



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0213

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: May 2011  
Accepted: October 2011  
Series : 1A  
ISSN : 1308-7231  
© 2010 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**Hakan Türken<sup>1</sup>**  
**Ülkü Sultan Yılmaz<sup>2</sup>**  
**İbrahim Hakkı Erkan<sup>3</sup>**  
Istanbul University<sup>1</sup>  
Selcuk University<sup>2-3</sup>  
hakanturken@gmail.com  
Istanbul-Turkey

**TÜNEL KALIP SİSTEMLERİN GELENEKSEL SİSTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**ÖZET**

Tünel kalıp sistemler, ülkemizde özellikle son yıllarda gerek süratli olması gerekse ekonomik olması nedeniyle yaygın olarak tercih edilen yapım teknolojilerinden biri haline gelmiştir. Bu çalışmada öncelikle tünel kalıp sistemlerin türleri ve yapım teknikleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Daha sonra, örnek bir betonarme bina ilk olarak tünel kalıp sistem şeklinde modellenmiş daha sonra aynı betonarme bina geleneksel yapım tekniği ile perdeli çerçeve sistem şeklinde düşünülüp modellenmiştir. Her iki sistemin de Sap-2000 programında çözümü yapılmış ve kat deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve periyotları yönünden karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca tünel kalıp sistem ve geleneksel kalıp sistem yapım maliyetleri açısından da incelenerek, her iki sistem yapım maliyeti ve imalat hızı açılarından karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak elde edilen veriler doğrultusunda her iki sistemin değerlendirilmesi ve uygulama önerileri verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tünel Kalıp Sistem, Geleneksel Kalıp Sistemi, Perdeli Yapı, Perde-çerçeve Yapı, Perde Duvar

**COMPARISON TRADITIONAL SYSTEMS OF TUNNEL FORMWORK SYSTEM**

**ABSTRACT**

Tunnel formwork systems became the most widespread construction technology preferred in recent years in Turkey due to rapidity and economy. In this study, before all else, a brief information was given about the types and construction techniques of tunnel formwork systems. Then a reinforced concrete building sample was firstly modeled as it was constructed with the tunnel formwork system and secondly modeled as it was formed by a frame system with shear walls constructed by the traditional reinforced concrete construction technique. Both models were solved using SAP-2000 computer program and compared with each other in terms of floor displacements, base shear forces and periods. Additionally, the construction costs of both tunnel formwork and traditional formwork systems were examined and compared with each other in terms of construction speed and cost. As a conclusion, the evaluation of both systems was made according to the obtained data and the application suggestions were given.

**Keywords:** Tunnel Formwork System, Traditional Form System, Shear-Wall Building, Shear Wall-Frame System, Shear Wall

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kalıplar, taze dökülmüş betonun istenilen forma girmesini sağlayan ve beton prizini alana kadar destekleyen yardımcı inşaat malzemeleridir. Klasik ya da geleneksel kalıp olarak tanımlanan kalıp, ham maddesi tamamen ahşap olan ve her geçen gün zayıfı artan kalıplardır. Bu kalıplar dikmesinden döşemesine kadar her yerde keresteye dayanan bir sistemdir. Dolayısıyla bu sistemler daha fazla malzeme ve işçiliğe dayandığından maliyetleri yüksektir. Bu maliyetleri azaltmak için üretimde fabrikasyona geçilmiştir [1].

Yüksek yapılarda; uygulamaların zor olması, kullanılan malzemelerin standartlara uygun olma, yapım süresini kısa tutma ve işçi güvenliğini sağlama zorunluluğu olduğu için modern kalıp sistemlerini tercih etmek daha mantıklı hale gelmiştir. Pratik detay çözümlerine ve fazla kullanım sayısına sahip olan kalıp sistemleri yüksek katlı yapılarda tekrar eden kat sayısı çok olduğu için avantajlıdır [1].

Ülkemizde her geçen gün artan konut ihtiyacının önüne geçilebilmesi için kullanılan teknolojiler arasında modern kalıp türlerinden olan tünel kalıp teknolojisi yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Son zamanlarda en rasyonel çözüm olarak kabul edilen bu sistem, sanayileşme ve nüfusun artışının doğal bir sonucu olarak büyüyen kentlerimizin yanında, düşey büyümelerin de kaçınılmaz olduğu şehir merkezlerinde, sürat ve ekonomikliği yanında kalite ve estetiği de bünyesinde taşıyan modern ve ileri yapım teknolojilerinden biri olarak görülmektedir [2]. Tünel kalıp sistemi, betonarme yapılarda taşıyıcı duvar ve döşemelerin kesin boyutlu ve düzgün yüzeyli çelik kalıplar kullanılarak tek işlemle yerinde betonlanmasını sağlayan endüstrileşmiş bir yapım yöntemidir. Betonarme yapı inşaatında bu sistemin kullanımı ile hem paradan tasarruf edilmiş hem de inşaa süreci kısaltılmıştır. Tünel kalıp sistemi özellikle tekrarlı kısımlar içeren çok katlı ve hücreli planlı; konut, otel, öğrenci yurdu ve hapisane gibi yapıların inşasında ekonomik açıdan verimlidir. Döşeme ve duvarların birarada betonlanmasıyla ortaya çıkan monolitik ve rijit yapı 40 ve daha fazla katlı binaların inşasını mümkün kılar [3]. Ayrıca topraklarının tamamına yakını önemli deprem riskleri taşıyan ülkemizin, nüfusunun %95'i deprem yönünden tehlikeli bölgelerde yaşamakta ve sanayi de başta olmak üzere yapısal yoğunluk olarak da %98'i yine deprem bölgelerinde bulunmaktadır. Özellikle son yıllarda meydana gelen depremlerin, büyüklüklerine oranla çok daha fazla hasara, can ve mal kaybına neden olmaları; deprem bölgelerinde yer alan betonarme binaların büyük bir kısmının, depreme dayanıklı yapıların sağlaması gereken yeterli dayanıma sahip olmadıklarının bir ispatıdır. Ancak, özellikle 1999 Marmara depreminde tünel kalıp sistemle yapılmış yapılar diğer yapılara kıyasla oldukça iyi dayanım sergilemiştir. Tünel kalıp, duvar ve döşemelerinin, kesin boyutlu ve düzgün yüzeyli çelik kalıplarla bir kerede, tek parça olarak (monolitik) dökülebildiği sistemdir [4]. Bu özelliklerinden dolayı depreme karşı rahatlıkla önerilen ve hızlı üretim imkanı sağlayan bir sistem olduğu söylenebilir [5].

