Journal of International Architectural Sciences
JIArcS, 2025, 2 (1): 60-80
Research Article
https://mimarlikbilimleri.com/ojs/index.php/architecturalsciences
E-mail: architecturalsciences@gmail.com
e-ISSN: 3062-1399

Tünel Kalıp Teknolojisinin Günümüz İnşaat Sektöründeki Durumu: Bir Değerlendirme

Berrin ŞAHİN DİRİ[1]*
ORCID 1: 0009-0009-6436-2549
[1] Mimar Sinan Fine Arts University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 34427, Istanbul, Türkiye.
** e-mail: berrin.sahin.diri@outlook.com*

Öz

Konut yapımında kullanılan materyaller gelişen teknolojiler ile birlikte doğanın verdiği imkanlar ile hazırlananlardan; günümüzde kullanılan çelik, hafif beton, glulam ahşap, lamine cam vb. yapı malzemelerine evrilmiştir. Hızla artan dünya nüfusu ve endüstriyel alanda meydana gelen teknolojik gelişmeler, beraberinde yaşanan savaşlar, doğal afetler ile birlikte yapı stoklarının tükenmesine sebep olmuş ve toplu konut üretimine olan ihtiyacı arttırmıştır. İnşaat sektöründe bu ihtiyacın karşılanması için gelişmiş toplu konut üretim yöntemlerine yönelme olmuştur. Tünel kalıp teknolojisi 1990'larda özellikle deprem bölgelerinde yapılacak toplu konut projeleri için yurt dışından ithal edilmiş bir yapım teknolojisidir. Kendine göre bazı kısıtlamaları olsa da toplu konut ve yurt yapımında sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı endüstriyel kalıp teknolojilerini tanıtmak ve tünel kalıp teknolojilerinin uygulanma yöntemini, tasarıma getirdiği kısıtlamaları Ataşehir Uydukent projesi üzerinden göstererek güncel durum değerlendirmesi yapmaktır. Özellikle deprem bölgelerinde ve çoklu konut üretiminin yapıldığı alanlarda kullanılan bu teknoloji TOKİ aracılığıyla son yıllarda İstanbul'dan Türkiye'nin diğer deprem riski olan bölgelerine kaydırılmıştır.

Anahtar kelimeler: *Yerinde betonarme yapım, Tünel kalıp teknolojisi, Endüstriyel kalıplar.*

State of Tunnel Formwork Technology in Today's Construction Industry: An Assessment

Abstract

Housing materials have evolved from natural, technology-driven solutions to the building materials we use now, including steel, lightweight concrete, glulam wood, and laminated glass. Demands from a growing world population, coupled with wars and natural disasters, have led to a need for increased mass housing production. In response, the construction industry has adopted advanced mass housing production methods. Tunnel formwork technology, imported from abroad in the 1990s, is particularly suited to mass housing projects in earthquake-prone areas. Despite certain limitations, it has been widely used in the construction of mass housing and dormitories. This study aims to introduce industrial formwork technologies and evaluate the current situation by demonstrating the application methods of tunnel formwork technologies and the design constraints they impose, using the Ataşehir Uydukent project as an example. In recent years, this technology has been transferred from Istanbul to other earthquake-prone regions of Turkey through TOKİ, and is used in areas where mass housing production is carried out.

Keywords: *In-situ reinforced concrete construction, Tunnel formwork technology, Industrial formwork.*

Citation: Şahin Diri, B. (2025). State of tunnel formwork technology in today's construction industry: An assessment. *Journal of International Architectural Sciences***.** 2 (1): 60-80.

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.16388159

Received: *June 01, 2025 –* ***Accepted:*** *July 01, 2025*

1. Giriş

Dünyanın en aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp Himalaya deprem kuşağında yer alan Türkiye'de yaşanan büyük depremler sonrasında özellikle önce İstanbul'da daha sonra riskli diğer illerde tünel kalıp sistem ile toplu konutlar inşa edilmiştir. Bu teknoloji ile inşa edilen yapıların taşıyıcı sistemi tek parçalı (monolitik) sistem gibi hareket etmekte ve özellikle çok katlı yapılarda deprem etkisi altında, yapılar daha rijit davranış sergilemektedir. 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 (Türkel ve Ergen, 2016).

Tünel kalıp teknolojisi özellikle deprem riski taşıyan büyük şehirlerde uydu kentlerin ve toplu konutların yapımında kullanılan bir teknolojidir. Kentsel dönüşüm projeleri kapsamında TOKİ'nin sıkça kullandığı bir yapım yöntemi olmasına rağmen tekil konut yapımında kalıp maliyetinden dolayı bu sistem kullanmamaktadır. Bunun; projelerin benzer dış görünüşleri, kullanıcıya sunulamayan mekan değiştirme esnekliği, maliyetlerin yüksekliği, mekan açıklıklarında kısıtlama gibi sebepleri olduğu düşünülmektedir. Günümüzde TOKİ ve diğer firmalar tünel kalıp teknolojisini deprem konutu yapımında kullanmaktadır. Bu çalışmada tünel kalıp teknolojisi İstanbul, Ataşehir'de 5 farklı firma tarafından yapılan 1. ve 2. Etap toplu konut projeleri arasından seçilen, farklı özelliklere sahip 5 proje üzerinden değerlendirilecek ve kalıp sisteminin avantajları ve kısıtlamaları ortaya konulacaktır. Bu konuda daha önce yapılan çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

Çiçek (1985) toplu konut üretiminde tünel kalıp sistemlerinin kullanılmasının avantajlarını ve dezavantajlarını araştırdığı çalışmasında seçtiği toplu konut modelinin üzerinde tünel kalıp sistemlerin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Şahin (1999) yaptığı çalışmada tünel kalıp teknolojisinin konut planlamasına uygunluğunu incelemiştir. Balkaya ve Kalkan (2002) 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. Korur (2004) tünel kalıp sistemleri ile toplu konutların inşa aşamasında karşılaşılan teknik sorunlar ve toplu konut imalatlarında bu sistemleri kullanan firmaların bu sorunlara geliştirdiği çözümleri çalışmasında incelemiştir. Oğuzalp ve Korur (2005) toplu konut üretiminde tünel kalıp teknolojisinin kullanımıyla karşılaşılan sorunları ele aldıkları çalışmalarında; yüklenici firmaların maliyeti ön planda tuttukları için doğru ısı ve ses yalıtım detayları uygulamadıkları, projelendirilmeyen detayların sonradan değiştirilmesi, kalifiye işçi çalıştırılmaması nedeniyle uygulamada hatalar olduğu, arge çalışmalarının ve denetimlerin yetersiz olması nedeniyle erken yapı hasarları oluştuğu ve bunun da kullanıcılarda konfor ve estetik sorunlarına yol açtığı sonuçlarına varmışlardır. Bulgu (2007) 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. Türkel (2016) tünel kalıp sistemi ile inşa edilen çok katlı betonarme yapılarda bina özellikleri ile maliyet arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Uğur ve diğerleri (2017) çalışmalarında Toplu Konut İdaresi tarafından daha önce uygulaması yapılmış olan çok katlı bir bina projesinin taşıyıcı sistemini yeniden oluşturarak İde-cad programıyla yapının statik ve dinamik analizlerini yapmış, taşıyıcı sistem daha önce perdelerden oluşurken, "perde + çerçeve" sisteme dönüştürülmüştür. Sonuçta tünel kalıp sisteminin, geleneksel kalıp sistemlere göre ilk yatırım maliyetinin daha fazla olduğunu ancak kalıp ömrünün diğer kalıp sistemlerine göre daha uzun olması nedeniyle toplu konut imalatlarında daha avantajlı olduğu, uygulama sayısının nispeten az olması durumunda ise geleneksel ahşap kalıp sisteminin daha avantajlı olduğu sonucunu çıkarmışlardır. İlerisoy ve Tuna (2018) yaptıkları çalışmada tünel kalıp sistemi ile inşa edilen dikdörtgen planlı betonarme yapılarda plan boyutları ve kat adedinin maliyete etkilerini araştırmışlardır. Akbaş ve Çalışkan (2023), "Tünel Kalıp Sistemi" başlıklı bildirilerinde özellikle toplu konut üretiminde sıklıkla kullanılan bu yapım teknolojisi ile ilgili literatür taraması yapmış ve sistem hakkında bilgi vermişlerdir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada literatürden elde edilen veriler ışığında hazır kalıp teknikleri üzerinde durulmuş, buradan tünel kalıp sistemlerine geçilmiş, daha sonra bu bağlamda İstanbul Ataşehir'de tünel kalıp teknolojisi

kullanılarak yapılan 1. ve 2. Etap projeleri incelenmiştir. Tünel kalıp sisteminin tasarıma ve yapıma getirdiği avantaj ve kısıtlamalar, proje verilerinden ve şantiyede ilgili profesyonellerle yapılmış olan sözlü görüşmelerden yararlanılarak irdelenmiştir.

