

# BETONARME YAPILARDA AHŞAP KALIP MALZEMESİNİN OPTİMİZASYONU

**İbrahim GÜNGÖR\*, M. Cengiz KAYACAN\*\*, Osman ÇANKIRAN\*\*\***

\*Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Çünür/Isparta

\*\*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Tekstil Müh. Bölümü, Çünür/Isparta

\*\*\*Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Bölümü, Çünür/Isparta

Geliş Tarihi : 05.07.2004

## ÖZET

Betonarme inşaat maliyetleri içinde kalıp maliyetinin önemli bir payı bulunmaktadır. Bu çalışmada, kalıp için kullanılan ahşap miktarını minimize edebilmek amacıyla bir model geliştirilmiştir. Ayrıca, amaç fonksiyonu ve kısıtları doğrusal olmayan, değişkenleri farklı birimlerde tamsayı değer alması gereken bu model için, bir çözüm algoritması önerilmiş ve bu algoritmanın bilgisayar programı yapılmıştır. Geleneksel yaklaşımla uygulamada pratik olarak kullanılan kalıp malzemesi ve boyutları için bir uzman görüşü oluşturulmuştur. Önerilen algoritma ile bulunan sonuçların, uzman görüşlerden elde edilen sonuçlara göre % 20 daha az malzeme kullanımı gerektirdiği ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Beton kalıbı, Optimizasyon, Doğrusal olmayan programlama, Tamsayı programlama

## FORM WORK OPTIMISATION AT REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION

### ABSTRACT

Formwork has an important portion of cost in reinforced concrete construction work. In this study a mathematical model has been developed to minimize wood usage in formwork. Additionally, a solution model, which has non-linear objective function and constraints, with different units of integer variables, has been proposed and a software program has been developed for this algorithm. Using traditional methods, an expert knowledge has been established for formwork material and size for practical usage. It is seen that result of the proposed algorithm requires 20 % less material than expert knowledge.

**Key Words :** Concrete formwork, Optimization, Non-linear programming, Integer programming

## 1. GİRİŞ

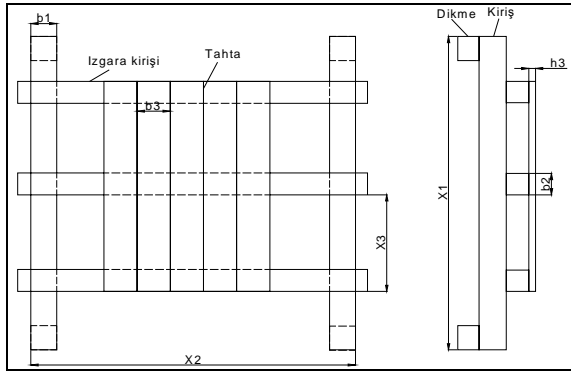
İnşaat sektöründe toplam maliyete etki eden önemli maliyet unsurlarından biri de kalıp malzemesidir. Kalıp, betonarme bina yapımında betona istenilen şekli vermek için kullanılan bir malzemedir. Bu amaçla genel olarak metal, plastik veya ahşap malzemeler kullanılmaktadır.

Yapılaşma açısından bakıldığında, inşaat sektöründe yük taşıyıcı olarak genellikle betonarme sistemler kullanılmaktadır. Betonarme inşaat maliyeti içinde kalıp malzemesi önemli bir ekonomik büyüklük oluşturmaktadır. Bu nedenle betonarme yapı üretiminde kalıp maliyetlerinin düşürülmesi çok önem kazanmaktadır.

Literatür incelendiğinde kullanılan kalıp malzemesinin optimizasyonuna ilişkin çalışmaların çok sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Toplam

kalıp malzemesi maliyetinin minimizasyonu konusunda sadece Hanna ve Senouci'nin yaptıkları çalışma ile karşılaşılmaktadır. Bu çalışmada, marketlerde mevcut olan farklı ölçülerdeki tahta, ızgara kirişi, kiriş ve dikme malzemeleri dikkate alınarak, bunların bütün kombinasyonları belirlenmiş ve en uygun (minimum maliyetli) kombinasyon bulunmuştur. Ayrıca, kalıp malzemelerinde mukavemetin yeterliliği, kalıp tasarımının betonarmenin mukavemetine olan etkileri, beton dökme esnasında kalıp üzerinde oluşan rüzgar ve diğer ani yüklerin etkileri araştırılmıştır (Proverbs 1997; Arslan 2000-2001; Huang et al., 2000; Ghaib et al., 2001).

