

Bulanık Hedef Programlama Yöntemi ile Süre-Maliyet-Kalite Eniyilemesi

Erkan Karaman, Serdar Kale

BAÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 10145, Çağış, Balıkesir

Tel: (266) 612 11 94

E-posta: ekaraman@balikesir.edu.tr skale@balikesir.edu.tr

Öz

Geleneksel iki boyutlu süre-maliyet değişim analizlerinde, kalite hiçbir şekilde göz önüne alınmamaktadır. Analizin başından sonuna kadar eşit bir kalite düzeyinin korunduğu bir varsayım olarak kabul edilmektedir. Özellikle bu varsayımdaki kalitenin eşitliği kabulü, her bir eylemdeki alternatif zaman-maliyet değişimlerinde de geçerlidir. İnşaat projelerinin planlanmasında genel yükleniciler, alt yükleniciler tarafından önerilen tekliflerin değerlendirmesini yaparken süre ve maliyet kriterinin yanında kaliteyi de hesaba katmak zorundadırlar. Alt yükleniciler tarafından verilen tekliflerde süre ve maliyet arasındaki ilişki kadar projenin kalitesi de önemli olmaktadır. Bu nedenle inşaat projelerinin planlanmasında ve kontrolünde süre-maliyet-kalite değişiminin analizi inşaat proje yönetiminin en önemli konularından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Süre ve maliyeti minimum yapmaya çalışırken kalitenin maksimumda tutulmaya çalışılması ve süre ile maliyet arasındaki ters yönlü ilişki inşaat projelerinin yönetilmesini iyice karmaşıklaştırmaktadır. Süre-maliyet-kalite arasındaki bu karmaşık ilişkinin tam olarak tanımlanması için bu üç kriterin ortak analizini yapılarak en uygun çözümün bulunması gerekir. Bu çalışmada, bir inşaat projenin kalitesi, süresi ve maliyeti arasındaki ilişkinin nasıl olduğu bulanık hedef programlama yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

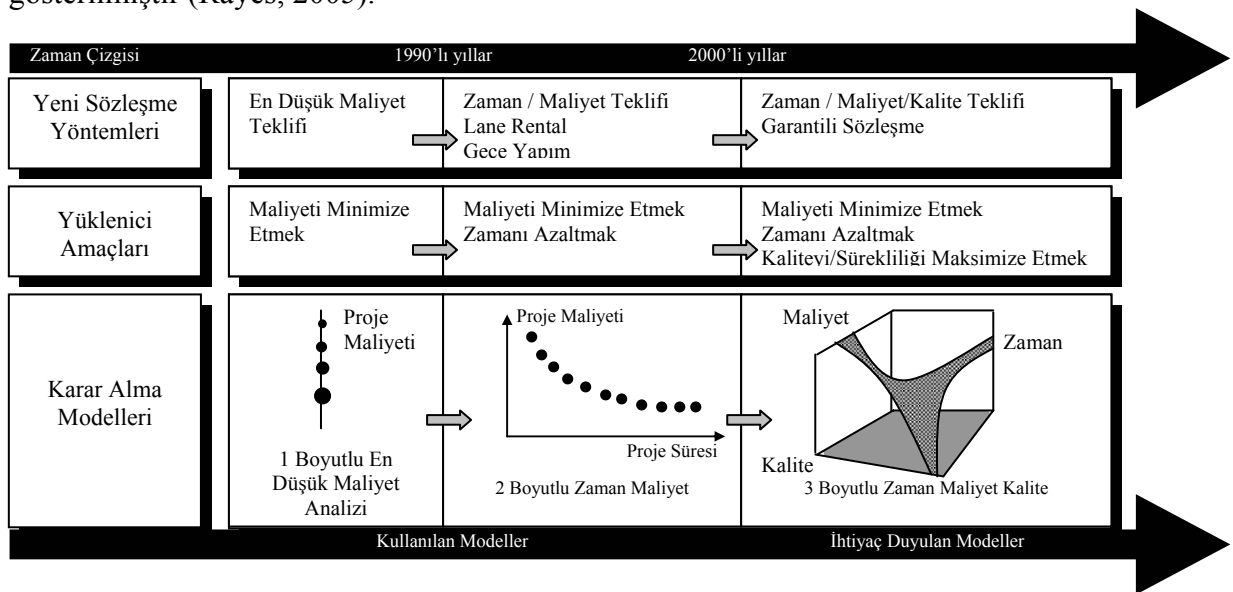
Anahtar sözcükler: Süre-Maliyet-Kalite Eniyilemesi, Bulanık Hedef Programlama