Bu kapsamda 1. ve 2. Etap toplu konut projeleri arasından seçilen, farklı özelliklere sahip 5 proje üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirmeler yapılırken bina tasarım – yapım ilişkileri üzerinde durulmuştur. Bunların arasında plan tiplerinin yapım sistemine etkileri, cephe biçimlerinin ve cepheye kazandırılmak istenen hareketliliklerin perde duvar yerleşimlerini nasıl etkilediği, balkon tiplerine ve mekan genişliklerine göre kalıp tiplerinin nasıl seçildiği, blokların döşeme betonlarının hangi sıraya ve zamanlamaya göre döküldüklerinin irdelenmesi sayılabilir. Son bölümde ise bu teknolojinin başka şehirlerde kullanıldığı diğer proje tiplerinden örnekleri verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Türkiye'de deprem bölgeleri için toplu konut sektöründe en fazla kullanılan kalıp teknolojisi tünel kalıp sistemidir. İstanbul ve çevresinde kurulan Ataköy, Mimaroba, Sinanoba, Bahçeşehir, Ataşehir gibi kendi başlarına küçük birer şehir sayılabilecek yerleşim alanlarında, toplu konutların hatta 1-2 katlı villaların yapımı için tünel kalıp ile yerinde yapım yöntemi kullanılmıştır. Şiddetli sarsıntılar ile yıkımlara uğrayan Gölcük, Yalova, Adapazarı, Erzincan, Dinar, Hatay, Adıyaman, Maraş gibi deprem riski yüksek olan şehirlerde tünel kalıp teknolojisi kullanılarak toplu konutlar yapılmaktadır. Bu teknoloji ile yapılan konutlarda bütün binanın perde duvarlardan oluştuğu düşünülürse, herhangi bir deprem anında cephe panolarının hareketi dışında binanın yatay kuvvetlere karşı yeterince stabil olabileceği kabul edilmektedir (Fındıkoğlu, 1996). Ancak günümüzde deprem bölgeleri dışındaki şehirlerde konut üretiminde bu teknolojinin kullanımı neredeyse kalmamıştır. Tünel kalıp teknolojisi yerine kullanıcı esnekliğine, farklı kat planları ve yüksekliği yapımına izin veren, kalıpların şantiyede proje ölçülerine uygun kurulabildiği sık kirişli kalıp sistemleri kullanılmaktadır.

3.1. Betonarme Yapımda Kullanılan Kalıp Sistemleri

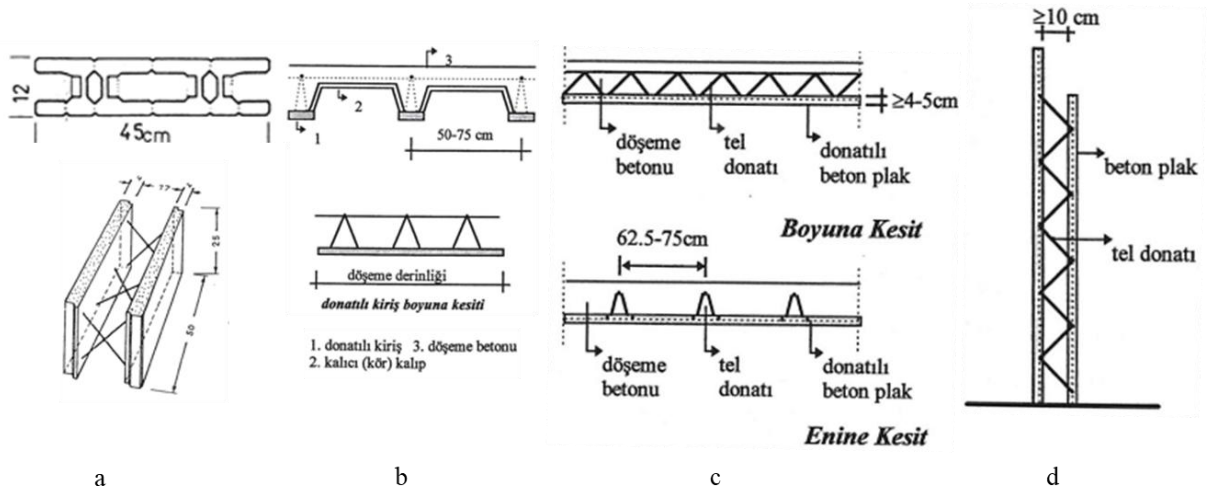
Çok katlı betonarme binalar iki şekilde yapılmaktadır. En sık kullanılan yapım şekli kalıplar kullanarak "Yerinde Yapım" teknolojisidir. Diğeri ise binayı oluşturan yapı elemanlarının ayrı ayrı fabrikada üretilip şantiyede birleştirildiği "Prefabrike Yapım" 'dır. Deprem açısından kullanıcılar tarafından daha güvenilir olarak görülen, kalifiye eleman çalıştırma zorunluluğu olmayan, prefabrike sisteme göre daha ucuz olduğu düşünülen ve sonradan kısmen değişiklik yapmaya imkan veren betonarme yerinde yapım sistemlerinde kullanılan kalıplar kullanıldığı yerde kalan yani "Kalıcı Kalıplar" ve sökülüp tekrar kullanılan "Sökülebilir Kalıplar" olarak ikiye ayrılmaktadır.

Kalıplar, taze dökülmüş betonun istenilen forma girmesini sağlayan ve beton prizini alana kadar betonu destekleyen yardımcı inşaat elemanlarıdır. Yapım sektöründe hazır kalıplar, endüstriyel bir üretime ulaşmak amacıyla yapılan çalışmaların sonuçlarından biri olarak ortaya çıkmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrası ortaya çıkan ve günümüzde de süren hızlı ve kaliteli yapı üretimi ihtiyacı geleneksel yapım sistemleri ile karşılanamamış, o tarihten itibaren geleneksel yapımı geliştirme yolları aranmıştır. Bu çalışmalar arasında; yapı malzemelerini geliştirme (yalıtımlı bloklar… vb) , inşaatta kullanılan yardımcı araç-gereçlerin geliştirilmesi (delme, kesme aletleri… vb), kalıp-iskele gibi elemanların geliştirilmesi (tırmanır kalıplar gibi iskeleye ihtiyaç duymayan kalıpların geliştirilmesi... vb), yeni yapım teknolojilerinin geliştirilmesi (kayar kalıplar... vb), yapım makinelerinin geliştirilmesi (beton dökme makineleri… vb), yapım yerinin iyileştirilmesi (kalıp ısıtma teknikleri... vb), yapım organizasyonunun iyileştirilmesi (yapım sürecini izlemeyi sağlayan bilgisayar programları… vb) söz konusu olmuştur. Yapım sektöründe gerçekleşen bu yenilikler ile kitlesel, standart özelliklerde ve istenen kalitede üretim sağlanmış ve böylece yapım sektöründe endüstriyel bir üretim elde edilebilmiştir.

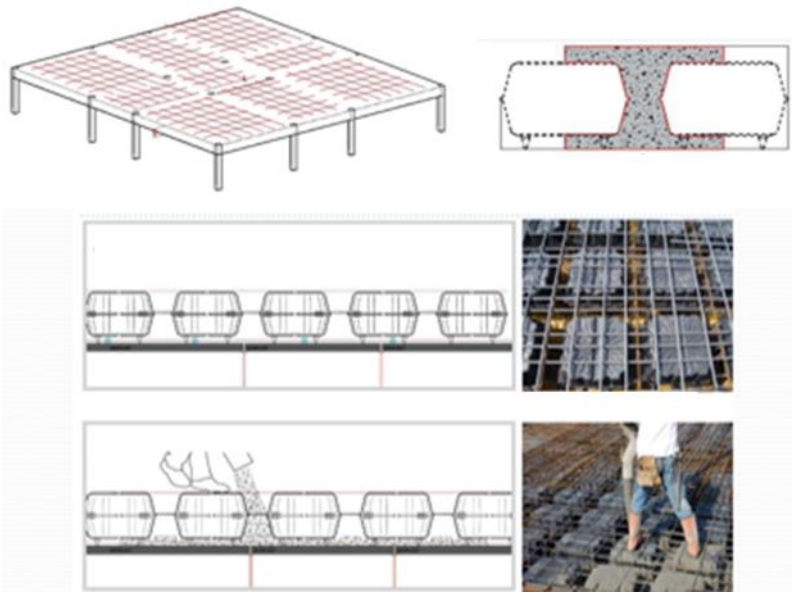
Kalıcı Kalıplar

Beton döküm işlemi bittikten sonra sökülmeyen hazır kalıplar hem kalıp yüzeyini hem de duvarın veya döşemenin yalıtım katmanını oluşturan hafif beton, heraklit, sytrofoam, talaşlı pişmiş toprak ve polietilen köpük gibi çeşitli malzemelerden oluşmaktadır (Şekil 1). Elle taşınabilecek boyutta olan küçük boyutlu olan kalıcı kalıplar ile beton dökümü birkaç seferde yapılmakta, bu sebeple tam bitmiş yüzey elde edilememekte ve duvar yüzeyine sıva yapılması gerekmektedir (Şekil 1.a,b,c). Şekil 1.d'de görülen

Filigran tipi büyük boy kalıcı duvar kalıbıdır. Zikzak şeklinde hazırlanmış donatıları ile beraber üretilen kalıp elemanının üst kısmı kirişin oturabileceği şekilde hazırlanmıştır ve temel ve kiriş birleşimleri ek donatılar ile takviye edilmektedir. Şekil 2'de yer alan boşluklu kör döşeme kalıbı büyük açıklık geçen betonarme döşemeler için kullanılmaktadır. Etrafına dökülen betonun içinde kalan ve geri dönüştürülmüş malzeme ile yapılan bu kalıplar hem döşemenin ağırlığını azaltmakta hemde altta-üstte oluşturulan plak döşemeler ile yanal deprem kuvvetlerine karşı binayı korumaktadır.



