

## **Tersiyer Kanal Düzeyindeki Bir Sulama Ünitesinde Kaynak Seviyeleme ve Sulamanın Optimizasyonu**

**Murat KILIÇ<sup>1</sup>**

**Mustafa ÖZGÜREL<sup>2</sup>**

### **Summary**

#### **Resource Levelling and Optimisation of Irrigation in a Tertiary Canal Irrigation Unit**

In this study, irrigation programmes of different crops in an open canal irrigation system were modelled by PERT and CPM project programming technique. Irrigation time and canal carrying capacity constraints in the system were solved by means of “irrigation total float periods” parameter by running the model. Hence, limited resources were delivered to the growing period of crops not causing a yield decrease. In addition, irrigation applications were completed on time during the irrigation season. According to the model results, distribution of irrigation water to different time periods were compared with the amount of water given actually to the system. It is determined that, water deficiency was occurred in May and June, and overirrigation was occurred in July, August and September with the ratios of 201%, 862.1 % and 395.1 % respectively. In addition, although, there wasn't any requirement to irrigation water in October, 112600 m<sup>3</sup> water was delivered excessively to the system. All of the results show that, amount of irrigation water delivered to the system in actual could not meet the requirements from the points of timing and amount. This shows that, scientific irrigation programmes must be used in order for using the resources effectively.

**Key words:** irrigation program, optimisation, PERT-CPM techniques

### **Giriş**

Tarımsal üretimin en önemli amaçlarından birisi olan ekonomi unsuru, kıt kaynakların optimum kullanımına yönelik bilimsel çalışmaları ön plana çıkarmıştır. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde sulama suyuna ve pahalı su kaynaklarına talep arttıkça, verim ile sulama suyu arasındaki ilişkiyi ortaya koyan ve mevcut

---

<sup>1</sup> Dr.,E.Ü.Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bornova/İzmir  
e-mail: murat.kilic@mailcity.com

<sup>2</sup> Prof.Dr.,E.Ü.Ziraat Fak., Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bornova/İzmir

koşullar altında en iyi su dağıtım programını belirleyen modellerin geliştirilmesine duyulan gereksinim de artmıştır. Bilhassa, polikültür bitki deseninin bulunduğu alanlarda su dağıtımının programlanması; mevcut arazi ve su kaynaklarına, su kaynaklarının güvenilirliğine, sulama şebekesinin yapısına, işletim koşullarına ve bitkisel üretimden sağlanacak kazançta dayandırılmalıdır. Bu kapsamda, Martin ve ark. (1989), sulama sezonunun başlangıcında belirli bir su kaynağı için, optimum üretim deseni ve kısıtlı sulama stratejilerini tayin etmek amacıyla, dinamik programlama tekniğine dayalı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Ancak, bu modelde kanal sistemi için hidrolik kısıtlar dikkate alınmamıştır. Bhirud ve ark. (1990), rotasyon yöntemiyle su dağıtım programının belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, bir bitki gelişim simülasyon modeli kullanılarak, su dengesi yaklaşımına dayalı bir su dağıtım programının analizi yapılmıştır. Bitkilerin suya hassas olduğu kritik gelişme dönemlerinde, rotasyon periyotlarında yapılan düzenlemeler hem sudan tasarruf edilmesini ve hem de verim azalışının minimum düzeyde kalmasını sağlamıştır.

Malano ve ark. (1993), Tailand'da Thup-Salao Sulama Projesinde, 1988-1991 yılları arasındaki su dağıtım verilerinden yararlanarak, planlanan, ihtiyaç duyulan ve gerçekleşen dağıtımları değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, bu parametreler arasında farklılık tespit etmişler ve bunun nedeninin de, yağışların mevsimler itibariyle değişmesinden ve işletim politikasının esnek olmayışından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. De Veer ve ark. (1993), Mısır'da Fayoum Sulamasında tersiyer kanal düzeyinde su yönetimi uygulamalarını incelemişlerdir. Araştırmacılar, ana sistemdeki su kaynağında meydana gelen bir değişimin, tersiyer birimlerindeki su yönetimini etkilediğini, üniform olmayan akışın özellikle bitki yoğunluğunun az olduğu alanlarda su kıtlığına neden olduğunu ve çiftçilerin rotasyon planına uymadıklarını belirlemişlerdir. Wurbs ve Yerramreddy (1994), geleneksel simülasyon modelleri ve şebekelerdeki akış programları gibi iki alternatif yaklaşımın karşılaştırılıp değerlendirilmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu uygulama için, her iki yöntemin de birbirine göre net bir üstünlüğü tespit edilmemiştir. Wardlaw ve Barnes (1999) tarafından, sulama sistemlerinde quadratik programlama esasına dayalı bir optimizasyon modeli üzerinde çalışılmıştır. Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar, optimizasyon yaklaşımının kullanılabilir olduğunu ve havza ölçeğinde bitkisel üretimi önemli düzeyde geliştirebileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada, açık kanallı bir sulama sisteminde yer alan farklı bitkilere ait sulama programlarının, PERT ve CPM proje programlama tekniği esaslarına göre modellenmesi amaçlanmıştır. Böylece, sistemde kanalların su taşıma kapasiteleri ve sulama sürelerine ilişkin meydana gelen kısıtların, modelin çalıştırılmasıyla elde edilen “sulama serbestlik süreleri” parametresi yardımıyla giderilmesi hedeflenmiştir. Daha sonra, model sonuçlarına göre sisteme verilen suyun farklı zaman noktalarına dağılımı, gerçekte verilen su miktarlarıyla karşılaştırılmıştır. Böylece, bilimsel bir sulama programına çiftçi tarafından gerçekte ne derece uyulduğu değerlendirilerek, kıt kaynakların kullanım etkinliği analiz edilmiştir.