Giriş

İnşaat projelerinin planlanmasında ve kontrolünde süre-maliyet değişiminin analizi inşaat proje yönetiminin en önemli konularından biridir. Süre ile maliyet arasında ters yönlü bir ilişkinin olması yani maliyet azaltıldığında eylemin tamamlanması için gereken sürenin artması proje yöneticilerini optimum çözümü bulma arayışına sokmuştur. Geleneksel iki boyutlu, kalite hiçbir şekilde göz önüne alınmamaktadır. Bu yüzden süre-maliyet değişim analizlerinde eşit bir kalite düzeyinin korunduğu varsayımı yapılmaktadır. Özellikle bu varsayımdaki kalitenin eşitliği kabulü, her bir eylemdeki alternatif zaman-maliyet değişimlerinde de geçerlidir. İnşaat projelerinin planlanmasında genel yükleniciler, alt yükleniciler tarafından önerilen tekliflerin değerlendirmesini yaparken süre ve maliyet kriterinin yanında kaliteyi de hesaba katmak zorundadırlar. Alt yükleniciler tarafından verilen tekliflerde süre ve maliyet arasındaki ilişki kadar projenin kalitesi de önemli olmaktadır. Süre-maliyet değişim

analizlerine kalite kriterinin de katılacağı üç boyutlu bir modelin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Günümüzde inşaat projelerinin planlanmasında ve kontrolünde süre-maliyet-kalite değişiminin analizi inşaat proje yönetiminin en önemli konularından biri haline gelmiştir. Süre ve maliyeti minimum yapmaya çalışırken kalitenin maksimumda tutulmaya çalışılması ve süre ile maliyet arasındaki ters yönlü ilişki inşaat projelerinin yönetilmesini iyice karmaşıklştırmaktadır. Süre-maliyet-kalite arasındaki bu karmaşık ilişkinin tam olarak tanımlanması için proje yöneticileri bu üç kriterin ortak analizini yaparak optimum çözümü bulmaya çalışmaktadırlar. Bu çalışmada, proje kalitesinin değişmesiyle süre ile maliyet arasındaki ilişkinin nasıl olduğu örnek bir proje ile incelenmiştir. Çok amaçlı optimizasyon ve hedef programlama teknikleri kullanılarak süre-maliyet-kalite değişimi üç boyutlu olarak incelenmiştir. İki boyutlu süre-maliyet değişim analizinden üç boyutlu süre-maliyet-kalite değişim analizine geçiş Şekil 1’de gösterilmiştir (Raves, 2005).



Şekil 1 İnşaat Sektöründe Yeni Sözleşme Yöntemlerinin Karar Almaya Etkisi (Raves, 2005)

Süre-Maliyet-Kalite Değişim Tekniği

Süre-maliyet değişim problemleri ilk olarak Kelley (1961) tarafından araştırılmış, günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından bu konu çalışılmıştır (Siemens 1971, Liu ve diğerleri 1995). 1996 yılında Babu ve Suresh tarafından süre-maliyet-kalite değişiminin analiz edildiği yeni bir doğrusal programlama yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemde proje maliyeti, kalite ölçüsü ve proje tamamlanma süresi arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabul edilmektedir (Khang ve Myint, 1999). 1996 yılından günümüze kadar proje yönetimi literatürlerindeki birçok çalışmada süre-maliyet-kalite değişimi incelenmiş ve optimum bir çözümün bulunması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Khang ve Myint, 1999; Raves ve Kandil, 2005; Tareghian ve Tahari, 2006).

Süre-maliyet-kalite değişim analizlerinin çözümünde en çok kullanılan yöntemlerden biri matematik programlama yöntemidir. Bu yöntem sınırlı kaynakların en etkin nasıl

kullanılacağıının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Bu tekniğe göre oluşturulmuş bir modellemede matematiksel ifadelerin tümü doğrusal eşitlik veya eşitliklerden oluşmaktadır. Matematiksel modelleme yöntemlerinden en çok kullanılanı hedef programlama tekniğidir. Hedef programlama tekniği ile hazırlanan bir modelde bulunması gereken üç ana unsuru vardır;

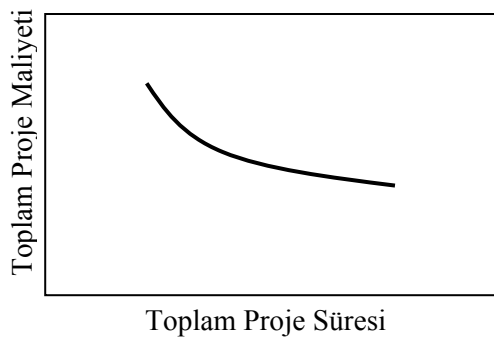
- Amaç fonksiyonu
- Kısıtlayıcılar fonksiyonu
- Negatif olmama koşulu