Şekil 1. Kalıcı Kalıp Örnekleri; **a)** Heraklit ve köpük esaslı küçük boy duvar kalıpları, **b)** Nervürlü döşeme kirişi ve kalıbı, **c)** Donatılı döşeme kalıbı, **d)** Filigran tipi duvar kalıbı (Şahin, 1997; Durisol, 1996; Loma, 1996)



Şekil 2. Boşluklu Döşeme Kör Kalıbı (Daliform, n.d.)

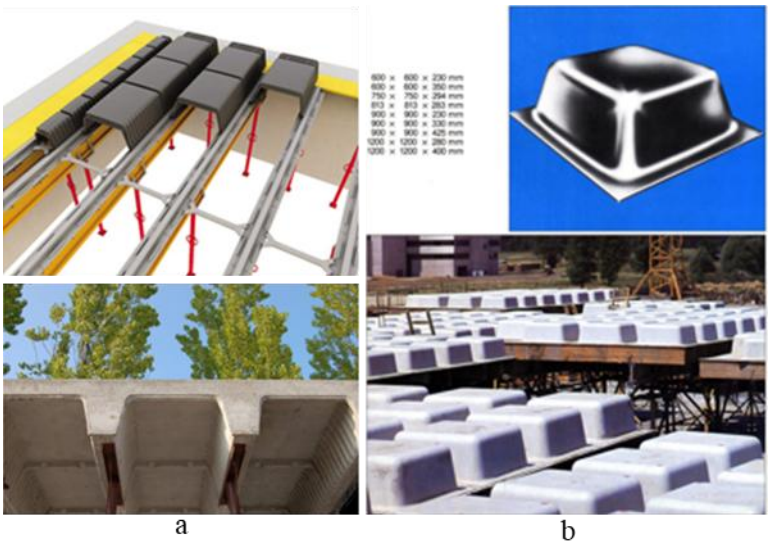
Sökülebilir Kalıplar

Sökülebilen kalıplar beton dökümü gerçekleştikten sonra betonarme duvar veya temel elemanlarının etrafından sökülüp, temizlenip bir sonra ki kata veya yeni oluşturulacak betonarme elemanın döküm yerine taşınan kalıplardır. Genellikle çabuk deforme olmayan, suya dayanıklı, birbirlerine kolayca takılıp sökülebilen, kaynak sökümüne dayanıklı sac, alüminyum, plywood veya bunların beraber kullanıldığı kombinasyonlardan oluşturulmaktadır.

Kaset döşeme, nervür, kiriş, kolon, temel üretiminde büyük kolaylıklar getiren küçük boy sökülebilen kalıplar derz ve bağlantı elemanlarının çokluğu nedeniyle duvarlarda az kullanılmaktadır (Şekil 3). Kalıp yüzeyi 1,5-2 cm kalınlığında kontrplak levha, 1,2 mm kalınlığında sac, alüminyum veya çok özel

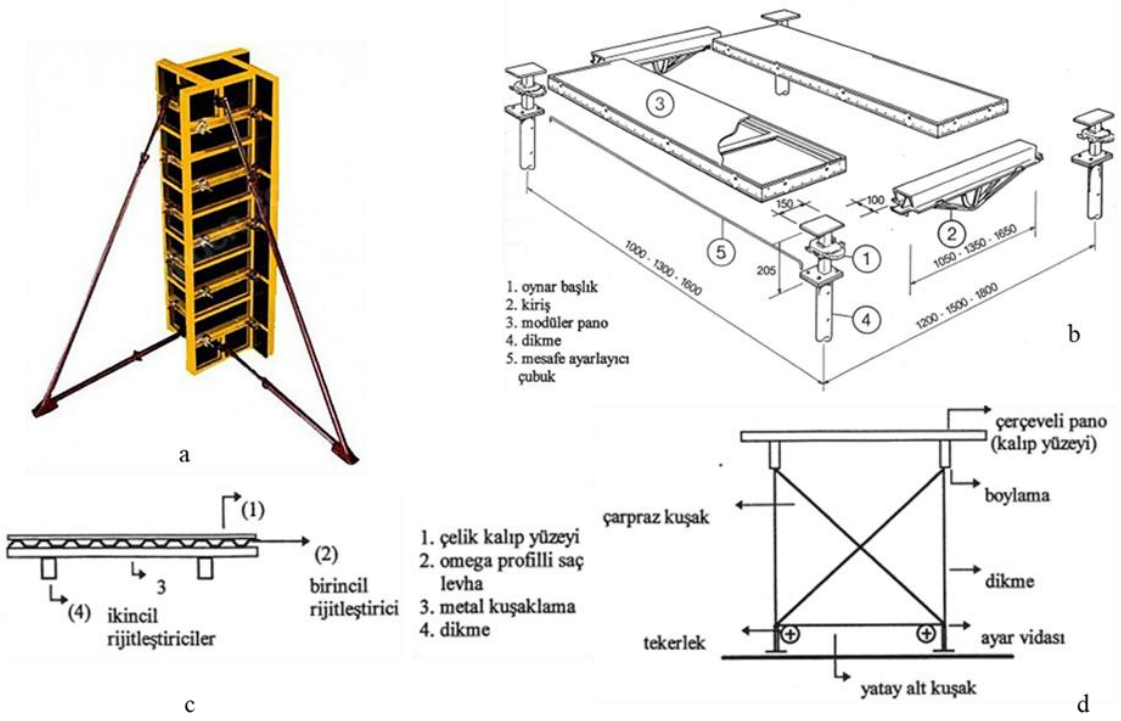
durumlar için 2-5 mm kalınlığında çelik levhalar olabilmekte ve alüminyum veya çelik bir çerçeve ile rijitleştirilmektedir. Bu yüzeyler gerektiğinde ara dikme veya kuşaklarla takviye edilmektedir.

Şekil 4 ve 5'te farklı yapı elemanlarını oluşturan sökülebilir kalıp türleri görülmektedir. Modüler kalıplar da denilen Şekil 4.a'da yer alan kalıp elemanı ayarlanabilir özelliği ile projede farklı boyutlarda yer alan kolon ve perde elemanları için kullanılmaktadır. Şekil 4.b'de yer alan kalıp ise modüler kalıpların döşeme için kullanılan türüdür. Bu kalıplar enleme ve boylama adı verilen kirişlere, bu kirişler de yükseklik ayarı yapılabilen dikmelere oturtulmakta, kalıbın ölçüsüne uyulması takdirde döşemede alçalma ve yükselmeler yapılabilmektedir. Şekil 4.c'de büyük boy yüzeysel duvar kalıbı kesiti şematik olarak görülmektedir. 250 cm eninde ve bir konutun kat yüksekliğinde (yaklaşık 275-285cm arası) olabilen bu kalıplar döşemesi olmayan betonarme duvar yüzeyi dökümünde veya döşemeli duvarların dış duvar yüzeyini dökebilmek için kullanılmaktadır. Şekil 4.d'de bir masa kalıbın şematik kesiti yer almaktadır. Betonarme döşeme kalıbı olarak sıkça kullanılan masa kalıplar, çubuk şeklindeki metal konstrüksiyon sayıları arttırılarak tavan yükseklikleri fazla olan mekanların döşeme dökümünde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Projeye göre ölçüleri uyarlanabilse de yaklaşık 110/150/200 cm boyutlarında olan bu kalıplar tekerlekli ayakları sayesinde işçiler tarafından döşeme üzerinde yürütülerek yerlerine yerleştirilmektedir. Şekil 5'de ise sık kirişli kalıplar yer almaktadır. Projeye göre hazırlanabilen bu kalıplar, metal veya ahşap enleme ve boylamaların plywood gibi bir kalıp yüzeyi arkasına monte edilmesi ile oluşturulmaktadır. Günümüzde bu kalıplar tekil konut, ofis, okul vb. projeler için sıklıkla kullanılmaktadır, çünkü bu kalıplar yapımda tasarımcıya esneklik sağlamaktadır; duvar-döşeme yüzeylerinde girinti/çıkıntı kolaylıkla yapılabilmekte, projede yer alan duvar-döşeme-kolon gibi eleman boyutlarına uygun kalıplar şantiyede oluşturulabilmektedir.

