56.5
								55.4	53.2	55.4
								58.8	55.2	58.8
								52.5	51.3	58.0
Eylül	3.46	0.93	0.45	0.87	3.28	1.80	3.05	54.4	-	54.1
								52.7	-	52.7
Ekim	1.99	0.66	-	-	1.48	-	-	51.4	-	-
Toplam								864.5	707.7	761.6

Çizelge 3. Islatma desenlerinde elde edilen C_{ub} Christiansen eş dağılım katsayıları

İşletme basıncı, h_0 (m)	Tertip aralıkları, $S_1 \times S_2$ (m)	C_{ub} (%)
20	12 x 12	74.51
	18 x 12	88.62
	18 x 18	78.08
25	12 x 12	83.68
	18 x 12	78.33
	18 x 18	74.47
30	12 x 12	80.44
	18 x 12	84.36
	18 x 18	80.39

Çizelge 3'te verilmiştir. Yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımında göz önüne alınan $C_{ub} \geq \%84$ koşuluna göre seçim yapılırsa, araştırmada kullanılan yağmurlama başlığının yalnızca 20 m ve 30 m işletme basınçlarında 18x12 m tertip aralıklarında kullanılması gerektiği söylenebilir.

Lateral boyunca başlık debileri dağılımına ilişkin C_{uL} Christiansen eş dağılım katsayıları Çizelge 4'de verilmiştir. Yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımında göz önüne alınan $C_{uL} \geq \%97$ koşulunu, lateral boru uzunluğu 125 m olduğunda, dikkate alınan tüm boru çapları, lateral uzunluğu 250 m olduğunda, genel olarak 75 mm ve 100 mm boru çapları, lateral uzunluğu 500 m olduğunda ise, genel olarak 100 mm boru çapının sağladığı söylenebilir.

Lateral boyunca sulanan alanda farklı noktalara düşen su miktarının dağılımı, göz önüne alınan tüm işletme basıncı, başlık tertip aralığı, lateral uzunluğu ve lateral boru çapı bileşimleri için elde edilmiştir. Lateral boyunca sulanan alana ilişkin Christiansen C_u eş dağılım katsayıları tüm bileşimler için Çizelge 5'te verilmiştir. Lateral uzunluğu 500 m ve boru dış çapı 50 mm olduğu koşullarda eş dağılım katsayısı çok düşük değerlerde elde edildiği için Çizelge 5'e dahil edilmemiştir.

Araştırmada göz önüne alınan tüm yağmurlama sulama sistemlerine ilişkin değişik maliyet unsurlarının ortalamaları Çizelge 6' da verilmiştir.

Çizelgeden izleneceği gibi, belirli işletme basıncı, başlık tertip aralıkları ve lateral boru uzunluğunda lateral boru dış çapı arttıkça proje keşif bedeli, yatırım masrafları ve yıllık sabit masraflarda da artış olmaktadır. Bunun yanında diğer unsurların sabit kaldığı, ancak lateral boru uzunluğunun arttığı yada başlık tertip aralıklarının arttığı koşullarda, sözü edilen maliyet unsurlarında azalma olduğu görülmüştür.

Şekerpancarı, soya ve patatesten sulanan alan için elde edilen Christiansen C_u eş dağılım katsayılarına karşılık gelen oransal verim azalması değerleri hesaplanmıştır. Eş su dağılım katsayısı ile oransal verim azalması arasındaki ilişkiler sırasıyla Şekil 1, 2 ve 3'te görülmektedir. Şekillerden izleneceği gibi, her üç bitkiden de eş dağılım katsayısı arttıkça oransal verim azalmasında düşme olmakta, bir başka anlatımla, birim alan verim değerinde yükselme olmaktadır.

