

Tünel Kalıp Sistemi

Ayça AKBAŞ^{1*} ve Özlem ÇALIŞKAN²

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

²İnşaat Mühendisliği Bölümü / Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

*(aycakbas26@gmail.com)

Özet – İnsanlık tarihi boyunca en temel ihtiyaçlardan biri barınma ihtiyacıdır. Barınma ihtiyacının kaçınılmaz sonucu ile insanoğlu tarihi boyunca birçok materyali kullanarak kendisine barınma alanları yapmıştır. Gelişen teknolojiler ile birlikte bu ihtiyacın karşılanmasında kullanılan materyaller de doğanın verdiği imkanlar ile hazırlanan geometrik şekillerden; günümüzde kullanılan beton, çelik, ahşap, cam vb. yapı malzemelerine evrilmiştir. Hızla artan dünya nüfusu ve endüstriyel alanda meydana gelen teknolojik gelişmeler beraberinde yaşanan savaşlar, doğal afetler vb. etkiler ile tükenen yapı stokları yetersiz kalarak toplu konut üretimlerine olan ihtiyaç artmıştır. Artan bu ihtiyacın karşılanması amacıyla inşaat sektöründe toplu konut üretimleri için gelişmiş yöntemlere yönelme olmuştur. Bu çalışmada gelişen teknoloji ile birlikte yapıların imalatında kullanılan endüstriyel yapım tekniklerinden biri olan ve özellikle toplu konut üretiminde sıklıkla kullanılan tünel kalıp sistemi ile ilgili literatür taraması yapılmış ve sistem hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Tünel Kalıp Sistemleri, Betonarme Yapılar, Depreme Dayanıklı Tasarım, Toplu Konut Üretimi, Endüstriyel Yapım Teknikleri

I. GİRİŞ

Barınma ihtiyacı insanlar için vazgeçilmez ihtiyaçlar arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Bu ihtiyacın kaçınılmaz sonucu ile tarih boyunca insanlar kendilerine barınma ve diğer çeşitli amaçları doğrultusunda yapılar inşa etmişlerdir. İnşa ettikleri bu yapılarda yapı malzemesi olarak doğanın sunduğu imkanlardan faydalanmışlardır. Teknolojinin her alanda gelişimi devam ettiği gibi yapı malzemeleri alanında da devam etmiştir. Yapıların inşasında kullanılan yapı malzemeleri de gelişen teknoloji ile birlikte evrimleşmektedir. Yapı malzemelerinin bu evrimi sonucunda barınma ve diğer amaçlara hizmet etmek üzere konutlar, kamu binaları, tarihi eserler, ibadethaneler gibi çeşitli yapılar ortaya çıkmıştır. Bu gelişmelerin yanında dünya nüfusu da büyük bir hızla artmaktadır. Ayrıca dünya tarihi boyunca savaş, deprem, sel felaketleri, toprak kaymaları vb. doğal veya beşeri etkiler nedeniyle de bu yapı stokları zaman zaman büyük hasar görmüş ve ağır kayıplar vermiştir. Yaşanan bu durumların ardından, özellikle gelişmiş ülkelerde

yapı stoklarının hızla ve seri üretim ile yeniden oluşturulması için endüstriyel yapım tekniklerinden yararlanılmaya başlanmıştır [1]. Yapıların tasarımları ve uygulanmaları bir sistem olarak ele alındığında; bu sistemin elemanlardan ve bu elemanların arasındaki ilişkilerden oluştuğu düşünülmelidir. Endüstriyel yapım teknikleri ile bu sistemlerin oluşturulması ise el emeğinin mekanizasyonuna, sürekli ve kesintisi olmayan bir üretime, sabit, belirli bir ritme ve yüksek derecede bir tekrarlanmaya bağlı olmaktadır. Endüstriyel yapım teknikleri geleneksel el emeği kullanımından ziyade alanında uzman işçiler tarafından kullanılacak makineler ile üretim teknikleridir. Yapılarda endüstrileşme kavramı ve endüstriyel yapım teknikleri 19.yy'ın sonlarında ve 20.yy'ın başlarında; artan nüfus artışı, yerleşim alanlarının şehirleşmesi, savaş, deprem vb. etkiler nedeniyle yapı stoklarının azalması beraberinde ortaya çıkan hızlı yapı üretim ihtiyacı ile birlikte önem kazanmıştır [2]. Endüstriyel yapım teknikleri arasında en çok kullanılan tekniklerden biri ise tünel