Bu çalışmada belirli bir inşaat projesine ilişkin eylem bazında alternatif süre-maliyet ve kalite değerleri tanımlanmıştır. Maksimum kalite altında süre ve maliyet arasındaki ilişkinin nasıl olduğunun belirlenmesi ve süre-maliyet-kalite fonksiyonlarının aynı anda çözümlenmesiyle projeye ilişkin optimum sonuçların elde edilmesi amaçlanmaktadır. Süre-maliyet-kalite fonksiyonlarının aynı anda çözümlenmesi için bulanık hedef programlama tekniklerinden faydalanılmıştır.

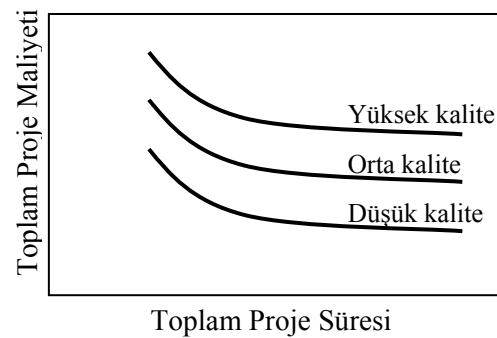
Kalite Ölçüm Yöntemi

Bu çalışmada, belirli bir proje kapsamında gerçekleştirilen eylemlerin kalitesi üzerinde durulacaktır. Kalite ölçülebilir bir kavram olarak varsayılmıştır. Ayrıca tasarım aşamasında, eylemlerin tamamlanmasında süre, maliyet ve kalite açısından bir seçimin olduğu varsayılmaktadır.

Geleneksel süre-maliyet değişim analizinde süre ile maliyet arasındaki değişim dışbükey bir eğri olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2). Bu eğrinin sabit bir örtülü kaliteyi içerdiği varsayılmaktadır. Eğer projedeki eylemler farklı kalite düzeylerinde tamamlanıyorsa zaman-maliyet-kalite değişimi Şekil 3'deki gibi dışbükey bir eğri olarak tanımlanmaktadır (Johnson ve Liberatore, 2006).



Şekil 2. Geleneksel Zaman-Maliyet Değişimi



Şekil 3. Zaman-Maliyet-Kalite Değişimi

İnşaat projelerindeki süre-maliyet-kalite değişimlerinde genellikle iki farklı model kullanılmaktadır; (1) Süre-maliyet-kalite arasındaki değişimin doğrusal ve sürekli olması durumu, (2) Süre-maliyet-kalite arasındaki değişimin doğrusal ve parçalı olması durumu. Bu çalışmada kullanılan örnek projede süre-maliyet-kalite arasındaki değişim doğrusal ve parçalı olarak tanımlanmıştır. Bu değişimin tanımlanmasında kullanılan matematiksel model doğrusal programlama tekniği kullanılarak çözülmüştür.

$$Q_{\min} = \min_{1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq n_i} \{q_{ij} : y_{ij} = 1\}$$

$$Q_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} q_{ij} y_{ij}}{N}$$
(1)

$\alpha = Q_{\min}$ için verilen ağırlık ($0 \leq \alpha \leq 1$)

$$Q_{\alpha} = \alpha Q_{\min} + (1 - \alpha) Q_{ort}$$

Denklem 1’de N ; projedeki eylem sayısı, n_i ; i-j eylemindeki alternatif sayısı, q_{ij} ; her bir i-j eyleminin kalitesini, y_{ij} (0 veya 1); her bir i-j eylemindeki alternatiflerden birinin seçim katsayısı, Q_{\min} ; minimum kalite, Q_{ort} ; ortalama kalite, Q_{α} ; proje kalitesi olarak tanımlanmıştır. Doğrusal programlama tekniğinde proje kalitesini (Q_{α}) maksimum yapmak için kullanılan amaç fonksiyonu ve sınır şartları Denklem 2 ve Denklem 3’te tanımlanmıştır.