Çizelge 3 ve 4 teki değerlendirmeye alınan başlık tertip aralıkları, lateral boru uzunlukları ve lateral boru dış çaplarında elde edilmiş bulunan C_u eş dağılım katsayıları, birim alan verimleri ve yıllık toplam masraflar, her bitki için ayrı ayrı Çizelge 7, 8 ve 9'da verilmiştir. Bu değerlerden yararlanarak, mevcut durumda yağmurlama sulama sistemleri projelendirirken $C_{ub} \geq \%84$ ve $C_{uL} \geq \%97$ koşulunu sağlayan sistemlere oranla daha ekonomik olan (ya da olmayan) sistemler sözü edilen çizelgelerin son kolonunda belirlenmiştir. Sözü edilen çizelgelerden elde edildiği gibi, $C_{ub} \geq \%84$ ve $C_{uL} \geq \%97$ koşulu gözönüne alınarak yağmurlama sulama sistemleri projelendirilirse, $h_0=20$ m, $S_1 \times S_2=18 \times 12$ m, $L_1=500$ m ve $D=100$ mm alternatifli ile $h_0=30$ m, $S_1 \times S_2=18 \times 12$ m, $L_1=250$ m ve $D=75$ mm alternatifli üzerinde durmak gerekir.

Çizelge 4. Lateral boyunca başlık debileri değişimine ilişkin C_u Christiansen eş dağılım katsayıları

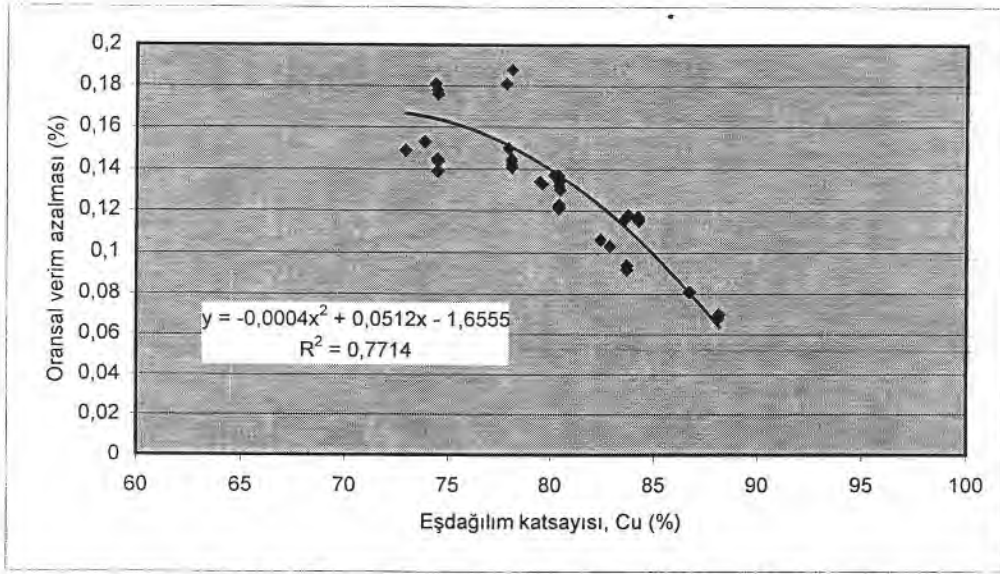
İşletme basıncı, h_b (m)	Başlık aralığı, S_2 (m)	Lateral boru uzunluğu, L_1 (m)	Lateral boru dış çapı, D (mm)	C_u (%)	
20	12	125	50	98.95	
			75	99.77	
			100	99.89	
		250	50	93.73	
			75	99.01	
			100	99.75	
	500	50	-		
		75	93.88		
		100	99.03		
		18	125	50	99.45
				75	99.87
				100	99.95
250	50		96.96		
	75	99.74			
	100	99.90			
500	50	-			
	75	96.88			
	100	99.26			
	25	12	125	50	99.06
				75	99.78
				100	99.90
250			50	93.70	
			75	98.99	
			100	99.73	
500		50	-		
		75	92.95		
		100	98.58		
		18	125	50	99.67
				75	99.89
				100	99.91
250	50		97.05		
	75	99.68			
	100	99.90			
500	50	-			
	75	96.95			
	100	99.35			
	30	12	125	50	99.07
				75	99.78
				100	99.91
250			50	93.71	
			75	99.00	
			100	99.75	
500		50	-		
		75	79.59		
		100	80.35		
		18	125	50	90.65
				75	99.86
				100	99.93
250	50		97.05		
	75	99.48			
	100	99.90			
500	50	-			
	75	96.96			
	100	99.25			