Bu çalışmanın amacı, Şekil 1'deki kalıp düzenine göre kullanılan toplam kalıp malzeme miktarını minimize edecek parça boyutlarının belirlenmesidir. Minimizasyon için bir matematiksel model ve modelin çözümü için bir algoritma önerilmiştir.



Şekil 1. Ahşap kalıp düzeni genel görünüşü

## 2. AHŞAP KALIP SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Şekil 1'de de görüldüğü gibi, kalıp düzeninde dört tip ahşap malzeme parçası kullanılmakta ve bunlar; dikme(1), kiriş (2), ızgara kirişi(3) ve tahta(4) olarak isimlendirilmektedir (Balcı, 1990). Bu malzemelerin hepsi dikdörtgen prizması şeklindedir.

Bu çalışmada dikme ile ilgili boyutlar değişken olarak değil, uygulamada en çok kullanılan (eni, yüksekliği ve kalınlığı sırayla 0.1 metre, 0.1 metre ve 2.7 metre olarak) sabit ölçüler olarak kabul edilmiştir. Çünkü pratikte; metal dikmeler kullanılabilir veya kullanılan ahşap dikmeler yuvarlak ve değişik çapta olabilmekte, ayrıca dikmelerin birinden diğerine çapraz bağlantılarla yük taşıma oranı çok önemli ölçüde değiştirilebilmektedir.

Ahşap malzemelerin yetiştirme yerlerine göre mekanik özelliklerinde az da olsa farklılıklar olduğundan Göller Bölgesinde kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için, TS 2474'e uygun olarak örnek alma ve deney işlemleri yapılmıştır. Eğilme yükü ortalaması  $P_{max} = 736$  N olarak bulunmuştur. Ortalama eğilme yükü kullanılarak eğilme gerilmesi  $\sigma = Mc/I$  eşitliğinden;

$$\sigma_{bw} = \frac{3P_{max}L}{2bh^2} = 48.3 \text{ N/mm}^2 \quad (1)$$

bulunur. Bu işlemde  $L = 350$  mm,  $b = 20$  mm ve  $h = 20$  mm olarak alınmıştır.

Kalıp sisteminin yıkılması halinde can kaybı gibi büyük bir olumsuz duruma çıkabileceğinden, mukavemet dayanımı için Emniyet Katsayısı = 2 olarak alınmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1987). Bu durumda, maksimum emniyetli eğilme gerilmesi ( $\sigma_{bw,emniyet} = 24150000 \text{ N/m}^2$ ) olarak kullanılacaktır. Bu verilere göre; kalıp düzeni içinde yer alacak parçaların (kiriş, ızgara kirişi ve tahta) boyutları için kullanılacak parametrik ilişki aşağıdaki gibidir.

$$\frac{P_{max}L}{bh^2} = 16100000 \text{ N/m}^2 \quad (2)$$

Kalıp düzeni üzerinde yer alabilecek yükler (beton, işçiler ve işçi malzemeleri) genellikle yayılı yük veya birden çok noktadan etki eden yük durumunda olsa da, cismin tam ortasında yer alma olasılığı her zaman mevcuttur. Bu durumda bütün yük bir noktaya etki ediyor denebilir ve sözkonusu nokta, kalıpta kullanılan malzemenin altında bulunan desteklerin tam ortası olabilir. Bu nedenle kalıpta kullanılacak malzemenin boyutlarının belirlenmesinde (2) numaralı eşitlik kullanılmaktadır. Denklemdeki  $P_{max}$ , kalıp malzemesi üzerine dökülebilecek beton ağırlığı ile işçi ağırlığının toplamına eşittir.

$$P_{max,i} = (\text{Beton ağırlığı}) + (\text{İşçi ve malzemesinin ağırlığı})$$

Kalıp düzeni üzerinde en fazla iki işçinin yan yana çalışabileceği ve bu işçilerden her birinin malzemeleri (keser, çekiç, kürek, el arabası vb) ile birlikte en fazla 100 Kg olabilecekleri kabul edildiğinde işçilerin uygulayabilecekleri toplam kuvvet  $CA = 1962$  N olacaktır. Ayrıca eşitlikteki betonun özgül ağırlığı,