Amaç fonksiyonu;

$$\text{Maksimum } Q_{\alpha} = \alpha Q_{\min} + (1 - \alpha) Q_{ort}$$
(2)

Sınır Şartları;

$$Q_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} q_{ij} y_{ij}}{N}$$

$$Q_{\min} \leq q_{ij} y_{ij} + M(1 - y_{ij}) \quad \forall i = 1, \dots, N, \quad \forall j = 1, \dots, n_i$$

$$t_0 = 0$$

$$t_k \geq t_i + \sum_{j=1}^{n_i} d_{ij} y_{ij} \quad \forall i = 0, \dots, N$$

$$t_{N+1} \leq T_{UB}$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} c_{ij} y_{ij} \leq C_{UB}$$

$$\sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, N$$

$$y_{ij} = 0 \text{ veya } 1$$

$$t_{ij} \geq 0$$
(3)

Burada d_{ij} ; i-j eyleminin süresi, c_{ij} ; i-j eyleminin maliyeti, T_{UB} ; Toplam proje süresinin üst sınırı, C_{UB} ; toplam proje maliyetinin üst sınırı, t_i ; eylemin başlangıç zamanı, olarak tanımlanmıştır.

Bulanık Hedef Programlama

Çok amaçlı karar alma yaklaşımlarında en çok kullanılan programlama tekniklerinden biri hedef programlamadır. Hedef programlama ilk olarak Charnes ve diğ. (1955) tarafından önerilmiştir. Bu tür karar alma problemlerinde her bir amaç için hedeflerin oluşturulmasını gerektirir. Hedef programlama çözüm tekniği, hedef sınırlarına ve sistem sınırlarına bağlı olarak her bir hedefteki sapmayı minimize etmeye çalışır. Standart bir hedef programlama formülasyonunda hedefler ve sınırlar eksiksiz tanımlanır.

Bulanık küme teorisi 1965'te Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Bu güne kadar bulanık kümelerin kullanılarak 5000'den fazla çalışma yapılmıştır (Eshwar ve Kumar, 2004). Bellman ve Zadeh (1970) bulanık amaç ve sınırlamalara dayalı bir karar teorisi geliştirmiştir. Hedef programlamada bulanık küme tekniği ilk olarak Narasimhan (1980), tarafından kullanılmıştır. Çeşitli yazarlar (Narasimhan ve Rubin 1984, Tiwari ve diğerleri 1986, Ramik 2000, Wang ve Fu 1997, Mohamed 1997, vs.) bulanık hedef programlama tekniğini karar alma problemlerinde kullanmışlardır.

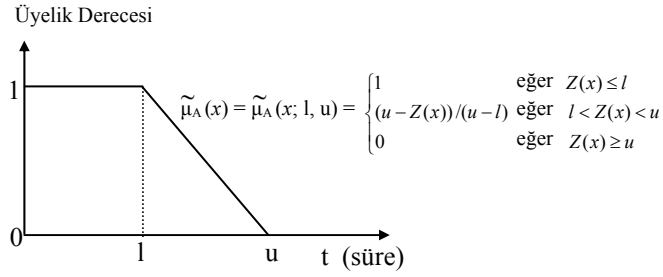
Klasik küme teorisinde evrenin elemanları bir A kümesine ait olanlar ve ait olmayanlar olarak iki grupta tanımlanır. Kümeye ait elemanlara "1", olmayanlara da "0" değerleri atanarak A kümesine üye olup olmama durumları açıklanmaya çalışılır. Halbuki bulanık mantık yaklaşımında üye olanlar veya olmayanlar şeklinde kesin bir sınıflandırma yoktur. Bulanık kümeleri oluştururken çeşitli tipte (üçgen, yamuk, vs.) üyelik fonksiyonları kullanılabilir. Bulanık kümelerin hedef programlama tekniğine uygulanması Denklem 5'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} x_i & \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \\ Z_m(x_i) & \prec \bar{Z}_m, \quad m = 1, 2, 3, \dots, M \\ Z_k(x_i) & \succ \bar{Z}_k, \quad k = M + 1, M + 2, M + 3, \dots, K \\ g_j(x_i) & \leq b_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, J \\ x_i & \geq 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (5)$$

Burada $Z_m(x_i)$ m. hedef sınırı, $Z_k(x_i)$ k. hedef sınırı, $\bar{Z}_m(x_i)$ m. hedefin istenilen değeri, $\bar{Z}_k(x_i)$ k. hedefin istenilen değeri, $g_j(x_i)$ j. eşitsizlik sınırı ve b_j j eşitsizlik sınırının kullanılabilir kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Denklem 5'deki \prec ve \succ sembolleri, \leq ve \geq sembollerinin bulanıklaştırılmış halidir.