Bu çalışmada, örnek bir betonarme bina ilk olarak tünel kalıp sistemiyle, ikinci olarak perdeli çerçeve sistem olarak modellenmiştir. Tünel kalıp sistemiyle inşa edilen binanın taşıyıcı sistemi tamamen perdelerden, perdeli çerçeve sistem ise, kolonlar ile perdelerden oluşturulmuştur. Sap-2000 programında çözülen bu sistemler kat deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve periyotları yönünden karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda bu bölümde, geleneksel sistem (perdeli çerçeve) ve sadece perdelerden oluşan sistem (tünel kalıp) yapım maliyetleri açısından incelenmiştir.

## **2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)**

Yapılan bu çalışmada, boyutları, kat adedi, zemin sınıfı, deprem bölgesi, malzeme sınıfları aynı; taşıyıcı sistemleri ve yapı teknikleri farklı olan iki model betonarme bina oluşturulmuştur.

Model binalardan tünel kalıp sistemiyle inşa edilecek yapının taşıyıcı sistemi tamamen perdeli; geleneksel sistemle inşa edilecek yapının taşıyıcı sistemi ise, perdeli çerçeve olarak çözümlenmiştir.

Model betonarme binalar, kuramsal esasları tünel kalıp sistemler bölümünde verilen temel projelendirme verilerine göre; DBYBHY 2007 [6] gereği depreme dayanıklı yapı tasarım ilkeleri ve TS 500- Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları [7] göz önüne alınarak boyutlandırılmıştır. Deprem yüklerinin binanın birbirine dik iki eksemi doğrultusunda ayrı ayrı etkidiği kabul edilmiştir.

Son yıllarda, binaların projelendirilmesi ve sayısal analizleri için çeşitli bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bu programlardan; özellikle bina türü yapıların üç boyutlu analizi ve boyutlandırılması için geliştirilmiş Sonlu Elemanlar Metodu çerçevesinde analiz yapabilen SAP 2000 programı çözümlenmede kullanılmıştır. Her iki sistem kat deplasmanları, taban kesme kuvvetleri, periyotları ve yapı maliyetleri açısından karşılaştırılmıştır.

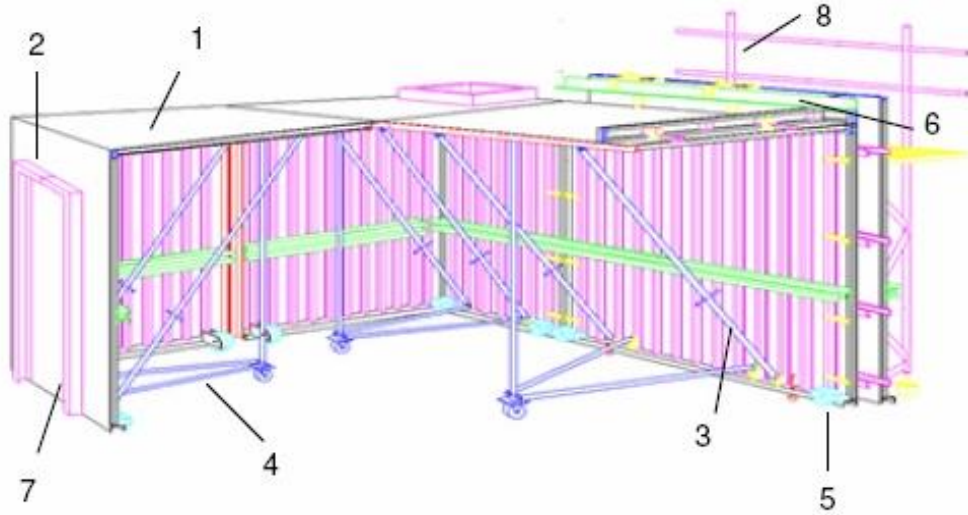
## **3. TÜNEL KALIP SİSTEMLER (TUNNEL FORMWORK SYSTEMS)**

### **3.1. Tünel Kalıp Sistemin Tanımı**

#### **(Definition of Tunnel Formwork System)**

Tünel kalıp sistemler, yapılarda taşıyıcı duvar(perde) ve döşemelerin bütün halinde, tek işlemle yerinde dökümünü sağlayan bir yapı tekniğidir. Sistem saç panolardan oluşur. Tünel Kalıplar dört yüzü kapalı kalıp birimlerdir. Beşinci yüz kalıbın üzerine oturduğu döşemedir. Altıncı yüz ise kalıbın çıkarılması için açık bırakılır. Kalıp yüzeyleri 3-4 mm kalınlığında çelik levhalardan oluşur [8].

Bu sistemde, döşemeler üç kenarından perdelere mesnetlenir. Cephe elemanları, merdivenler, sahanlıklar, bölme duvarlar, bacalar vb. ön yapımlı üretilir ve ana sistemle birleştirilir. Beton içinde kapı, pencere, baca deliği gibi boşlukları oluşturmak için çelik rezervasyon elemanlar kullanılır. Elektrik ve su tesisatları kalıbın içine önceden yerleştirilir. Kalıpların yerine yerleşimi ise kule vinç yardımıyla olmaktadır. Tünel kalıbı oluşturan elemanlar Şekil 1'de gösterilmiştir [8].



1. Yatay Pano
2. Dikey Pano
3. Çapraz Destek (konturfiş)
4. Tekerli Dikme
5. Tekerlek
6. Döşeme Kapatma Elemanı
7. Rezervasyon Kalıpları
8. Çalışma İskelesi

Şekil 1. Tünel kalıp elemanları [8]  
(Figure 1. Tunnel formwork members [8])

### 3.2. Tünel Kalıp Çeşitleri (Types of Tunnel Formwork)

#### 3.2.1. Yarım Tünel Kalıp (Half Tunnel Formwork)

Döşemelerle birlikte, binanın yan dış duvarlarının, iç bölme perdelerinin, konvertman perdelerinin betonlanmasına izin veren kalıp ekipmanına verilen isimdir. Yarım tünel kalıp ekipmanında, kalıp söküldükten sonra, döşemeleri dikme desteğinde bırakılmalıdır [1].

Yarım tünel kalıplar, iki yarım kalıbın birleşim detayları dışında fazla bir farklılık göstermezler (Şekil 2) [1].