kalıp sistemlerdir. Özellikle son yıllarda hem dünya genelinde hem de ülkemizde toplu konut üretiminde ve yüksek yapıların üretiminde sıklıkla başvurulan tekniklerden biri haline gelmiştir. Yapıların yapım maliyetlerinin en önemli kalemlerinden biri kalıp sistemleridir. Geleneksel kalıp sistemleri ele alındığında oldukça maliyetli olması ve işçilik gerektirmesi nedenleri ile gelişen teknolojik imkanlar beraberinde geri planda kalmaya başlamıştır. Tünel kalıp sistemleri ise modern kalıp sistemlerinden biridir. Dünya geneline bakıldığında ülkemiz gibi deprem bölgesi olan ülkelerde toplu konut üretimlerinde ve yüksek yapıların üretiminde sıklıkla başvurulan bir teknik haline gelmiştir [3]. Literatüre bakıldığında tünel kalıp sistemler ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Çiçek [1] yaptığı çalışmada endüstriyel yapım sistemlerinden tünel kalıp sistemini ele almıştır. Toplu konut üretiminde tünel kalıp sistemlerinin kullanılmasının avantajlarını ve dezavantajlarını araştırmıştır. Ayrıca çalışmada toplu konut sorununa değinmiştir. Tünel kalıp sistemlerini ve uygulama şekillerini tanıtmıştır. Çalışmada seçtiği toplu konut modelinin üzerinde tünel kalıp sistemlerin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda ise tünel kalıp sistemleri ile betonarme-iskelet sistem arasındaki gereç, süre ve işçilik değerlendirmesini yapmıştır. Tünel kalıp sisteminin tasarımı kısıtladığı ancak toplu konut üretiminde vazgeçilmez nitelikte olduğu sonucuna varmıştır. Boyacı [2] yaptığı çalışmada tünel kalıp sistemlerinin çok katlı yapıların imalatları sırasında ne gibi kısıtlamalar getirdiğini araştırmıştır. Tünel kalıp sistemler hakkında bilgiler vermiştir. Ek olarak endüstrileşme tanımları, yapılarda endüstriyel yapım tekniklerinin gelişim süreçleri ve tarihçesi hakkında bilgi vermiştir. Tünel kalıp sistemler ile yapıların inşa edilmesi üzerinde durmuştur. Tünel kalıp sistemlerin teknik detaylarına ve uygulama şekillerine değinmiştir. Tünel kalıp sistemlerin kullanılmasının yapıların tasarım aşamalarında hangi kısıtlamalar getirdiğini saptamıştır. Tünel kalıp sistemler ve tasarım ilkelerini belirtmiştir. Ayrıca tünel kalıp sistemler ile inşa edilmiş ve halen edilen yapılar hakkında bilgi vermiştir. Bu yapı örnekleri üzerinde incelemeler yapmıştır. Çalışmanın sonunda incelediği örnekler arasında karşılaştırmalar yaparak; tünel kalıp sistemlerin yapıların tasarımında hangi kısıtlamaları getirdiğini belirlemiştir. Karaca [3] yaptığı çalışmada

geleneksel kalıp yöntemi ve tünel kalıp sistemi ile inşa edilen on katlı yapılar üzerinde dolaysız maliyetlerin analizi ile optimizasyon araştırması yapmıştır. On katlı olarak seçtiği bu iki kalıp sistemi ile inşa edilmiş konutlar üzerinde dolaysız maliyet analizlerini yapmıştır. Tünel kalıp sistemi ile üretilen yapıların maliyetlerinin geleneksel yöntem ile yapılan yapıların maliyetlerine göre daha düşük olduğu sonucuna varmıştır. Yavuztürk [4] yaptığı çalışmada taşıyıcı sistem olarak tünel kalıp sistem ve perde-çerçeve sisteme sahip olan 10 ve 15 katlı iki farklı yapının yatay yükler etkisi altındaki davranışlarını incelemiştir. Çalışmasında örnek yapıların Rayleigh oranıyla 1. doğal titreşim periyotlarını hesaplamıştır. Daha sonra yapıların çerçeve kesme kuvvetlerinden yararlanmış ve dinamik deprem analizlerini yapmıştır. Yapılardaki taşıyıcı sistemlerin karşıladığı yatay yükler ve bu yüklerin etkisindeki katlarda ortaya çıkan yer değiştirmeleri hesaplamıştır. Her iki sistem ile üretilen yapıların analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır. Tünel kalıp sistem ile üretilen yapıların uzun vadede daha ekonomik ve depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımında donatı düzenlenmesiyle daha güvenilir olacağı sonucuna varmıştır. Şahin [5] yaptığı çalışmada tünel kalıp teknolojisinin konut planlamasına uygunluğunu incelemiştir. Çalışma konusunu tanıtmış ve çalışmanın amacı hakkında bilgi vermiştir. Yapılarda endüstrileşme kavramı ve konut alanında endüstrileşmeye geçilme nedenleri hakkında bilgi vermiştir. Yapılar ve endüstriyel yapım teknikleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Konut planlamasında kullanılan endüstriyel yapım teknikleri hakkında bilgi vermiştir. Tünel kalıp sistemlerin teknolojik devrimleri ve gelişimi üzerinde durmuştur. Konut planlamasında tünel kalıp sistemlerin yeri ve önemini belirtmiştir. Tünel kalıp sistemler kullanılarak inşa edilen yapılar ve bu yapıların planları hakkında incelemeler yapmıştır. Yaptığı incelemeler hakkında bilgi vermiştir. Çalışmanın sonunda tünel kalıp sistemler ile üretilen yapı örnekleri üzerindeki incelemelerini değerlendirerek tünel kalıp sistemi ile üretilen yapıların tasarımının daha sade ve düz olması gerektiği sonucuna varmıştır. Ayık [6] yaptığı çalışmada her katın yüksekliği 3.20 m olan ve 10 kattan oluşan, konut olarak kullanılacak olan, tünel kalıp sistemi ile inşa edilecek betonarme bir yapıyı projelendirmiştir. Projelendirdiği yapıyı 1.derece deprem bölgesinde yer alacak bir yapı olarak