### **Materyal**

Bu çalışma, Menemen Sol Sahil Sulama Şebekesi içerisinde yer alan Ulucak-Sasallı Sekonderi ile buradan su alan 38 adet tersiyer kanalın hizmet ettiği alan üzerinde yürütülmüştür. Kurulan modelin tanımlanması aşamasında, her bir kanal için yüksek yoğunluklu işlem tekrarını önlemek ve modelleme sürecini daha detaylı olarak tanımlayabilmek için, sistemde yer alan kanallardan en uygun özelliklere sahip olan bir tanesi seçilmiş ve diğer kanallar için de aynen geçerli olan prensipler bu örnek üzerinde detaylı olarak açıklanmıştır. Bu noktadan hareketle, modelleme sürecinin tanımlanması aşamasında U12 tersiyerinin seçilmesi uygun bulunmuştur. Bu kanalın seçilme nedenlerinden ilki; söz konusu tersiyerin suladığı alanın toprak özellikleridir. Milli-tınlı bir bünyeye sahip olan bu toprak, genel olarak tüm alanın özelliklerini belli ölçüde temsil etmektedir. Kanalın suladığı alanın faydalı su tutma kapasitesi, Tuncay (1984) tarafından açıklandığı şekilde, araziden alınan toprak örneklerinin laboratuvarında analiz edilmesiyle belirlenmiştir. Bu değer, 90 cm. toprak derinliği için 233.9 mm. olarak bulunmuştur.

U12 tersiyerinin seçilmesindeki ikinci neden; kanalın hizmet ettiği alanda, sulama programları birbirinden farklı dört bitki türünün yetiştirilmesidir. Böylece, kurulan modelin farklı zaman noktaları, sulama programları ve bitki türleri için çalıştırılması mümkün olmaktadır.

Üçüncü neden; Söz konusu alanda, farklı bitkiler için eşzamanlı sulama gerektiren periyotların olmasıdır. Bu aşamada, modelleme sürecinde tanımlanması gereken üç durum gündeme gelmektedir. Bunlardan ilki; eşzamanlı sulama faaliyetlerinin şebeke modeli üzerinde tasarımı ve gösterimi, ikincisi; bitkilerin, eşzamanlı

sulama periyodunda, debi olarak tersiyer kanal kapasitesinden yararlanma düzeyleri, üçüncüsü de; bitkiye verilen su miktarı ve buna bağlı sulama sürelerinin model üzerinde ayrı ayrı tanımlanmasıdır.

Sistemde modelleme sürecinin tanımlanması aşamasında U12 tersiyerinin seçilmesinin dördüncü nedeni; model sonuçlarının gerçek verilerle karşılaştırılabilme imkanının olmasıdır. Bitkilerin gelişme dönemi süresince, söz konusu kanala gerçekte verilmiş olan su miktarları ölçülmüştür. Böylece, model sonuçlarıyla gerçek verilerin karşılaştırılarak analiz edilmesi imkanı doğmaktadır.

U12 tersiyeri 0.09 m<sup>3</sup>/sn. su taşıma kapasitesine sahip olup, sekonderin baş kısmına yaklaşık 5.5 km. mesafededir. 1999 yılı itibariyle, kanalın suladığı alanda pamuk, mısır, domates ve karpuz bitkileri sırasıyla, 158.6 da, 25.3 da, 19.1 da ve 22.2 da büyüklüğündeki alanlarda yetiştirilmiştir. Ulucak-Sasallı Sekonderinin hizmet ettiği alanın tamamında ise yaklaşık %74.5 yetiştirilme oranıyla pamuk ana ürün durumundadır. Bunu sırasıyla, %11.2 ile mısır, %4.7 ile buğday, %2.7 ile turunçgiller, %2.6 ile bağ, %2.3 ile karpuz, %1.8 ile domates ve %0.2 ile de yonca izlemektedir.