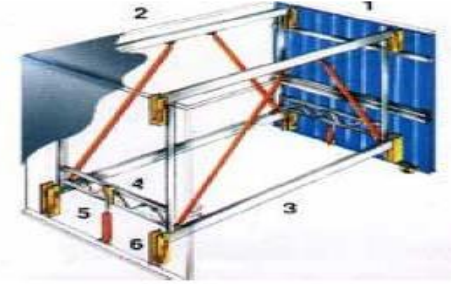


1. Düşey Pano
2. Yatay Pano
3. Ayarlanabilir Payanda
4. Denge Payandası
5. Süper Kriko

Şekil 2. Yarım tünel kalıp elemanı [8]  
(Figure 2. Half tunnel formwork member [8])

### 3.2.2. Tam Tünel Kalıplar (Full Tunnel Formworks)

Tam tünel kalıp ekipmanı döşemelerle birlikte, binanın, iç bölme perdelerinin, konvartman perdelerinin betonlamasına izin veren ekipmandır (Şekil 3). Tam tünel kalıplarda, en çok boyutları etkileyen özellik kalıpların ağırlıkları ve vincin kaldırma kapasitesidir. Tünel kalıplarda boyutlar üretici firmalara göre değişmekle birlikte açıklıklar 5.70-6.30 metre arasında değişmektedir. Yükseklik ise 2-3 metre arasında değişmektedir. Bundan daha fazla olan açıklıklarda döşeme kalınlığı artacak, kalıp kontrüksiyonu zorlanacak ve sistem ekonomik olmamaya başlayacaktır. Tam tünel kalıplar alındıktan sonra döşemeler dikme desteğine alınabilir [1].



- 1.Yan Duvar Kalıbı
- 2.Yatay Kalıp Yüzeyi
- 3.Travers
- 4.Kaldırma Kirişi
- 5.Hidrolik Kriko
- 6.Ayar ve Tespit Çubuğu

Şekil 3. Tam tünel kalıp elemanı [8]

(Figure 3. Full tunnel formwork member [8])

Tam tünel kalıp elemanları ve görevleri şu şekilde özetlenebilir:

- a) Yatay panolar
- b) Düşey panolar
- c) Üst kiriş: kalıbın germe ve boşaltma işlemleri için yatay yüzey kalıbını taşıyan profillerde oluşur.
- d) Payandalar: Yan kirişlerle yatay kirişi çapraz şekilde birleştirir.
- e) Flans ayakları: Kalıbı teraziye almada kullanılır.
- f) Rulmanlı tekerlek: kalıbı sürmeye yarar
- g) Çubuklar: perde ara mesafelerini ayarlar
- h) Somunlar: Kelebekleri sıkmakta kullanılır.
- i) Muhafazalar: Kalıpları korurlar [1].

### 4. TÜNEL KALIP SİSTEMLE İNŞA EDİLECEK ÖRNEK BETONARME BİNANIN ANALİZ VE TASARIMI (ANALYSIS AND DESIGN OF REINFORCED CONCRETE SAMPLE BUILDING CONSTRUCTED WITH TUNNEL FORMWORK SYSTEM)

Bu bölümde, 11 kattan oluşan tünel kalıp sistemle inşa edilecek bir yapının analiz ve tasarımı SAP 2000 programı ile yapılmıştır.

#### 4.1. Tünel Kalıp Sisteme Ait Binanın Özellikleri (Properties of the Building Constructed with Tunnel Formwork System)

Binanın zemin kat planı Şekil 4'de, SAP 2000 programında oluşturulmuş üç boyutlu görünüşü Şekil 5'de ve (+) Ex yönünde oluşan max bina deplasmanı Şekil 6'da verilmiştir. Diğer kat planları zemin kat planıyla aynıdır. Binada perde kalınlığı 20 cm, döşeme kalınlığı 12 cm seçilmiştir. Döşeme ve perde gövdelerinde, perde uçlarında, döşemelerde, etriyelerde S420 çeliği kullanılmıştır. Hesaplarda beton için C25 sınıfı seçilmiştir. Taşıyıcı sistem türü betonarme süneklik düzeyi yüksek perdeli sistem olarak belirlenmiştir. Binaya ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Kat yükseklikleri:3.00 m

Kat sayısı:11

Döşeme sistemi:Plak döşeme

Bina önem katsayısı (I):1

Deprem Bölgesi:1. Derece

Etkin Yer ivme katsayısı (A0):0.4

Yerel Zemin Sınıfı:Z3

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R):6

$f_{cd}$ (Hesapta kullanılacak beton basınç dayanımı):17000 kN/m<sup>2</sup> (C25 için)

$f_{yd}$ (Hesapta kullanılacak çelik akma dayanımı):365000 kN/m<sup>2</sup> (S420 için)

$E_c$  (Elastisite Modülü):3.00E7 kN/m

$\gamma_{beton}$  (Beton birim hacim ağırlığı):25 kN/m<sup>3</sup>

##### 4.1.1. Yapıya Etki Eden Yükler (Loads Acting on the Structure)

Döşeme sabit yükü,

Kaplama + sıva:g:200 kN / m<sup>2</sup>

Hareketli yük, odalarda hareketli yük 2 kN/m<sup>2</sup> alınmıştır. ½ duvar gelen döşemelerde hareketli yük 1,5 kN/m<sup>2</sup> artırılarak, 3,5 kN/m<sup>2</sup> alınmıştır.

Duvar yükü g:600 kN / m<sup>2</sup>

Yapıya etki eden yükler,

G:Sabit yük

Q:Hareketli yük

$E_x$ :X yönü Deprem

$E_y$ :Y yönü Deprem

Deprem yükleri, ek dışmerkezlik etkilerinin hesaba katılması için %5 eksantrisite ile yapıya etkilmiştir.