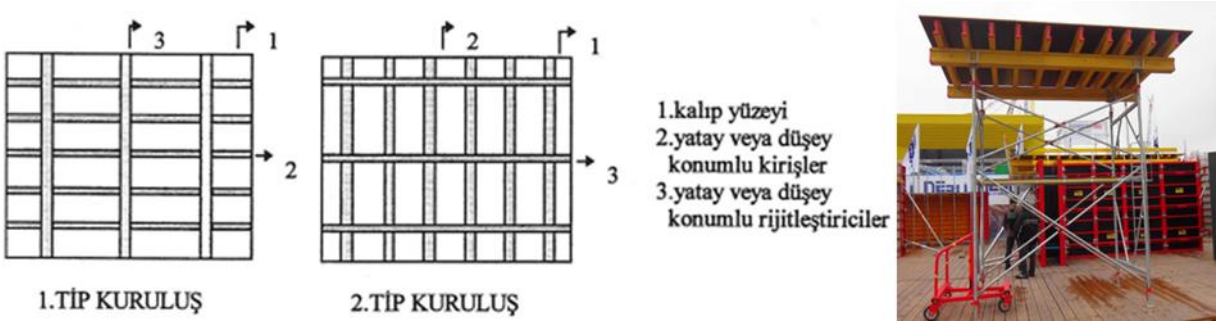


Şekil 3. a) Nervürlü Döşeme Kalıbı, **b)** Kaset Döşeme Kalıbı (Durisol, 1996; Loma, 1996)

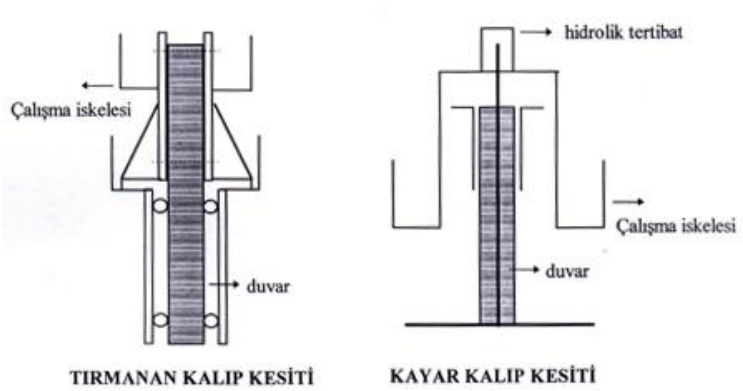
Şekil 6'da düşey yönlü betonarme duvarlar için kullanılan tırmanan ve kayar kalıplar görünmektedir. Tırmanan ve Kayar kalıplar genelde döşemesi olmayan köprü ayağı, su kuleleri, baraj duvarları, viyadük ayakları gibi düşey doğrultudaki taşıyıcı büyük yüzeyli betonarme duvarların yapımında kullanılır. Tırmanan kalıp düşey yönde elle veya vinç yardımı ile hareket ettirilmektedir. Kayar kalıp ise hidrolik bir tertibat yardımı ile yavaş bir hızda ve sürekli olarak düşey yönde hareket etmekte ve saatte yaklaşık 30 cm yüksekliğinde beton dökümü gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4. a) Modüler Duvar ve Kolon Kalıpları (NERU Kalıp Sistemleri, 2024), **b)** Modüler Döşeme Kalıbı (Şahin, 1997), **c)** Standart Duvar Kalıbı (Şahin, 1997), **d)** Masa Kalıp (Şahin, 1997)



Şekil 5. Sık Kirişli Duvar ve Döşeme Kalıpları (Şahin, 1997; NERU Kalıp Sistemleri, 2024)



Şekil 6. Tırmanan ve Kayar Kalıp Şematik Kesitleri (Şahin, 1997)

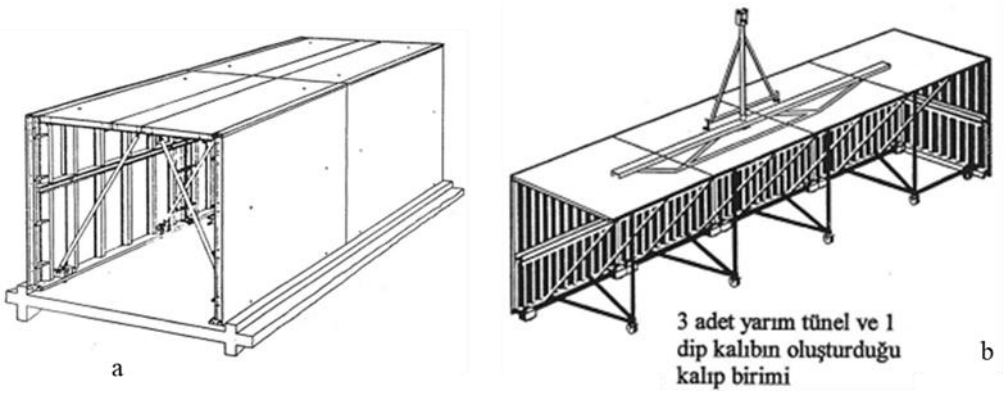
3.2. Tünel Kalıp Teknolojisi

Tünel kalıp sisteminin kökeni, 1960'lı yıllarda Fransa'da, daha verimli ve ekonomik inşaat yöntemleri arayışı içinde olan mühendisler ve inşaat şirketleri tarafından atılmıştır. Bu dönemde, inşaat sektöründe işçilik maliyetlerinin düşürülmesi ve inşaat süreçlerinin hızlandırılması büyük bir önem kazanmıştır. Tünel kalıp sisteminin geliştirilmesi ve yaygınlaşması, inşaat teknolojisindeki ilerlemelerle

paralel olarak devam etmiş, 1970'ler ve 1980'ler boyunca, sistem Avrupa'dan Orta Doğu'ya ve ardından dünyanın diğer bölgelerine yayılmıştır (Şahin, 1997). Bu dönemde, tünel kalıp sistemi, deprem riski yüksek bölgelerde de tercih edilen bir yapım yöntemi haline gelmiştir. Sistemin, yapıları tek parça halinde inşa etme özelliği, binaların deprem sırasında daha dayanıklı olmasını sağlamıştır. Günümüzde, tünel kalıp sistemi dünya genelinde birçok ülkede, özellikle de hızlı ve ekonomik konut inşaatı gerektiren projelerde kullanılmaktadır. Sistem, sürekli gelişen inşaat malzemeleri ve teknikleriyle birlikte evrimleşmeye devam etmektedir. Modern tünel kalıp sistemleri, daha hafif ve daha dayanıklı malzemeler kullanılarak üretilmekte ve inşaat süreçlerini daha da hızlandırmakta, iş güvenliğini artırmakta ve çevresel etkileri azaltmaktadır. 60 günde 250 m^2 alana sahip 15 katlı bir bloğun kaba yapısının bitmesi inşaat sektörü için oldukça iyi bir hızdır (Hellaç, 1996).İstanbul ve çevresinde kurulan Ataköy, Mimaroba, Sinanoba, Bahçeşehir, Ataşehir gibi kendi başlarına küçük birer şehir sayılabilecek yerleşim alanlarında tünel kalıp ile yerinde dökme betonarme yapım yöntemi kullanılmıştır (Şahin, 1997). Türkiyeyi sarsan Erzincan, Dinar, Gölcük, Yalova gibi deprem bölgelerinde bu teknoloji kullanılarak toplu konutlar yapılmaktadır.

Tünel kalıplar da sökülebilen kalıplar sınıfına girmektedir, ancak 250 m^2'lik bir alanın döşeme ve duvarlarının beraber döküldüğü bir teknoloji olduğu için hem diğer sökülebilen kalıplardan farklıdır hemde uzaysal bir yapım teknolojisi olduğu için bu sisteme aynı zamanda uzaysal kalıplar denilmektedir. Tünel kalıplarla bir mekanın duvar ve döşeme elemanlarının kesin boyutlu ve düzgün yüzeyli çelik kalıplarla bir defada tek parça olarak dökülebilmesi mümkün olmaktadır. Bu sistem ile inşa edilen yapıların özellikle yatay yük taşıma kapasiteleri çok yüksektir, deprem kuvvetinin tamamı boyutları gereği çok rijit olan perdeler tarafından karşılanmaktadır (Müller, 1977). Tünel kalıplar tam tünel ve yarım tünel kalıp olarak ikiye ayrılmaktadır. Tam tünel kalıp bir mekanı oluşturan duvar ve döşemenin tek parça kalıp ile tek etapta döküldüğü kalıp türüdür (Şekil 7.a). Yarım tünel ise tam tünel kalıbın ikiye ayrılmış halidir (Şekil 7.b).

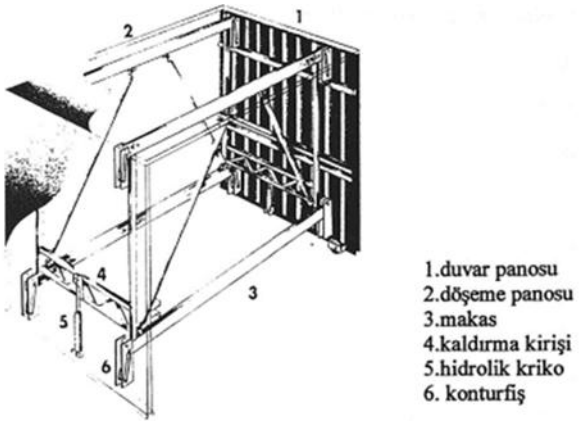
Tünel kalıp sistemde duvar ve döşemelerin donatıları hasır çelik olarak fabrikada imal edilip sahaya getirilmekte bu nedenle donatı hazırlama aşaması geleneksel sisteme göre çok daha hızlı olmaktadır. Tünel kalıp sistemlerde kürleme yolu ile betona kısa sürede gerekli mukavemet kazandırılabilmekte dolayısıyla kalıp söküm süreleri ve bir üst katta kurulumu da oldukça hızlı yapılabilmektedir. (Türkel ve Ergen, 2016).