$\pi=23544 \text{ N/m}^3$  olarak kabul edilmiştir. Buna göre BK kalınlığındaki beton için  $P_{\max,i}$  aşağıdaki gibi yazılır;

$$P_{\max,i} = EN_i \text{ BOY}_i \text{ BK } \pi + CA \quad (3)$$

Bu eşitlikte;  $EN_i$ , i malzeme parçası üzerine etki edecek beton alanının eni ve  $\text{BOY}_i$ , i malzeme parçası üzerine etki edecek beton alanının boyudur. Eşitlik (2) ve (3) dikkate alınarak, kalıp düzeneği içinde yer alacak ahşap malzemelerin mukavemet dayanımı en az  $16100000 \text{ N/m}^2$  olacağından malzemelerin (kiriş, ızgara kirişi ve tahta) boyutları eşitsizlik olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{(EN_i \text{ BOY}_i \text{ BK } \pi + CA)L_i}{b_i h_i^2} \leq 16100000 \quad (4)$$

Eşitsizlikteki  $L_i$ , i malzemesinin altındaki destekler arasındaki mesafedir. Şekil 1’de görüldüğü gibi;

$X_1 = L_1$ ,  $X_2 = L_2$  ve  $X_3 = L_3$  olarak alınacaktır.

Eşitsizlik (4) dikkate alındığında, kalıp düzeneğinde yer alan her parça türü için kullanılabilir denklemler aşağıdaki gibi yazılabilir:

#### a. Kirişler İçin Kullanılabilir Eşitsizlik

Kirişin iki dikme desteği arasındaki kısmına etki edecek betonun; eni  $X_1$ , boyu ( $X_2$ ) ve yüksekliği BK kadar olacaktır;

Beton ağırlığı =  $X_1 X_2 \text{ BK } \pi$  olacaktır.

Eşitsizlik (4) yeniden düzenlenerek ve  $X_2$  yalnız bırakılarak kiriş için kullanılabilir eşitsizlik aşağıdaki gibi olacaktır:

$$X_2 \leq \frac{16100000 b_1 h_1^2 - (CA + IA + TA) X_1}{X_1^2 \text{ BK } \sigma} \quad (5)$$

#### b. Izgara Kirişi İçin Kullanılabilir Eşitsizlik

Ahşap kalıbın  $X_1$  enindeki ve  $X_2$  boyundaki alanı içinde kullanılacak S tane ızgara kirişinin, iki kiriş desteği arasındaki kısmına etki edecek betonun ağırlığı, işçi ağırlığı ve tahta ağırlığının etkilediği dikkate alınarak, ilgili bölge için kaç adet ızgara kirişi gerektiği eşitsizlik (6) kullanılarak bulunur.

$$S \geq \frac{(X_1 X_2 \text{ BK } \pi) X_2}{16100000 b_2 h_2^2} \quad (6)$$

Izgara kirişleri arasındaki mesafe, Kirişler arası mesafenin ızgara kirişi sayısına bölümüyle bulunur.

$$X_3 = X_1 / S \quad (7)$$

#### c. Tahta İçin Kullanılabilir Eşitsizlik

Kalıp tahtaları üzerindeki tüm yükün iki ızgara kirişi üzerindeki tek bir tahtaya etkiyebileceği düşünülerek tahta boyutunun belirlenmesinde tahta yüksekliği ( $h_3$ ) yalnız bırakılarak eşitsizlik (8) oluşturulur.

$$h_3 \geq \sqrt{\frac{(x_3 b_3 \text{ BK } \pi) X_3}{16100000 b_3}} \quad (8)$$

#### d. Amaç Fonksiyonu

Birim alandaki kalıp için gerekli ahşap miktarı fonksiyonunun sözel ifadesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

Min Z = [(Bir kirişin altına konacak dikme için gerekli ahşap miktarı) + (Bir kiriş için kullanılması gereken ahşap miktarı) + (Bir kirişin üzerine gelen ızgara kirişleri için kullanılması gereken ahşap miktarı) + (Bir kirişin üzerine gelen tahtalar için kullanılması gereken ahşap miktarı)] / (Bir kirişe düşen kalıp alanı)