Hedef programlama ve bulanık hedef programlama birbirleri ile benzerlikler içermektedir. İki teknikte de her amaç için hedef değerlere ihtiyaç vardır. Bu hedef değerleri karar alma ile belirlenmektedir. Amaçların bulanık hedef programlamada aspiration düzeylerinin belirlenmesi için her hedefin maksimum ve minimum sınırlarına (u_k, l_k) ihtiyaç duyulmaktadır.

Aspiration düzeylerinin belirlenmesinden sonra her bir amaç için bulanık üyelik fonksiyonları oluşturulmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Hedef Programlamada Üyelik Fonksiyonu

Bulanık hedef programlama tekniğinde hedeflerin gerçekleştirilebilme oranlarının belirlenmesinde toplamsal yöntem kullanılmıştır. Bu yaklaşımda hedefler, önem derecelerine göre sınıflandırılmaktadır (Tiwari ve diğerleri 1986). Çünkü, bazı hedefler diğerlerinden daha önemli olabilmektedir. Bu yöntemde kural öncelik seviyesi yüksek hedefler gerçekleştirilmedikçe düşük öncelikli hedefler dikkate alınmaması olarak belirlenmiştir. Bundan dolayı fonksiyonunun ne oranda gerçekleştiğini belirleyen L yapay değişkeni her hedefte ayrı tanımlanmış (L_1, L_2, L_3), .bu değişkenlerin toplamını maksimum yapan çözüm seti elde edilmeye çalışılmıştır (Tiwari ve diğerleri 1986).

$$\max L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_1 \leq (z_1^u - z_1)/(z_1^u - z_1^l)$$

$$L_2 \leq (z_2^u - z_2)/(z_2^u - z_2^l) \quad (6)$$

$$L_3 \leq (z_3^u - z_3)/(z_3^u - z_3^l)$$

Toplamsal yöntem, hedeflerin birbirlerine göre göreceli önemini yansıtmak amacıyla hedeflere ağırlıklar atanarak, hedef programlama modellerinde uygulanmaktadır. Bu yaklaşımda bulanık hedeflerin önceliklerine [0-1] arasında bir sayı atanır ve hedefler önceliklerine göre sıralanır.

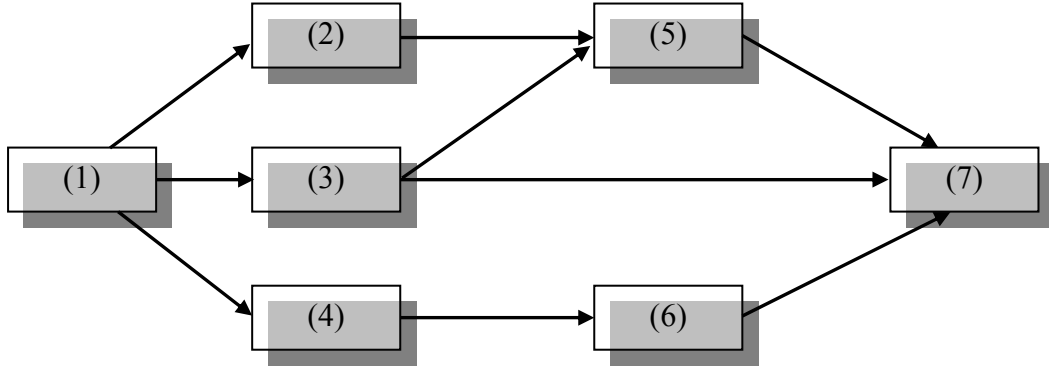
$$\text{Max } Z = \sum_k w_k \mu_k$$

$$\text{s.t. } \mu_k(x) \in [0,1], \quad \forall k, \quad x \geq 0, \quad (7)$$

w_k :k. hedefin ağırlığını göstermektedir.

Sayısal Örnek

Bu çalışmada, birçok araştırmacı tarafından da kullanılmış (Liu ve diğerleri 1997) 7 eylemden oluşan proje şebekesi örnek olarak seçilmiştir. Proje şebekesindeki eylemlere ilişkin süre ve maliyet değerleri yeniden düzenlenmiş ve her bir eylemdeki farklı çözümler için bir kalite değeri atanmıştır. Kullanılan örnek inşaat proje şebekesinde süre-maliyet-kalite arasındaki değişim doğrusal ve parçalı olarak tanımlanmıştır. Örnek proje şebekesi Şekil 5'te gösterilmiş ve şebekedeki eylemlere ilişkin süre-maliyet-kalite değerleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 5. Örnek Proje Şebekesi

