

## DEPREME DAYANIKLI YAPILARDA TÜNEL KALIP SİSTEMİNİN KULLANILMASI

**Ahmet APAY<sup>1</sup>, Emine AYDIN<sup>1</sup>, Pelin YILMAZ<sup>1</sup>**  
[aapay@sakarya.edu.tr](mailto:aapay@sakarya.edu.tr), [emineb@sakarya.edu.tr](mailto:emineb@sakarya.edu.tr), [pozgun@sakarya.edu.tr](mailto:pozgun@sakarya.edu.tr)

**Öz:** Türkiye, içinden çok sayıda fay hattının geçtiği deprem bölgesinde bulunmaktadır. Yüksek deprem riskine maruz ülkemizde, depremleri önleyemeyeceğimize göre, etkilerini azaltıp zararsız ya da en az zararlı atlatılabilmenin yolu depreme dayanıklı yapılar inşa etmektir. Bu çerçevede, tünel kalıp sistemi bir çözüm sistemi olarak düşünülebilir. Bu çalışmada, depremin yapılara etkileri, depreme dayanıklı yapılar için alınması gereken önlemler ve tünel kalıp sisteminin özellikleri açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, Tünel Kalıp

### Giriş

Dünyanın en aktif deprem kuşaklarından biri üzerinde bulunan ülke topraklarımızın %42'si I. derece deprem bölgesi, %24'ü ise II. derece deprem bölgesi üzerindedir. Bir başka deyişle topraklarımızın %66'sı, her an her büyüklükte depremin olabileceği bölgede yer almaktadır. Bu bölgede yaşayan nüfus ise, Türkiye toplamının yaklaşık %70'i olup çok yüksek deprem riski altındadır. Ayrıca sanayi tesislerimizin %98'i ve barajların %92'si, çeşitli derecedeki deprem bölgelerinde inşa edilmiştir(BALKABAK,İ., FIRAT,S., APAY,A., 2000.).

Yapı olgusu; hızlı üretim tekniği, ekonomisi, niteliği yönünden büyük ölçüde, kalıp tekniğinin doğru seçilip, detaylarının doğru çözümlenmesine bağlıdır(BALKABAK,İ., 1998). Son yıllarda ülkemizde toplu konut ve çok katlı yapılar üretiminde taşıyıcı sistem olarak perdeli çerçevesi yapılar alternatif olarak tünel kalıp sistemler çokça kullanılmaya başlanmıştır(SÜMER,Y., 2003). Gerek üst yapı, gerekse alt yapı inşaatların maliyetinde en önemli girdi olan kalıp, aynı zamanda teknolojik yapı üretiminin ayrılmaz bir parçasıdır(BALKABAK,İ., 1998).

17 Ağustos Marmara depreminde tünel kalıp sistemiyle yapılmış yapılar depremin yıkıcı etkisine karşı mükemmel bir direnç göstermiştir(). Bu sistemin en önemli özelliklerinden biri, genellikle toplu konutlarda, çok kısa sürede ve çok sayıda ekonomik yapılar üretilebilmektir(BALKABAK,İ., FIRAT,S., APAY,A., 2000). Tünel kalıp, yapının duvar ve döşemelerinin, kesin boyutlu ve düzgün yüzeyli çelik kalıplarla bir kerede, tek parça olarak(monolitik) dökülebildiği sistemidir(BALKABAK,İ., 1998). Bu özelliklerinden dolayı depreme karşı rahatlıkla önerilen ve hızlı üretim imkanı sağlayan bir sistem olduğu söylenebilir.

Tünel kalıp sistemi yurdumuza uyan en iyi teknolojik kalıp sistemidir. Bugün dünyada bilhassa toplu konut imalat tiplerini başlıca şu grupta toplayabiliriz:

- Konvansiyonel (klasik tip)
- Ahşap Prefabrik
- Hafif Beton Prefabrik
- Ağır Beton Prefabrik
- Karma Sistem (tünel kalıp ve prefabrik cephe elemanları)

Bu sistemleri kendi aralarında karşılaştırdığımızda başlıca göze çarpan faktörler şunlardır(BALKABAK,İ., 1998):

İNŞAAT TİPİ	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Konvansiyonel İnşaat	<ul style="list-style-type: none"><li>• Az makine ihtiyacı</li><li>• Alışagelmiş malzeme ve teknoloji kullanımı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• İnşaat süresinin uzunluğu</li><li>• Malzeme zayıtı</li></ul>