düşünerek taşıyıcı sistemini bu doğrultuda projelendirmiştir. Projelendirdiği yapının statik ve dinamik analizlerini yapmıştır. Dinamik analiz sonuçları ile düşey analiz sonuçlarını karşılaştırarak elde ettiği kesit tesirlerinin süperpozisyonuna göre projelendirdiği betonarme yapının perdelerinin donatı hesaplarını yapmıştır. Balkaya ve Kalkan [7] yaptıkları çalışmada özellikle ülkemiz gibi deprem bölgelerinde geleneksel kalıp sistemi yerine tercih edilen tünel kalıp sistemi kullanılarak inşa edilen yapıların deprem yükleri etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Sümer [8] yaptığı çalışmada biri geleneksel kalıp yöntemi ile perdeli çerçeve olarak tasarlanmış diğeri ise tünel kalıp sistemi ile tasarlanmış olan aynı düşey taşıyıcı kesit alanına sahip yapı modellerini karşılaştırarak, depreme dayanıklı yapı tasarımında optimum taşıyıcı sistem seçimini araştırmıştır. Çalışmasında her iki sistem hakkında da bilgi vermiştir. İncelediği 8 model üzerinden her iki sistemin de avantajlarını ve dezavantajlarını sıralamıştır. Çelebioğlu [9] yaptığı çalışmada tünel kalıp sistemine göre tasarlanan perdeli yapıları farklı modelleme yöntemleri ile analiz etmiştir. Çalışmasının amacı ve kapsamı hakkında bilgi vermiştir. Konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara yer vermiştir. Betonarme yapılar, perdeli yapılar ve tünel kalıp sistemi hakkında detaylı bilgi vermiştir. Yapılara etkiyen deprem yüklerinin bulunması ve hesaplanmasını anlatmıştır. Betonarme perdeli yapıların farklı modelleme teknikleri ile çözümlenmesini yapmıştır. Bunun için ETABS paket programından faydalanmıştır. İncelediği yapıların 1.derece deprem bölgesinde bulunduğu varsayımını yapmıştır. Yapıda kullanılacak malzemeleri C30/S420 olarak belirlemiştir. Yapının deprem yükü hesaplarını ise eş değer deprem yükü yöntemine göre yapmıştır. Tünel kalıp sistemi ile inşa edilecek yapıların perde elemanlarının donatı düzenlemeleri önerilerinde bulunmuştur. Korur [10] yaptığı çalışmada tünel kalıp sistemleri ile toplu konutların inşa aşamasında karşılaşılan teknik sorunlar ve toplu konut imalatlarında bu sistemleri kullanan firmaların bu sorunlara geliştirdiği çözümleri incelemiştir. Firmaların geliştirdiği çözümlerin doğruluğu ve kullanıcıya yansıyan yönleri üzerinde durmuştur. Üretici firmaların sorunları çözümede kullandığı yöntem ve materyalleri incelemiştir. Çalışmasının sonucunda araştırmasının neden-sonuç ilişkilerini kurarak karşılaşılan sorunlara yönelik örnekler sunmuş ve

bu sorunlara çözüm önerilerinde bulunmuştur. Oğuzalp [11] yaptığı çalışmada tünel kalıp sistemlerinin üretim sistemleri ile ilgili kitapları, tezleri, makaleleri, web sitelerini, inşaat firmalarının kataloglarını taramıştır. Yaptığı literatür taraması sonucunda toplu konutların üretiminde kullanılan tünel kalıp sistemi uygulamalarına ilişkin karşılaşılan sorunları belirlemiştir. Kıncal [12] yaptığı çalışmada tünel kalıp sistemler hakkında bilgi vererek bu sistemlerde kullanılan malzeme ve elemanların genel özelliklerinden bahsetmiştir. Ele aldığı örnek yapılar üzerinde tasarıma etkiyen faktörleri incelemiştir. Elde ettiği sonuçları grafikler halinde ortaya koyarak yorumlamıştır. Yaptığı literatür taramalarından ulaştığı sonuçları ve incelediği yapılardan elde ettiği sonuçları karşılaştırmış, çalışmasının sonucunda önerilerini sunmuştur. Erbil ve Akıncıtürk [13] yaptıkları çalışmada tünel kalıp sistemiyle üretilen bir toplu konut örneğini ısısal konfor koşulları açısından incelemişlerdir. Korur vd. [14] yaptıkları çalışmada tünel kalıp sistem ile üretilen yapılarda kullanılan prekast yapı bileşenlerinin taşıyıcı sistem entegrasyonu ve birleşim yeri sorunlarını belirlemişlerdir. Çalışmada prekast yapı bileşenlerini tanıtmışlardır. Prekast cephe panelleri ve merdivenlerin projelendirilmeleri ve uygulanmaları aşamalarında karşılaşılan hata kaynaklı problemleri örnek yapılar üzerinde yerinde irdelenmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, yerinde yaptıkları incelemeler doğrultusunda buldukları sorunlara çözüm önerilerini sunmuşlardır. Bulgu [15] yaptığı çalışmada tünel kalıp sistemi ile inşa edilmiş, taşıyıcı sistemi yalnızca perdelerden oluşan yapıları Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007)'te verilen deprem bölgeleri ve zemin parametrelerine göre karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Tünel kalıp sistem ile üretilen bu tip yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını kat adedi, rijit bodrum katları ve katlarda oluşabilecek rijitlik azalması etkileri yönü ile incelemiştir. Tünel kalıp sisteminin tarihçesi ile ilgili bilgi vermiştir. Tünel kalıp sistemi kullanımının avantaj ve dezavantajlarını belirtmiştir. Taşıyıcı sistemi perdelerden oluşan betonarme yapılar ile ilgili bilgilere yer vermiştir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te yer alan perde elemanların tasarımına yönelik esasları belirtmiştir. Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen benzer taşıyıcı sisteme sahip ancak kat adedi ve farklı zeminler üzerine inşa