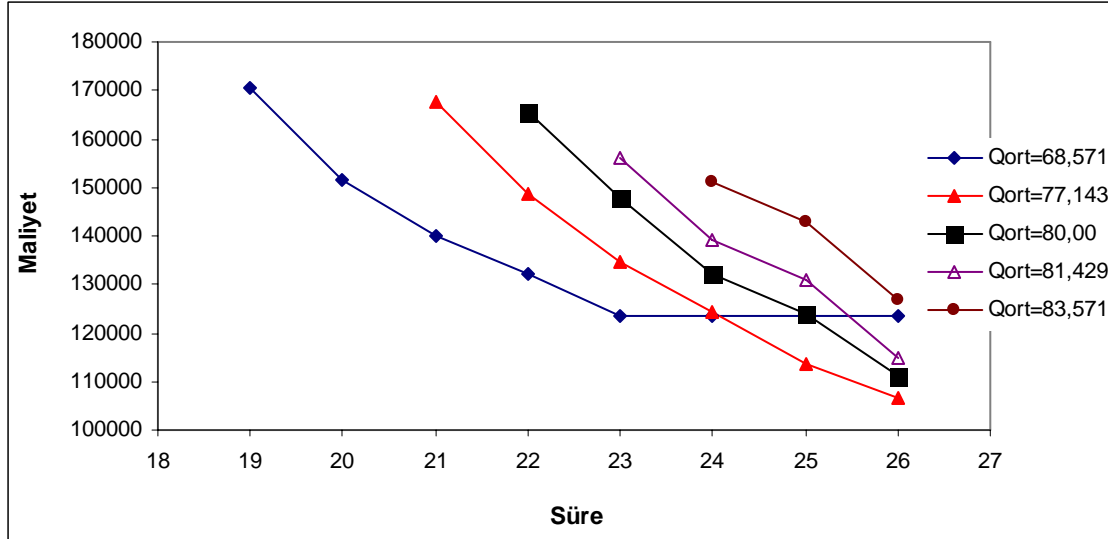
Tablo 1. Proje Şebekesine İlişkin Eylem Bilgileri

Eylem	Yöntem 1			Yöntem 2			Yöntem 3			Yöntem 4			Yöntem 5		
	Süre (gün)	Maliyet (YTL)	Kalite	Süre (gün)	Maliyet (YTL)	Kalite	Süre (gün)	Maliyet (YTL)	Kalite	Süre (gün)	Maliyet (YTL)	Kalite	Süre (gün)	Maliyet (YTL)	Kalite
1	5	23000	80	4	32000	70	5	30000	90	-	-	-	-	-	-
2	6	3000	75	5	3900	70	7	3500	85	4	4200	60	3	4500	50
3	5	4500	80	4	6000	75	5	8500	90	-	-	-	-	-	-
4	4	30000	85	3	35000	70	2	45000	70	-	-	-	-	-	-
5	6	10000	75	5	12500	75	5	15000	80	3	20000	55	-	-	-
6	9	20000	70	9	32000	85	7	30000	50	-	-	-	-	-	-
7	8	15000	70	7	24000	65	6	32000	60	-	-	-	-	-	-

Şekil 5'teki proje şebekesi Tablo 1'de verilen verilere göre çözüldüğünde projenin tamamlanma süresinin 19 ile 26 gün arasında, proje maliyetinin 105500 ile 170500 YTL arasında, proje kalitesinin 56.43 ile 82.5 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Doğrusal programlama tekniği kullanılarak (Denklem 1,2,3) bu zaman aralığındaki minimum proje maliyetleri ve maksimum ve ortalama proje kaliteleri hesaplanmıştır. Örnek olarak proje tamamlanma süresi 26 ve 19 gün için hesaplanan değerler Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. Ortalama proje kalitesine göre süre ve maliyetin değişimi hesaplanmış ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

Tablo 2. $\alpha = 0.50$ için Q_{α} 'yı Maksimum Yapan Değerler ($Q_{0.50} = 0.5Q_{\min} + 0.5Q_{\text{ort}}$)