<sup>1</sup> Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sağlam İnşaat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kısıtlı üretim kapasitesi</li> <li>• Daimi iş verilmemesi</li> <li>• Maliyet yüksekliği</li> <li>• İstenilen kalitenin olmayışı</li> </ul>
Ahşap Prefabrik İnşaatı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Süratli inşaat ikmali</li> <li>• Yüksek üretim kapasitesi</li> <li>• İyi inşaat kalitesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orman ürünlerine olumsuz katkısı</li> <li>• Sadece kırsal bölgelerde kullanılır</li> <li>• Büyük makine parkı ve stoka ihtiyaç göstermesi</li> <li>• Katkı maddelerinin ithali</li> </ul>
Hafif Beton Prefabrik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isı ve ses yalıtımı</li> <li>• Yüksek üretim kapasitesi</li> <li>• İyi inşaat kalitesi</li> <li>• Demir tasarrufu</li> <li>• İnşaat hızı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hafif beton malzeme maliyetinin artışı</li> <li>• Ekonomik taşıma sahası kısıtlılığı</li> <li>• Bütün işçiliğin fabrikada yapılması</li> <li>• Bina taşıyıcı sistemlerin kısıtlılığı</li> <li>• Çok katlı inşaat yapılmaması</li> </ul>
Ağır Beton Prefabrik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çok süratli inşaat</li> <li>• Yüksek üretim kapasitesi</li> <li>• Çok az işçi çalıştırılması</li> <li>• Maliyette ucuzlama</li> <li>• Demir tasarrufu</li> <li>• İyi inşaat kalitesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ağır makine parkı ihtiyacı</li> <li>• Az katlı inşaat ekonomik olmayışı</li> <li>• İlk tesisin çok pahalı oluşu</li> <li>• Çok katlı inşaat yapılmaması</li> </ul>
Karma Sistem	Tünel Kalıp Sistemi ve Prefabrik Cephe Elemanları	

### Deprem Yapılara Etkileri

Deprem anında meydana gelen sarsıntılar, yeryüzünde yatay ve düşey yönde yer ivmeleri oluşturur. Ancak yapılar için önemli olan ivmeler, yatay yönde olanlardır. Bu ivmeler, yapılarda yatay atalet momentlerinin oluşmasına sebep olur. Yapıların depremde hasar görmemesi için, bu kuvvetlere dayanıklı olmaları gerekir. Yapılarda deprem sırasında meydana gelen yatay kuvvetler, yapının titreşim özelliklerinin etkileşimi sonucunda ortaya çıkar ve bu durum, her yapı için farklı olur. Pratik olarak 5-10 kat arası betonarme binalar ağırlıklarına oranla en fazla yatay yüklere maruz kalırlar.

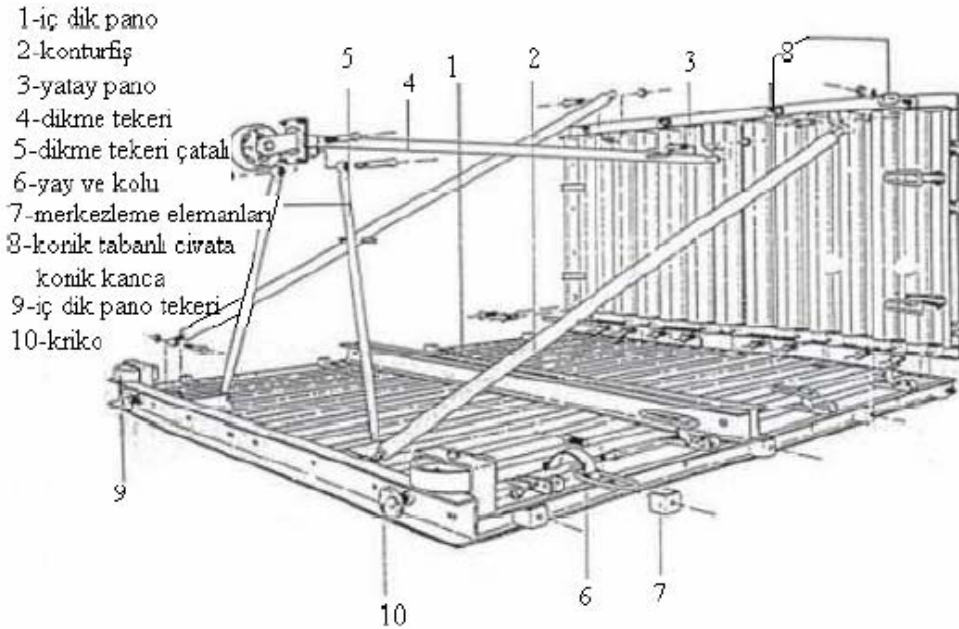
17 ağustos depreminde, önceden bilinen konuların yapılaşmada göz önüne alınmadığı ortaya çıkmıştır. Mesela, dere yataklarındaki binaların tamamına yakını çökmüştür. Gerekli deprem dayanımına sahip olmayan çok katlı binaların sanayi tesislerinin neredeyse tamamı ya yıkılmış ya da onarılmayacak derecede hasar görmüştür. Buna karşın aynı bölgede zemin özelliklerini ve deprem tasarımı ilkelerini göz önüne alarak inşa edilen çok katlı toplu konut siteleri ve sanayi tesisleri hiç hasar görmemiştir. İzmit Büyükşehir Belediyesi tarafından tünel kalıp sistemiyle yaptırılan 2000 konutluk sitelerde depremden dolayı herhangi bir hasara rastlanmamıştır.