Çizelge 5. Lateral boyunca sulanan alana ilişkin Christiansen C_u eş dağılım katsayıları

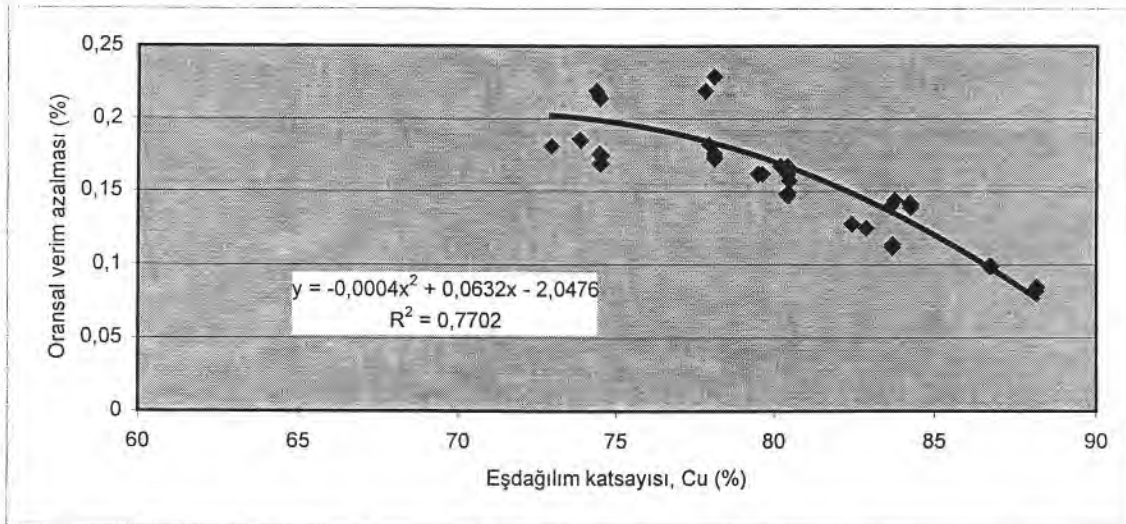
İşletme basıncı, h_b (m)	Tertip aralıkları, $S_1 \times S_2$ (m)	Lateral boru uzunluğu, L_1 (m)	Lateral boru dış çapı, D (mm)	C_u (%)		
20	12 x 12	125	50	74.46		
			75	74.51		
			100	74.51		
			250	50	73.82	
				75	74.46	
				100	74.50	
		500	75	73.86		
			100	74.46		
			18 x 12	125	50	88.11
					75	88.16
					100	88.16
				250	50	86.69
	75	88.12				
	100	88.16				
	500	75	86.75			
		100	88.11			
		18 x 18	125	50	78.07	
				75	78.08	
				100	78.08	
			250	50	72.92	
	75			78.08		
	100			78.08		
	500	75	77.91			
		100	78.06			
25		12 x 12	125	50	83.68	
				75	83.68	
				100	83.68	
			250	50	82.85	
	75			83.68		
	100			83.68		
	500	75	82.41			
		100	83.66			
		18 x 12	125	50	78.07	
				75	78.07	
				100	78.07	
			250	50	77.78	
75	78.07					
100	78.07					
500	75	82.44				
	100	78.07				
	18 x 18	125	50	74.47		
			75	74.47		
			100	74.47		
		250	50	74.36		
75			74.47			
100			74.47			
500	75	74.35				
	100	74.44				
	30	12 x 12	125	50	80.40	
				75	80.44	
				100	80.44	
			250	50	79.46	
75				80.39		
100				80.44		
500		75	79.59			
		100	80.35			
		18 x 12	125	50	84.23	
				75	84.24	
				100	84.24	
			250	50	83.61	
75	84.22					
100	84.24					
500	75	83.74				
	100	84.21				
	18 x 18	125	50	80.38		
			75	80.39		
			100	80.39		
		250	50	80.17		
75			80.38			
100			80.39			
500	75	80.16				
	100	80.36				

