

ANKARA İLİ DELİCE İLÇESİ KÖPRÜSÜNÜN CPM METODU İLE MÜHENDİSLİK KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

M. Haluk ÇELİK, Recep KANIT, Gamze ERDİLLER, Metin ERDAMAR
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Ankara

ÖZET

Bu çalışmada malzeme olarak seçilmiş olan Ankara ili sınırları içinde yer alan, Delice İlçe Merkezi'nden geçmekte olan Koru deresinde ulaşımı sağlamak amacı ile 13.70 m mesnet açıklığında 8 m platform genişliğinde kirişli betonarme köprü inşaatının CPM-PERT metodu ile iyi bir planlama ve yapımında kullanılan minimum süre ve maliyeti hesaplanmıştır. Projede yapılan her hesapta en erken ve en geç tamamlanma süreleri göz önüne alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: CPM-PERT metodu, Delice (Ankara, Türkiye) köprüsü, Mühendislik kriteri.

DETERMINATION OF ENGINEERING CRITERIA OF DELICE (ANKARA) BRIDGE BY CPM METHOD

ABSTRACT

In this study, CPM-PERT method is used to find out the minimum time and cost of the bridge constructed in Delice (Ankara) on the Koru river. The reinforced concrete bridge has a 13.70 m support distance and an 8 m platform width. In the method; planning, management and cost prices in Early Finish and Late Finish times were taken into account.

Key Words: CPM-PERT method, Delice bridge (Ankara, Türkiye), Engineering criteria.

1. GİRİŞ

Bir yatırımın planlanmasında, yatırımın unsurlarını oluşturan ana faaliyetlerin süre, maliyet ve kapasite bakımından program ve neticeye etkime miktarlarının bilinmesi, yatırımın istenen süre içinde ve ekonomik olarak gerçekleşmesi için hangi işlemlerin daha kontrollü olarak yapılacağını bilinmesinden dolayı yatırımın ve işletmenin, teknolojinin hızla geliştiği bu çağda her türlü olanaklardan yararlanarak geniş maksatlı programlara göre yapılması gerekmektedir. Hazırlanan programlar; stratejik ve taktik olmak

üzere iki gruba ayrılırlar. Stratejik planlar yatırımın bir bölgesini kapsarlar ve çeşitli yerlerde uzun vadeli planlarla birleştirilerek, genel plana uygunluğu kontrol edilir. Kısa ve uzun vadeli planlar; açık, basit, anlaşılabilir, esnek, kontrol edilebilir olmalıdır. Yatırımın çeşitli yerlerinde görev ve sorumluluk alanlar, kendi işlerinin uzun ve kısa vadeli plan hedeflerine göre yürütmekle yükümlüdürler. Bu sorumlulukları kendilerine verebilmek içinde onlara yardımcı olacak bilgi ve planların verilmesi de artık modern işletmenin temel prensibi olmuştur.

Kritik yürünge CPM-PERT metotları bu ihtiyaçtan doğan modern plan metotlarıdır. İdareciler tesirli karar verebilmek için doğru, zamanında bilgi sahibi olmak zorundadırlar. Bir karar vermeden önce bazı sorular ortaya atılmalıdır. Örneğin;

- Takip edilecek değişik bir yol var mıdır?
- Her yolun maliyeti nedir?
- Tehlikeleri nedenlerdir?
- Ne zaman karar verilmelidir?
- Karar geciktiği zaman sonuçta neler olabilir?

Projeler için daha iyi planlar geliştirilmesi, kaynakların proje faaliyetlerine daha ekonomik tahsisi ve projenin bütün evrelerinin daha yakından kontrolü için yollar bulunmalıdır. Bunlar bir yolculuğun yönetimi bir araştırma programına nezaret, uzayda bir yolculuğun yönetimi vb. işler için geçerlidir. H.L. Gantt üretim denetlemesi üzerinde yaptığı çalışmalar sırasında günümüzde projeleri denetlemek için kullanılan GANTT cetvellerini geliştirmiştir. Amerikan Deniz Kuvvetlerinin özel projeler bürosu PERT'in geliştirilmesinde büyük rol oynamıştır. 1950 yılında Amerikan hükümeti atom gücüne dayanarak çalışacak denizaltı projelerine başlanmış. 1958 yılı temmuz ayında PERT metodu tamamlanmış ve aynı yıl polanis projesine uygulanmış ve Polanis denizaltısı ilk planlanan tarihten iki yıl önce tamamlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 PERT (Program Evaluation and Rewiev Technique)

Tekrarlanmayan işler ve süreçler ne bundan önce ne de bundan sonra bir kere daha tekrarlanmayacak işlerdir. PERT daha önce planlanmış olan bir işi, zamanında başarmak için mevcut kaynakların planlaması ve bütçe için kullanılmasıdır. Bu metotta hiç bir faaliyet daha önce başlayamaz. Bu teknik ile; çalışmalara engel durumlara ulaşma olasılığının ne olduğu, proje uygulanırken hali hazırda bulunan dar boğazların nerede olduğu, programdaki sapmaların nerede olduğu kolayca saptanabilir.