Bu çalışmada kullanılan değişkenler ve katsayılar dikkate alındığında ise, amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Min Z} = (0.1)(0.1)(2.7) + b_1 \cdot h_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot h_2 \cdot X_2 \cdot S + X_1 \cdot X_2 \cdot h_3 / [(X_1 \cdot X_2)] \quad (9)$$

Amaç fonksiyonunda kullanılan ahşap malzemelerin sadece net miktarları dikkate alınmaktadır. Yani, bu malzemelerin istenilen boyutlara uygun olarak hazırlanması için, kullanılan bıçkınım dış genişliği ölçüsünde ortaya çıkacak olan atık dikkate alınmamıştır.

Kullanılan malzeme miktarı içine bıçkı atığı da dahil edildiğinde ve bıçkı kalınlığı 3 mm (Çeşmeci, 1995) alındığında modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları toplu olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Min Z} = [(0.103)(0.103)(2.703) + (b_1 + 0.003)(h_1 + 0.003)(X_1 + 0.003) + (b_2 + 0.003)(h_2 + 0.003)(X_2 + 0.003)S + (X_1 + 0.003)(X_2 + 0.003)(h_3 + 0.003)] / (X_1 \cdot X_2) \quad (10)$$

**Kısıtlar :**

$$X_2 \leq \frac{16100000b_1h_1^2 - (CA+IA+TA)X_1}{X_1^2BK\pi} \quad (11)$$

$$S \geq \frac{(X_1X_2BK\pi)X_2}{16100000b_2h_2^2} \quad (12)$$

$$X_3 = X_1 / S \quad (13)$$

$$h_3 \geq \sqrt{\frac{(x_3b_3BK\pi)X_3}{b_316100000}} \quad (14)$$

Modelde kullanılan değişkenler için ahşap kesme şartları ve işçilik imkanları dikkate alınarak aşağıdaki alt ve üst sınır değerleri tanımlanmıştır:

$0.04 \text{ m} \leq b_1, b_2, b_3, h_1, h_2 \leq 0.2 \text{ m}$  ve milimetre olarak tam sayı,  
 $h_3 \geq 0.015\text{m}$  ve milimetre olarak tam sayı,  
 $0.5 \text{ m} \leq X_1 \leq 3 \text{ m}$  ve santimetre olarak tam sayı,  
 $X_2, X_3 \geq 0$  ve santimetre olarak tam sayı,  
 $S \geq 0$  ve tam sayı.

**3. ÖNERİLEN ÇÖZÜM ALGORİTMASI VE UYGULAMASI**

Bölüm 3’de ortaya konulan model, *tamsayılı doğrusal olmayan model* yapısındadır. Modelde yer alan tüm değişkenler için tamsayı değer alma koşulu bulunmaktadır. Ancak, bazı değişkenler ( $b_1, b_2, b_3, h_1, h_2, h_3$ ) için milimetre olarak tamsayı değerler alma koşulu varken, bazı değişkenler ( $X_1, X_2, X_3$ ) için santimetre cinsinden tamsayı değerler alma koşulu bulunmaktadır. Diğer taraftan model, bu değişkenlerin tamamının metre cinsinden değer alacağı kabul edilerek düzenlenmiştir.

Modelin kendine has bu özellikleri dikkate alındığında, doğrusal olmayan modeller için geliştirilmiş olan çözüm teknikleri (McCormick, 1983; Hartley, 1985; Murty, 1988; Bazaraa, 1993; Mangasarian, 1994; Hoang, 1998) ile bu modelin optimum çözümünü elde etme olanağı bulunamamıştır. Bu nedenle, modelin çözümü için aşağıda adımları verilen bir sayımlama algoritması önerilmiştir.