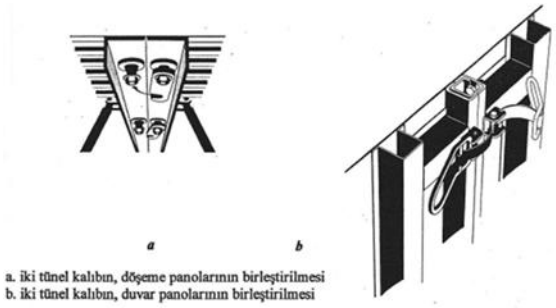
Şekil 7. a) Tam ve **b)** Yarım Tünel Kalıp Örnekleri (Müller, 1977)

Türkiye'de, mekan kuruluşunda değişik kalıp varyasyonları ile farklı ölçülerde açıklık geçme imkanı tanıyarak daha fazla esneklik ve daha düşük kapasiteli vinçlerle çalışılabilme imkanı sağladığı için yarım tünel kalıplar tercih edilmiş ve bu kalıplar 1990'lı yıllardan itibaren bir çok konutun yapımında kullanılmışlardır. Kalıp yüzeyi yaklaşık 3 mm kalınlığındaki çelik levhalardan oluşmakta ve bu yüzey beton dökümü ile kalıbın kesitine gelecek yükleri almak üzere profilli çelik bir levha ile takviye edilmektedir. Kalıp yüzeyi ve destek levhası kalıp sökme ve takma elemanlarının yerleştirildiği "C" profilli çelik bir çerçeve ile kuşatılmıştır. Destek elemanlarının yanı sıra tünel kalıp içinde yatay kuvvetlere karşı kalıbı koruyan ayarlı çarpraz (konturfiş) elemanlar, döşeme yükünü zemine aktaran ayarlı dikmeler, kalıbın zemin üzerinde yürüyerek hareket etmesini sağlayan kriko tekerler, kalıp yatay

atkıları yer almaktadır (Şekil 8). Çelik kalıp yüzeyi kalıptan çıkan beton yüzeyin çok düzgün yüzeyli ve kesin boyutlu olmasını sağlamaktadır. Kalıbın her kullanımında, kalıpçıların ölçümlemedeki becerisine bağlı kalınmadan standart yükseklik ve açıklığı elde etmek mümkün olmaktadır. Ağır ve pahalı olmaları dışında kullanım süresinin uzun olması ve kolay ısınması diğer avantajlı yönleridir. Yarım tünel kalıpların döşeme ve duvar panolarının birbirleriye birleşimleri Şekil 9.a ve b'de görülmektedir.

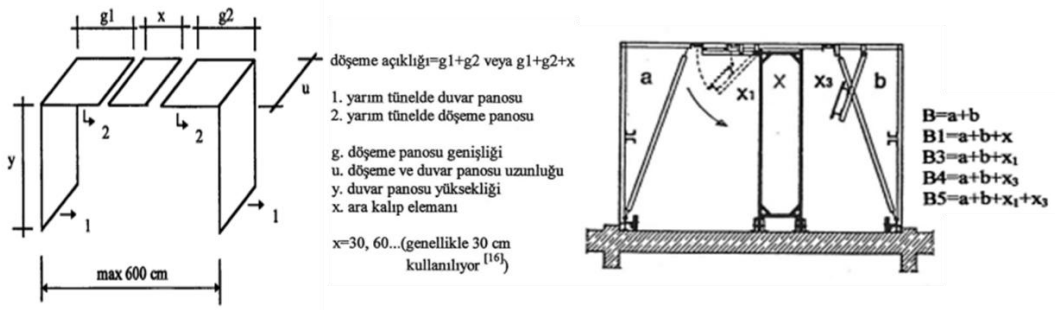


Şekil 8. Tam Tünel Kalıp Elemanı Parçaları (Müller, 1977)



Şekil 9. Yarım Tünel Kalıplarda; **a)** Döşeme **b)** Duvar Panolarının Birleşimi (Müller, 1977)

Şekil 10'da bir mekanın duvar ve döşeme elemanlarını oluşturmak için karşılıklı yerleştirilen tünel kalıplar görülmektedir. Duvar ve döşeme panosunun derinliği 62,5-125-250 cm şeklinde standart 3 boyutta olmakta ancak döşeme panosunun döşeme açıklığı doğrultusunda ki boyutları 105 cm'den başlayıp 285 cm'e kadar 30'ar cm aralıklarla değişmektedir (Tablo 1). Bu seçeneklere 30 cm genişliğinde bir masa kalıp veya ek yüzey kalıbı eklenerek döşeme açıklığı 600 cm'e kadar genişletilebilmektedir (Şekil 10). Yarım tünel kalıplar ile elde edilebilecek döşeme açıklığı/perde duvar aralığı mesafeleri Tablo 1'de görülmektedir.

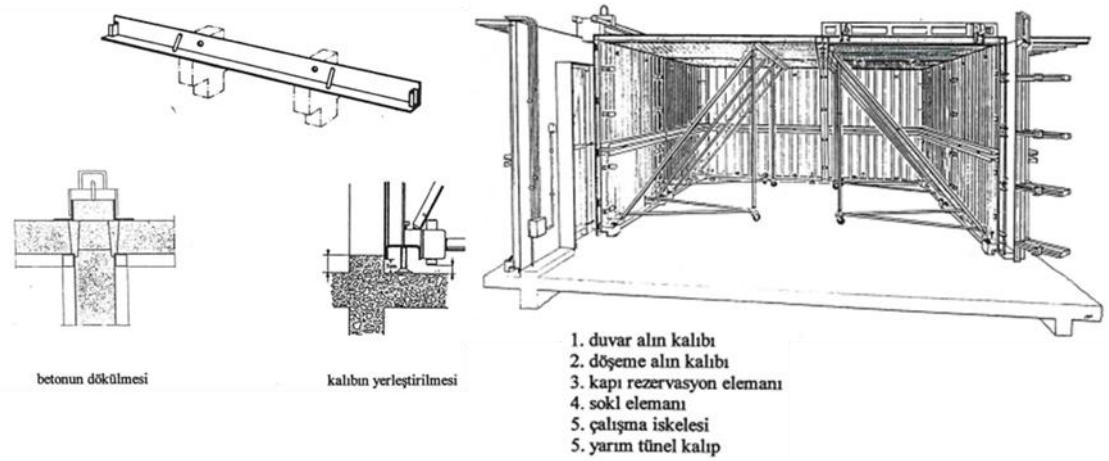


Şekil 10. Yarım Tünel Kalıplarda Döşeme Açıklığını Oluşturan Kalıp Elemanları (Şahin, 1997)

Tablo 1. Yarım Tünel Kalıplar ile Oluşturulabilecek Mekan Açıklıkları (Şahin, 1997)

		Yarım Tünel Kalıpta Döşeme Panosu Genişlikleri						
		105	**135**	**165**	**195**	**225**	**255**	**285**
Yarım Tünel Kalıpta Döşeme Panosu Genişlikleri	**105**	**210**	240	270	300	330	360	390
	135	240	**270**	300	330	360	390	420
	165	270	300	**330**	360	390	420	450
	195	300	330	360	**390**	420	450	480
	225	330	360	390	420	**450**	480	510
	255	360	390	420	450	480	**510**	540
	285	390	420	450	480	510	540	**570**

Tünel kalıp yapım tekniğinde kalıplar ile birlikte bazı özel elemanların kullanılması gerekmektedir. Bunlar; döşeme ve perde alın kalıpları, sokl elemanı ve baza köşebenti, ankraj elemanları, kapı-pencere-baca-havalandırma ve benzeri boşlukları oluşturan rezervasyon elemanları, güvenlik ağları ve çalışma platformları, ısıtma ve kürleme elemanlarıdır. Kalıp elemanlarını her katta aynı yükseklikte kurabilmek için sokl elemanları ve baza köşebenti ile belli bir yükseklikte beton sokl dökülmektedir (Şekil 11). Rezervasyon elemanları betonarme döşeme ve duvar yüzeyinde boşluk oluşturabilmek için beton dökülmeden önce iki kalıp elemanı arasına kaynaklanan veya vidalanan sacdan yapılmış elemanlardır. Çalışma platformları tünel kalıpların beton dökülüp prizini almasından sonra, tek mekan boşluğu olan cephe kısmında yer alan ve kalıpların çekilip vinçlere yüklendiği yüzeylerdir.