Çizelge 6. Yıllık ortalama masraf unsurlarının ortalama değeri

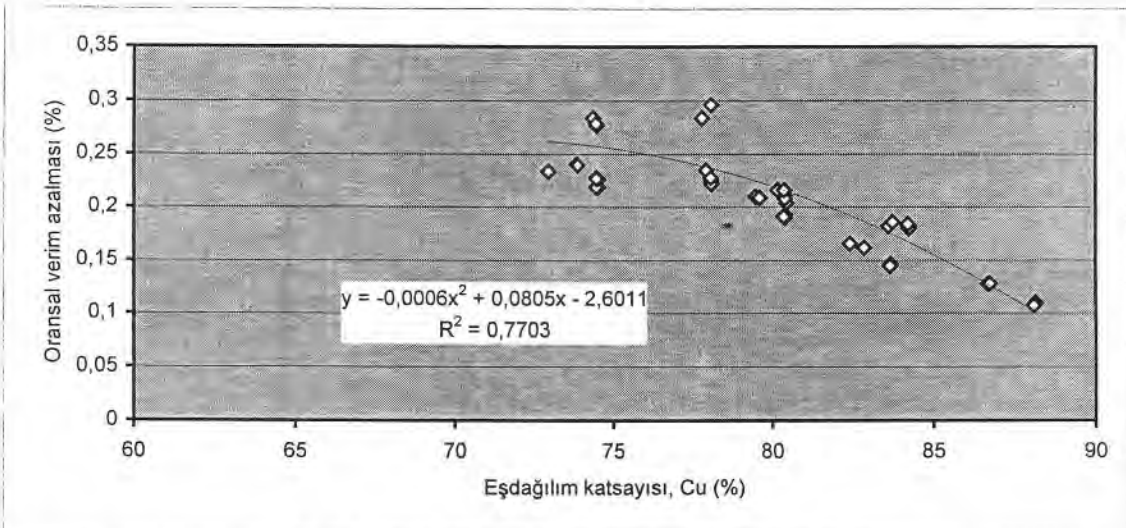
Masraf unsurları	Ortalama değeri, 10^6 TL/ha	%
Proje keşif bedeli	268.3	-
Yatırım masrafları	362.2	-
Yıllık masraf unsurları		
Sabit masraflar	287.3	86.1
Enerji masrafları	40.8	12.2
Bakım-onarım masrafları	3.6	1.1
Sulama işçiliği masrafları	1.8	0.5
İşletme masrafları	46.2	13.9
Toplam masraflar	333.5	100.0