edilmiş yapılar üzerinde incelemeler yapmıştır. Bu tip yapılarda perde elemanların örnek donatı detayları ve düzenlemelerine yönelik önerilerde bulunmuştur. Öztürk ve Bulgu [16] yaptıkları çalışmada tünel kalıp sistemi ile inşa edilmiş ve benzer taşıyıcı sisteme sahip ancak kat adedi farklı olan perdeli betonarme yapılarda; kat adedi, dönemin deprem yönetmeliğinde belirlenen zemin parametreleri, rijit bodrum kat düzenlemelerini, taşıyıcı sistem rijitliğindeki değişimlerin yapı dinamik davranışlarına olan etkilerini incelemişlerdir. İnceledikleri yapılar üzerinde bu parametrelerin etkilerini karşılaştırmışlardır. Bu tip yapılarda taşıyıcı sistem elemanlarındaki donatı düzenlemeleri ile ilgili detayları sunarak önerilerde bulunmuşlardır. Coşgun vd. [17] yaptıkları çalışmada tünel kalıp sistemi ile üretilen örnek bir yapı üzerinde gürültü problemlerini araştırmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları örnek yapının farklı gürültü kaynakları ile oluşan gürültü seviyelerini ölçmüşlerdir. Ölçüm sonuçlarını ve yaptıkları değerlendirmeleri listelemişlerdir. Gürültü sorununa yönelik çözüm önerilerinde bulunmuşlardır. Sarıçay [18] yaptığı çalışmada taşıyıcı sistemi yalnızca perdelerden oluşan ve tünel kalıp sistemi ile inşa edilmiş binaların; Deprem Bölgelerinde Yapılacak Bina Hakkındaki Yönetmelik'te yer alan deprem bölgelerine göre, farklı kat adetleri ve yapı kesitlerinin deprem etkisi altındaki dinamik davranışlarını incelemiştir. Tünel kalıp sistemine ilişkin esaslar hakkında bilgi vermiştir. Taşıyıcı sistemi perdelerden oluşan betonarme yapıların deprem etkisi altındaki taşıyıcı sistem dinamik davranışlarını incelemiştir. Tünel kalıp sistemi ile inşa edilmiş, iki doğrultuda yaklaşık olarak aynı yatay rijitliğe sahip sekizgen planlı binalarda kat adedi, farklı zemin cinsi ve deprem bölgelerinin değişimini konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar ışığında incelemiştir. Güler [19] yaptığı çalışmada 15 katlı bir betonarme yapının Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'e göre perde sistemi ve yapının duvarlarının bir bütün olarak işlevini göz önüne alarak deprem yüklerini mod birleştirme yöntemiyle hesaplamış ve sonuçlarını karşılaştırmalı olarak vermiştir. SAP2000 paket programı ile yatay ve düşey kuvvet analizlerini yapmıştır. Bu analizler sonucunda gerilme ve şekil değiştirme sonuçlarını araştırarak sonuçları grafikler ile aktarmıştır. Harmanmaya ve Tuna [20] yaptıkları çalışmada Türkiye'de tünel kalıp sistemi

ile üretilen çok katlı yapıların üretiminde kat adedi ve beton sınıfının maliyete etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında taşıyıcı eleman sistemi perdelerden oluşan ve tünel kalıp sistemi ile inşa edilen bir konut yapısını örnek olarak ele almışlardır. Bu örnek yapı üzerinde farklı kat adetlerine sahip modellerin statik ve betonarme çözümlerini yaparak maliyetlerini hesaplamışlardır. Uyar [21] yaptığı çalışmada dünyada bazı ülkelerdeki tünel kalıp sistemi uygulama örneklerini vermiştir. Türkiye'de son on yıl içerisinde tünel kalıp sistemi ile inşa edilen projelerin kat planları ve daire tipolojilerini incelemiş, incelediği plan ve daire tiplerinin tasarım kriterleri ve mekanların boyutsal özellikleri analiz etmiştir. Türkel [22] yaptığı çalışmada tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yüksek katlı betonarme yapılarda bina özellikleri ile maliyet arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Yaptığı literatür taraması ışığında bina maliyetlerine etki eden yapı özelliklerini belirlemiştir. 2006-2013 yılları arasında İstanbul'da tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yapıların projeleri üzerinde metraj çalışmaları yapmıştır. Yaptığı bu metraj çalışmalarında metraj verileri ile 2013 yılı piyasa koşulları birim fiyatlarını kullanarak yapılara ait maliyetleri oluşturmuştur. Apay vd. [23] yaptıkları çalışmada depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımı ile bu yapıların inşasında tünel kalıp sisteminin kullanılmasını araştırmıştır. Türkel ve Ergen [24] yaptıkları çalışmada tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yüksek katlı betonarme yapılarda yükseklik ve kat alanı ile maliyet arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışmalarında yükseklikleri 25 m ile 142 m arasında değişen, 2006-2013 yılları arasında İstanbul'da inşa edilmiş yapıları incelemişlerdir. İlerisoy ve Tuna [25] yaptıkları çalışmada tünel kalıp sistemi ile inşa edilen dikdörtgen planlı betonarme yapılarda plan boyutları ve kat adedinin maliyete etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları yapıları Sta4CAD programı ile oluşturmuşlar ve analiz etmişlerdir. Günay [26] yaptığı çalışmada geleneksel kalıp sistemi olan ahşap kalıp sistemi ile tünel kalıp sisteminin iş güvenliği açısından risklerini bir uygulama ile araştırmıştır. Bu çalışmada tünel kalıp sistemleri ve uygulama şekilleri ile bilgi verilmektedir. Ayrıca literatür değerlendirildiğinde halen üzerinde çalışılan sistemler olduğu açıkça görülmektedir.