2.2 CPM (Critical Path Method)

Kritik yürünge ile şebekenin bütün faaliyet sürelerinin bilinmesi gereklidir. Oysa bazı faaliyetlerin süreleri kesin olarak bilinmez. Eğer süresi bilinmeyen bu faaliyet yürünge üzerinde yer almıyorsa, bulunduğu düğüm noktası üzerinde büyük zaman farklılıkları varsa CPM'den

yararlanılabilir. Ancak, bu süresi belirsiz faaliyet kritik yürünge üzerinde yer alıyorsa, yatırım tamamlanma süresinin tayini bile olanaksızdır. Bu zamanlarda yatırımların planlanmasında PERT metodu kullanılır. PERT metodunda bilindiği üzere belirsiz süreler bulunabilmekte ve yatırım toplam süresinin programa göre yüzde kaç ihtimal ile tamamlanabileceği hesaplanmaktadır. CPM metodu, şebeke prensipleri içinde PERT metodu ile kullanılan bir planlama ve kontrol metodudur. CPM'in en büyük özelliği projelerin planlama ve kontrolüne maliyet faktörünün katılmasıdır. Zamandan tasarruf sağlandığı takdirde maliyetten de tasarruf sağlanır.

2.3 Gantt Diyagramı

Bu diyagramda planlanmış işin adımını oluşturan faaliyetler, süreyle doğru orantılı olarak yatay şerit ile gösterilirler. İşlem sırası yukarıdan aşağıya, zaman akışı soldan sağa doğrudur.

Süreleri belirtilen A-N işlem dizininden oluşan uygulama projesinde: A işleminin 2; B işleminin 2; C işleminin 1; D işleminin 3; E işleminin 2; F işleminin 1; G işleminin 1; H işleminin 1; I işleminin 0.5; J işleminin 1; K işleminin 1; L işleminin 0.5; M işleminin 1; ve N işleminin 2 haftada tamamlandığı görülmektedir (Şekil 1).

Şekil 1 Gantt diyagramında proje sürelerinin belirlenmesi

3. METOD UYGULAMASI

3.1 CPM-PERT Metodu ile Ağın Oluşturulması

Ağ çözümlene yöntemleri bir projeyi oluşturan işlemlerin mantıksal sırasını ve bu işlemler arasındaki ilişkileri belirten grafik planlama ve izleme yöntemleridir. Ağ çözümlene yöntemlerinin amacı, özellikle karmaşık projeler için, yapılacak işlerin açıkça ve kesinlikle tanımlanması, projenin toplam süresini etkileyen ve üzerinde özellikle durulması gereken kritik işlemlerin saptanması, her işlemin başlama ve bitme zamanlarında, toplam süreyi etkilemeksizin, hoş görülebilecek değişikliklerin saptanması, planlama döneminde öngörülen sürelerin uygulama sırasında uğradıkları değişikliklerin sonuçlarını değerlendirmeye yol ve zamanında önlem almaya olanak sağlanması, kaynaklardan en iyi yararlanma yolunun seçilmesi, işin gerçekleştirilmesi için gerekli bütçe ve finansman programının düzenlenmesi, uygulama sırasında gerçekleşen maliyetlerin gelişmesini ölçüp toplam maliyete etkilerini hesaplayarak proje maliyetinin izlenmesi olanaklarını sağlayarak planlama ve izlemede yönetime yardımcı olmaktadır. Ağ çözümlene yönteminin temelinde;

Tablo 1 Faaliyet Programı

Faal No	İşlem	Faaliyet Adı	Süre Hafta
0-1	A	Yer teslimi ve inşaat ruhsatının alınması	2
1-2	B	Şantiyenin kurulması ve arazinin çit ile çevrülmesi	2
1-3	C	İnşaat malzemelerinin ve köprü korkuluk profillerinin siparişi	1
2-4	D	Temel kazıları	3
2-5	E	Düz yüzeyli kalıp yapılması	2
2-6	F	İnce çaplı betonarme demir işleri	1
2-7	G	Kalın çaplı betonarme demir işleri, 30 mm F demirlerin manşonla ekle	1
3-11	Kukla	Kukla faaliyet	0
4-8	H	Köprü taşıyıcı sistemlerinin yapılması	1
4-9	I	Ahşap kalıp iskele yapımı	0.5
5-10	J	200 dozlu curuf betonu	1
5-11	K	B. 160 demirli beton yapımı	1
6-11	Kukla	Kukla faaliyet	0
7-11	Kukla	Kukla faaliyet	0
8-10	Kukla	Kukla faaliyet	0
9-8	Kukla	Kukla faaliyet	0
10-11	Kukla	Kukla faaliyet	0
11-12	L	Köprü korkuluk ve profil montajı	0.5
12-13	M	2 kat sülyen ve özel boya ile korkulukların boyanması	1
12-14	N	Şantiyenin sökülmesi ve çevre düzenlenmesi	2