Şekil 1. Şeker pancarında eşdağılım katsayısı – oransal verim ilişkisi



Şekil 2. Soyada eşdağılım katsayısı – oransal verim ilişkisi



Şekil 3. Patateste eşdağılım katsayısı – oransal verim ilişkisi

Çizelge 7. Soyada alternatif sistem tertipleri ve uygun çözümler

İşletme basıncı ho (m)	Tertip aralıkları, S ₁ xS ₂ (m)	Lateral uzunluğu, LL (m)	Boru dış çapı, D (mm)	Eş dağılım katsayısı, %			Verim, Ya (kg/ha)	Yıllık toplam masraf (10 ⁶ TL/ha)	Yıllık toplam masraflarda		Gelirde		Sonuç
				Cu _b	Cu _i	Cu			Azalma (10 ⁶ TL/ha)	Artma (10 ⁶ TL/ha)	Azalma (10 ⁶ TL/ha)	Artma (10 ⁶ TL/ha)	
20	18x12	250	50	88.62	93.73	86.69	3150	261.5		73.8		13.4	Ekonomik değil
		500	75	88.62	93.88	86.75	3150	249.1		61.4		13.4	Ekonomik değil
		500	100 [*]	88.62	99.03	88.11	3210	281.7		94		19.2	Ekonomik değil
	18x18	250	50	78.08	96.96	72.92	2870	255.5		67.8	13.4		Ekonomik değil
		500	75	78.08	96.88	77.91	2860	242.6		54.9	14.4		Ekonomik değil
		500	100 [*]	78.08	99.26	78.06	2880	286.5		99.2	12.5		Ekonomik değil
25	18x18	500	75	74.47	96.95	74.35	2730	227.8		40.1	26.8		Ekonomik değil
		500	100 [*]	74.47	99.35	74.44	2740	302.7		115	25.9		Ekonomik değil
30	18x12	250	50	84.36	93.71	83.61	3010	276.7		89	0		Ekonomik değil
		250	75	84.36	99.00	84.22	3010	187.7					Kıyas
		500	75	84.36	79.59	83.74	3000	260.0		72.3	1.0		Ekonomik değil
		500	100	84.36	80.35	84.21	3000	282.0		94.3	1.0		Ekonomik değil
	18x18	125	50	80.39	90.65	80.38	2920	289.7		102	8.6		Ekonomik değil
		500	75	80.39	96.96	80.16	2920	237.5		49.8	8.6		Ekonomik değil
		500	100 [*]	80.39	99.25	80.36	2920	291.6		103.9	8.6		Ekonomik değil

* Cu_b ≥ % 84 ya da Cu_i ≥ % 97 koşulunu sağlayan sistemler

Çizelge 8. Patatestede alternatif sistem tertipleri ve uygun çözümler

İşletme basıncı ho (m)	Tertip aralıkları, S ₁ xS ₂ (m)	Lateral uzunluğu, LL (m)	Boru dış çapı, D (mm)	Eş dağılım katsayısı, %			Verim Ya (kg/ha)	Yıllık toplam masraf (10 ⁶ TL/ha)	Yıllık toplam masraflarda		Gelirde		Sonuç
				Cu _b	Cu _i	Cu			Azalma (10 ⁶ TL/ha)	Artma (10 ⁶ TL/ha)	Azalma (10 ⁶ TL/ha)	Artma (10 ⁶ TL/ha)	
20	18x12	250	50	88.62	93.73	86.69	30520	282.7	16.5		63.2		Ekonomik değil
		500	75	88.62	93.88	86.75	30520	254.7	44.5		63.2		Ekonomik değil
		500	100 [*]	88.62	99.03	88.11	31260	299.2					Kıyas
	18x18	250	50	78.08	96.96	72.92	26810	294.1	5.1		380.4		Ekonomik değil
		500	75	78.08	96.88	77.91	26780	260.3	38.9		383.0		Ekonomik değil
		500	100 [*]	78.08	99.26	78.06	27020	333.6		34.4	362.4		Ekonomik değil
25	18x18	500	75	74.47	96.95	74.35	25060	235.0	64.2		530.0		Ekonomik
		500	100 [*]	74.47	99.35	74.44	25240	309.6		10.4	514.6		Ekonomik değil
30	18x12	250	50	84.36	93.71	83.61	28630	304.0		4.8	224.8		Ekonomik değil
		250	75	84.36	99.00	84.22	28600	297.0	2.2		227.4		Ekonomik değil
		500	75	84.36	79.59	83.74	28490	274.3	24.9		236.8		Ekonomik değil
		500	100	84.36	80.35	84.21	28560	312.0		12.8	230.8		Ekonomik değil
	18x18	125	50	80.39	90.65	80.38	27440	294.5	4.7		326.5		Ekonomik değil
		500	75	80.39	96.96	80.16	27440	247.7	51.5		326.5		Ekonomik değil
		500	100 [*]	80.39	99.25	80.36	27440	301.5		2.3	326.5		Ekonomik değil