II. TÜNEL KALIP SİSTEMİ

Dünyada büyük bir hız ile artan nüfus ile birlikte konut ihtiyacı da arttığından yapı stokları yetersiz kalmaktadır. Yapı stoklarındaki bu yetersizliğin giderilmesi amacı ile yapı genişlikleri ve yükseklikleri arttırılmakta ve bu yapıların inşaaşamalarının tamamlanması için geçen süre, işçilik masrafı ve yapısal maliyetler de artış göstermektedir. Nüfus artışına ek olarak yaşanan bir takım felaketler; savaşlar ve doğal afetler gibi doğal veya beşeri etkiler nedeniyle de yapı stoklarına zarar vermekte ve özellikle toplu konut üretimlerine olan ihtiyaçları doğurmaktadır. Türkiye gibi deprem bölgesi olan ülkelerde nitelikli konut ihtiyacı artışı nedeniyle son yıllarda toplu konutların üretiminde endüstriyel yapım tekniklerine başvurulmaktadır. Bir mühendislik yapısının imalat süreçlerinde en önemli noktalardan biri kalıp sistemleridir. Geleneksel kalıp sistemleri ile yapılar imal edilebilmekte ancak maliyet ve zaman tasarrufu konusunda geleneksel yöntemler zayıf kalmaktadır. Yapı genişliklerinin büyümesi, kat yüksekliklerinin artması ve zaman tasarrufu gibi parametreler de göz önüne alındığında toplu konutların inşası sırasında, endüstriyel yapım teknikleri arasında günümüzde en popüler olan yöntemlerden biri tünel kalıp sistemidir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkesi göz önüne alındığında, mühendislik yapılarındaki güvenlik, ekonomiklik ve estetik sıralamasında güvenlik en önemli unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. İstanbul başta olmak üzere dünyanın en aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alan ülkemiz Türkiye’de yaşanan büyük depremler sonrasında tünel kalıp sistemi ile toplu konutlar inşa edilmiştir. Tünel kalıp sistemi, betonarme yapılarda bir katın imalatında taşıyıcı sistem elemanlarının (kolon/perde-kiriş-döşeme) beton dökümlerinin tek seferde, çok kısa bir zaman içerisinde ve yerinde yapılmasını sağlayan endüstrileşmiş bir kalıp sistemidir. Başka bir deyişle tünel kalıp sistemi betonarme yapılarda bir katın taşıyıcı sistem elemanlarının beton dökümünün tek seferde ve kısa süre içerisinde gerçekleştirilmesine olanak tanıyan bir yöntemdir. Tünel kalıp sisteminde genellikle standart ölçüler ile üretilen saç levhalar ve çelik profillerden oluşan kalıplar kullanılmaktadır. Şekil 1’de örnek bir tünel kalıp sistemi ve Şekil 2’de tünel kalıp sistemi ile üretilen bir yapının taşıyıcı elemanlarının donatı görseli verilmiştir.



Şekil 1. Tünel Kalıp Sistemi [27]



Şekil 2. Tünel Kalıp Sistemi ve Yapı Elemanları Donatıları
(A. Hasan DUMAN)

Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yapıların taşıyıcı sistemi tek parçalı sistem gibi hareket ettiğinden özellikle çok katlı yapılarda deprem etkisi altında, yapıların daha rijit davranmasına olanak vermektedir. Deprem etkisiyle meydana gelen kuvvetlerin tamamının betonarme perdeler ile taşınması yatay rijitliği arttırdığından, geleneksel kalıp sistemi ile inşa edilen çerçeve sistemlere göre tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yapılar daha güvenli olmaktadır. Tünel kalıp sistemleri her statik projeye özgü olarak standart ölçüler ile üretildiklerinden ve işçi becerisinden bağımsız hazırlandığından işçilik kaynaklı hataları da minimuma indirmektedir. Sahada kurulumlarının kolay ve hızlı olması, yükseklik ve açıklıklarda rahatlıkla kullanılabilmeleri de bu sistemlerin tercih edilme nedenleri arasında ilk sıralarda yer almaktadır [22]. Şekil 3’te tünel kalıp sisteminin sahadaki montaj aşamasından görüntüler verilmiştir.



Şekil 3. Tünel Kalıp Sistemi Montajı [27]

Tünel kalıp sistemlerinde kürtleme yolu ile betona kısa sürede gerekli mukavemet kazandırılabilir. Bu nedenle kalıp söküm süreleri ve bir üst katta kurulumu da oldukça hızlı yapılabilmektedir. Tüm bu avantajlara ek olarak taşıyıcı sistem donatı elemanlarının büyük çoğunluğu hasır çelik olarak kullanıldığından tünel kalıp sistemlerinin bir düzen içerisinde çalışmasına olanak vermektedir [22]. Şekil 4 ve Şekil 5’de tünel kalıp sisteminin bir yapının inşasında üst katlarda kurulum ve uygulama görselleri verilmiştir.



Şekil 4. Tünel Kalıp Sistemi ile Çok Katlı Yapı İnşası [27]



Şekil 5. Tünel Kalıp Sistemi ile Yapı İnşası (Ahmet Hasan DUMAN)

A. Tünel Kalıp Sisteminin Uygulanması ve Beton Dökümü

Türkiye gibi deprem bölgesi olan ülkelerde tünel kalıp sistemi kullanılarak inşa edilecek çoklu konut yapılarının geçerli olan yönetmelikte yer alan depreme karşı dayanıklı yapı tasarım ilkelerine göre statik projelendirilme işlemi yapılmaktadır. Bununla beraber proje büyüklüğüne göre ekipman ve kalifiye personel ihtiyaçları giderilmektedir. Genele bakıldığında projede yer alan personel sayısı 7’yi geçmemektedir. Tünel kalıp sistemlerinin uygulanmasında genellikle hazır beton kullanıldığından beton santralleri ve vinçler de önemli unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Tünel kalıp sistemlerinin uygulanması aşamasında fabrikalarda imal edilen ve sahaya getirilerek kurulumu bitirilen kalıpların yağlanma işlemi gerçekleştirilmektedir. İki yarım elemandan oluşan tünel kalıp bir önceki döşeme üzerinde oluşturulan aks betonundan yararlanılarak yerine yerleştirilmektedir. Aks betonları için özel kalıp elemanları kullanılmaktadır. Mimari proje esas alındığında kapı ve pencere gibi alanların boşlukları için özel boşluk kalıpları çelik tünel kalıplarının düşey yüzlerine monte edilmektedir. Merdiven kovası ve servis bacaları gibi boşluklar ise çelik tünel kalıplarının yatay yüzlerine çelik çerçeveler olarak monte edilmektedir [19]. Şekil 6 ve Şekil 7’de tünel kalıplarının kuruluşuna ait görseller verilmektedir.