Depremden sonra yerinde yapılan incelemelerde özellikle Adapazarı, Gölcük ve Yalova'da meydana gelen hasarların başlıca sebebinin zemin problemlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bunun yanında ciddi ve bilimsel zemin araştırmalarına dayanan temel mühendisliği çözümlerinin uygulandığı projelerde; örneğin yumuşak zemin koşullarında kazıklı temel sistemlerine taşıtılan binalarda ve sanayi tesislerinde, fay hattına çok yakın olsa bile herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Özellikle Adapazarı'nda zemin koşulları elverişsiz ve yeraltı su seviyesi çok yüksek olduğu halde ağır yapıların bile tekil veya mütemadi temellerle taşıtıldığı yerlerde binaların farklı oturma yaptığı, devrildiği, yana yattığı veya zemin katların bodrum kata dönüştüğü tespit edilmiştir. Oysa yine Adapazarı'nda kazıklı temel üzerine yapılan Ziraat Bankası hizmet binası ve lojmanı, depremden hiçbir hasar görmemiştir. Ülkemizde elverişsiz zemin şartlarının ne tür sonuçlar doğurduğu, il defa bu depremde açık bir şekilde görülmüştür (BALKABAK, İ., FIRAT, S., APAY, A., 2000).

## Tünel Kalıp Sisteminin Tanımı

Tünel kalıp sistemi, yapının duvar ve döşemelerinin hassas boyutlu ve düzgün yüzeyli çelik kalıplar yardımıyla tek bir operasyonla dökülebildiği yapı tekniği olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda kalıpların yapının enine boyuna doğrultuda hareket ettirilerek çıkarıldığı ve gerekse yatay yapı elemanlarının aynı anda dökülebildiği bir yapım sistemidir.

Taşıyıcı duvar ve döşemelerin bütün halinde ve tek işleme yerinde dökümünü sağlayan tünel kalıp sistemi, bu yönüyle geleneksel yapım sistemine benzemektedir. Ancak sistemin nitelikleri açısından beraberinde ön yapımı (prefabrik) bazı yapı elemanlarının kullanımına olanak sağladığı için yarı ön yapımı bir sistem olarak kabul edilir. Bu sistemde cephe elemanları, merdivenler, sahanlıklar, bölme duvarları, bacalar vb. ön yapımı olarak üretilip, yerinde dökülen ana yapı ile birleştirilerek kullanılmaktadır. Sistemin en büyük avantajı yapım süresinin kısaltılmasıdır. Özellikle toplu konut üretiminde kullanılmakta ve belli bir ekonomi sağlayabilmektedir(BALKABAK,İ., 1998).



Tünel kalıbın elemanları

## Tam Tünel Kalıp

Tam tünel kalıp ekipmanı döşemelerle birlikte, binanın yan dış duvarlarının, iç bölme perdelerinin betonlanmasına izin veren kalıp ekipmanlarıdır. Tam tünel kalıp ekipmanı ile kalıp söküldükten sonra, döşemelerin dikme desteğine alınması mümkün olmaktadır. Beton kalıpta iken ısıtılması sağlanmakta, böylece betonun priz süresi kısaltılabilmektedir. Gerekliğinde kış koşullarında  $-10^{\circ}C$ ' a kadar ısı da imalat yapılabilmektedir.

Tam tünel kalıplar yeterli boyutsal çeşitliliği sağlamadığından planlamada kısıtlamalar getirirler. Tam tünel kalıpların ağırlığı kaldırılma ve montaj açısından ek problemler getirir.

Tünel kalıplarda boyutlar kalıbı üreten firmalara göre değişmekle birlikte hepsinde de aralıklarda ve modüllerdedirler. Maksimum açıklık 5.50-6.00 m'dir. Çünkü kirişsiz bir sistem olduğu için, daha büyük açıklıklar yapıldığında döşeme kalınlığı artacak, kalıp konstrüksiyonu zorlanacak ve sistem ekonomik olmamaya başlayacaktır. Yükseklikler 2,3 ile 3 m arasında değişir. Yükseklik, döşeme üstünden üst katın döşemesinin altına kadar olan yüksekliği ifade eder. Tasarım aşamasında kalıpların boyutlarının ve olanaklarının iyi bilinmesi uygulama sırasında en verimli üretimin gerçekleştirilmesini sağlar. Uygun boyutlarda tasarım yapılarak özel kalıpların ısmarlanmasına ve bunlarla üretim yapılmasına gerek kalmayacaktır.