Bu sayımlama algoritmasında, değişkenlerin alabilecekleri alt ve üst sınır değerleri arasındaki aralık kademeli olarak daraltılarak en iyi çözümün

uygun bir süre içinde bulunması amaçlanmıştır. Bu işlemler sonunda, en iyi çözüm dördüncü iterasyonda bulunmuştur. Birinci iterasyonda;  $X_1, b_1, b_2, b_3, h_1, h_2$  değişkenlerinin alabileceği tüm değerler yerine, alt sınır değerlerine 64 ve katları ilave edilerek bulunan değerlerin tüm kombinasyonları için uygun çözümler bulunmaktadır. İkinci iterasyonda; Birinci iterasyonda bulunan en iyi çözüm değerlerine  $\pm 64$  ekleyerek alt ve üst sınırlar bulunmakta ve alt sınırlara 16 ve katları ilave edilerek bulunan değerlerin tüm kombinasyonları için uygun çözümler bulunmaktadır. Benzer şekilde, üçüncü iterasyon için bulunan alt sınırlara 4 ve dördüncü iterasyon için bir ilave edilerek uygun çözümler bulunmakta ve son iterasyonda bulunan en iyi çözüm, bu algoritma ile bulunan en iyi çözüm olmaktadır.

**3. 1. Önerilen Algoritma**

1. Kalıp üstüne dökülecek beton kalınlığı (BK) belirlenir,
2.  $X_1, b_1, b_2, b_3, h_1, h_2$  değişkenlerinin alabilecekleri alt sınır değerler (ASD) sırayla 0.5, 0.04, 0.04, 0.1, 0.04, 0.04 metre olarak; üst sınır değerler (ÜSD) sırayla 3, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2 metre olarak belirlenir,
3. İlk çözüm, değişkenlerin adım 2’de verilen ASD değerleri dikkate alınarak yapılır. Çözümde,  $X_2, S, X_3, h_3$  değişkenlerinin değerleri sırayla (12), (13), (14), (15) eşitsizlikleri eşitlik olarak dikkate alınarak hesaplanır.  $X_2$  ve  $X_3$ ’ün değerleri santimetre olarak tamsayı değil ise santimetre olarak tamsayı olacak şekilde bir üst değer dikkate alınır. S’nin değeri tamsayı değil ise bir üst tamsayı değer dikkate alınır.  $h_3$ ’ün değeri milimetre olarak tamsayı değil ise milimetre olarak tamsayı olacak şekilde bir üst değer dikkate alınır. Modeldeki eşitsizlikler bu değiştirmelere izin verecek durumdadır. Amaç değeri (11) eşitliği ile hesaplanır.
4. Birinci tur dışı çözümler;

$$X_1 = ASD + (G)(N)$$

$$N = 1, 2, \dots \text{tamsayı}((\text{ÜSD}-\text{ASD}) / G)$$

$$G = (0.01)(64)$$

$$b_1, b_2, b_3, h_1, h_2 = ASD + (K)(M)$$

$$M = 1, 2, \dots \text{tamsayı}((\text{ASD} - \text{ÜSD})/K)$$

$$K = (0.001)(64)$$

değişken değerlerinin tüm kombinasyonları için adım 3’de belirtildiği şekilde yapılır ve bu çözümler içinde amaç değeri en küçük olan çözümün amaç

değeri ve değişken değerleri, bulunabilen en iyi çözüm sonuçları;

$Z^*$ ,  $X_1^*$ ,  $b_1^*$ ,  $b_2^*$ ,  $b_3^*$ ,  $h_1^*$ ,  $h_2^*$ ,  $X_2^*$ ,  $S^*$ ,  $X_3^*$ ,  $h_3^*$  olarak belirlenir.

1- İkinci, üçüncü ve dördüncü tur ardışık çözümler;

$X_1$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $h_1$ ,  $h_2$  değişkenlerinin alt ve üst sınır değerleri;

$X_1$  değişkeni için,  
 $ASD = X_1^* - G$ ,  $ÜSD = X_1^* + G$   
 $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $h_1$ ,  $h_2$  değişkenleri için,  
 $ASD = b_i^* - K$ ,  $ÜSD = b_i^* + K$   
 $h_1$ ,  $h_2$  değişkenleri için,  
 $ASD = h_i^* - K$ ,  $ÜSD = h_i^* + K$

olacak şekilde dikkate alınarak (burada kullanılan  $G$  ve  $K$  değerleri bir önceki turda kullanılan  $G$  ve  $K$  değerleridir) ve her tur çözüm için sırayla ;

$G = (0.01)(16)$ ,  $(0.01)(4)$ ,  $(0.01)(1)$   
 $K = (0.001)(16)$ ,  $(0.001)(4)$ ,  $(0.001)(1)$

değerleri dikkate alınarak ve adım 4'de belirtildiği şekilde yapılır. Bu çözümler içinde amaç değeri en küçük olan çözümün amaç değeri ve değişken değerleri, bulunabilen en iyi çözüm sonuçları olarak belirlenir.