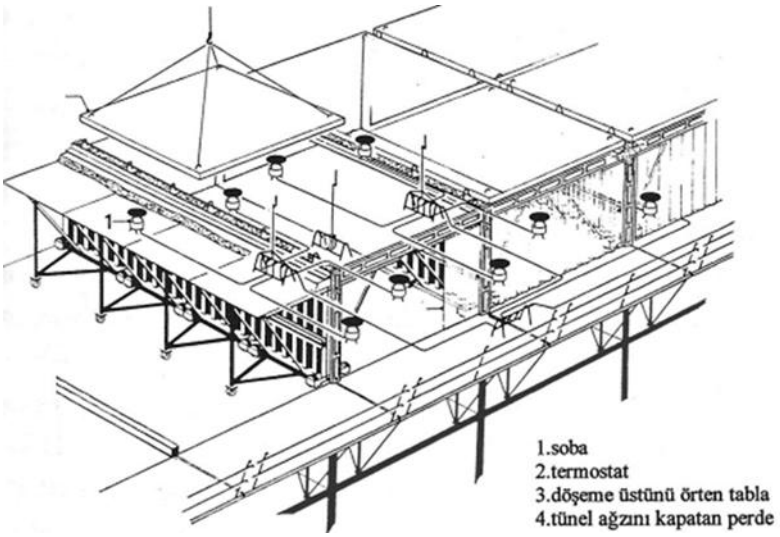


Şekil 11. Yarım Tünel Kalıplarda Ek Elemanlar (Müller, 1977; MESA, 1996)

Beton dökümü yapılacak yere taşınan kalıplar, mekanı oluşturacak şekilde birleştirilirler. Kalıbın beton dökümünden sonra menteşelerden düşürülerek betondan ayrılan döşeme panosu yükseltilir, kalıpların birleştirilmesi esnasında kalıplara ters sehim verilir ve sokl betonları baz alınarak yükseklikleri krikolar yardımı ile ayarlanır. Donatı ve tesisat elemanlarını yerleştirebilmek için duvar kalıplarından önce biri yerleştirilir, daha sonra hasır çelik levhalar şeklinde hazırlanmış donatılar yerleştirilir, elektrik tesisatı elemanları mıknatıslı tutucular ile donatıya tesbit edilip diğer tünel kalıp yerine konulur ve ankraj demirleri ile kalıplar birleştirilip beton dökümü gerçekleştirilir. Duvar ve döşemelerde su tesisatı, ısıtma, havalandırma gibi unsurların, pencere ve kapıların gerektirdiği boşluklar kalıp üzerine yerleştirilen rezervasyon elemanları ile oluşturulmaktadır (Şekil 11).

Bir katın duvar ve döşemelerinin betonu bütün halde ve tek seferde dökülmekte ve oluşturulan hacimler perdelerle kapatılmaktadır. Betonun gerekli mukavemeti kazanarak kalıpların bir günde çıkarılabilmesi için sıcak su veya enfraruj ışınlarla kalıp yüzeyi ısıtılarak kürleme işleminin yapılması

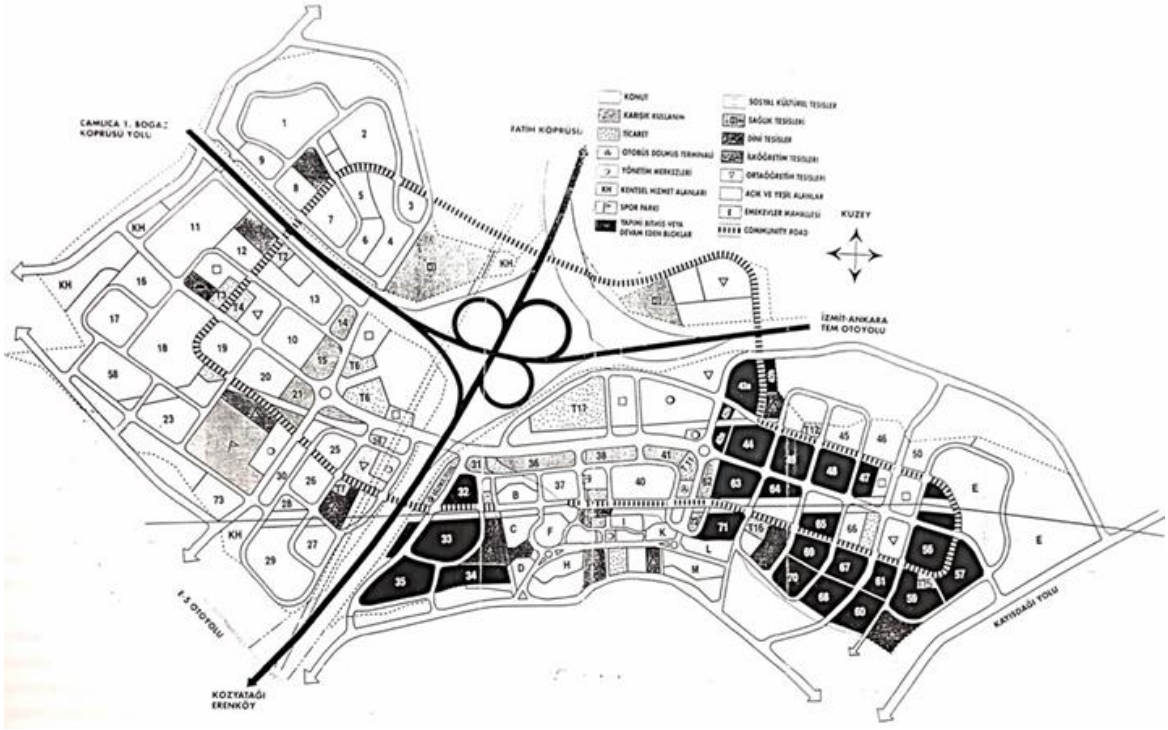
gerekmektedir (Şekil 12). Kürleme süresi ve şiddeti döşeme kalınlığına, dış hava sıcaklığına ve örtü malzemesinin ısı yalıtım katsayısına bağlı olarak değişmektedir.



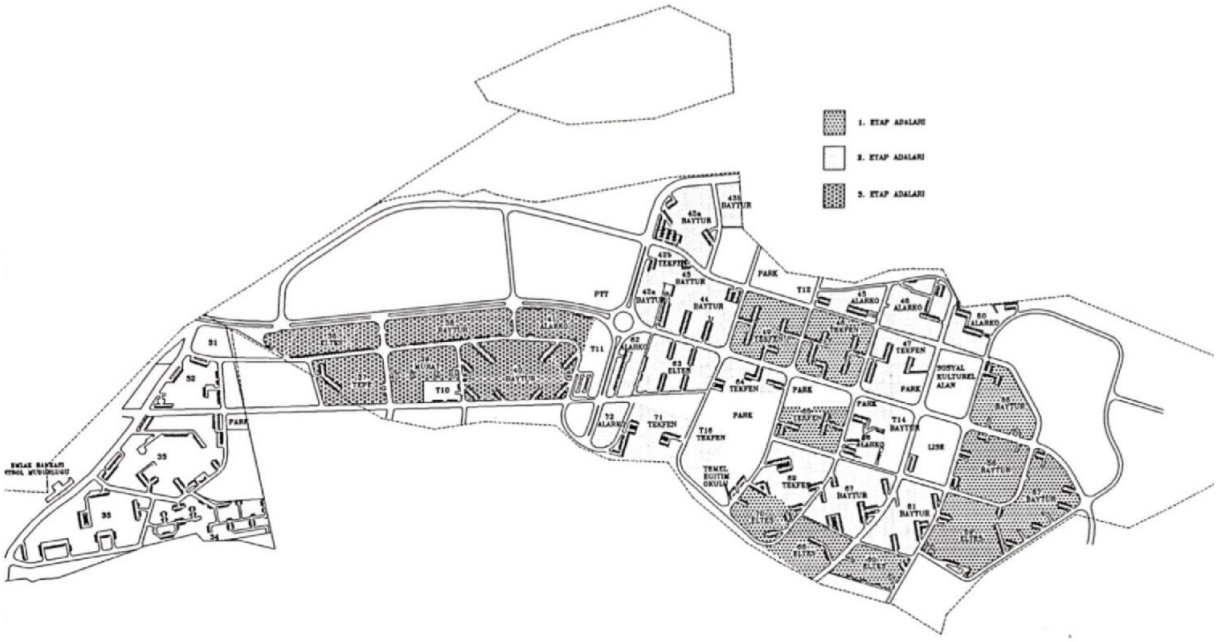
Şekil 12. Yarım Tünel Kalıplar ile Yapım (Müller, 1977)

3.3. İstanbul'da Tünel Kalıp Teknolojisinin Kullanımı-1990'lı Yıllar Ataşehir Uydukent Projesi

Küçükbakkalköy Karaman Çiftliği'nde gerçekleştirilen Ataşehir Uydukent projesi, İstanbul metropolitan alanının Anadolu yakasında Kadıköy Belediyesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. 1990'lı yıllarda şehir merkezinden yaklaşık 12 km uzaklıkta yer alan Ataşehir, güneydeki Ankara asfaltına 800 m, Kadıköy'e 9 km uzaklıkta olup 4,500 m^2'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 13). Ataşehir Uydukent projesi 23,500 konut, 99,600 nüfus içerecek şekilde planlanmıştır. İlçenin konut alanları düşük yoğunluklu, yüksek yoğunluklu ve karışık kullanımlı alanlardan oluşmaktadır. Merkezi bölgede ticari ve idari tesisler, toplumsal üniteler, karışık kullanım alanları, spor alanları ve parklar bulunmakta, böylece toplayıcı merkez odağı oluşturulmaktadır. Ataşehir yerleşim alanında toplu konut projelerini uygulayacak firmalar Emlak Bankası Proje Uygulama Müdürlüğü tarafından seçilmiştir. Üç etapa ayrılan bu projenin birinci etabında, 874 konutun imalatı Baytur, 450 konutluk bölüm Eltes, 868 konutluk bölüm ise Tekfen A.Ş.'ne verilmiştir (Şekil 14). İkinci etapta, 1686 adet konutun imaltı Baytur, 348 adet konut imalatı Eltes, 878 adet konut imalatı Tekfen, ve 448 adet konut imalatı Alarko A.Ş. firmalarına verilmiştir (Şekil 14) (Emlak Bankası, 1996).