##### 4.1.2. Yapıya Etki Eden Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi (Determination of Cumulative Equivalent Seismic Load Acting on the Structure)

$$T_A < T \leq T_B \rightarrow S(T) = 2,5 \quad (1)$$

Zemin sınıfı Z3 için ;

$$T = 0.551 \text{ sn olduğundan}$$

$$0.15 < 0.551 < 0.60 \rightarrow S(T) = 2,5 \quad (2)$$

$$R_a(T) = R \rightarrow R_a = 6 \quad (3)$$

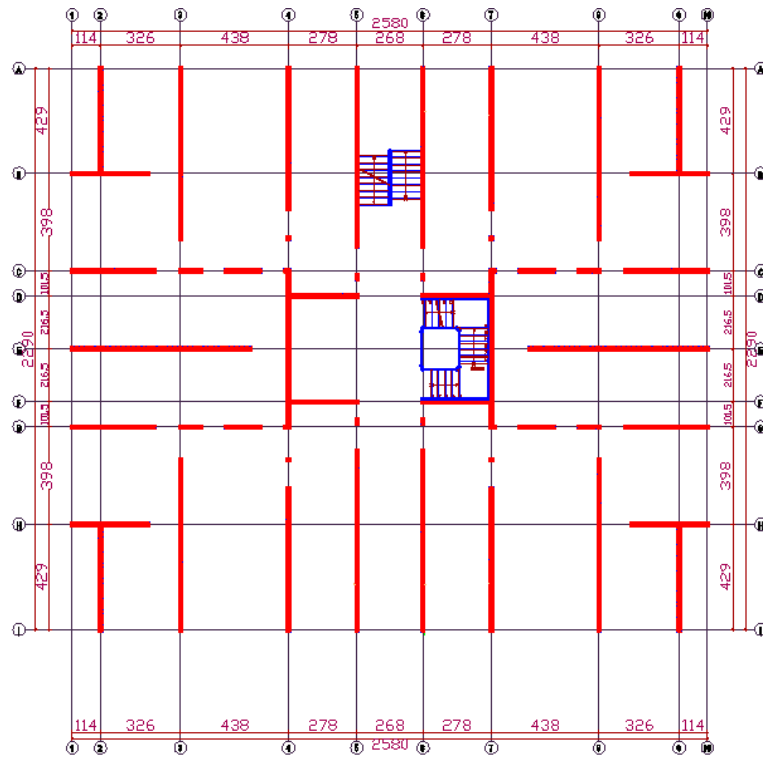
$$A(T) = A_0 \times I \times S(T) \quad A(T) = 0.40 \times 1 \times 2.5 = 1 \quad (4)$$

$$W = 87680 \text{ kN} \quad V_r = W \times A_{(T)} / R_{a(T)} \quad (5)$$

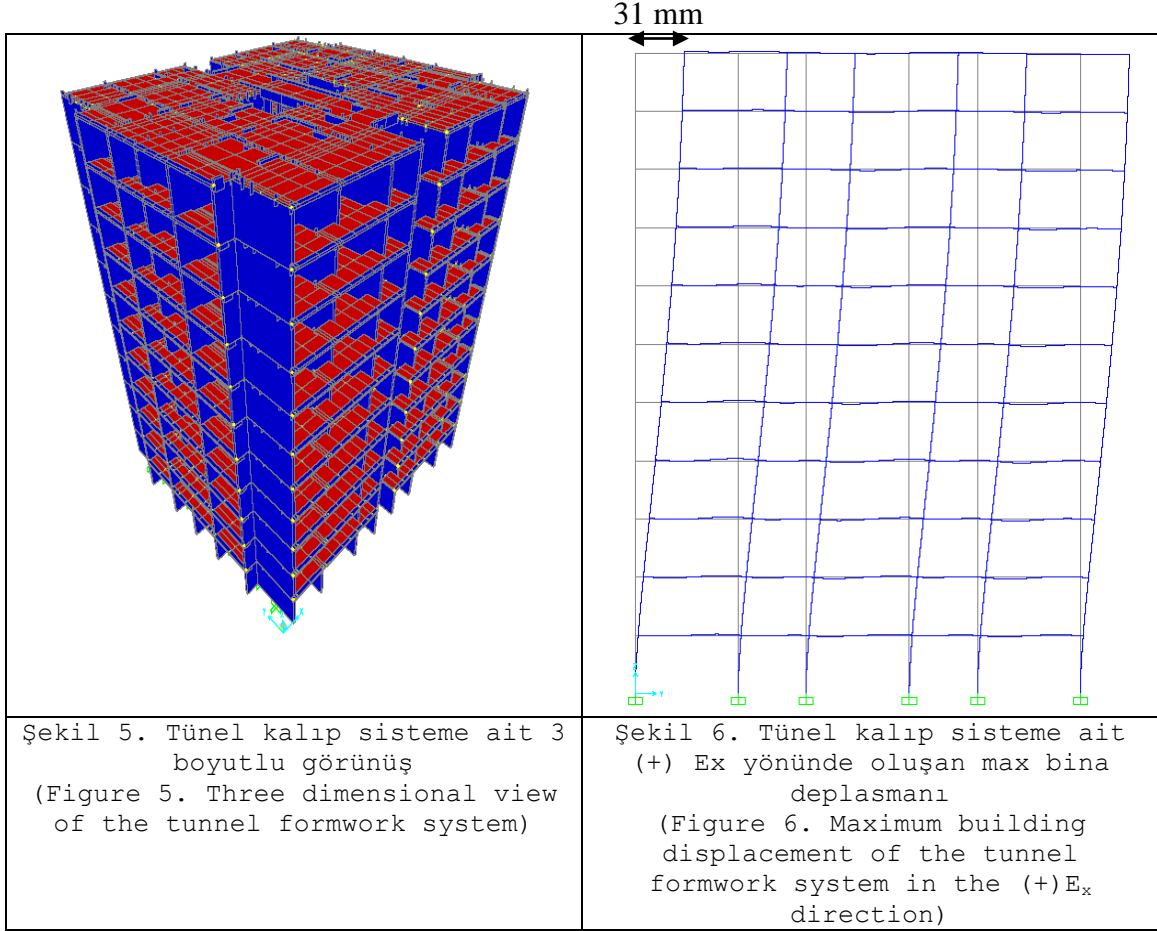
$$V_r = \frac{8768 \times 1}{6} = 14613 \text{ kN} \quad (6)$$

$$V_r = W \times A(T_1) / R_a(T_1) \geq 0.10 \times A_0 \times I \times W \quad (7)$$

$$V_r = 1461.3t > 0.1 \times 0.4 \times 1 \times 8768 = 3507 \text{ kN} \quad (8)$$



Şekil 4. Tünel kalıp sistem zemin kat planı  
 (Figure 4. Ground floor plan of the tunnel formwork system)



Yapılan analiz sonucunda binaya ait (+)  $E_x$  yönünde ve (+)  $E_y$  yönünde elde edilen kat deplasmanları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tünel kalıp sisteme ait (+)  $E_x$  ve (+)  $E_y$  yönünde oluşan kat deplasmanları

(Table 1. Floor displacements of the tunnel formwork system in the  $E_x$  and (+)  $E_y$  directions)

Kat	(+) $E_x$ yönünde		(+) $E_y$ yönünde	
	$d_1$ max (mm)	$d_1$ min (mm)	$d_1$ max (mm)	$d_1$ min (mm)
11	31	22	19	8
10	28	20	17	7
9	25	18	15	6
8	22	16	13	5
7	19	14	11	4
6	16	11	9	3
5	12	9	7	2,5
4	9	7	5	2
3	6	4	3	1
2	3	2	2	0,7
1	1	0,8	0,5	0,3



#### 4.2. Geleneksel Sistemle İnşa Edilecek Taşıyıcı Sistemi Perdeli Çerçeve Sistemden Oluşan Örnek Betonarme Binanın Analiz ve Tasarımı (Analysis and Design of a Reinforced Concrete Sample Building Constructed with Traditional System Having a Load-Bearing System of Shear Wall-Frame System)

Bu bölümde 11 kattan oluşan geleneksel sistemle inşa edilecek perde-çerçeve betonarme yapının analiz ve tasarımı SAP 2000 programı ile yapılmıştır.