### **Yöntem**

Bu çalışmanın amacı, açık kanallı bir sulama sisteminde yer alan farklı bitkilerin sulama programlarını, PERT ve CPM Proje Programlama tekniği esaslarına uygun olarak, şebeke diyagramı modeli ile tanımlamaktır. Böylece, sistemde kritik ve kritik olmayan sulama faaliyetlerinin belirlenmesi ve her birisine ait serbestlik sürelerinin tanımlanması amaçlanmaktadır. Modelin, her sulama uygulaması için ulaştığı “toplam serbestlik süresi” değerleri, sistemde optimum kaynak seviyeleme ve buna uygun zaman diyagramını oluşturmada işlem altyapısını teşkil etmektedir. Bu çalışmada, sistemin modellenmesi sürecinde yürütülen işlemler 7 ana aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

İlk aşamada; 2560.055 ha. büyüklüğündeki alana hizmet eden Ulucak-Sasallı Sekonderinden su alan 38 adet tersiyer kanal için su dağıtım programı hazırlanmıştır. Bu işlem, esasları Eisele (1988), Jiracheewee ve ark. (1996) ve Kılıç (2004) tarafından açıklandığı şekilde, doğrusal olmayan programlama tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

İkinci aşamada; PERT ve CPM Proje Programlama tekniğine uygun olarak sistemin şebeke diyagramı modeli oluşturulmuştur. Bunun tanımlanması aşamasında, modele ilişkin tüm işlemlerin ve

özelliklerin ortaya konmasını sağlayacak bir tersiyer kanal seçilmiştir. Burada amaç; 38 adet tersiyer kanal için yüksek yoğunluklu işlem tekrarını önleyerek modelleme sürecini daha detaylı olarak tanımlayabilmektir. Böylece, diğer 37 tersiyer kanal için de, aynı prensiplere göre işlemlerin tekrarlamalı olarak yürütülmesi mümkün olmaktadır. Sistemde, modelleme sürecinin tanımlanması aşamasında U12 tersiyerinin seçilmesi uygun bulunmuştur. Bunun başlıca nedenleri Materyal bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır.

Şebeke diyagramı modelinde yer alan her bir ok, bir sulama faaliyetini, bu okun başlangıç ve bitişinde bulunan düğüm noktalarına ait indis değerleri de faaliyetin gerçekleşme yönünü göstermektedir. Bir düğüm noktası içerisinde dört farklı bölme bulunmakta olup, ilgili parametrelerin değerleri Moder ve Phillips (1970) tarafından açıklandığı şekilde tanımlanmıştır.

Üçüncü aşamada; bir önceki aşamada kurulan şebeke diyagramı modeline göre, sulama programına ilişkin  $ES_i$  (en erken başlama anı) ve  $LC_j$  (en geç tamamlanma anı) parametrelerinin değerleri hesaplanmıştır.  $i$  ve  $j$  simgeleri sırasıyla, şebeke diyagramında başlama ve bitiş olaylarının (düğüm noktalarının) indis değerlerini, dolayısıyla da sulama faaliyetlerinin gidiş yönünü göstermektedir. Hesaplama, esasları Çetmeli (1972) tarafından verilmiş olan matris yöntemi kullanılmıştır.

Dördüncü aşamada; Modelde kritik ve kritik olmayan sulama faaliyetleri belirlenmiştir. Bu işlem yapılırken, değerleri bir önceki aşamada hesaplanmış olan  $ES_i$  (en erken başlama anı) ve  $LC_j$  (en geç tamamlanma anı) parametrelerinden yararlanılmıştır. PERT ve CPM tekniği esaslarına göre kritik faaliyet; bir faaliyetin başlama anında meydana gelen bir gecikmenin, tüm projenin veya faaliyetin tamamlanma tarihinde yarattığı gecikmeyle tanımlanmaktadır. Diğer taraftan, kritik olmayan faaliyet için, modelde hesaplanan en erken başlama ( $ES_i$ ) ve en geç bitiş ( $LC_j$ ) tarihleri arasındaki zaman, faaliyetin gerçek süresinden daha büyüktür. Bu nedenle, kritik olmayan bir faaliyet, gecikme (slack) veya serbestlik (float) süresine sahiptir. Bu da, kritik ve kritik olmayan sulamalar için uygun zaman diyagramının oluşturulmasında kaynak seviyeleme yönünden büyük avantajlar sağlamaktadır.