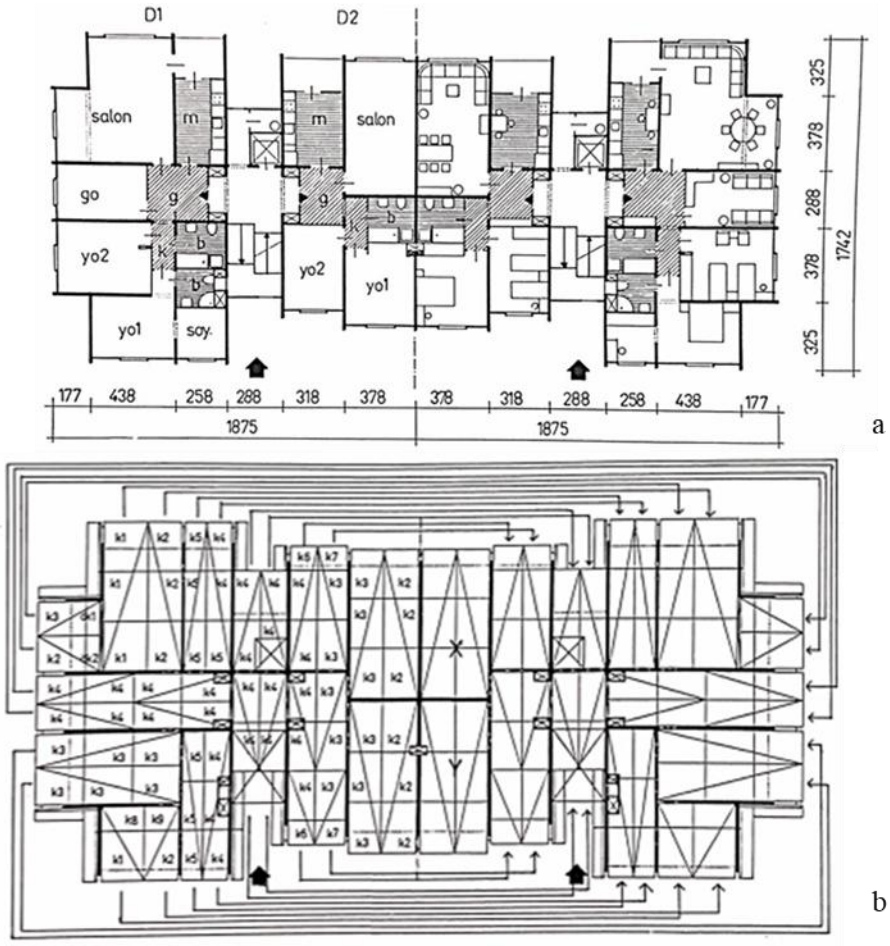
Şekil 13. Ataşehir Yerleşim Bölgesinde Yeralan Konut, Ticaret ve Yeşil Alanlar (Ataşehir, 1996)



Şekil 14. Ataşehir Yerleşim Alanı; 1., 2, ve 3. Etap Adaları (Alarko, 1996)

Eltes firmasının Ataşehir 1. Etapta uyguladığı C Blok planı Şekil 15.a'da, 15.b'de ise kalıp rotasyon planı yer almaktadır. Bir katında iki konut olan iki bloğun birleşmesiyle oluşan bu blok 9 katlı olarak tasarlanmıştır. Bu blokta 240, 270, 300, 360 ve 420 cm olmak üzere 5 farklı perde duvar aralığı kullanılmıştır (Şahin, 1997). Projenin giriş cephesindeki perde duvarlar da yatay yönde geriye doğru çekilmeler yapılarak cephede hareket elde edilmek istenmiştir. Bu blokta balkonlar kapalı loca şeklinde düzenlenmiş ve kalıp planında 2 adet özel kalıp (ök1-ök2; standart kalıplardan farklı boyut veya şekilde özel üretimli kalıp), 9 adet farklı boyutlu standart kalıp elemanı (k1, k2, k3,…vb., k5=105/250, k1=225/250) kullanılmıştır. İki bloğun birleşiminde yer alan "X" ve "Y" döşemeleri olarak gösterilen kısmın kalıpları ilk bloğun kalıp kurulumu ile birlikte hazırlanmakta ve döşeme betonunun yarısı dökülmekte, diğer yarısı ise diğer bloğun beton dökümü ile birlikte yapılmaktadır (Şekil 15.b). Farklı

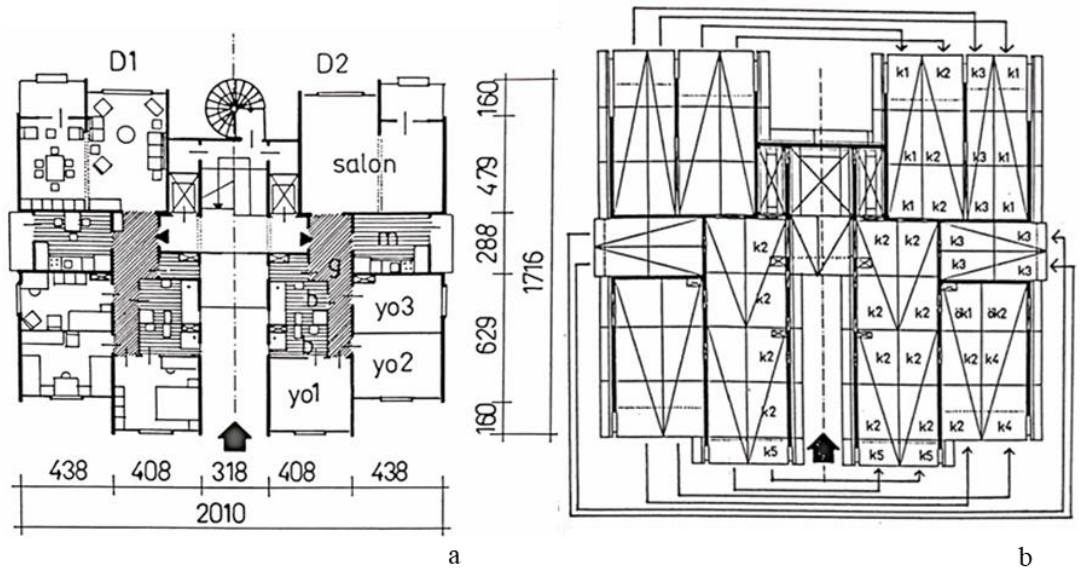
zamanlarda dökülen bitişik blokların döşemeleri arasında aderans oluşturmak amacıyla böyle bir uygulama yapılmıştır (Şahin, 1997).



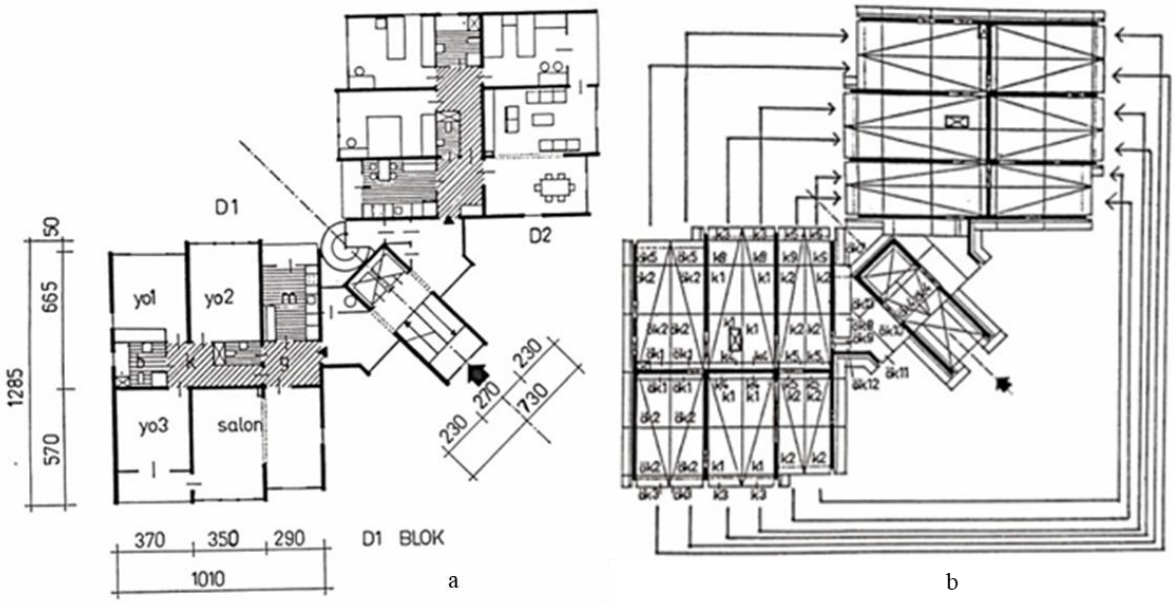
Şekil 15. a) Eltes Firması 1. Etap C Blok Kat Planı (Emlak Bankası, 1996), **b)** Kalıp Rotasyon Planı (Yazar tarafından geliştirilmiştir)

Baytur firmasının yaptığı D blok plan tipi 11, 12,13 ve 15 katlı olarak 4 farklı tipte uygulanmıştır ve toplamda bu plan tipinde 292 adet konut yapılmıştır (Şekil 16.a). Bu projede 270, 300, 360, 390 ve 420 cm olmak üzere 5 farklı perde duvar aralığı kullanılmıştır (Şekil 16.b) (Şahin, 1997). Asansör ve merdiven bölümlerinde döşeme olmadığı için bu mahalleri çevreleyen perde duvarlar standart duvar kalıpları ile yapılmıştır. Bu projenin yapımında 2 çeşit özel boyutlu 5 çeşit ise standart boyutlu tünel kalıp elemanı kullanılmıştır.