##### 4.2.1. Perdeli Çerçeve Sisteme Ait Binanın Özellikleri (Properties of the Building With Shear Wall-Frame System)

Binanın kat planı Şekil 7'de, SAP 2000 programında oluşturulmuş üç boyutlu görünüşü Şekil 8'de ve (+) Ex yönünde oluşan max bina deplasmanı Şekil 9'da verilmiştir. Diğer kat planları zemin kat planıyla aynıdır. Binada kolonlar 30x100 cm, perdeler 30x210 cm, döşeme kalınlığı 12 cm, kirişler 25x50 cm kesitinde seçilmiştir. Yapı elemanlarında S420 çeliği kullanılmıştır. Hesaplarda beton için C25 sınıfı seçilmiştir.

Taşıyıcı sistem türü betonarme süneklik düzeyi yüksek deprem yüklerinin çerçeve ve perdeler tarafından taşındığı binalar olarak alınmıştır.

Kat sayısı:11

Kat yükseklikleri:3.00 m

Döşeme sistemi:Plak döşeme

Bina önem katsayısı (I):1

Deprem Bölgesi:1. Derece

Etkin Yer ivme katsayısı (A0):0.4

Yerel Zemin Sınıfı:Z3

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R):7

$f_{cd}$  (Hesapta kullanılacak beton basınç dayanımı):17000 kN/m<sup>2</sup> (C25 için)

$f_{yd}$  (Hesapta kullanılacak çelik akma dayanımı):365000 kN/m<sup>2</sup> (S420 için)

$E_c$  (Elastisite Modülü) : 3,000E7 kN/m

Beton (Beton birim hacim ağırlığı):25 kN/m<sup>3</sup>

Yapılan analiz sonucunda binaya ait (+)  $E_x$  yönünde ve (+)  $E_y$  yönünde elde edilen kat deplasmanları Tablo 2'de verilmiştir.

##### 4.2.2. Yapıya Etki Eden Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi (Determination of the Cumulative Equivalent Seismic Load Acting on the Building)

$$T > T_B \quad S(T) = 2.5 \times \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (9)$$

$$0.878 > 0.60 \quad S(T) = 2.5 \times \left( \frac{0.60}{0.878} \right)^{0.8} \rightarrow S(T) = 1.84 \quad (10)$$

$$R_a(T) = R \rightarrow R_a = 7 \quad (11)$$

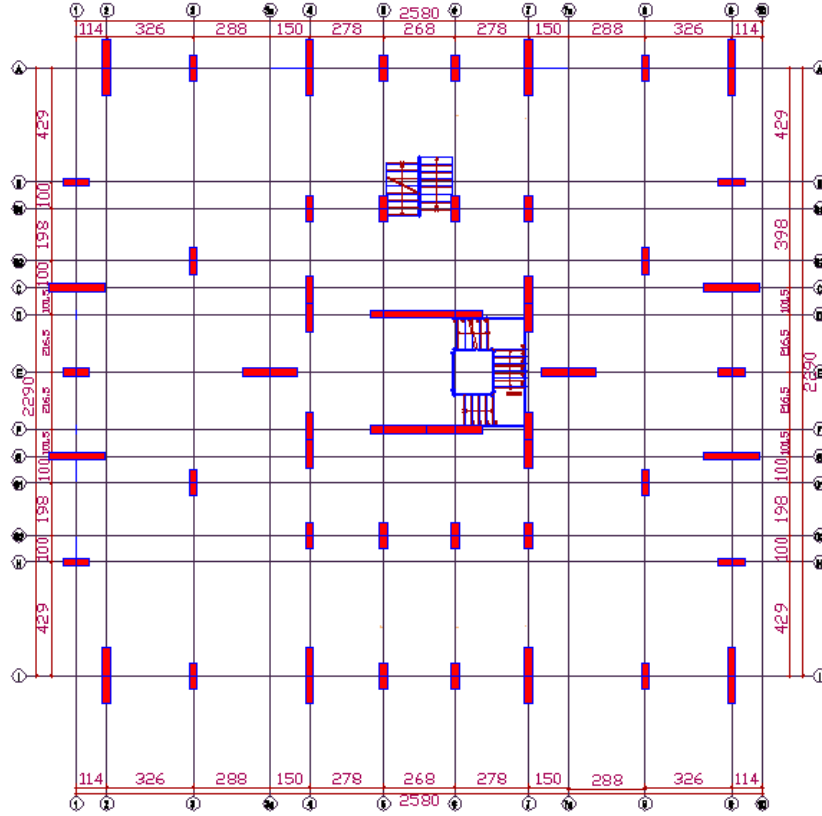
$$A(T) = A_0 \times I_x \times S(T) \quad A(T) = 0.40 \times 1 \times 1.84 = 0.736 \quad (12)$$

$$W = 100600 \text{ kN} \quad V_t = W \times A_{(T)} / R_{a(T)} \quad (13)$$

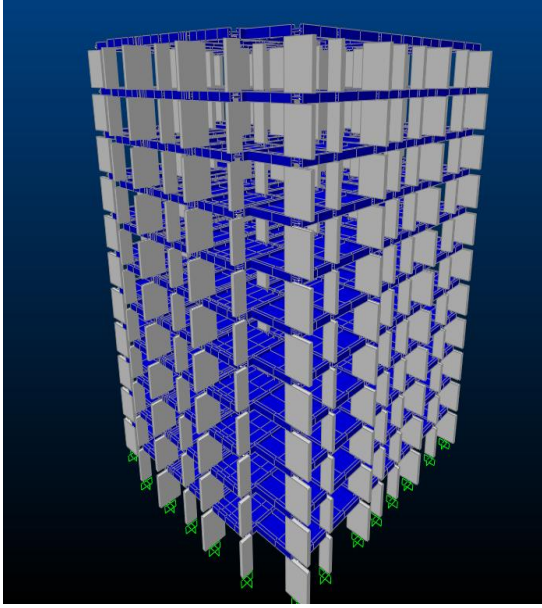
$$V_t = \frac{10060 \times 0.736}{7} = 10570 \text{ kN} \quad (14)$$