* Cu_b ≥ % 84 ya da Cu_i ≥ % 97 koşulunu sağlayan sistemler

Çizelge 9. Şeker pancarında alternatif sistem tertipleri ve uygun çözümler

İşletme basıncı h ₀ (m)	Terlip aralıkları, S ₁ xS ₂ (m)	Lateral uzunluğu, LL (m)	Boru dış çapı D (mm)	Eş dağılım katsayısı, %			Verim Ya (kg/ha)	Yıllık toplam masraf (10 ⁶ TL/ha)	Yıllık toplam masraflarda		Gelirde		Sonuç
				Cu ₀	Cu ₁	Cu			Azaltma (10 ⁶ TL/ha)	Artıma (10 ⁶ TL/ha)	Azaltma (10 ⁶ TL/ha)	Artıma (10 ⁶ TL/ha)	
20	18x12	250 500 500	50	88.26	93.73	86.69	55140	262.7	16.6		21.1		Ekonomik değil
				88.62	93.88	85.75	55140	254.7	44.5		21.1		Ekonomik Kıyas
				88.62	99.03	88.11	55920	299.2					
25	18x18	250 500 500	50	78.08	96.96	72.92	51060	294.1	5.1		13.1		Ekonomik değil
				78.08	96.88	77.91	51000	260.3	38.8		132.8		Ekonomik değil
				78.08	99.26	78.06	51300	333.6	34.4		124.7		Ekonomik değil
30	18x18	125 500 500	75	74.47	96.95	74.35	49140	235.0	64.2		183.1		Ekonomik değil
				74.47	99.35	74.44	49320	309.6	10.4		178.2		Ekonomik değil
				84.36	93.71	83.61	53040	304.0	4.8		77.8		Ekonomik değil
30	18x12	250 500 500	75	84.36	99.00	84.22	53040	297.0	2.2		77.8		Ekonomik değil
				84.36	79.59	83.74	52920	274.3	24.9		81.0		Ekonomik değil
				84.36	80.35	84.21	52960	312.0	12.8		79.4		Ekonomik değil
30	18x18	125 500 500	50	80.39	90.66	80.38	51780	294.6	4.7		111.8		Ekonomik değil
				80.39	96.96	80.16	51780	247.7	51.5		111.8		Ekonomik değil
				80.39	99.25	80.36	51780	301.5	2.3		111.8		Ekonomik değil

* Cu₀ ≥ % 84 ya da Cu₁ ≥ % 97 koşulunu sağlayan sistemler

Sonuç

Elde edilen sonuçlara göre, yağmurlama sulama sistemlerinde mevcut durumda gözönüne alınan Cu₀ ≥ %84 ve Cu₁ ≥ % 97 tasarım kriterlerinin bitki özellikleri ve ekonomik koşullar dikkate alındığında geçerli olmadığı söylenebilir.

Diğer bir anlatımla, yağmurlama sulama sistemlerinin projelenmesinde, eş su dağılım düzeyi yüksek olacak biçimde başlık seçimi ve lateral boru çapının saptanmasının her zaman uygun olmayabileceği, bitki cinsine bağlı olarak düşük düzeyde eş su dağılımının elde edilmesinin daha ekonomik çıkacağı yorumu yapılabilir.

Topraktaki nem eksikliğine duyarlı olan bitkilerde daha yüksek düzeyde eş su dağılımının elde edilmesi gerektiği savı da bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre doğrulanmamıştır. Çünkü, şeker pancarı, soya ve patates için verilen en ekonomik çözümlerde, sulanan alan için elde edilen Cu eş dağılım katsayıları, sırasıyla, %86.75, %84.22 ve %74.35 biçimindedir.