Değişkenler tamsayı değer almak zorunda olduğu için, uygun çözümlerin sayısı sonsuz değil fakat 16 384 000 000 000 gibi büyük bir sayı olmaktadır. Bu sayı aşağıdaki gibi hesap edilebilir:

$X_1$  değişkeni santimetre olarak tamsayı değer almak zorunda olduğu için alabileceği farklı değer sayısı;  
 $(3 - 0.5) / 0.01 = 250$  olur.

$b_1$ ,  $b_2$ ,  $h_1$ ,  $h_2$  değişkenleri milimetre olarak tamsayı değer almak zorunda oldukları için alabilecekleri farklı değer sayısı her biri için;

$(0.2 - 0.04) / 0.001 = 160$  olur.

$b_3$  değişkeni milimetre olarak tamsayı değer almak zorunda olduğu için alabileceği farklı değer sayısı;

$(0.2 - 0.1) / 0.001 = 100$  olur.

Modeldeki kısıtlar gereği diğer değişkenler bu değişkenlere bağlı olarak değer almaktadır. Bu rakamlara göre tüm olası çözümlerin sayısı;

$(250)(160)(160)(160)(160)(100) = 1638400000000$

olmaktadır.

Önerilen çözüm algoritması ile, 16 trilyondan fazla olan olası çözümlerden 227506 tanesine (bu sayı bilgisayar programında yapılan çözüm sayısı saydırılarak bulunmuştur) bakılarak optimum çözüm (veya yakın optimum çözüm) bulunabilmektedir.

Önerilen çözüm algoritmasının QBASIC programlama dili kullanılarak bilgisayar programı yapıldı. Bu program ve "Inter Pentium 100 MHZ" mikro işlemcisi olan bir bilgisayar kullanıldığında, çözüm süresi 4 dakika 32 saniye olarak gözlenmiştir.

Bu algoritma ile optimum çözümün kesin olarak bulunabileceğinin ispatı yapılamadı. Ancak, değişken değerleri için belirlenen aralıklar daha geniş tutulacak şekilde bilgisayar programında gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra yapılan deneme çözümünde (bu çözümde 6 066 827 tane farklı çözüm araştırılmış ve çözüm süresi 2 saat 12 dakika sürmüştür), daha önce bulunan çözümün aynısı bulunmuştur. Önerilen algoritmayla bulunan çözüm değerleri ile uzman görüşlerden yararlanılarak derlenen değerler Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablodaki ilk iki kolonda uzman kişilerden derlenen ahşap kullanım boyutları verilmiştir. Üçüncü kolonda ilk iki kolonun ortalama değerleri yer almaktadır. Son kolonda ise Önerilen Algoritmayla hesaplanan sonuçlar verilmiştir. Tablodaki  $Z$  değerleri incelendiğinde en az ahşap gereksinimi, önerilen algoritmayla bulunan çözüm planında olduğu görülmektedir. Bu çözüm en düşük ahşap kullanımını gerektiren uzman görüşüne göre %20 daha az ahşap malzeme gerektirmektedir.

Tablo 1. Uygulamadaki Çeşitli Değerler ve Önerilen Değerler

Değişkenler	Uygulamadaki Çeşitli Değerler			Önerilen Algoritma ile Bulunan Değerler
	I	II	III	
$X_1$	1.5	0.8	1.15	2.17
$X_2$	1.4	1	1.2	1.78
$X_3$	0.6	0.4	0.5	0.32
$S$	3	2	3	6
$b_1$	0.1	0.1	0.1	0.045
$h_1$	0.1	0.1	0.1	0.197
$b_2$	0.05	0.05	0.05	0.04
$h_2$	0.1	0.1	0.1	0.078
$b_3$	0.2	0.2	0.2	0.198
$h_3$	0.02	0.02	0.02	0.015
$Z$	0.0524	0.0739	0.0621	0.04196

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, beton kalıbı için gerekli ahşap miktarını minimize eden bir model geliştirilmiştir. Ayrıca, amaç fonksiyonunun ve kısıtların doğrusal olmadığı, değişkenlerin birbirleriyle kompleks ilişkiler içinde olduğu bu modelin çözümünde

kullanılabilecek bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritmanın bilgisayar programı hazırlanmıştır. Önerilen algoritma ile elde edilen çözüm sonuçları pratikte kullanılan değerlere göre %20 oranında daha az ahşap kullanımını sağlamaktadır. Bu sonuçların uygulanması halinde, inşaat sektöründe önemli bir ekonomik kazanım sağlanabileceği görülmektedir.