planlama, çözümlene ve eleştirme, yükleme veya kaynakların dağılımı, izleme süreçleri vardır. Bunlardan çözümlene yükleme ve hatta izleme gerektiğinde bilgisayar yardımı ile yürütülebilir. Ancak, planlama ve eleştirme düşünce işlemleri olduğu

için mutlaka insan eli ile yapılmalıdır. Bir projenin başlangıcı ile bitimi arasındaki çeşitli yollardan, üzerindeki işlem sürelerinin toplamı en uzun olanına **Kritik Yörünge**, bu yol üzerindeki olaylara **Kritik Olay** ve bu olaylar arasındaki işlemlere **Kritik İşlem** denir. Projenin toplam süresini kritik yörünge üzerindeki işlem sürelerinin toplamı belirler. Diğer bir deyişle kritik işlemlerin süreleri değişmedikçe projenin toplam süresi aynı kalır, herhangi biri uzarsa projenin bitiminde aynı oranda değişir. Kritik yörünge; faaliyetin en erken, en geç tamamlanma zamanlarının birbirlerine eşit olması $(TE)_i = (TG)_j$ faaliyetlerin başlangıç noktasının tamamlanma zamanına faaliyet süresi eklenirse faaliyetin bitiş noktasının tamamlanma zamanı $(TE)_i + tij = (TE)_j$ elde edilmelidir. Bu iki şartı birden sağlayan faaliyetler kritik faaliyetlerdir.

Ağ diyagramı, gerçekleşmesi istenen durumun kağıda çizilmiş bir modeli olduğu için üzerinde denemeler yapılması böylece değişik koşulların çeşitli etkilerinin araştırılıp eleştirilmesi ve en uygununun program olarak seçilmesi olanağını sağlar. Ayrıca bütün bu programlama süreci, matematiksel bir çözümlene olması nedeniyle bilgisayarla otomatik olarak ve kısa sürede yapılabilir. Bir projeyi canlandırarak olan mantıksal ağın çizilebilmesi için bütün işlemlerin belirlenip bir liste oluşturulmalıdır. Sonra bu işlemlerden biri ele alınarak bir ok ile gösterilir ve "hangi işlemlerin bundan önce yapılmış olması zorunluluğu vardır?", "Hangi işlemler bunu izlemek zorundadır?", "Hangi işlemler bununla birlikte yapılır?" gibi sorulara cevap aranır. Aynı işlemler her işlem için tekrarlanarak ağ örgüsü tamamlanır.

Önceden saptanmış olan işlemlerin her biri ayrı ayrı ok ile gösterilerek aralarındaki mantıksal ağ çizilir. Burada çizili olan her ok bir işlemi ifade eder. Bu okların birleştiği daireler ise bir olayı ifade eder. Olaylara verilen numaralar büyükten küçüğe doğru verilir. Küçük numaralı olaylar büyük numaralı olayların sol tarafında kalacak şekilde dizilir. Mantıksal açıdan doğru ve iyi planlandığına inanılan ağ örgüsünde yer alan olay ve işlemlere tek tek hesaplanan işlem süresi, olay, işlem numaraları verilir. Süreler ilgili okun altına, işlem numarası okun üst kısmına gelecek şekilde konur. Olay numarası ise dairenin içine yazılır.

Ağ seriminde her olay için en erken başlama $(TE)_i$, erken bitme $(TE)_j$; en geç başlama $(TG)_i$, en geç bitme $(TG)_j$ süreleri mümkün ise olay kutucuklarının üst kısmına yazılır. Köprü projesinde bazı olaylarda $(TE)_j = (TG)_j$ ve $(TE)_i = (TG)_i$ olacaktır. Bu olaylar sırası ile 0, 1, 2, 4, 8, 10, 11, 12, 14'dür. Bu

olayların birleşmesi ile oluşan yörüngeye Kritik Yörünge denir. Kritik işlemlerin toplamı da Proje Toplam Süresi'ni belirler. Bu projenin toplam süresi: $2+2+3+1+0.5+2=10.5$ haftadır (Şekil 2).

Şekil 2 CPM-PERT metodu ile ağın oluşturulması

3.2 Faaliyetlerin Bolluklarının Hesaplanması

Bir faaliyetin yararlanılabilecek süre ile işlem süresi arasında zaman farkı varsa bu işlemin bolluğu vardır. Toplam Bolluk, Serbest Bolluk, Bağımsız Bolluk ve Ara Bolluk olmak üzere dört çeşit bolluk vardır (Tablo 2 ve Tablo 3).