Beşinci aşamada; sulama faaliyetlerine ilişkin serbestlik sürelerinin hesaplanmasında kullanılacak olan  $EC_{ij}$  (en erken tamamlanma anı) ve  $LS_{ij}$  (en geç başlama anı) parametrelerinin değerleri hesaplanmıştır. Bu işlemler, Taha (1971) tarafından

açıklandığı şekilde, aşağıda sunulan eşitlikler yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

$$LS_{ij} = LC_j - D_{ij} \quad EC_{ij} = ES_i + D_{ij}$$

Eşitliklerde,  $i$ ; başlangıç olayına ilişkin indis değeri,  $j$ ; bitiş (tamamlanma) olayına ilişkin indis değeri,  $LS_{ij}$ ; bir sulama faaliyetinin en geç başlama anı,  $LC_j$ ; faaliyetin en geç tamamlanma anı,  $D_{ij}$ ; faaliyetin gerçekleşme süresi (saat),  $EC_{ij}$ ; faaliyetin en erken tamamlanma anı,  $ES_i$ ; faaliyetin en erken başlama anıdır. Anlaşılacağı üzere “faaliyet” kelimesi, sulama uygulamalarını tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Altıncı aşamada; Esasları Moder ve Phillips (1970) tarafından açıklandığı şekilde, sulama faaliyetlerinin serbestlik süreleri hesaplanmıştır. Bunlar;  $TF_{ij}$  (toplam serbest süre),  $FF_{ij}$  (serbest süre) ve  $IF_{ij}$  (bağımsız serbest süre) parametreleridir. Burada amaç, dördüncü aşamada açıklandığı şekilde, kritik ve kritik olmayan sulama faaliyetleri için optimum kaynak seviyeleme ve buna uygun zaman diyagramını oluşturmada işlem altyapısını hazırlamaktır.

Yedinci aşamada; modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar, gerçekte kanala verilmiş olan su miktarlarıyla karşılaştırılmıştır. Böylece, bilimsel bir sulama programına çiftçi tarafından gerçekte ne derece uyulduğu değerlendirilmiş ve kıt kaynakların kullanım etkinliği analiz edilmiştir.

### **Bulgular ve Tartışma**

Ulucak-Sasallı Sekonderinden su alan 38 adet tersiyer kanalın hizmet ettiği, toplam 2560.055 ha büyüklüğündeki alan için, doğrusal olmayan programlama tekniğine dayalı su dağıtım modeli çalıştırılarak, sistemin sulama programı belirlenmiştir. Modele göre sistemin rotasyon periyodu, esasları Kodal (1996) tarafından açıklandığı şekilde 168 saat olarak belirlenmiştir. Modelin çalıştırılmasıyla, U12 tersiyerinin suladığı bitkiler için elde edilen program Çizelge 1’de sunulmuştur. Buradaki veriler, herbir bitkiye kaynaktan ayrılması gereken su miktarını mm. olarak göstermektedir.

Çizelge 1’de görüldüğü gibi, 15 Haziran, 1 Temmuz, 15 Temmuz ve 29 Temmuz tarihli sulamalar, eşzamanlı sulama periyotlarını oluşturmaktadır. Bununla beraber, modele göre mısıra 1 Haziran ve 15 Haziran tarihlerinde su verilememiştir. Özellikle eşzamanlı sulama periyotlarında bitkilerin sulama programlarında meydana gelebilecek çakışmalar, kısıtlı sulama uygulamalarını gündeme getirebilmektedir.