Tünel Kalıp (Adapazarı-Camili köyü mevki)

Tam tünel kalıplar yatay ve düşey kalıp yüzeylerine sahiptir. Ayrıca kalıbın germe ve boşaltma işlemleri için yatay yüzey kalıbını taşıyan profillerden oluşan üst kiriş vardır. Kalıbın gerdirilmesi için yapılmış yan kirişlerle yatay kirişi çapraz şekilde birleştiren payandalar mevcuttur. Bunun yanı sıra kalıbı teraziye alma işlemini yürüten “flanş ayaklar ” ve kalıbı sürmeye yarayan “rulmanlı tekerlek” ve muhafazaları, perde ara mesafe ayarını sağlayan çubuklar, kelebek sıkma somunları, tüm birleştirme elemanları tam tünel kalıbın diğer ekipmanlarını oluşturmaktadırlar.

Tam tünel kalıp kullanılacağı yere vinç yardımı ile taşınır ve tekerlekleri üzerinde döşemeye oturtulur. Tekerlekleri ayarlanabilir dikmeye dayanarak dengede kalır ve vinçten çözülür. Tekerlekleri üzerinde götürülerek sahadaki gerçek yerine yerleştirilir. Flanş ayaklar üzerinde kaldırılarak teraziye alınır. Flanşların tepesindeki somunun sağa sola döndürülmesi ile teraziye alma işlemi tamamlanmaktadır. Hidrolik donanımı ilave edilmiş tam tünel kalıp ekipmanı, hidrolik jeneratöre kumanda eden bir kolun hareketi ile düşey ve yatay düzlemlerde tam bir hassasiyetle ve anında birleştirilip ayarlanabilmektedir. Perde kalıbının ayarı yan yana monte edilmiş iki tam tünel kalıbın arasındaki mesafe çubukları ve ayar konikleri ile yapılmaktadır. Bu sayede betonun yatay eforlarına karşı kalıpların deformasyonu ortadan kalkmaktadır.

Betonlamanın tamamlanmasından ve priz süresinden sonra kalıp söküm işlemleri başlamaktadır. Isıtma durdurulur. Ara mesafe çubukları sökülür, flanş ayakları yukarı toplanarak tünel kalıbın tekerlekleri üzerine oturması, böylece döşeme betonundan ayrılması sağlanır. Hidrolik donanımlı tam tünel kalıplarda bu işlem hidrolik jeneratörüne kumanda eden kolu çevirmekle anında tamamlanır. Tekerlekleri üzerine çıkarılır. Özel olarak düzenlenmiş taşıma halkalarından vinç kanca hatlarına bağlantı yapılır ve vinç yardımı ile yüzeyi temizlenmek ve yağlanmak üzere yeniden montaj edileceği yere taşınır.

#### *Yarım Tünel Kalıp*

Yarım tünel kalıp ekipmanı döşemelerle birlikte, binanın yan dış duvarlarının, iç bölme perdelerinin betonlanmasına izin veren kalıp ekipmanıdır. Yarım tünel kalıp ekipmanı ile, kalıp söküldükten sonra, döşemeleri dikme desteğinde bırakmak mümkün olabilmektedir. Böylece beton kalıpta iken ısıtılması gerekmektedir. Yarım tünel kalıbın ekipmanları iki yarım tünel kalıbı birleştiren orta bağlantı parçaları dışında farklılık göstermez, kuruluşu ve söküşü de aynıdır(MEMİŞ,A., 2004).



Yarım Tünel Kalıp



Yarım tünel kalıbın çıkarma iskelesi üzerine sürülmesi

### Tünel Kalıp Sisteminin Genel Özellikleri

#### *1-Tünel Kalıp Sisteminin Yapısal Özellikleri*

Tünel sistemlerin uygulanmasında, betonarmenin fiziksel özelliklerinin sağlamış olduğu avantajlardan büyük ölçüde yararlanılmakta ve sistemin işlerliği sağlandığı takdirde ekonomik çözümler elde edilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde konut inşaatlarına ait maliyetlerin düşürülmesi için döşeme açıklıklarının 5 metreyi geçmeyecek şekilde modüle edilmesi gerekir. Bu itibarla tünel kalıp sistemiyle betonarme döşeme inşaatı sözü edilen açıklıklarla ekonomik olarak inşa edilebilmektedir. Bu sistemde temeldeki bağlantı kirişlerine duyulan ihtiyacı azaltmakta ve tek bir kiriş gibi görev yapmaktadır. Böylelikle yapının drenajında artış sağlanmaktadır(APAY, A., 1983).