$$V_t = Wx A(T_1) / R_a(T_1) \geq 0.10 x A_0 x I x W \quad (15)$$

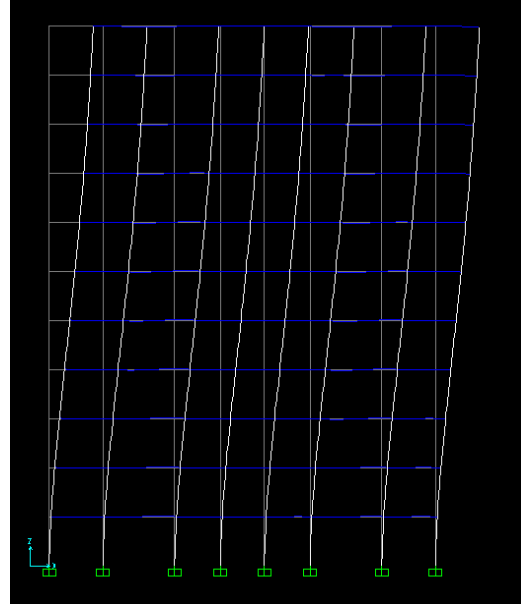
$$V_t = 1057t > 0.1 x 0.4 x 1 x 10060 = 4024 \text{ kN} \quad (16)$$



Şekil 7. Perdeli Çerçeve sisteme ait kat planı  
(Figure 7. Floor plan of the Shear wall-frame system)



Şekil 8. Perdeli Çerçeve sisteme ait 3 boyutlu görünüş  
(Figure 8. Three dimensional view of the Shear Wall-Frame System)



Şekil 9. Perdeli Çerçeve sisteme ait (+)  $E_x$  yönünde oluşan max bina deplasmanı  
(Figure 9. Maximum building displacement of the Shear Wall-Frame system in the (+) $E_x$  direction)

Tablo 2. Perdeli çerçeve sisteme ait (+)  $E_x$  ve (+)  $E_y$  yönünde oluşan kat deplasmanları  
(Table 2. Floor displacements of the Shear Wall-Frame System in the  $E_x$  and (+) $E_y$  directions)

Kat	(+) $E_x$ yönünde		(+) $E_y$ yönünde	
	$d_1$ max (mm)	$d_1$ min (mm)	$d_1$ max (mm)	$d_1$ min (mm)
11	89	74	64	47
10	83	69	61	44
9	77	64	56	41
8	70	57	51	37
7	61	50	45	32
6	52	42	38	27
5	41	34	31	22
4	31	25	23	16
3	20	16	15	10
2	11	8	8	5
1	3	2	2	1

#### 4.3. Tünel Kalıp-Perdeli Çerçeve Sistem Sonuçlarının Karşılaştırılması (Comparison of the Results of Tunnel Formwork and Shear Wall-Frame Systems)

Her iki sistemin analizi sonucunda elde edilen periyot değerleri Tablo 3'de, taban kesme kuvveti ve kat kuvveti değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Perdeli çerçeve sistemin (+)  $E_x$  yönüne ait (max) ve (min) deplasman değerlerinin tünel kalıp sisteme göre değişim oranları Tablo 5'te; (+)  $E_y$  yönüne ait değişim oranları ise Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 3. Tünel kalıp ve perdeli çerçeve sistem periyot değerleri  
(Table 3. Period values of the tunnel formwork and shear wall-frame system)

Mod	Tünel Kalıp Sistem Periyot (sn)	Perdeli Çerçeve Sistem Periyot (sn)
1	0.551	0.878
2	0.476	0.786
3	0.334	0.732
4	0.129	0.251
5	0.128	0.237
6	0.084	0.211
7	0.061	0.121
8	0.061	0.12
9	0.061	0.11
10	0.061	0.102
11	0.061	0.077
12	0.057	0.076

Tablo 4. Tünel kalıp ve perdeli çerçeve sistem için elde edilen taban kesme kuvveti ve kat kuvveti

(Table 4. Base shear force and floor force obtained for the tunnel formwork and shear wall-frame system)

Kat	Tünel Kalıp Sistem		Perdeli Çerçeve Sistem	
	V(t)	V(t) / w	V(t)	V(t) / w
11	243.6	0.31	176.1	0.19
10	221.4	0.28	160.5	0.18
9	199.3	0.25	144.2	0.16
8	177.1	0.22	127.5	0.14
7	155	0.19	111.9	0.12
6	132.8	0.17	95.8	0.10
5	110.7	0.14	80.4	0.09
4	88.6	0.11	64.7	0.07
3	66.4	0.08	47.3	0.05
2	44.3	0.05	31.6	0.03
1	22.1	0.03	16	0.02

Tablo 5. Perdeli çerçeve sistemin tünel kalıp sisteme göre (+) Ex yönünde (max) ve (min) deplasman değerlerindeki değişim oranları

(Table 5. The variation ratios of shear wall-frame system's maximum and minimum displacement values in (+) E<sub>x</sub> direction with respect to the tunnel formwork system)

Kat	Perdeli Çerçeve Sisteme ait (max) deplasman değerindeki değişim oranı (% Artış)	Perdeli Çerçeve Sisteme ait (min) deplasman değerindeki değişim oranı (% Artış)
11	187	236
10	196	245
9	208	256
8	218	256
7	221	257
6	225	282
5	242	278
4	244	257
3	233	300
2	267	300
1	200	150

Tablo 6. Perdeli çerçeve sistemin tünel kalıp sisteme göre (+) Ey yönünde (max) ve (min) deplasman değerlerindeki değişim oranları (Table 6. The variation ratios of shear wall-frame system's maximum and minimum displacement values in (+) E<sub>y</sub> direction with respect to the tunnel formwork system)

Kat	Perdeli Çerçeve Sisteme ait (max) deplasman değerindeki değişim oranı (% Artış)	Perdeli Çerçeve Sisteme ait (min) deplasman değerindeki değişim oranı (% Artış)
11	237	488
10	259	529
9	273	583
8	292	640
7	309	700
6	322	800
5	343	780
4	360	700
3	400	900
2	300	614
1	300	233

## 5. GELENEKSEL SİSTEM İLE TÜNEL KALIP SİSTEMİN YAPIM HIZI VE MALİYET KARŞILAŞTIRMALARI (COMPARISON OF THE TRADITIONAL AND TUNNEL FORMWORK SYSTEMS IN TERMS OF CONSTRUCTION SPEED AND COST)

### 5.1. İmalat Hızı (Production Speed)

Her iki örnek yapım sisteminde de, öncelikle 497 m<sup>2</sup> oturma alanı olan tek katlı, 4 dairesel bir yapının tamamlanması için gereken ekip ihtiyacı ve süresi bakımından karşılaştırılması Tablo 7'de verilmiştir. Tek kalıpla çalışıldığı düşünülmüştür [6].