Tablo 2 Toplam Bolluk ve Serbest Bolluk Hesapları

Toplam Bolluk (TB)= (TG) _i - ((TE) _i + tij)		Serbest Bolluk (SB)= ((TE) _i - ((TE) _i + tij)	
0-1	2- (0+2)=0	0-1	2- (0+2)=0
1-2	4- (2+2)=0	1-2	4- (2+2)=0
1-3	8- (2+1)=5	1-3	3- (2+1)=0
2-4	7- (4+3)=0	2-4	7- (4+3)=0
2-5	7- (4+2)=1	2-5	6- (4+2)=0
2-6	8- (4+1)=3	2-6	5- (4+1)=0
2-7	8- (4+1)=3	2-7	5- (4+1)=0
3-11	8- (3+0)=5	3-11	8- (3+0)=5
4-8	8- (7+1)=0	4-8	8- (7+1)=0
4-9	8- (7+0.5)=0.5	4-9	7.5- (7+0.5)=0
5-10	8- (6+1)=1	5-10	8- (6+1)=1
5-11	8- (6+1)=1	5-11	8- (6+1)=1
6-11	8- (5+0)=3	6-11	8- (5+0)=3
7-11	8- (5+0)=3	7-11	8- (5+0)=3
8-10	8- (8-0)=0	8-10	8- (8-0)=0
9-8	8- (7.5+0)=0	9-8	8- (7.5+0)=0.5
10-11	8- (8+0)=0	10-11	8- (8+0)=0
11-12	8.5- (8+0.5)=0	11-12	8.5- (8+0)=0
12-13	10.5- (8.5+1)=1	12-13	9.5- (8.5+1)=0
12-14	10.5- (8.5+2)=0	12-14	10.5- (8.5+2)=0
13-14	10.5- (9.5+0)=1	13-14	10.5- (9.5+0)=1

Tablo 3 Bağımsız Bolluk ve Ara Bolluk Hesaplanması

Bağımsız Bolluk (BB)= (TE) _i - ((TG) _i + tij)		Ara Bolluk (AB)= (TG) _i - ((TG) _i + tij)	
0-1	2- (0+2)=0	0-1	2- (0+2)=0
1-2	4- (2+2)=0	1-2	4- (2+2)=0
1-3	3- (2+1)=0	1-3	8- (2+1)=5
2-4	7- (4+3)=0	2-4	7- (4+3)=0
2-5	6- (4+2)=0	2-5	7- (4+2)=1

2-6	5- (4+1)=0	2-6	8- (4+1)=3
2-7	5- (4+1)=0	2-7	8- (4+1)=3
3-11	8- (8+0)=0	3-11	8- (8+0)=0
4-8	8- (7+1)=0	4-8	8- (7+1)=0
4-9	7.5- (7+0.5)=0	4-9	8- (7+0.5)=0.5
5-10	8- (7+1)=0	5-10	8- (7+1)=0
5-11	8- (7+1)=0	5-11	8- (7+1)=0
6-11	8- (8+0)=0	6-11	8- (8+0)=0
7-11	8- (8+0)=0	7-11	8- (8+0)=0
8-10	8- (8+0)=0	8-10	8- (8+0)=0
9-8	8- (8+0)=0	9-8	8- (8+0)=0
10-11	8- (8+0)=0	10-11	8- (8+0)=0
11-12	8.5- (8+0.5)=0	11-12	8.5- (8+0)=0
12-13	10.5- (8.5+1)=1	12-13	10.5- (8.5+1)=1
12-14	10.5- (8.5+2)=0	12-14	10.5- (8.5+2)=0
13-14	10.5- (10.5+0)=0	13-14	10.5- (10.5+0)=0

Tablo 4 Sonuç Çizelgesi

Faaliyet No	i		j		Faaliyet süresi (tij)	Faaliyet Bolluğu				Faaliyet			
	TE	TG	TE	TG		TB	SB	BB	AB	(te) _i	(tg) _i	(te) _j	(tg) _j
1-0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2
1-2	2	2	4	4	2	0	0	0	0	2	2	4	4
1-3	2	2	3	8	1	5	0	0	5	2	7	3	8
2-4	4	4	7	7	3	0	0	0	0	4	4	7	7
2-5	4	4	6	7	2	1	0	0	1	4	5	6	7
2-6	4	4	5	8	1	3	0	0	3	4	7	8	8
2-7	4	4	8	8	1	3	0	0	3	4	7	8	8
3-11	3	8	8	8	0	5	5	0	0	3	8	3	8
4-8	7	7	8	8	1	0	0	0	0	7	7	8	8
4-9	7	7	7.5	8	0.5	0.5	0	0	0.5	7	7	7.5	8
5-10	6	7	8	8	1	1	1	0	0	6	7	7	8
5-11	6	7	8	8	1	1	1	0	0	6	7	8	8
6-11	5	8	8	8	0	3	3	0	0	5	8	5	8
7-11	5	8	8	8	0	3	3	0	0	5	8	5	8
8-10	8	8	8	8	0	0	0	0	0	8	8	8	8
9-8	7.5	8	8	8	0	0.5	0.5	0	0	7.5	8	7.5	8
10-11	8	8	8	8	0	0	0	0	0	8	8	8	8
11-12	8	8	8.5	8.5	0.5	0	0	0	0	8	8	8.5	8.5
12-13	8.5	8.5	9.5	10.5	1	1	0	1	1	8.5	9.5	10.5	10.5
12-14	8.5	8.5	10.5	10.5	2	0	0	0	0	8.5	8.5	10.5	10.5
13-14	9.5	10.5	10.5	10.5	0	1	1	0	0	9.5	10.5	9.5	10.5