Bu çalışmada önerilen çözüm sistemiyle; beton kalıbı yapısına benzer özellikleri olan otomobil, gemi ve uçak kaportaları, inşaatlardaki çatı sistemlerinde vb. için optimizasyon çalışmalarının yapılabileceği önerilebilir.

## 5. SİMGELER

$b_1$	: Kiriş eni,
$h_1$	: Kiriş yüksekliği,
$X_1$	: Kirişin altındaki dikmeler arasındaki açıklık,
$b_2$	: Izgara kirişi eni,
$h_2$	: Izgara kirişi yüksekliği,
$X_2$	: Kirişler arasındaki açıklık,
$S$	: Kiriş üzerine konulacak ızgara kirişi sayısı,
$b_3$	: Tahtanın eni,
$h_3$	: Tahtanın yüksekliği (kalınlığı),
$X_3$	: Izgara kirişleri arasındaki açıklık,
BK	: Kalıbın üzerine atılacak betonun kalınlığı,
$\pi$	: Kullanılacak betonun özgül ağırlığı ( $N/m^2$ )
CA	: Kalıbın üzerinde çalışacak işçilerin ve işçi malzemelerinin ağırlığı,
$P_{max}$	: eni $b_i$ ve $h_i$ yüksekliği olan bir ahşap malzemenin aralığı $X_i$ olan dikmelere basarak kaldırabileceği maksimum yük miktarı,
$EN_i$	: $i$ malzeme parçası üzerine etki edecek beton alanının eni (m)
$BOY_i$	: $i$ malzeme parçası üzerine etki edecek beton alanının boyu (m)

## 6. KAYNAKÇA

Anonim, 1984. TSE, TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Ankara.

Arslan, M. 2002. "Effect of Drainer Formworks on Concrete Lateral Pressure", *Construction and Building Materials*, 16, pp. 253-259.

Balcı, F. 1990. Şantiyede Yapı Bilgisi Tatbikatı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü, Yayın No : 45, Ankara.

Balkabak, İ. 1998. Tünel Kalıp Sistemleri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

Bazaraa, M. S. 1993. *Nonlinear Programming : Theory and Algorithms*, Wiley, New York.

Bozkurt, A. Y. ve Göker, Y. 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No : 3445, İstanbul.

Çeşmeci, H. 1995 Betonarme İnşaatlarda Kullanılan Kalıplar ve İskeleler, Yayınlanmamış Ders Notları, Selçuk Üni. Konya Meslek Yüksek Okulu.

Ghaib, A. A., and et al., 2001. "Mechanical Properties of Concrete Cast in Fabric Formworks", *Cement and Concrete Research*, 31, pp.1459-1465.

Hanna, A. S. ve Senouci, A. B. 1995. "Design Optimization of Concrete-Slab Forms", *Journal of Construction Engineering and Management*, 121, pp.215-221.

Hartley, R. 1985. *Linear and Nonlinear Programming : an Introduction to Linear Methods in Mathematical Programming*, Halstead Press, New York.

Hoang, T. 1998. *Convex Analysis and Global Optimization*, Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Boston.

Huang and et al., 2000. "A Monitoring Method for Scaffold-Frame Shoring Systems for Elevated Concrete Formwork", *Computers and Structures*, 78, pp. 681-690.

Mangasarian, O. L. 1994. *Nonlinear programming*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.

McCormick, G. P. 1983. *Nonlinear programming : theory, algorithms, and Applications*, Wiley, New York.

Murty, K. G. 1988. *Linear Complementarity, Linear and Nonlinear Programming*, Heldermann Verlag Berlin.

Proverbs, P. O. and et al., 1998. "A Comparative Evaluation of Planning Engineers", *Formwork Productivity Rates in European Construction*, *Building and Environment*, Vol. 33, No. 4, pp. 181-187.