## 2-Tünel Kalıp Sisteminin Statik Özellikleri

Türkiye'nin deprem kuşağı üzerinde olmasına birde sosyal ve ekonomik nedenler eklenirse ortaya depreme dayanıklı yapılar yapma gereği çıkar. Taşıyıcı perde duvarlı sistemler rijitliklerinin çok büyük olması nedeni ile bu gereği en iyi sağlayan yapı özelliği taşır. Perdeli yapıların buna karşılıklı düktil davranışta iskelet sistemler kadar sünek olmadığı ve yatay yüklerden kaynaklanan enerji tüketmekte eksikleri olduğu söylene de bu eksik yan, fiktif deprem kuvveti hesaplanırken gerekli yapı tipi katsayısı 1.50 seçilmek sureti ile bu değeri 0.60 ve 0.80 olan çelik ve betonarme karkas yapılar durumuna özdeş hale getirilerek rijitliğin yararları son sınıra kadar dayandırılabilir(BALKABAK,İ., 1998).

## 3-Tünel Kalıp Sistemlerin Hızı, Ekonomiği ve Teknik Özellikleri

Tünel kalıp, hızlı bir yapım sistemidir. Sistemin en önemli özelliklerinde biri 8 saatlik çalışma ile 24 rotasyonlu bir iş programı uygulanabilmektedir. Tünel kalıp sistemi ile elde edilen yapılarda ekonomik açıklıklar üç metreden altı metreye kadar olup, günlük rotasyon(yapılan işlem basamakları) için en uygun alanı  $70m^2$  ile  $150m^2$  arasında değişmektedir. Konutun gereksinimi olan açıklıklar ve birim  $m^2$  alanlarla ilişkin bu uygunluk nedeni ile, tünel kalıp sistemi Türkiye'deki konut açığını karşılamak için en iyi yöntemlerden biri olarak görülmektedir. Bu sistemin ekonomik olması için alt sınır konut sayısı 100'den az olmamalıdır. Bir tünel kalıbın ömrü 1000 kez kullanılabilmeye eşdeğerdir.

Kalıptan çıkan yüzeyler duvar kâğıda veya boyaya hazırdır. Dış perde kalıp yüzeylerine istenen hazır tekstür elemanları konarak arzu edilen dekoratif dokular elde edilebilir. Isı izolasyonu, yönetmelik ve ısı açısından tünel kalıba kolaylıkla adapte edilebilir. Tünel kalıplar imalat tekniği bakımından milimetrik hassasiyetle üretilir ve belli sayıda bir üretim amaçlandığı zaman, iyi planlama ile yapımda üretim hızının artırılması yanı sıra ekonomi sağlamaktadır(SÜMER,Y., 2003)

## Tünel Kalıpta Tasarlama İlkeleri

- Mekan organizasyonu kalıp boyutlarına uygun olarak düşünülmelidir.
- Mekandaki ana taşıyıcı duvarları oluşturan tünel duvarlarının eşit açıklıklara yerleştirilmesi sağlanmalıdır.
- Bu duvarların arasının hiç değilse bir yönde açık olması zorunludur.
- Mekanların dik açılı olması tercih edilir.
- Girinti-çıkıntı bulunmaması sistemin rasyonel kullanılmasına olanak sağlar.
- Mekan yüksekliklerinin eşit olması zorunludur.
- Tünel kalıpların kullanıldığı binalar için taşıyıcı duvarların binanın dar kenarına paralel doğrultuda yerleştirilmesi uygun olur (Cross-Wall sistemi ). Bu duvarların arasındaki açıklığın eşit olması çalışma ritmini düzenlemekte ve kalıp tipi sayısını azaltmaktadır.
- Tasarlama kalıpların ankraj aralıkları göz önüne alınmalıdır.
- Bina gruplarının yerleştirilmesinde özellikle çok katlı binalar söz konusu olduğundan kreyn kapasiteleri dikkate alınmalı ve rasyonel çalışma düzeni kurulmasına önem verilmelidir.

Bu ilkelere karşılık aşağıdaki tasarlama biçimleri de uygulanır.

- Cephe elemanı tünel duvarlarına dik olmayabilir.
- Tünel duvarlarına dik cephe elemanları girintili çıkıntılı düzenlenebilir.
- Mekanlar trapez planlı olabilir. Bu tür planlamalarda özel kalıplara gerek duyulacaktır. Bu da maliyeti arttırıcı bir sonuç doğurur(MEMİŞ,A., 2004).