En Erken Başlama Zamanı (te)_i = (TE)_i

En Geç Başlama Zamanı (tg)_i = (TG)_i + AB_{ij}

En Erken Tamamlanma Zamanı (te)_j = SB_{ij}

En Geç Tamamlanma Zamanı (tg)_j = (TG)_j

3.3 Sonuç Çizelgesi

Bir projeyi oluşturan tüm işlemlerin, en erken ve en geç başlama ve tamamlanma zamanları ile bolluklar bu çizelgede toplanır. Öncelikle her işlem çizelgeye işlenir. Tüm işlemlerin en erken ve en geç başlama ve tamamlanma zamanları hesaplanıp çizelgeye işlenir. Son olarak, bolluklar hesaplanır. Bolluk işlem zamanları aralarındaki farktır. Olay zamanları aralarındaki fark ise boşluktur (Tablo 4).

Sonuç itibari ile, tüm veriler sonuç çizelgesine işlenir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere 1-0, 1-2, 2-4, 4-8, 8-10, 10-11, 11-12, 12-14 faaliyet bolluklarının hepsi 0'dır. Bollukların tümünün 0 olması bu faaliyetlerin kritik faaliyet olduğunu gösterir.

3.4 Olay ve İşlem Zamanının Kalıba İşlenmesi

Kritik yörüngenin tayininde başka metotlar da mevcuttur. Bunlardan birisi de matris metodudur. Matris metodunda şebekenin düğüm noktasına eşit olan bir kare matris kullanılır. Üstüne ve soluna, düğüm noktasının numaralarını yazmak amacı ile bir satır ve bir sütun ilave edilir. Matrisin sol koluna eklenen kolon faaliyetlerinin başlangıç numarası olan (i)'yi üstüne ilave edilen satır ise faaliyetin bitiş numarası olan (j)'yi gösterir.

Bu şekildeki her faaliyete matriste bir göz karşı gelmektedir. Örneğin; (4-8) faaliyetinin yeri 4. satır 8. kolondur. Sol diagonal üzerindeki gözlerle herhangi bir faaliyet karşı gelmediği için bir çizgi ile kapatılmıştır. Düğüm noktalarının en erken tamamlanma zamanı (TE)'ler matrisin soluna ve yukarıdan aşağıya doğru; en geç tamamlanma zamanı (TG)'ler sağdan sola doğru yazılır ve işlenir. Faaliyetlerin süreleri ait oldukları gözlerle yazılarak TE ve TG ler hesaplanır (Tablo 5).

Düğüm noktalarının en erken tamamlanma zamanları şöyle hesaplanır. I kolonunda 1. satırın yanına TE=0 yazılır. 2. satırda diagonale kadar gidilir ve diagonal çizgisinden 2. kolon boyunca yukarıya çıkılır. Burada bulunan 2 hizasına gelindikten sonra aynı satırdan geri dönülerek (sola) bu satır hizasındaki TE (1. satır TE=0) değerine 2 eklenerek 2. satırdaki TE değeri elde edilir ve 2. satır hizasına yazılır. $(TE)_2 = 2+0 = 2$ $(TE)_3 = 2+2=4$ ve işlemler devam eder. Bu şekilde diğer olayların TE süreleri bulunur.

Düğüm noktalarının en erken ve en geç tamamlanma süreleri matrisin sağ alt köşesinden başlanarak ters yönden çıkartma işlemi yapılarak hesaplanır. Şebekenin 14 nolu son düğüm noktasında $(TE)_{14}=(TG)_{14}=10.5$ hafta olduğu için matrisin 14. kolonunun altına 10.5 yazılır. Bir önceki 13 nolu düğüm noktasının TG değeri 12-14 nolu faaliyet yüzünden 10.5'dur. 12 nolu düğüm noktasının TG

değerini hesaplamak için 12. kolonun altından diagonale kadar inilir, buradan sağa gidilerek 1 ve 2 rakamına gelinir. $TG = 10.5$ 'dan bu sayılar çıkartılarak 12 nolu düğüm noktasına ait değer; $(TG)_{12}=10.5-1 = 9.5$ $(TG)_{12}=10.5-2 = 8.5$ olarak bulunur ve değer olarak 8.5 alınır. Bu şekilde diğer olayların TG süreleri bulunur. TE ve TG değerleri birbirlerine eşit olan düğüm noktaları kritiktir ve "k" harfi ile gösterilip, işaretlenir (Tablo 6).