Çizelge 1. U12 tersiyerinin hizmet ettiği alandaki bitkilere ait sulama programı

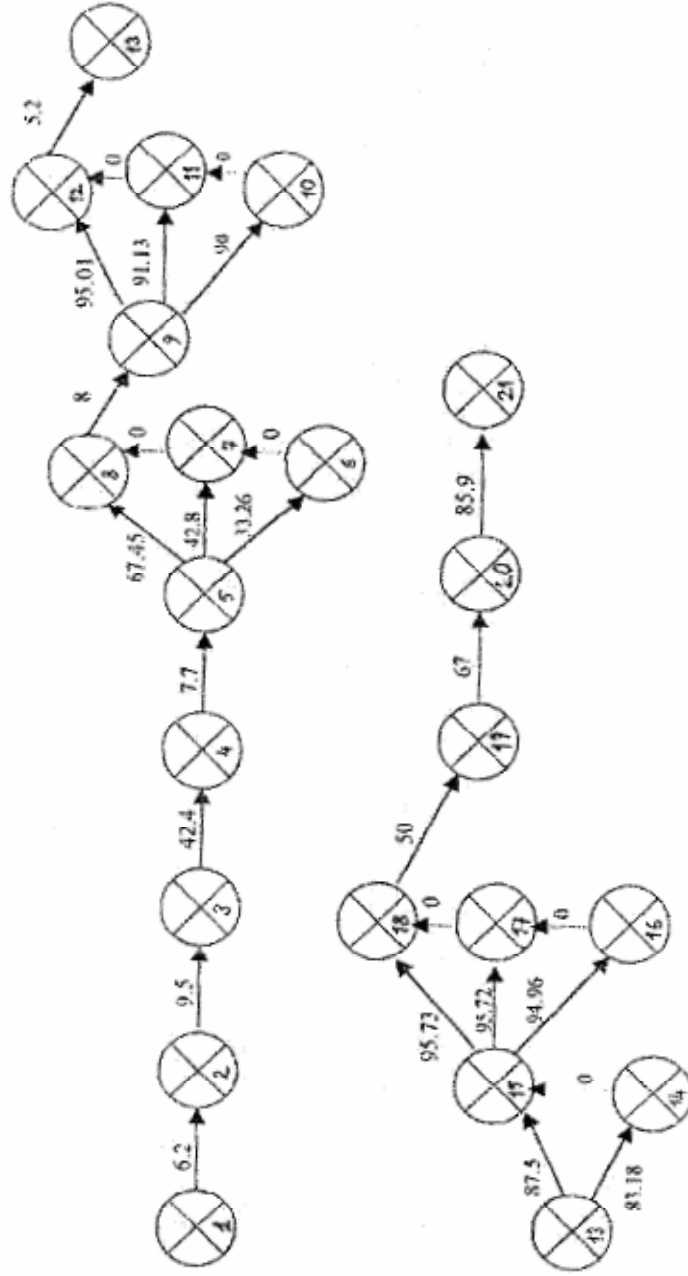
Bitki	22 May.	29 May.	1 Haz.	8 Haz.	15 Haz.	29 Haz.	1 Tem.
Pamuk			86.6		88.6		141.9
Mısır			-		-		152.9
Domates	105.8			131.0	65.5	136.2	
Karpuz		138.7			128.8		136.4

Bitki	8 Tem.	15 Tem.	29 Tem.	8 Ağs.	22 Ağs.	1 Eyl.
Pamuk		147.9	149.1	102.0	137.0	175.5
Mısır		145.3	141.8			
Domates	87.6		188.0			
Karpuz						

Bu noktada, kritik ve kritik olmayan sulama faaliyetleri belirlenerek, sulama gereksinimleri, herhangi bir verim kaybına neden olmayacak şekilde, belirli bir periyot içerisinde düzenlenmiştir. Diğer bir deyişle, kıt kaynağın belirli zaman dilimleri içerisinde ihtiyaca en uygun dağıtımını sağlanmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek amacıyla, U12 tersiyerinin suladığı bitkiler için, PERT ve CPM tekniklerine göre elde edilen şebeke diyagramı modeli Şekil 1’de sunulmuştur.

Şekilde, oklar üzerinde yazılı rakamlar, saat olarak sulama süresini göstermektedir. Bu faaliyetlerden “sıfır” değerini alanlar, şebeke modelinin tanımlanmasında kullanılan “Boş Faaliyet” (Dummy Activity)’i oluşturmaktadır. Şebeke diyagramında 5, 9, 13 ve 15 no’lu düğüm noktalarıyla başlayan faaliyetler, sırasıyla 15 Haziran, 1 Temmuz, 15 Temmuz ve 29 Temmuz tarihli eşzamanlı sulamaları ifade etmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, pik periyottaki herhangi bir eşzamanlı sulamada bir kısıt meydana gelmemiştir. Bu esnada her farklı bitki, tersiyer kanal kapasitesinden, farklı zaman noktalarında, değişen oranlarda yararlanmıştır.

Kritik ve kritik olmayan sulama faaliyetlerinin belirlendiği matris yönteminden elde edilen sonuçlara göre; (1,2), (2,3), (3,4), (4,5), (5,8), (8,9), (9,12), (12,13), (13,15), (15,18), (18,19), (19,20) ve (20,21) kodlarıyla gösterilen faaliyetler sırasıyla, 22 Mayıs tarihli domates, 29 Mayıs tarihli karpuz, 1 Haziran tarihli pamuk, 8 Haziran tarihli domates, 15 Haziran tarihli pamuk, 29 Haziran tarihli domates, 1 Temmuz tarihli mısır, 8 Temmuz tarihli domates, 15 Temmuz tarihli mısır, 29 Temmuz tarihli mısır ve geri kalan 3 faaliyet de sırasıyla, 8 Ağustos, 22 Ağustos ve 1 Eylül tarihli pamuk sulamalarına karşılık gelen kritik faaliyetleri ifade etmektedir. Elde edilen bu verilere göre, kritik ve kritik olmayan sulama faaliyetlerinin serbestlik süreleri hesaplanarak Çizelge 2’de sunulmuştur.