Tünel Kalıpta Isıtma Sobaları İle Kürleme



Tünel Kalıp Örneği

*Tünel Kalıp Sisteminin Yapımda Sağladıkları*

Çabukluk ve ekonomi;

- Tünel kalıp ile yapım süresi geleneksel yöntemlere göre daha kısadır.
- Yapım süresinin kısa oluşu, iş gücü ve anaparanın uzun süre bağlı kalmasını önler, yatırımın çabuk amortismanını sağlar.
- Kalıpların yüzlerce defa kullanılabilmesi, ilk yatırımı dolayısıyla yapım maliyetini azaltır.

Yüksek nitelik;

- Defalarca kullanıldığı halde tünel kalıpla her seferinde düzgün yüzeyler elde edilir. Bu düzgün beton yüzeyler sıva gerektirmez. Yapıda ölçülerin kusursuz ve kesin oluşu, tamamlayıcı yapı elemanlarının sanayileşmesini ve standartlaşmasını sağlar.

# DEPREM SEMPOZYUMU KOCAELI 2005

Uygulamada kolaylık;

- Tünel kalıp, çimentonun bulunduğu her yerde kullanılabilir. Gereken yapı malzemeleri ve donatı şantiyeye kolaylıkla taşınabilir.
- Nitelikli işçi gereksimi azdır.

Güvenlik;

- Taşıyıcı duvarların ve döşemelerin bütün halinde ve tek işleme dökümü ile monolitik bir yapı elde edilir. Monolitik yapı sistemi deprem bölgeleri için en elverişli sistemdir. Beton duvar ve döşemeler yangına karşı tam dayanıklıdır(SÜMER,Y., 2003).

## Depreme Dayanıklı Yapılar İçin Alınması Gereklİ Önlemler

17 ağustos depremi toplum üzerinde çok derin izler bırakmıştır. Olumsuz zemin şartlarına ve uygunsuz yapı inşalarına birde depremin kuvveti eklenerek çok sayıda can ve mal kaybı meydana gelmiştir. Bu deprem incelendiğinde bazı önlemlerin alınması gereği ortaya çıkmıştır. Bunları kısaca özetlersek:

- Deprem konusunda eğitim,
- Yapılaşma alanının zayıf zeminler üzerine oturtulmaması ve yeterli geoteknik incelemelerin yapılması,
- Mühendislik hizmetlerinin gereğince yapılması ve inşaat yapımını üstlenen kişilerin yeterince tecrübe sahibi olması,
- Kötü malzeme kullanılmaması,
- Yapım hatalarına dikkat edilmesi,
- Proje aşamalarında deprem yönetmeliklerinin kesinlikle uygulanmasıdır(BALKABAK,İ., FIRAT,S., APAY,A., 2000).

## Sonuç

Depremlerde can ve mal kaybını ortadan kaldırmak veya en aza indirebilmenin tek yolu dayanıklı yapı yapmak olarak görülmektedir. Depremleri önleyemediğimiz veya önceden bilemediğimize göre etkilerini azaltıp, zararsız yada en az zararlı atlatılabilmenin yolu proje aşamasından itibaren, zeminin durumunu da dikkate almak kaydıyla depreme dayanıklı yapı inşa etmek gereklidir(BALKABAK,İ., FIRAT,S., APAY,A., 2000).

Tünel kalıp sisteminin, diğer teknolojilerle kıyaslamasını yaptığımızda aşağıdaki somut sonuçları görebiliriz.

*İnşaat maliyetlerinin düşürülmesi:* İnşaat maliyetlerinde en önemli giderlerden birini işçilikler oluşturmaktadır. İşçilik kayıplarının önlenmesi inşaat üretimi sürecinde akıcılığı sağlayarak işçi postaları arasındaki kopukluğun giderilmesi ile sağlanacaktır. Kalıpların, yüzlerce defa kullanılmasından dolayı, yapım maliyetleri de önemli derecede azalmaktadır.

- a- Ekip sayısındaki azalma; Konvansiyonel sistemle yapılan bir inşaatta en az 9 çeşit ekip kullanılırken tünel kalıp sisteminde en fazla 6 çeşit ekip bulundurulmaktadır.
- b- Firelerin ortadan kalkması: Tünel kalıp sisteminde sıva, tuğla, kereste, çivi ve benzeri temel inşaat malzemelerine hemen hemen hiç ihtiyaç duyulmamaktadır.
- c- İnşaatta olabilecek zaman kayıplarının ortadan kalkması ve devamlılığın sağlanması
- d- Betonarme inşaatta %20 ye varan demir tasarrufu

*İnşaat Süresinin Kısaltılması:* Konvansiyonel sistemle tünel kalıp sistem arasında zaman açısından karşılaştırma yapıldığında aşağıda verilen tablo ortaya çıkmaktadır.