Tablo 5 Kritik Yörüngenin Matris Metodu İle Tayini

TE	i \ j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0		k													
2	1		2	k												
4	2			2	1	k										
7	3					3	2	1	1							
3	4									k	0.5					
8	5											1	1			
7	6													0		
5	7													0		
5	8											k				
8	9									0						
7.5	10												k			
8	11												0	k		
8.5	12														1	2
10.5	13															0
9.5	14															
TG	i \ j	0	2	4	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8.5	10.5

Faliyetlerin süreleri matrisin ilgili karelerinin içine yazıldıktan sonra TE ve TG değerlerinin bulunması çok basit ve her defasında aynı işlemlerin yapılması nedeni ile matris metodunun kritik yörünge tayininde kullanılması ilgi toplamıştır. Bu metot kullanıldığı zaman, şebekedeki düğüm noktalarının yanına zamanlar için dikdörtgenler çizilmekte ve TE'ler ok yönünde TG'ler için ise okların tersi yönünde, şebekenin lojik bağlantılarına göre iki kere yapılmamaktadır.

Tablo 6 İşlemler

TE		TG	
0 için (0-1) 0	10 için (5-10) 6+1=7	0 için (0-1) 2-2=0	5 için (5-11) 8-1=7
1 " (0-1) 0+2=2	10 " (8-10) 8+0=8	1 " (1-2) 4-2=2	6 " (6-11) 8-0=8

2 “ (1-2) 2+2=4	11 “ (5-11) 8+1=7	1 “ (1-3) 8-1=7	7 “ (7-11) 8-0=8
3 “ (1-3) 2+1=3	11 “ (6-11) 5+0=5	2 “ (2-4) 7-3=4	8 “ (8-10) 8-0=8
4 “ (2-4) 4+3=7	11 “ (7-11) 5+0=5	2 “ (2-5) 7-2=5	9 “ (9-8) 8-0=8
5 “ (2-5) 4+2=6	11 “ (10-11) 8+0=8	2 “ (2-6) 8-1=7	10 “ (10-11) 8-0=8
6 “ (2-6) 4+1=5	11 “ (3-11) 3+0=3	2 “ (2-7) 4+1=5	11 “ (11-12)8.5-.5=8
7 “ (2-7) 4+1=5	12 “ (11-12) 8+.5=8.5	3 “ (3-11) 8-0=8	12 “ (12-14)10.5-2=8.5
8 “ (4-8) 7+1=8	13 “ (12-13) 8.5+1=9.5	4 “ (4-8) 8-1=7	13 “ (13-14)10.5-0=10.5
8 “ (9-8) 7.5+0=7.5	14 “ (12-14) 8.5+2=10.5	4 “ (4-9) 8-0.5=7.5	14 “ 10.5-0=10.5
9 “ (4-9) 7+.5=7.5	14 “ (13-14) 9.5+0=9.5	5 “ (5-10) 8-1=7	

Tablo 7 Çözümleme Çizelgesi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
İşlem tanımı	I	j	tij	TEi	TEj	TGi	TGj	TGi+tij	TEi+tij	toplam bolluk	uç bolluk	serbest bolluk	kuyruk bolluk	ara bolluk	bağımsız bolluk
								(7+4)	(5+4)	(8-10)	(8-6)	(6-10)	(7-5)	(8-9)	(6-9)
A	0	1	2	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0
B	1	2	2	2	4	2	4	4	4	0	0	0	0	0	0
C	1	3	1	2	3	2	8	3	3	5	5	0	0	5	0
D	2	4	3	4	7	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0
E	2	5		4	6	4	7	6	6	1	0	0	0	1	0
F	2	6	2	4	5	4	8	5	5	3	3	0	0	3	0
G	2	7	1	4	5	4	8	5	5	3	3	0	0	3	0
kukla	3	11	1	3	8	8	8	8	3	5	0	5	0	0	0
H	4	8	0	7	8	7	8	8	8	0	0	0	0	0	0
I	4	9	1	7	7.5	7	8	7.5	7.5	0.5	5	0	0	0.5	0
J	5	10	0.5	6	8	7	8	8	7	1	0	1	1	0	0
K	5	11	1	6	8	7	8	8	7	1	0	1	1	0	0
kukla	6	11	1	5	8	8	8	8	5	3	0	3	3	0	0
kukla	7	11	0	5	8	8	8	8	5	3	0	3	3	0	0
kukla	8	10	0	8	8	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0
kukla	9	8	0	7.5	8	8	8	8	7.5	0.5	0	0.5	0	5	0
kukla	10	11	0	8	8	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0
L	11	12	0	8	8.5	8	8.5	8.5	8.5	0	0	0	0	0	0
M	12	13	0.5	8.5	9.5	8.5	10.5	9.5	9.5	1	1	0	0	1	0
N	12	14	2	8.5	10.5	8.5	10.5	10.5	10.5	0	0	0	0	0	0
kukla	13	14	0	9.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	1	0	1	1	0	0

3.5 Çözümleme Çizelgesi

Olay ve işlem zamanlarının matrisine işlenmesinden sonra bu toplama çıkartma işlemlerinden oluşan hesaplarda karışıklık olmaması amacı ile yapılan bir çizelgedir (Tablo 7).