Şekil 1. PERT ve CPM proje programlarına tekriğine göre elde edilen şebke diyagramı modeli.



Çizelge 2. Sulama faaliyetlerinin serbestlik süreleri

Faaliyet (i,j) (1)	Süre (D <sub>ij</sub> ) (2)	En erken		En geç		Toplam serbest süre (TF <sub>ij</sub> ) (7)	Serbest süre (FF <sub>ij</sub> ) (8)
		Başlama (ES <sub>i</sub> ) (3)	Tamamlanma (EC <sub>ij</sub> ) (4)	Başlama (LS <sub>ij</sub> ) (5)	Tamamlanma (LC <sub>j</sub> ) (6)		
(1,2)*	6.20	0	6.20	0	6.20	0*	0
(2,3)*	9.50	6.20	15.70	6.20	15.70	0*	0
(3,4)*	42.40	15.70	58.10	15.70	58.10	0*	0
(4,5)*	7.70	58.10	65.80	58.10	65.80	0*	0
(5,6)	33.26	65.80	99.06	99.99	133.25	34.19	0
(5,7)	42.80	65.80	108.60	90.45	133.25	24.65	0
(5,8)*	67.45	65.80	133.25	65.80	133.25	0*	0
(6,7)	0	99.06	99.06	133.25	133.25	34.19	9.54
(7,8)	0	108.60	108.60	133.25	133.25	24.65	24.65
(8,9)*	8.00	133.25	141.25	133.25	141.25	0*	0
(9,10)	90.00	141.25	231.25	146.26	236.26	5.01	0
(9,11)	91.13	141.25	232.38	145.13	236.26	3.88	0
(9,12)*	95.01	141.25	236.26	141.25	236.26	0*	0
(10,11)	0	231.25	231.25	236.26	236.26	5.01	1.13
(11,12)	0	232.38	232.38	236.26	236.26	3.88	3.88
(12,13)*	5.20	236.26	241.46	236.26	241.46	0*	0
(13,14)	83.18	241.46	324.64	245.78	328.96	4.32	0
(13,15)*	87.50	241.46	328.96	241.46	328.96	0*	0
(14,15)	0	324.64	324.64	328.96	328.96	4.32	4.32
(15,16)	94.96	328.96	423.92	329.73	424.69	0.77	0
(15,17)	95.72	328.96	424.68	328.97	424.69	0.01	0
(15,18)*	95.73	328.96	424.69	328.96	424.69	0*	0
(16,17)	0	423.92	423.92	424.69	424.69	0.77	0.76
(17,18)	0	424.68	424.68	424.69	424.69	0.01	0.01
(18,19)*	50.00	424.69	474.69	424.69	474.69	0*	0
(19,20)*	67.00	474.69	541.69	474.69	541.69	0*	0
(20,21)*	85.90	541.69	627.59	541.69	627.59	0*	0

Çizelge 2’de görüldüğü gibi, U12 tersiyeri için, 22 Mayıs’da başlayıp 1 Eylül’de sona eren sulama sezonu süresince, tüm sulama uygulamaları 627.59 saatte tamamlanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen “toplam serbest süre (TF<sub>ij</sub>)”, sadece kritik faaliyetlerde “sıfır” değerini almıştır. Bunlar, çizelgenin 1 ve 7 no’lu sütunlarında, yanlarına “\*” işareti konularak gösterilmiştir. Kritik olmayan sulama faaliyetlerinde ise, en erken başlama anına (ES<sub>i</sub>) göre meydana gelebilecek gecikmeler, tüm sistemi kapsayan sulama faaliyetlerinin tamamlanmasında bir gecikmeye neden olmamaktadır. Örneğin; 1 no’lu sütunda (5,7) kodu ile gösterilen faaliyet, 15 Haziran’daki domates sulamasını ifade etmektedir. Bu tarihte pamuk, domates ve karpuzun eşzamanlı sulaması olduğu halde, sistemde bir kısıt meydana gelmemiştir. Buna ilaveten, domatesin sulanmasında da 24.65 saatlik