Görüldüğü gibi, topraktaki nem eksikliğine son derece dayanıklı olan şeker pancarında daha yüksek eş dağılım katsayısı, son derece duyarlı olan patateste ise çok daha düşük eş dağılım katsayısı söz konusu olmuştur.

Bu araştırmadan elde edilen bulgulara göre, yağmurlama sulama sistemlerinin projelenmesinde, alternatif başlık tertip aralıkları, lateral boru uzunlukları, lateral çapları ve sulanacak bitkiler göz önüne alınarak sistem tertiplerinin yapılması ve her alternatif için yıllık toplam masraf ve yıllık gelir değerlerinin elde edilmesi, sonuçta en ekonomik çözümün bulunması önerilebilir.

Kaynaklar

- Aküzüm, T. 1976. Türkiye'de İmal Edilen Yağmurlama Başlıklarında Su Dağılım Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Kültürteknik Böl., Doktora Tezi, Ankara.
- Anonim, 1999a. 1999 Yılı İnşaat İşleri Birim Fiyat Cetveli, KHGM Yayınları, Ankara.
- Anonim, 1999b. 1999 Yılı Boru Armatür Ve Pompalar Birim Fiyat Cetveli, KHGM Yayınları, Ankara.
- Balaban, A. 1986. Su Kaynaklarının Planlanması. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları: 972, 263 s., Ankara.
- Balaban, A. ve A. Korukçu, 1969. Yağmurlama sulama sistemlerinde su dağılımının ölçülme metodları üzerinde bir inceleme. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yıllığı, 69 (4) 829-850, Ankara.
- Balaban, A., O. Tekinel ve A. Korukçu, 1970. Yağmurlama sulama metodunun teknik ve ekonomik elverişliliği üzerine bir araştırma. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yıllığı, 20 (1) 1113-131, Ankara.

- Benami, A. 1967. Water requirements and distribution uniformity. World irrigation devoted to engineering and maintenance, October-December, s. 11-14.
- Christiansen, J. E. 1937. Irrigation by sprinkling. Agricultural Engineering Journal, 18, 533-537.
- Christiansen, J. E. 1941. The uniformity of application of water by sprinkler system. Agricultural Engineering Journal, 22, 89-92.
- Doorenbos, J., W. O. Pruitt, 1977. Crop water requirements FAO Irr. Drain, Paper 24, Rome
- Doorenbos, J., A. H. Kassam, 1979. Yield Response to Water FAO Irr. Drain, Paper 33, Rome.
- Güngör, Y. ve O. Yıldırım, 1989. Tarla Sulama Sistemleri. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları: 1155, 371 s., Ankara.
- Korukçu, A. ve O. Yıldırım, 1981. Yağmurlama Sistemlerinin Projelenmesi. TOPRAKSU Genel Müdürlüğü, 220 s., Ankara.
- Perold, R. P. 1977. Design of irrigation pipe laterals with multiple outlets. Jour.Irr. Drain Div., 103 (IR2) 179-195.
- Yıldırım, O. 1988. Ankara koşullarında şeker pancarının su-verim ilişkileri ve su tüketimi, I. Su-verim ilişkileri. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yıllığı, Ankara.
- Smith, M. 1992. Cropwat a Computer Program For Irrigation Planning and Management, FAO Irrig. Drain, Paper 46, p. 1-126, Rome.
- Yıldırım, O. 1980. Türkiye'de Yapılan Bazı Boruların Yağmurlama Sulama Sistemlerinde Lateral Kullanım Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Kültürteknik Bölümü Doktora Tezi, Ankara.
- Yıldırım, O. 1996. Sulama Sistemleri II. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları: 1449, Ankara.

İletişim adresi:
M. Ali TOKGÖZ
Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü-Ankara
Tel: 0 312 317 05 50/1238
Fax: 0 317 67 24
E-mail: tokgoz@agri.ankara.edu.tr