Çözümleme çizelgesinde sıra ile (kolon- kolon) 1. işlemin tanımı (işlem listesinden) 2. işlemin “I” değeri (işlem listesinden) 3. işlemin “j” değeri (işlem listesinden) 4. işlemin süresi “tij” değeri (işlem listesinden) 5. işlemin en erken başlama zamanı “TE_i” 6. işlemin en geç tamamlanma zamanı “TG_i” 8. işlemin en geç tamamlanma süresi ile işlem süresinin toplamı 10. işlemin en erken başlama süresi ile işlem süresinin toplamı 11. toplam bolluk (8-10) 12. uç bolluk (8-6) 13. serbest bolluk (6-10) 14. kuyruk bolluğu (7-5) 15. ara bolluk (8-9) 16. bağımsız bolluk (6-9).

3.6 Ağ Örgüsünün Çubuk Diyagrama Dönüştürülmesi

Ağ örgüsünün özelliklerinin yitirmeden çubuk diyagrama dönüştürülmesi, işlemler arasındaki ilişkilerin kuyruk (i) ve uç (j) olay numaralarının kullanılarak belirtilmesi temeline dayanır. Bunun için ağ örgüsünün daha önce çözümlenmiş, en erken ve en geç başlama ve tamamlanma zamanlarının belirlenmiş olması gerekir.

1. Adım: Zaman eksenini üstte ve soldan sağa; numara sırası solda ve yukarıdan aşağıya doğru gelişen bir çubuk diyagramı çerçevesi hazırlanır. Çerçevenin sol yanına işlem numaraları ve süreleri yazılır. Bu çerçeveye işlemler, süreleri ve numaraları küçükten büyüğe doğru gerçekleştirilecek şekilde yazılır.

2. Adım: Çizelgedeki ilk işlem çubuk diyagramına sol ucu “0” birim bölmesinin hizasında olacak ve sağ ucu Te_j yani Te_i + tij’ye denk gelecek şekilde

yerleştirilir. Dolu çizgisiyle gösterilen çubukun başına ve sonuna işlemin kuyruk ve uç numaraları yazılır. Sonra çubuk, işlemin Tg_j süresine kadar kesik çizgi ile uzatılır. İşlemler sıra ile karşılardaki satırlara işlenirler. Kritik faaliyetlerin belli olması için renkli kalemle belirtilir (Şekil 3).

3.7 Yatay Ok Diyagramı

Ağ diyagramı ile çubuk diagramının özelliklerini bağdaştıran bir başka çözümdür. Olayların zaman ekseninde denk geldikleri yerlere oturturularak işlem oklarının bunlara göre yerleştirilmesi ile oluşturulur. Bu tür ağ örgülerinde kritik olaylar kesinlikle bellidir. Bu diagramda işlem okları yatay iz düşümlerinin süreleriyle orantılıdır. Her okun boyu ilgili işlemin süresini gösterir. Yatay ok diyagramında:

1. Olay ile olaydan çıkan işlemlerden ilkinin başlangıcı arasındaki fark olayın boşluğunu,
2. İşlem ucu ile onu izleyen olay arasındaki fark bağımsız bolluğu,
3. Kuyruk işleminin boşluğu ile bağımsız bolluğun toplamı serbest payı,
4. Serbest pay ile uç olayı boşluğunun toplamı toplam payı göstermektedir (Şekil 4).

3.8 Finansman Programı

Projenin yürütülmesinde gerekli mali kaynakların altında bulundurulması zorunlu olan zamanları gösteren finansman programı, işlem maliyetinin her hafta veya her ay başlama ve tamamlanma tarihlerinde en erken ve en geç işlem zamanlarına göre birikmiş değerlerini hesaplayarak saptanır.

Proje doğrultusunda finansman programı düzenlenmiş ve her maliyet kaleminin tahmini maliyetleri hesaplanarak yazılır. Bayındırlık Bakanlığı 1994 yılı Birim Fiyatları üzerinden hesaplanan bu projenin toplam maliyeti 786.833.850-TL olarak bulunmuştur (Tablo 8, 9, 10).