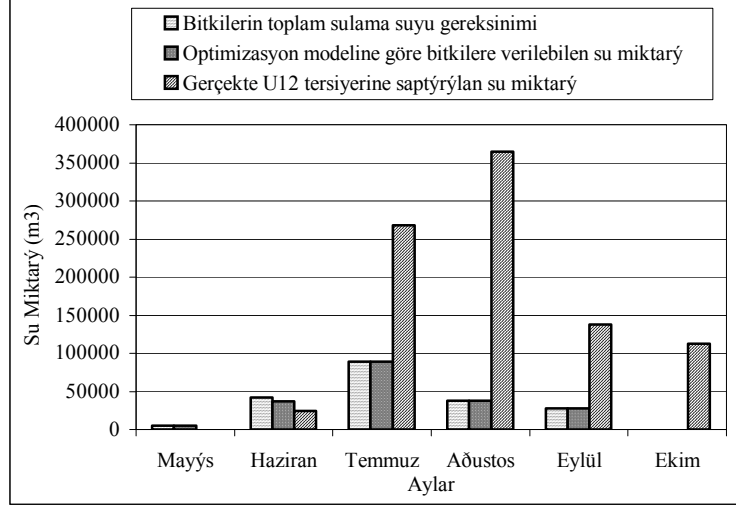
bir toplam serbestlik süresi oluşmuştur. Diğer bir deyişle, bu sulama faaliyetinin, en erken başlama anı ( $ES_i$ ) veya en geç tamamlanma anına ( $LC_j$ ) göre programlanması, tüm bitkilerin sulama faaliyetlerini kapsayan sezonluk sulama programının uygulanmasında bir gecikmeye neden olmamaktadır. Diğer yandan, bitkinin sulama suyu ihtiyacı, daima kritik sulama gereksinimi düzeyinin üzerindeki bir değere göre programlandığından, bu zaman esnekliğinden kaynaklanan bir verim kaybı da söz konusu olmamaktadır. Böylece, farklı bitkilerin sulama programlarında meydana gelebilecek bir çakışmada, özellikle eşzamanlı sulama uygulamalarında hem sulamanın zamanlanması ve hem de kıt kaynakların belirli zaman noktalarına en uygun dağıtımı açısından büyük avantajlar sağlanmıştır. Bu prensipler, Çizelge 2' de verilmiş olan diğer sulama uygulamaları için de aynen geçerlidir.

1999-2000 yılı sulama sezonunda U12 kanalına verilmiş olan su miktarları, Yaşar ve ark. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada limnigraf aletiyle ölçülmüştür. Buna göre, araştırma alanında yetiştirilen bitkilerin toplam sulama suyu gereksinimleri, optimizasyon modeline göre bitkilere verilebilen su miktarları ve U12 tersiyerine gerçekte saptırılan su miktarı Şekil 2'de grafik olarak sunulmuştur.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, Mayıs ayında toplam  $5099.92 \text{ m}^3$  sulama suyuna ihtiyaç duyulduğu halde, gerçekte kanala hiç su verilememiştir. Haziran ayında kanala ayrılan su miktarı ise ihtiyacın ancak %57'sini karşılayabilmiştir. Buna karşın Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında kanala sırasıyla, %201, %862.4 ve %395.1 oranlarında fazla su verilmiştir. Ekim ayında ise, sulama suyuna ihtiyaç duyulmadığı halde  $112600 \text{ m}^3$  su kanala fazladan verilmiştir.

### **Sonuç ve Öneriler**

Ulaşılan sonuçlar, gerçekte tersiyer kanala verilen suyun, hem zamansal dağılım yönünden ve hem de miktar olarak ihtiyacı karşılamaktan uzak olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, kanala verilen suyun, farklı zaman periyotlarına dağılımı açısından incelendiğinde; Mayıs ve Haziran aylarında suyun yetersiz kalması, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ise, verilen suyun sırasıyla %201, %862.4 ve %395.1 oranlarında fazla olması şeklinde ortaya çıkmıştır. Ekim ayında ise, sulama suyuna ihtiyaç duyulmadığı halde kanala  $112600 \text{ m}^3$  su verilmiştir. Bitkilere gerçekte verilen sulama suyunun bilimsel bir programa uygun olmaması, kaynakların iyi kullanılmadığını göstermektedir. Bu noktada, özellikle eşzamanlı sulama uygulamalarındaki çakışmadan kaynaklanabilecek kısıtlar, kurulan



Şekil 2. U12 tersiyerinin hizmet ettiği alanda yetiştirilen bitkilerin toplam sulama suyu gereksinimleri, optimizasyon modeline göre bitkilere verilebilen su miktarları ve gerçekte U12 tersiyerine saptırılan su miktarı.

şebeke diyagramı modelinde, sulama faaliyetlerinin programlanması ile giderilmiştir. Farklı sulamalar için oluşan “toplam serbestlik süreleri ( $TF_{ij}$ )”, sulamaların gerek en erken başlama anı ( $ES_i$ ) ve gerekse de en geç tamamlanma anına ( $LC_j$ ) göre programlanmasında esneklik yaratmıştır. Böylece, hem kıt kaynakların verim azalışına neden olmadan sulama sezonu içerisinde dağıtımı sağlanmış ve hem de sulama uygulamaları, sistemin tümünü kapsayan sulama programını aksatmadan tamamlanabilmiştir.