Şekil 6. Tünel Kalıp Sistemi Kurulumu ve Hazırlanması [27]



Şekil 7. Tünel Kalıp Sistemi Kurulumu ve Hazırlanması (A. Hasan DUMAN)

Çelik tünel kalıplarının montaj ve kurulum işlemlerinin tamamlanmasının ardından beton döküm işlemine geçilmektedir. Uygulamada beton döküm işlemi farklı ekipler tarafından yapılmaktadır. Şayet yapılar çok katlı ise üst katların beton dökümü sırasında vinçler ve basınçlı boru hatları kullanılmaktadır. Döşeme elemanların beton dökümleri sırasında duvar elemanlarının da dökümü tamamlanabildiğinden tünel kalıp sistemi işlemlerin akışını kolaylaştırmaktadır. [19].

B. Donatıların Yerleştirilmesi

Tünel kalıp sistemlerine donatılar yerleştirilirken döşemelerde ve duvarlarda çelik hasır levhalar kullanılmaktadır. Bu levhalar proje tasarımına göre çelik tünel kalıplara özen ile yerleştirilmektedir. Planda yer alan boşlukların montajlarında tünel kalıpları üzerine uygulanan rezervasyon kalıpları kullanılmaktadır. Elektrik tesisatları mıknatıslı tutucular kullanılarak donatıya bağlanmaktadır ve donatı ile bir bütün halinde kalıbın içine yerleştirilmektedir. Daha sonra elektrik tesisatları tünel kalıplar ile birleştirilmektedir. Çelik hasır levhalar yüksek vasıflı ve özel nervürlü yapı çelikleridir. Soğuk haddeleme ile üretilen bu levhalar istenilen boyutlarda kesilerek uygulama alanına gönderilmeye hazır hale getirilmektedir [19]. Şekil 8’de tünel kalıp sistemi ile inşa edilen bir yapının taşıyıcı elemanlarının donatı görseli verilmektedir.



Şekil 8. Tünel Kalıp Sistemi Taşıyıcı Eleman Donatıları
(A. Hasan DUMAN)

C. Beton Dökülmesi ve Kürleme İşlemi

Tünel kalıp sistemleri ile inşa edilen yapıların beton döküm aşamalarında genellikle hazır beton santralleri tarafından üretilen hazır beton kullanılmaktadır. Projede istenilen beton dayanımına göre üretilen beton kalıpların montaj işleminin tamamlanmasının ardından özel ekiplerce dökülmektedir. Beton döküm işleminin ardından ise

özel kürleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu kürleme yöntemleri sayesinde 24 saat içerisinde beton istenilen dayanıma ulaşmakta ve kalıp söküm süresi kısalmaktadır. Bu sayede özellikle çok katlı konutların inşası hızla tamamlanmakta ve toplu konutlar daha kısa zaman dilimleri içerisinde yapılabilmektedir. Ancak beton kürleme işlemi sırasında dikkat edilmesi gereken bazı unsurlar bulunmaktadır. Bu unsurlar içerisinde en önemli olanı betonda rötre oluşturabilmesi veya içsel dayanımını etkileyebilmesi nedeniyle yüksek sıcaklık faktörüdür. Bu yüzden ısı şokunun önlenmesi amacı ile beton karıldıktan sonra sıcaklığın 1,5–2 saatten önce 50°C ve 5–6 saatten önce 100°C yükselmemesine dikkat edilmektedir. Isı yalıtımını sağlamak amacıyla uygulamada genellikle naylon bezler veya katranlı örtüler kullanılmaktadır [19]. Şekil 9’da tünel kalıp sisteminde beton dökümüne ait bir görsel verilmektedir.



Şekil 9. Tünel Kalıp Sisteminde Beton Dökümü [19]

Beton döküm işleminin ardından yönetmeliklere uygun olarak vibrasyon işlemleri yapılmaktadır. Taşıyıcı elemanlara uygulanan vibrasyon işlemlerine dikkat edilmektedir [19]. Şekil 10’da kürleme işlemi tamamlanan ve betonu priz almış tünel kalıp sistemi ile imal edilen kat örneği verilmektedir.



Şekil 10. Tünel Kalıp Sistemi Beton Dökümü ve Kürleme İşlemi Tamamlanan Kalıpları Sökülecek Kat Görseli
(A. Hasan DUMAN)

D. Kalıpların Sökülmesi

Uygulamada beton döküm işleminin doğru şekilde tamamlanmasının ardından yaklaşık 16-24 saat sonra kalıplar sökülmeye hazır hale gelmektedir. Kalıpların sökülmesi sırasında ilk olarak tünel kalıp sisteminin dış kalıplar ile olan bağlantıları sökülmeştir. Tünel kalıplar tekerlekleri aracılığı ile dışarıya itilmektedir. Sökülen kalıplar üst katlarda kullanılacak ise vinçler aracılığı ile kaldırılarak yeni yerlerine yerleştirilmektedir. Boşluklar için montajlanan çelik kalıplar ise tünel kalıpların söküm işlemlerinin ardından yerlerinden çıkarılmaktadır [19]. Şekil 11’de kalıpları sökülecek olan çok katlı yapı örneği verilmektedir. Şekil 12’de tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yapının son hali verilmektedir.