		Konvansiyonel Sistem	Tünel Kalıp
1	Kalıbın hazırlanması	5Gün	1\2Gün
2	a-Demir hasır, kiriş ve kolon b-Çelik hasır ve elektrik tesisatının döşenmesi	1Gün -----	----- 1\4 Gün
3	Elektrik Tesisatının döşenmesi	1\2Gün	-----
4	Kalıpların Takviyesi	1\2Gün	-----
5	Beton dökülmesi	1\2Gün	1\2Gün
6	Beton bakım ve sulama	8Gün	1Gün
7	Kalıp sökümü	1\2Gün	1\4Gün
8	a-Ara duvar bölmesi b-Prefabrik bölme pano montajı	1Gün -----	----- 1Gün
9	Kapı kasası montajı	1Gün	1Gün
10	a-Kaba ve ince sıva b-Prefabrik cephe-merdiven montajı	2Gün -----	1\2Gün -----
	<b>TOPLAM</b>	<b>20Gün</b>	<b>4Gün</b>



Tabloda görülen 5/1 zaman tasarrufunun ayrıca kaba inşaatının maliyetinin de düşmesinde büyük bir faktör olduğu unutulmamalıdır.

*İmalat Çeşitlerinin En Aza İndirilmesi:* Konvansiyonel ahşap esaslı kalıp sisteminde; tuğla, sıva malzemesi, kalıplık kereste, çivi, takviye teli ve benzeri inşaat malzemesine ihtiyaç duyulurken tünel kalıp sisteminde bu malzemeler kullanılmamaktadır. Bunların yerine Prefabrik bölme elemanları, Prefabrik cephe panoları kullanılmaktadır. Bu sayede hem malzemedeki ekonomi sağlamakta hem de kalite artmaktadır.

*İnşaat Kalitesinin Azami Seviyeye Yükseltilmesi:*

- a- Çelik yüzeyle kalıplar ile çok düzgün beton satırlar elde edilmektedir.
- b- Beton dökümü sırasında çelik kalıp deforme olmamakta ve form bozukluklarına rastlanmamaktadır.
- c- Bölme duvarlarında (Sadece ıslak hacimlerde) tuğla ve alçı pano kullanılmaktadır. Özellikle alçı panoların onarımı kolay olmaktadır.
- d- Sıva işçiliği hemen hemen ortadan kalkmaktadır.

Böylelikle tünel kalıp sisteminde inşaat kalitesi konvansiyonel teknolojiyle kıyaslanmayacak bir düzeye gelmektedir.

*Orman Ürünlerinin Korunması:* Konvansiyonel sistemle yapılan 100 m<sup>2</sup>'lik bir betonarme konutta aşağıdaki kereste sarfiyatları kaçınılmazdır.

- a- Kalıplık kereste takriben 300 m<sup>2</sup> 30 m<sup>3</sup> bürüt keresteye tekabül eder.
- b- Doğrama (kasalar için) takriben 1 m<sup>3</sup> bürüt keresteye tekabül eder.

Böyle bir inşaatla toplam kereste sarfiyatı 31 m<sup>3</sup>'dür. Burada kasalar sabit tesis durumunda olmasına mukabil 3 m<sup>3</sup>'lük kalıplık kısım ise tamamen hurda olup başka hiçbir işte kullanılmamakta böylece ekonomik katkısı kısıtlı olmaktadır. Bu suretle gün geçtikçe azalan orman ürünlerinin ekonomik bir değer kazanmadan heba edilmesi de milli ekonomiyi olumsuz yönde etkilemektedir.

Tünel kalıp sisteminde (aynı tip konut için gerekli çelik miktarı) yaklaşık 24000 kg tünel tipi olan bu kalıpların asgari 500 defa kullanıldığı hesap edilirse beher 100 m<sup>2</sup>'lik inşaatla isabet edecek olan miktar 48 kg'ı geçmemektedir. Çelik kalıplar bir ekonomik değeri bünyesinden kaybetmemekte, hurdaları bile tekrar çelik üretim sanayinde katkı olarak değerlendirilmektedir.

*Yeni İstihdam Sahası Açılması:*

Tünel kalıp teknolojisi aşağıdaki istihdam sahalarını açmaktadır.  
Kalıp üretiminde (Çelik işçiliği, kaynak işçiliği),  
Yer elemanları üretimi (Prefabrik iç ve dış panel imalatı işçilikleri),  
İnşaatla devamlı iş verme olanağı,  
Kış mevsiminde dahi imalatı devamlılığı ve inşaat işçisinin devamlı istihdamı.

Bir şantiyede asgari %100 daha fazla konut üretme olanağının doğması nedeniyle, tesisat kalorifer, doğrama, fayans, karo, boya ve benzeri işlerde çalışan daha çok elemana ihtiyaç duyulmuş ve bu elemanlarda da daimi iş verme olanağının doğması.