### Özet

Bu çalışmada, açık kanallı bir sulama sisteminde yer alan farklı bitkilerin sulama programları, PERT ve CPM proje programlama tekniği esaslarına göre modellenmiştir. Sistemde, sulama süresi ve kanalların su taşıma kapasitelerine ilişkin kısıtlar, modelin çalıştırılmasıyla elde edilen “sulama serbestlik süreleri” parametresi yardımıyla giderilmiştir. Böylece, hem verim azalışına neden olmadan kaynakların bitki gelişme periyodu içerisinde dağıtımı sağlanmış ve hem de sulama uygulamaları, sistemin tümünü kapsayan sulama programını aksatmadan tamamlanabilmiştir. Modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlara göre sisteme verilen suyun farklı zaman noktalarına dağılımı, gerçekte verilen su miktarlarıyla karşılaştırılmıştır. Buna göre, Mayıs ve Haziran aylarında suyun yetersiz kaldığı, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ise sırasıyla, %201, %862.4 ve %395.1 oranlarında fazla suyun kanala verildiği tespit edilmiştir. Bununla beraber, Ekim ayında sulama suyuna ihtiyaç duyulmadığı halde, 112600 m<sup>3</sup> su kanala fazladan verilmiştir. Bu veriler, gerçekte sisteme ayrılan suyun, hem miktar olarak ve hem de zamansal dağılım açısından ihtiyaçlarla örtüşmekten uzak olduğunu göstermiştir. Ulaşılan sonuçlar, kaynakların

etkin kullanılabilmesi için, bilimsel yöntemle hazırlanmış sulama programlarının uygulanması zorunluluğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar sözcükler:** sulama programı, optimizasyon, PERT-CPM teknikleri

### **Kaynaklar**

- Bhirud, S., N.K. Tyagi and C.S. Jalswal, 1990, Rational approach for modifying rotational water delivery schedule, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 116, No.5, September/October.
- Çetmeli, E., 1972, Yatırımların Planlanmasında CPM ve PERT Metodları, Çağlayan Basımevi, İstanbul.
- De veer, M., J.A. Warmgoor, G.R. Rizg and W. Wolters, 1993, Water management in tertiary unites in the Fayoum, Egypt, *Irrigation and Drainage Systems* 7: P. 69-82.
- Eisele, H., 1988, Formulation and evaluation of the USU main system allocation model, water management synthesis II project WMS Report No: 76, Utah State University, Logan Utah.
- Jiracheewee, N., G. Oron, V.V.N. Murty and V. Wuwongse, 1996, Computerized database for optimal management of community irrigation systems in Thailand. *Agricultural Water Management*, 31 (1996) S. 237-251.
- Kılıç, M., 2004, Sulama Şebekelerinde En İyi Su Dağıtımının Doğrusal Olmayan Programlama Yöntemi ile Belirlenmesi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 137 S. Bornova.
- Kodal, S., 1996, Ankara-Beypazarı Ekolojisinde Yeterli ve Kısıtlı Su Koşullarında Sulama Programlaması İşletme Optimizasyonu ve Optimum Su Dağıtımı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1465, Bilimsel Araştırmalar ve İncelemeler: 807, S.69, Ankara.
- Malano, H.M., C. Boonlue and T.A. McMahon, 1993, Developing an improved operational strategy for the Thup-Salano irrigation system, Thailand, *Irrigation and Drainage Systems*, Vol. 7, pp.205-220.
- Martin, D., J.V. Brocklin and G. Wilmes, 1989, Operating rules for deficit irrigation management, *Transactions of the Asae* 32 (4): 1207-1215.
- Moder, J.J., and C.R. Phillips, 1970, *Project Management with CPM and PERT*, Reinhold Pub. Co., Newyork, (2nd. Edition).
- Taha, H. A., 1971, *Operations Research: An Introduction*, Macmillan Pub. Co. Inc.
- Tuncay, H., 1984, Toprak Fiziği Uygulama Kılavuzu, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Teksir No: 90/1, 77 s. İzmir.
- Wardlaw, R. and J. Barnes, 1999, Optimal allocation of irrigation water supplies in real time, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 125, No:6, November/December, pp.345-354.
- Wurbs, A.R. and A. Yerramreddy, 1994, Reservoir/River system analysis models: conventional simulation versus network flow programming, *Water Resources Development*, Vol. 10, No.2, 131-142 pp.
- Yaşar, S., M. Avcı, Ş. Aşık, H.B. Ünal, E. Akkuzu, 2002, Aşağı Gediz Havzası Sulama Sistemlerinde Su Dağıtım Performansı, E.Ü. Araştırma Fonu Proje Raporu, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 52s. İzmir.