Tablo 8 Finansman Programı

işlem	faal no	faaliyet adı	maaliyet
A	0-1	Yer teslimi ve inşaat	0

		ruhsatının alınması	
B	1-2	Şantiyenin kurulması,elektrik,su tesisatının yapılması, şantiye alanını tel ile çevrilmesi -	139.144.080
C	1-3	İnşaat malz.ve köprü korkuluk profil siparişi	0
D	2-4	Temel Kazıları	126.890.300-
E	2-5	Düz yüzeyli kalp yapılması	60.639.924-
F	2-6	0.8-12 mm. çaplı ince betonarme işi yapılması	18.357.840-
G	2-7	14 mm. çaplı kalın betonarme işin yapılması ve 30 mm. çaplı demirlerin manşon ile eklenmesi	128.851.280-
H	4-8	Köprü taşıyıcı sistemlerinin yapılması	26.504.852-
I	4-9	Ahşap iskele yapımı	24.608.904-
J	5-10	200 Dozlu cüruf betonunun yapılması	71.576.960-
K	5-11	B-160 Demirli beton yapımı	44.386.800-
L	11-12	Köprü korkuluk ve profil yapımı	41.586.960-
M	12-13	2 kat sülyen ve özel boya ile korkuluk boyanması	2.295.600-
N	13-14	Şantiyenin sökülmesi ve çevre düzenlemesi	30.480.000-

Tablo 9. Sonuç çizelgesinden TE_j'leri büyükten küçüğe doğru sıralayarak hem işlemin maliyeti hem de birikmiş maliyet TL olarak hesaplanır ve yazılır. Tablo 10. Sonuç çizelgesinden TG_j'leri büyükten küçüğe doğru sıralayarak hem işlemin maliyeti hem de birikmiş maliyet TL olarak hesaplanır ve yazılır.

Sonuç olarak TE_j ve TE_j değerleri grafik haline getirilir. Grafik X ekseninde haftalar, Y ekseninde ise birikmiş maliyetler yer alacak şekilde oluşturulur (Şekil 5).

4. SONUÇ

CPM-PERT metodu ile planlamak üzere seçilen Ankara ili Delice İlçesi Merkezi Kuru Çayı Köprüsü'nün yapılan planlamalar neticesinde 10.5 haftada tamamlanıp 786.833.850-TL'na mal olacağı ortaya çıkmıştır.

Şekil 3 Ağ örgüsünün çubuk diyagrama dönüştürülmesi

Şekil 4 Yatay ok diyagramında ağ örgüsünün çubuk diyagrama dönüştürülmesi

Tablo 9 Hesaplamalar

faal no	TE _i	birim işlem maliyeti	birikmiş maliyet
0-1	2	0	0
1-3	3	0	0
1-2	4	139.144.080-	139.144.080-
2-6	5	18.357.840-	157.501.920-
2-7	5	128.851.280-	286.353.200-
2-5	6	60.639.924-	346.993.124-
2-4	7	126.890.300-	473.883.424-
4-9	7.5	24.608.904-	498.492.328-
4-8	8	26.504.852-	524.997.180-
5-10	8	71.556.960-	596.554.140-
5-11	8	44.386.800-	640.940.940-
11-12	8.5	41.586.960-	682.527.900-
12-13	9.5	2.295.600-	684.823.500-
12-14	10.5	30.480.000-	715.303.500-
		köprü inşaat zammı (toplamX0.10)	71.530.350-
		toplam maliyet	786.833.850-TL.

2-6	8	18.357.840-	345.032.144-
2-7	8	128.851.280-	473.883.424-
4-8	8	26.504.852-	500.388.276-
4-9	8	24.608.904-	524.977.180-
5-10	8	71.556.960-	596.544.140-
5-11	8	44.386.800-	640.940.940-
11-12	8.5	41.586.960-	682.527.900-
12-13	9.5	2.295.600-	684.823.500-
12-14	10.5	30.480.000-	715.303.500-
		köprü inşaat zammı (toplamX0.10)	71.530.350-
		toplam maliyet	786.833.850-TL.

Tablo 10 Hesaplamalar

faal no	TG _i	birim işlem maliyeti	birikmiş maliyet
0-1	2	0	0
1-2	4	139.144.080-	139.144.080-
2-4	7	126.890.300-	266.034.380-
2-5	7	60.639.924-	326.674.304-
1-3	8	0-	326.674.304-

5. KAYNAKLAR

Mader, J. J. 1983. Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagram 3.rd Edition.

Pilcher, R. 1992. Principles of Construction Management 3.rd. Edition.

Çetmeli, E. 1982. Yatırımların Planlamasında Kritik Yörünge Tayini CPM-PERT Metotları.

Şekil 5 En erken ve en geç tamamlama programına göre finansman programı

Heizer, J. H. 1983. Production and Operation Management 3rd Edition.

Sağın, S. K. 1974. Ağ Çözümleme Yöntemleri ve Planlama ve İzleme.