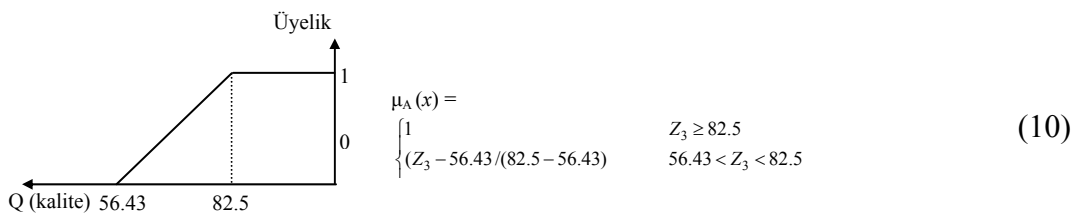
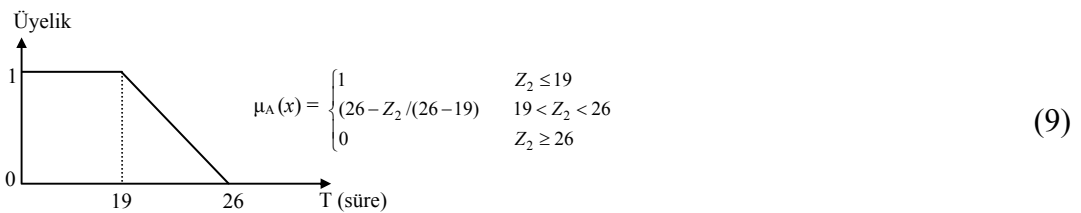
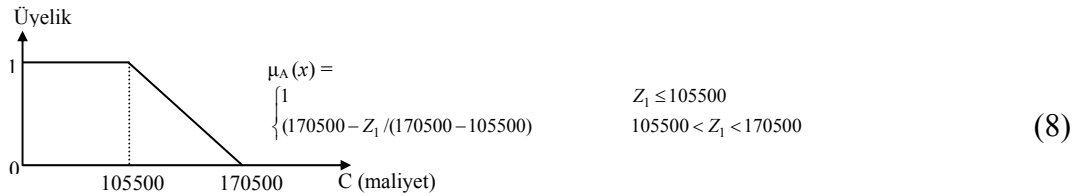
$T_{UB} = 26, C_{\min} = 134000, Q_{0.5} = 82,50$ $Q_{\min} = 80, Q_{\text{ort}} = 85,00$					$T_{UB} = 19, C_{\min} = 170500, Q_{0.5} = 59,286$ $Q_{\min} = 50, Q_{\text{ort}} = 68,571$				
Eylem	Seçilen Seçenek	Süre	Maliyet	Kalite	Eylem	Seçilen Seçenek	Süre	Maliyet	Kalite
1	3	5	30000	90	1	2	4	32000	70
2	3	7	3500	85	2	1	6	3000	75
3	3	5	8500	90	3	3	5	8500	90
4	1	4	30000	85	4	3	2	45000	70
5	3	5	15000	80	5	4	3	20000	55
6	2	9	32000	85	6	3	7	30000	50
7	1	8	15000	80	7	3	6	32000	70



Şekil 6. Ortalama Proje Kalitesine Göre Süre-Maliyetin Değişimi

Şekil 6’da süre-maliyet-kalite arasındaki değişim açık bir şekilde görülmektedir. Örneğin projenin 23 günde tamamlanması istendiğinde projenin kalitesine göre dört farklı alternatif oluşmaktadır. Projenin kalitesi arttıkça her bir alternatifteki maliyetlerin de arttığı görülmektedir.

Bulanık hedef programlama tekniği kullanılarak projedeki her bir hedefin gerçekleştirilme oranlarının hesaplanabilmesi için her bir bulanık hedefe ilişkin üyelik fonksiyonlarının oluşturulması gerekmektedir (Denklemler 8,9,10).



Bulanık hedef programlama tekniği kullanılarak (Denklem 6,7) örnek inşaat projesine ilişkin hedef fonksiyonları optimize edilmiştir. Hesaplamalarda hedef fonksiyonların eşit önemde ve farklı önemde olması durumları da göz önüne alınmıştır. Hedef fonksiyonlarına ilişkin elde edilen değerler ve hedef fonksiyonlarının gerçekleştirilme oranları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 Bulanık Hedef Programlama ile Süre-Maliyet-Kalite Fonksiyonlarının Çözümü

Bulanık Hedef Programlama (Eşit ve Farklı w Hedef Ağırlıklarına Göre Çözümler)						
	Hedef Fonksiyonunun Değeri	Hedef Fonksiyonunun Gerçekleştirilme Oranı ($w_1=w_2=w_3$)	Hedef Fonksiyonunun Değeri	Hedef Fonksiyonunun Gerçekleştirilme Oranı	Hedef Fonksiyonunun Değeri	Hedef Fonksiyonunun Gerçekleştirilme Oranı
Proje Maliyeti	110500	$L_1 = 0.923$	147400	$L_1 = 0.355$ $w_1 = 0.3$	127500	$L_1 = 0.662$ $w_1 = 0.4$
Proje Süresi	25	$L_2 = 0.143$	21	$L_2 = 0.714$ $w_2 = 0.4$	23	$L_2 = 0.429$ $w_2 = 0.4$
Proje Kalitesi	72.857	$L_3 = 0.630$	71.071	$L_3 = 0.562$ $w_3 = 0.3$	72.143	$L_3 = 0.603$ $w_3 = 0.2$

Bulanık hedef programlama ile elde edilen değerler incelendiğinde hedef fonksiyonunun problemin çözümündeki veya karar almadaki ağırlığı elde edilecek optimum çözümleri etkileyecektir (Tablo 3).