Yapılan bu irdelemede, geleneksel sistemle yapılan bir inşaatta en az 6 çeşit ekip kullanılırken, tünel kalıp sistemle yapılan bir inşaatta en fazla 4 çeşit ekip bulundurulmaktadır. Ayrıca bu ekiplerde çalışan işçi sayısına bakıldığında, tünel kalıp sistemlerde imalat daha az elemanla olmaktadır [6].

Aynı zamanda geleneksel sistemle tünel kalıp sistemi arasında zamandan dolayı bir karşılaştırma yapıldığında, yaklaşık 5 kat oranında bir zaman tasarrufu vardır. Bu karşılaştırmada her iki sistemde de tek takım kalıpla çalışıldığı düşünülmüştür. Tünel kalıp sistemlerdeki inşaat süresi hızı, iş gücü ve anaparanın uzun süre bağlı kalmasını önler. Ayrıca ekiplerin bekleme süresinden kaynaklanan işçilik kayıpları tünel kalıp sistemin sürekliliği özelliğinden dolayı ortadan kalkar. Bunlarda, maliyetin düşmesinde büyük bir faktör olarak karşımıza çıkar [6].

Tablo 7. Yapım tekniklerinin süre ve ekip yönünden incelenmesi [6]  
(Table 7. Investigation of construction techniques in terms of time  
and team[6])

	Geleneksel Sistem	İnşaat İçin Geçen Süre	Tünel Kalıp Sistem	İnşaat İçin Geçen Süre
Kalıp Hazırlanması	<b>2 Kalıpcı Ustası</b> <b>2 Usta Yardımcısı</b> <b>1 Düz İşçi</b>	<b>5 Gün</b>	<b>Tünel Kalıp ekibi (4 Kişi)</b> <b>İnşaat ekibi (4 Kişi)</b> <b>Soğuk Demirci (2 Kişi)</b>	1 Gün
Demirci Ekibi	<b>2 Demirci Ustası</b> <b>2 Usta Yardımcısı</b> <b>1 Düz İşçi</b>	<b>2 Gün</b>		
Elektrikçi Ekibi	<b>1 usta</b> <b>1 usta Yardımcısı</b>	<b>1 Gün</b>	<b>İnşaat Ekibi Elektrik Tesisatçısı (2 Usta)</b>	$\frac{1}{2}$ Gün
Kalıp Takviye ve İskele İşleri	<b>2 Kalıpcı Ustası</b> <b>2 Usta Yardımcısı</b> <b>1 Düz İşçi</b>	<b>1 Gün</b>	-	-
Hazır Beton Ekibi	<b>2 Betoncu+Pompacı</b> <b>2 Vibratör Ustası</b>	$\frac{1}{2}$ Gün	<b>2 Betoncu+Pompacı</b> <b>2 Vibratör Ustası</b>	$\frac{1}{2}$ Gün
Beton Bakım(Sulama ve Prizleme)	<b>1 Düz İşçi</b>	<b>8 Gün</b>	<b>Kürleme Elemanı</b>	8 saat Gece Isıtması
Kalıp Sökülmesi	<b>2 Kalıpcı Ustası</b> <b>2 Usta Yardımcısı</b> <b>1 Düz İşçi</b>	<b>1 Gün</b>	<b>İnşaat Ekibi (4 Kişi)</b>	1 Gün
Ara Duvar Örülmesi	<b>2 usta</b> <b>2 usta Yardımcısı</b>	<b>4 Gün</b>	-	-
Prefabrik Pano Montajı	-	-	<b>İnşaat Ekibi (2 Usta)</b>	1 Gün
Kapı Kasalarının Takılması	<b>1 Demirci Ustası</b> <b>2 Usta Yardımcısı</b>	<b>1 Gün</b>	<b>1 Demirci Ustası</b> <b>2 Usta Yardımcısı</b>	1 Gün
Kaba İnce Sıva İşçiliği	<b>2 Sıvacı Ustası</b> <b>2 Usta Yardımcısı</b> <b>1 Düz İşçi</b>	<b>4 Gün</b>	-	-
Prefabrik Cephe Merdiven Montajı	-	-	<b>İnşaat Ekibi (2 Usta)</b>	1 Gün

Tablo 8'de da, yukarıda tanımlanan binanın toplam 11 katının kaba inşaatının tamamlanması için geçen süre yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Tablo 10 incelendiğinde 11 katlı bir binada geleneksel

sistem kullanılarak binanın kaba inşaatının tamamlanıp son kat kalıbının sökülmesi için 198 gün gerekirken, tünel kalıp sistemde 55 günde duvarlar dahil bina kapı kasaları boya ve badana hariç tamamlandığı görülecektir [6].

Tablo 8. 11 Katlı yapıda kaba inşaat için geçen süreler [6]  
(Table 8. Time durations spent for the rough construction works of the 11-floor structure [6])

Geleneksel Sistem		Tünel Kalıp Sistemler	
1) Kalıp hazırlanması 2) Demir, hasır döşenmesi 3) Elektrik tesisatı döşenmesi 4) Kalıp takviye işleri 5) Beton dökülmesi 6) Beton bakım, sulama, prizleme 7) Kalıp sökülmesi	Zemin katın kalıp sökümünden 11.katın kalıp sökümüne kadar geçen süre  11 x18 gün = 198 gün	1) Kalıp hazırlanması 2) Çelik hasır, elektrik tesisatı döşenmesi 3) Beton dökülmesi 4) Beton bakım, sulama prizleme 5) Kalıp sökümü 6) Prefabrik pano montajı	5x11=55 gün

## 5.2. Maliyet ve İşçilik Araştırması (Cost and Workmanship Survey)

Yapılan araştırmalara göre, kaba inşaatta toplam maliyetin ortalama %45'i işçilik, %55'i de malzemedir. Betonarme bir yapıda kaba inşaat maliyetinin %60'lık bir kısmını kalıp maliyetidir. Kaba inşaatında maliyetin yaklaşık %40'ı işçilik, %20'si kalıp maliyeti, %40'ı da beton malzemesidir.