Şekil 11. Tünel Kalıp Sistemi ile İnşa Edilen Kalıpları Sökülecek Yapı Görseli (A. Hasan DUMAN)



Şekil 12. Tünel Kalıp Sistemi ile İnşa Edilmiş Yapı Örneği (A. Hasan DUMAN)

E. Tünel Kalıp Sistemlerin Avantajları

Tünel kalıp sistemler taşıyıcı elemanların beton döküm aşamasında tek seferde dökülmesini sağladığından yapılara rijitlik kazandırmaktadır. Bu da depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımında önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca taşıyıcı elemanların kalıplarının her katta aynı şekilde kullanılması, boyutlarının değişmemesi işçilik hatalarını da minimuma indirmektedir. Bu sayede soğuk derz oluşumlarının da önüne geçilmektedir.

Geleneksel ahşap kalıp sistemleri ile kıyaslandığında ilk etapta daha maliyetli gibi görünse de tünel kalıp sistemler birçok defa kullanılabilirdiğinden toplu konut üretimlerinde maliyetten kazanç sağlamaktadır. Kat yükseklikleri, döşeme kalınlıkları, taşıyıcı eleman kesitleri gibi yapısal özelliklerin tüm katlarda aynı kalmasını sağlamaktadır. Tünel kalıp sistemleri ile inşa edilen yapıların inşa edilme süreleri geleneksel yöntem ile inşa edilen yapılar ile kıyaslandığında çok daha kısa olmaktadır. Üretim hızı konusunda oldukça avantaj sağlamaktadır. Öyle ki 1 konut projesinin 8-9 kişilik bir ekip ile 1 katının imalatı neredeyse 2 gün içerisinde tamamlanmakta ve üst katların inşasına başlanabilmektedir. Ekonomik anlamda sağladığı en büyük avantajlardan biri uygulama süresinin kısa olması ve işçilik masrafını yarı yarıya düşürmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kalite açısından değerlendirildiğinde geleneksel yöntem ahşap kalıp sistemleri ile kıyaslandığında çelik kalıplar daha dayanıklı olduklarından sürekli kullanıma olanak vermektedir. Tünel kalıp sistemleri karmaşık sistemler olmadıkları için uygulama şekilleri de oldukça kolay olmaktadır. Güvenlik açısından değerlendirildiğinde tünel kalıp sistemler ile üretilen yapılarda yapı elemanları tek parça olarak üretildiğinden monolitik bir yapı elde edilmektedir. Tünel kalıp ile inşa edilen yapıların bu nedenle yatay yük taşıma kapasiteleri çok yüksektir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında en önemli ilkelerden biri olan güvenlik ilkesini sağlamaktadır [18],[19],[20],[23]. Şekil 13’te tünel kalıp sistemi ile inşa edilen bir toplu konut alanı görülmektedir.



Şekil 13. Tünel Kalıp Sistemi ile İnşa Edilmiş Toplu Konut Alanı (A. Hasan DUMAN)

F. Tünel Kalıp Sistemlerin Dezavantajları

İnşa edilecek yapıların mimari tasarımları sırasında tünel kalıp sistemleri her tasarımın yapılmasına olanak vermemektedir. Bu nedenle yapıların tasarım aşamasında handikap oluşturmaktadır. Tünel kalıp sistemle inşa edilen

yapıların konutlar arası ses yalıtımları her zaman doğru yapılamadığından ses yalıtımı kaynaklı mahremiyet sıkıntıları yaşanmaktadır. Nem oranının yüksek olduğu bölgelerde yapının tamamı beton ile üretildiğinden kullanıcıların romatizmal hastalıklar yaşamasına neden olabilmektedir [20],[21].

III. SONUÇ

İnsan hayatının en önemli ve vazgeçilmez temel ihtiyaçlarından biri barınma ihtiyacıdır. İnsanlık var olduğu ve nüfus artışı hızla devam ettiği sürece barınma ihtiyacının da bitmeyeceği yadsınamaz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Barınma ihtiyacının karşılanmasında yapı stoklarının önemi büyüktür. Herhangi bir neden ile yapı stoklarında görülen azalmalar barınma ihtiyacının karşılanmasını tehlikeye atmaktadır. Teknolojinin de hızla gelişimi ile birlikte yapıların imalat aşamalarında da endüstrileşmeye gidilmektedir. Bu nedenle de yapıların imalatları sırasında endüstriyel yapım tekniklerinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada endüstriyel yapım tekniklerinden biri olan tünel kalıp sistemleri ele alınmıştır. Tünel kalıp sisteminin literatürdeki yeri ve uygulama şekli hakkında bilgi verilmiştir. Sistemin avantaj ve dezavantajları sunulmuştur. Özellikle ülkemiz gibi deprem bölgesi olan ülkelerde deprem etkileri nedeniyle yapı stokları tükenmekte ve toplu konut üretim ihtiyaçları doğmaktadır. Toplu konutların üretilmeleri sırasında depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımından uzaklaşılması gerekmektedir. Tünel kalıp sistemler ile inşa edilen yapılar üzerinde yapılan çalışmalarda bu sistemler ile inşa edilen yapıların depreme etkisi altında daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Tünel kalıp sistemler, geleneksel kalıp sistemleri ile kıyaslandığında toplu konutlarda ve özellikle yüksek yapıların imalatlarında güvenlik ve ekonomiklik ilkesinden ödün vermemektedir. Maliyet ve zaman açısından tasarruf sağlamaktadır. Avantajları ile dezavantajları kıyaslandığında avantajlarının daha çok olduğu açıkça görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Çiçek, A., "Tünel Kalıp Yapım Sistemleri ile Toplu Konut Tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1985.
- [2] Boyacı, A., "Tünel Kalıp Sistemiyle Çok Katlı Toplu Konut Üretiminde Tasarım Kısıtlamaları Üzerine Bir