Sonuçlar

Son yıllarda inşaat projelerinin gerçekleştirilmesinde kalite kavramı önemli hale gelmiştir. Dünya çapında uluslararası çalışan birçok inşaat firması projelerin yapımında ISO 9000 (Uluslararası Organizasyonlar için Standart) kalite standardını kullanmaktadır. Kalite kavramının önemli hale gelmesi, inşaat projelerinde 2 boyutlu süre-maliyet değişim analizlerinden 3 boyutlu süre-maliyet-kalite değişim analizlerine geçişi sağlamıştır.

Bu çalışmada süre maliyet-kalite arasındaki değişimin nasıl olduğu örnek bir proje üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6). Süre maliyet ve kalite arasındaki değişimin nasıl gerçekleştiği hesaplanmıştır. Bulanık hedef programlama tekniği kullanılarak süre, maliyet ve kalite'ye ilişkin üç bulanık hedef fonksiyonu çözülmüştür. Projeye ilişkin optimum değerlerin eşit ve farklı hedef fonksiyonlarının ağırlıkları için değiştiği görülmüştür. Ayrıca, projeye ilişkin her bir hedef fonksiyonunun gerçekleştirilme oranları belirlenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda, 3 boyutlu süre-maliyet-kalite değişim analizlerine kaynak kullanım sınırlarının da ilave edilmesi karmaşık bir yapıya sahip inşaat projelerinin yönetilmesini daha da kolaylaştıracaktır.

Kaynaklar

Bellman RE, Zadeh LA., (1970) Decision-Making in a Fuzzy Environment, *Management Science*, 17, 141–164.

Charnes A., Cooper W.W, Ferguson R.O., (1955) Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming. Management Science,1, 138–151

Eshwar,K., Kumar,V., S., S., (2004) Optimal Deployment of Construction Equipment Using Linear Programming with Fuzzy Coefficient, Advances in Engineering Software, 35, 27-33.

Johnson B.,P., Liberatore M.J., (2006) Incorporating Quality Considerations into Project Time/Cost Tradeoff Analysis and Decision Making, IEEE Transactions on Engineering Management, vol:53, 534-542.

Khang D.B., Myint Y.M., (1999) Time, Cost and Quality Trade-Off in Project Management: A Case Study, International Journal of Project Management, vol. 17, 249-256

KellyJ.,E., (1961) Critical Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis, Operations Research, 9, 296-321.

Liu, L., Burns, S. and Feng C., (1995) Construction Time-Cost Trade-off Analysis Using LP/IP, ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 121(4), 446-454.

Mohamed R.H., (1997) The Relationship Between Goal Programming and Fuzzy Programming, Fuzzy Sets and Systems, 89, 215–222.

Narasimhan R., (1980) Goal Programming in A Fuzzy Environment, Decision Science 11, 325–36.

Narasimhan R, Rubin P.A. (1984) Fuzzy Goal Programming with Nested Priorities, Fuzzy Sets and Systems, 14:115–129.

Ramik J., (2000) Fuzzy Goals and Fuzzy Alternatives in Goal Programming Problems, Fuzzy Sets and Systems, 111, 81–86.

Rayes, Kandil, (2005) Time-Cost-Quality Trade-off Analysis for Highway Construction, Journal of Construction Engineering and Management, 131:4, 477-486

Siemens N., (1971) A Simple CPM Time-Cost Tradeoff Algorithm, Management Science, 17(6), pp. 354-363.

Tareghian H.R., Taheri S.H., (2006) On the Discrete Time, Cost and Quality Trade-off Problem, Applied Mathematics and Computation, 181, 1305-1312.

Tiwari R.N, Dharmar S, Rao J.R., (1986) Priority Structure in Fuzzy Goal Programming, Fuzzy Sets and Systems,19, 251–259.

Wang HF, Fu CC., (1997) A Generalization of Fuzzy Goal Programming with Preemptive Structure, Computers & Operations Research, 24, 819–828.

Zadeh, L., A., (1965) Fuzzy Set, Inform and Control, 8, 338-358.