*Afet Bölgelerinde Çabuk Ve Dayanıklı İnşaat Yapma İmkânının Sağlanması:* Yurdumuzda deprem afeti sıklıkla görülmekte ve felaket zedeler uzun bir süre geçici iskan şartların da yaşamak zorunda kalmaktadır. Bu durum devleti ağır ekonomik zorunluluklar altına sokmakta, felaket zedeleri de uzun bir süre sıkıntı içinde yaşamaya zorlamaktadır. Tünel kalıp sisteminin hızlı konut imal etme özelliği ile bu süreler kısaltılabilmekte 3-4 ay gibi bir sürede binlerce konut inşa edilebilmektedir.

*Çabukluk Ve Ekonomi:* Tünel kalıp sistemi ile yapım süresi geleneksel yöntemlere kıyasla çok kısadır. Yapım süresinin kısa oluşu iş gücü ve anaparanın uzun süre bağlı kalmasını önler, yatırımın çabuk amortismanını sağlar. Kalıpların yüzlerce defa kullanılabilmesi ilk yatırımı dolayısıyla yapım maliyetini azaltır. 8- 9 kişilik bir ekip günde, bir dairenin kalıbının yerleştirilmesi ve betonunun dökülmesini kolaylıkla tamamlayabilir.

*Yüksek Nitelik:* Defalarca kullanıldığı halde tünel kalıpla her seferinde düzgün yüzeyler elde edilir. Bu düzgün yüzeyler sıva gerektirmez. Yapıda ölçülerin kusursuz ve kesin oluşu, tamamlayıcı yapı elemanlarının sanayileşmesini, standartlaşmasını sağlar ve bu tamamlayıcı yapı elemanlarının montaj sürelerini kısaltır.

*Güvenlik:* Taşıyıcı duvarların ve döşemelerin bütün halinde ve tek işlemlerle dökümü monolitik bir yapı elde edilir. Monolitik yapı sistemi deprem bölgeleri için en elverişli sistemdir. Beton duvar ve döşemeler yangına karşı tam dayanıklıdır[Mesa].

Yapı maliyetleri ve yapım süreleri göz önüne alındığında tünel kalıp sistemlerin geleneksel yapım sistemlerine göre ön plana çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla tünel kalıp sistem az katlı ve çok katlı yapılarda deprem bölgeleri için uygun olduğu söylenebilir. Kalıplar bekletilmeden ertesi gün yapının diğer katlarında kullanılabilmesi için üretim hızı büyük ölçüde artmaktadır. Kalıpların, yüzlerce defa kullanılmasından dolayı, yapım maliyetleri de önemli derecede azalmaktadır (SÜMER,Y., 2003).

## KAYNAKLAR

- 1.BALKABAK,İ., FIRAT,S., APAY,A., 2000, "17 Ağustos Gölcük-Arifye Depremi ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Tünel Kalıp Sistemi", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Isparta.
- 2.BALKABAK,İ., 1998, "Seri Kalıp Teknolojisinde Tünel Kalıp Sistemler ve Genel Özellikleri" Süleyman Demirel Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- 3.SÜMER,Y., 2003, Deprem Dayanıklı Yapı Tasarımında Optimum Taşıyıcı Sistem Seçimi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sakarya.
4. YÜKSEL, S.B., ATIMTAY, E., Tünel Kalıplı Yüksek Binaların Yatay Yük Altında Davranışı.
- 5.BALKABAK,İ., FIRAT,S., APAY,A., 2000, "Tünel Kalıp Sistemlerin Yapısal Özellikleri ve Toplu Konutlardaki Yapısal Sorunların İrdelenmesi", Sakarya Üniversitesi.
- 6.BALKABAK,İ., 1998, "Seri Kalıp Teknolojisinde Tünel Kalıp Sistemler ve Genel Özellikleri" Süleyman Demirel Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- 7.MEMİŞ,A., 2004, "Betonarme Yapılarda Kullanılan Klasik ve Modern Kalıp Sistemleri ve Karşılaştırılması", Sakarya Üniversitesi.
- 8.APAY, A., 1983,"Türkiye’de Konut Sorunu ve Çözümünde Geliştirilen Yeni Teknolojiler" Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Eskişehir.
- 9.BALKABAK,İ., FIRAT,S., APAY,A., 2000, "Tünel Kalıp Sistemlerin Yapısal Özellikleri ve Toplu Konutlardaki Yapısal Sorunların İrdelenmesi", Sakarya Üniversitesi.
- 10.SÜMER,Y., 2003, Deprem Etkisindeki Tünel Kalıp Sistemli Yapılar İçin Karşılaştırmalı Sistem Analizi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.