- Araştırma," Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1990.
- [3] Karaca, H., "Tünel Kalıp Yapım Sistemi ve Geleneksel Yapım Sistemi ile Tasarlanmış On Katlı Konut Yapılarda Dolaysız Maliyetlerin Analizi ile Optimizasyon Araştırması," Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994.
- [4] Yavuztürk, H.Z., "Taşıyıcı Sistem Bakımından Farklı 2 Yapının Yatay Yükler Etkisindeki Davranışlarının İncelenmesi (10 ve 15 Kat İçin)," Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
- [5] Şahin, T., "Tünel Kalıp Teknolojisinin Konut Planlanmasına Uyabilirliliği Üzerine Bir Araştırma," Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999.
- [6] Ayık, G., "Yüksek Katlı Tünel Kalıplı Betonarme Binanın Projelendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999.
- [7] Balkaya, C., & Kalkan, E. Tünel Kalıp ile İnşa Edilen Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Davranışları, ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2002.
- [8] Sümer, Y. (2003). Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Optimum Taşıyıcı Sistem Seçimi. Sakarya University Journal of Science, 7(3), 43-50.
- [9] Çelebioğlu, M.C., "Tünel Kalıp Sistemine Göre Tasarlanan Perdeli Yapılar ve Perdeli Yapıların Farklı Modelleme Yöntemleriyle Çözümlemesi," Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- [10] Korur, S., "Tünel Kalıp Sistemi Uygulamalarında Karşılaşılan Teknik Sorunlar ve Üretilen Çözümlerin İrdelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2004.
- [11] Oğuzalp, E. H., & Korur, S. (2005). Toplu Konut Üretiminde Tünel Kalıp Sistemi Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 20(3), 85-94.
- [12] Kıncal, T., "Tünel Kalıpla İnşa Edilen Yapıların Tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [13] Erbil, Y., & Akıncıtürk, N. (2006). Tünel Kalıp Sistemiyle Üretilen Bir Toplu Konut Örneğinin Isısal Konfor Koşulları Açısından İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 11(2).
- [14] Korur, S., Oğuzalp, E. H., & Siramkaya, S. B. (2006). Türk İnşaat Sektöründeki Tünel Kalıp Teknolojisi Uygulamalarında Prekast Yapı Bileşenleri Projelendirme Ve Uygulama Sorunlarının Neden Ve Çözümleri. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 21(3), 165-176.
- [15] Bulgu, N.N., "Tünel Kalıpla İnşa Edilen Binaların Deprem Yükleri Etkisindeki Davranışının İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [16] Öztürk, T., & Bulgu, N. N. (2007). Tünel Kalıpla İnşa Edilen Çok Katlı Binaların Deprem Davranışının İncelenmesi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20.

- [17] Coşgun, T., Yüksel, F. A., & Coşgun, A. (2008). Tünel Kalıpla İnşa Edilen Binalarda Yaşanan Gürültü Problemleri Üzerine Bir Araştırma. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 7(1), 65-72.
- [18] Sarıçay, E., "Tünel Kalıpla İnşa Edilen Binaların Deprem Yükleri Etkisindeki Davranışının İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [19] Güler, K., "Tünel Kalıp Sistemiyle Yapılan Yapıların Deprem Süresince Davranışlarının İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2009.
- [20] Harmankaya, Z., & Mehmet, T. U. N. A. (2011). Türkiye'de Tünel Kalıp ile Uygulanan Çok Katlı Yapı Üretiminde Kat Adedi Ve Beton Sınıfının Maliyete Etkileri. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2).
- [21] Uyar, A., "Konut Mimarisinde Tünel Kalıp Kullanımının Mimari Tasarıma Etkileri," Yüksek Lisans Tezi, İ.A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
- [22] Türkel, E.B., "Tünel Kalıp Sistemi Kullanılan Betonarme Yüksek Yapılarda Bina Özellikleri ile Maliyet Arasındaki İlişkiler," Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
- [23] Apay, A., Aydın, E., & Yılmaz, P. Depreme Dayanıklı Yapılarda Tünel Kalıp Sisteminin Kullanılması, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 2003.
- [24] Türkel, E. B., & Ergen, E. (2016). Tünel Kalıp Sistemi Kullanılan Betonarme Yüksek Yapılarda, Yükseklik Ve Kat Alanı ile Maliyet Arasındaki İlişki. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(6), 418-426.
- [25] İlerisoy, Z. Y., & Tuna, M. E. (2018). Dikdörtgen Planlı Tünel Kalıp Kullanılan Betonarme Yapılarda Plan Boyutları ve Kat Adedinin Maliyete Etkileri. Megaron, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi E-Dergisi, 13(4).
- [26] Günay, Z., "Ahşap Kalıp Ve Tünel Kalıp Sistemlerinin İş Güvenliği Açısından Risklerin Araştırılması Üzerine Bir Uygulama," Yüksek Lisans Tezi, B.Ü., Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bartın, 2020.
- [27] URL1- <http://deneyimmakina.com/prekast-kalip/foto-galeri>