Kalıp giderleri, tipik birçok katlı betonarme binada en büyük giderdir. Kalıp, betonarme karkas bir inşaat maliyetinin %40-60'ı arasındadır. Bütün inşaat maliyetinin %10'ununa yakını kalıp maliyetidir. Maliyetlerin en büyük payı kalıp işçiliğine aittir. Kalıp işçilik maliyetlerinin düşürülmesi halinde bina inşaat maliyetlerinin düşürüleceği açıktır [9].

Kalıbın toplam işçilik maliyeti içindeki oranı yaklaşık olarak %50'si, malzeme maliyetinin ise toplam %10'udur. Eğer her bir yapının maliyet değerleri göz önüne alınacak olursa, kalıp işçilik bedelinin toplam işçilikteki bedelindeki dağılımı %30-60 arasındadır. Bu değer büyük oluşu kalıp işçiliğinin maliyete etkisinin büyük olması demektir. Yapının tasarım aşamasında kalıp ve işçiliği de düşünülür, rasyonel kalıp sistemlerinden uygun olanı seçilirse, bir ekonomi sağlanabilir. Bu konu maliyetlere etkisi yüzünden, proje aşamasında üzerinde araştırma yapılması gerektiren ayrıntılı bir konudur [9].

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Tünel kalıp sistemde yapısal olarak, betonarmenin fiziksel özelliklerinin sağlamış olduğu avantajlardan büyük ölçüde yararlanılmakta ve sistemin işlerliği sağlandığı takdirde ekonomik çözümler elde edilmektedir. Bu sistem, temeldeki bağlantı kirişlerine duyulan ihtiyacı azaltmakta ve tek bir kiriş gibi görev yapmaktadır. Böylelikle yapının direncinde artış sağlanmaktadır [10]. Tünel kalıp sistemler, çok büyük rijitlik sağladıkları için bu gereği en iyi sağlayan yapı olma özelliği taşımaktadırlar.

Bu çalışmada yapılan analiz sonucunda; tünel kalıp sistemin, bodrum katlarının oldukça rijit olması sebebiyle tüm binanın

rijitliğini arttırdığı görülmüştür. Bu durum sonucunda, perdeli çevre sistemde tünel kalıp sisteme göre kat deplasmanlarının (+) Ex ve (+) Ey yönünde ortalama min % 175 max % 650 daha fazla olduğu görülmüştür. Tünel kalıp sistemin aynı zamanda relatif kat yerdeğiştirmelerini de azalttığı görülmektedir. Tünel kalıp sistem, perdeli çerçeve sisteme göre daha fazla rijitliğe sahip olduğu için periyodu daha küçük olmuştur.

Yapım teknikleri karşılaştırılırken, sistemleri tek başına yapısal çözümlene açısından incelemek yeterli olmayabilir. Sistemlerin güvenliğinin yanında ekonomikliği de oldukça önemli bir unsurdur. Konut sayısının arttığı durumlarda geleneksel sistemle inşa edilecek yapılar için klasik bir fiyat düşüşü yaşanırken, tünel kalıp sistemde kayda değer ekonomik bir maliyet söz konusu olmaktadır. Tünel kalıp sistemde, elemanların düşey ve yatay taşınmasını sağlayan bir kule vince ihtiyaç duyulur. İnşa edilecek konutun sayıca az olması durumunda vinç maliyeti önemli ölçüde artırmaktadır. Geleneksel sistemde ise, inşaat malzemelerinin hemen hepsinin yerel olarak temin edilmesi daha kolay ve ucuzdur. Oysa tünel kalıp sistemde balkon, merdiven, v.b. ön yapımlı üretilen elemanların özel ölçü ve imatları kapsaması konut sayısının az olması durumunda maliyeti arttırıcı bir diğer unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, tünel kalıp sistemle inşaat hızı geleneksel sistemin 5 katıdır. Bu da maliyetin düşmesinde önemli bir etkidir. Bu nedenle toplu konut üretimi gibi yapım süresi, ekonomi, kalite, standart ve endüstrileşme faktörlerinin önemli olduğu durumlarda oldukça uygun bir teknik olarak tünel kalıp sistem karşımıza çıkmaktadır [6].

Sonuç olarak, tünel kalıp sistem; dayanım, yapım süresi ve yapımdaki kolaylığı gibi özelliklerinin yanında kalıplarının yüzlerce defa kullanılabilmesi, az sayıda elemanla verimli ve kaliteli imalat yapılması, tekrarlı kısımlar içeren çok katlı çok sayıda yapıda geleneksel sisteme oranla yaklaşık %20 daha az maliyetinden dolayı uygun bir yapım tekniğidir.

#### **NOT (NOTICE)**

Bu makale, 28-30 Eylül 2011 tarihleri arasında Elazığ Fırat Üniversitesinde "International Participated Construction Congress" IPCC11'de sözlü sunum olarak sunulmuştur.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. Benli, N., (2005). Çok Katlı Yüksek Yapılarda Kullanılan Kalıp Sistemlerinin İrdelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
2. Korur, S., (2004). Tünel Kalıp Sistemi Uygulamalarında Karşılaşılan Teknik Sorunlar ve Üretilen Çözümlerin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
3. Öztürk, T. ve Bulgu, N.N., (2007). Tünel Kalıpla İnşa Edilen Çok Katlı Binaların Deprem Davranışının İncelenmesi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007, ss:397-412.
4. Balkabak, İ., (1998). Tünel Kalıp Sistemler. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
5. Apay, A., Aydın, E. ve Yılmaz, P., (2005). Depreme Dayanıklı Yapılarda Tünel Kalıp Sisteminin Kullanılması. Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005, 23-25 Mart, ss:902-911.
6. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, <http://www.deprem.gov.tr>.



7. Türk Standartları Enstitüsü, (2000). TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.
8. Sucu, Ö., (2006). Tünel Kalıplarla İnşa Edilen Tamamen Perdeli Betonarme Yapıların Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
9. Kürklü, G. ve Akbulut, H., (2004). Tüm Yönleriyle Beton ve Betonarme Kalıpları. (1.baskı), Ankara, Teknik Yayınevi.
10. Apay, A., (1983). Türkiye’de Konut Sorunu ve Çözümünde Geliştirilen Yeni Teknolojiler. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Eskişehir.