"V" şeklinde bir planlamaya sahip D blok plan tipi (Şekil 17.a) Tekfen firması tarafından 10 adet blokta 200 adet konut olarak yapılmıştır. Bu planda dörtgen olmayan ve 250 ile 350 cm açıklığa sahip döşemeler özel kalıplarla yapılmıştır (Şekil 17.b). Bu özel kalıplar kalıp rotasyonu esnasında 3 veya 4'lü gruplar halinde hareket ettirilebilen standart boyutlu tünel kalıpların aksine teker teker dışarı çıkarılmakta ve planın şeklinden dolayı kalıpların 90° ve 270°'lik açılarla döndürülerek diğer bloğa taşınması gerekmekte, bu da zaman kaybına neden olmaktadır (Şahin, 1997). Projede 9 adet standart, 12 adet özel boyutlu kalıp kullanılmıştır.



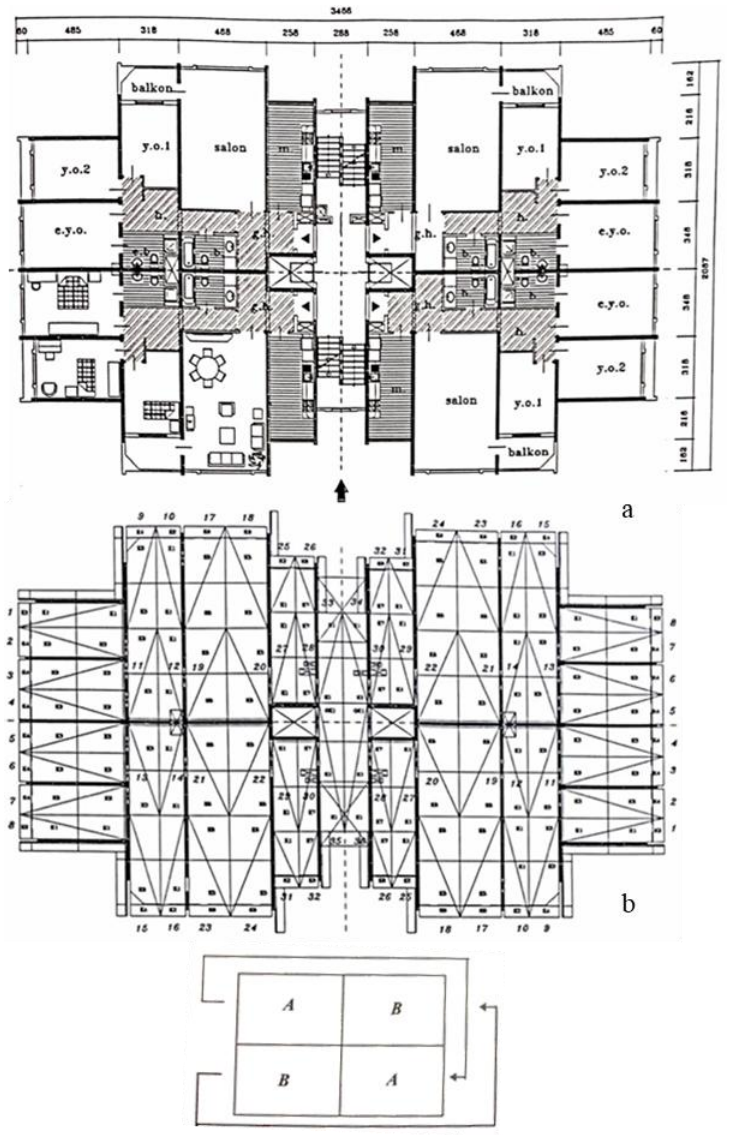
Şekil 16. a) Baytur Firması 1. Etap D Blok Kat Planı (Emlak Bankası, 1996), b) Kalıp Rotasyon Planı (Yazar tarafından geliştirilmiştir)



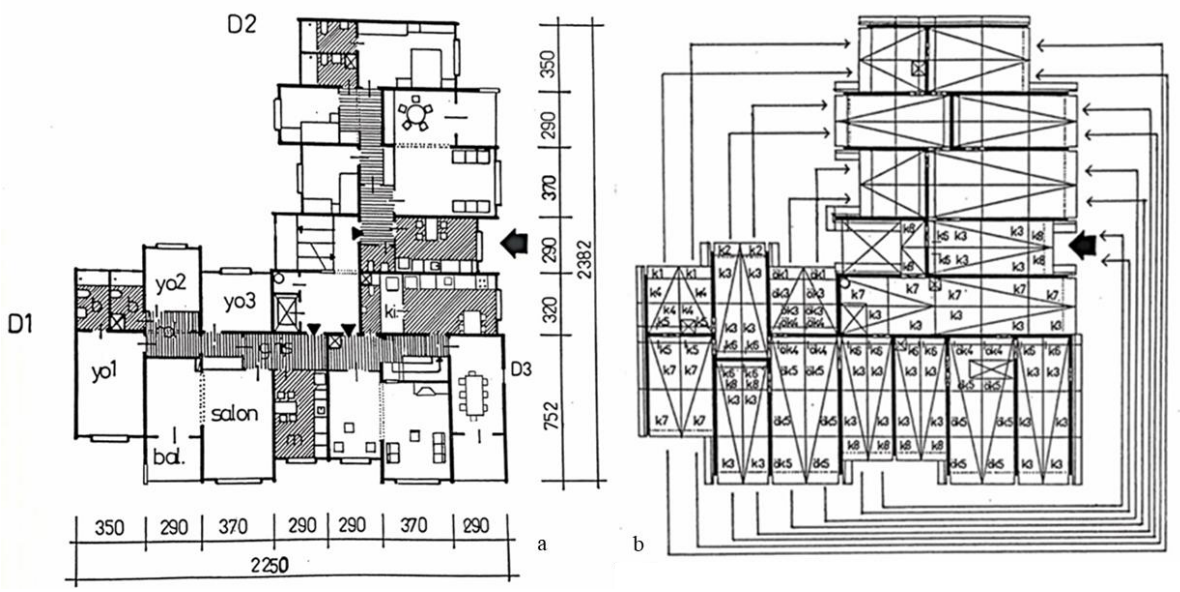
Şekil 17. a) Tekfen Firması 1. Etap D Blok Kat Planı (Emlak Bankası, 1996), b) Kalıp Rotasyon Planı (Yazar tarafından geliştirilmiştir)

2. etapta yapılan Alarko firmasına ait A blok planı Şekil 18.a'da görülmektedir. Plan ortasından geçen, birbirlerine dik iki eksene göre simetrik olarak planlanmıştır. Bu blok farklı adalarda 6, 11 ve 12 katlı olarak toplam 260 adet yapılmıştır (Şahin, 1997). A bloğun kalıp planında 2 çeşit özel, 8 çeşit standart boyutlu kalıp elemanı kullanılmıştır. Şekil 18.b'de kalıp rotasyon planında kalıpların çarpraz olarak taşındığı görülmektedir.

Tekfen firmasının 2. Etapta yaptığı E blok plan tipi Şekil 19.a'da görülmektedir. Bu plan tipinin kalıp planında 5 çeşit özel kalıp, 8 çeşit standart boyutlu kalıp elemanı kullanılmıştır. Özel kalıplar kullanılan 350 cm'lik mekan genişliğinden kaynaklanmaktadır. E blokta beton dökümü 2 etapta yapılmaktadır. Ancak köşede bulunan konutun kalıpları ikinci beton dökümünde kullanılmamakta, diğer kısmın kalıpları aktarılmaktadır. D1 ve D3 konutları, E bloğun köşesinden geçecek bir eksene göre simetrik olarak düzenlenmiştir, bu nedenle D1 konutunun kalıpları, D3 konutunun bulunduğu yere taşınmaktadır (Şahin, 1997).



Şekil 18. a) Alarko Firması 2. Etap A Blok Kat Planı (Emlak Bankası, 1996), b) Kalıp Rotasyon Planı (Yazar tarafından geliştirilmiştir)



Şekil 19. a) Tekfen Firması 2. Etap E Blok Kat Planı (Emlak Bankası, 1996), b) Kalıp Rotasyon Planı (Yazar tarafından geliştirilmiştir)

3.4. Türkiye'de Tünel Kalıp Teknolojisi Kullanımı

Bu kısımda Ataşehir Uydukent projesinden sonra İstanbul'dan farklı şehirlerde yapılan 3 toplu konut projesi, tünel kalıp teknolojisinin kullanımının değişimini anlamak için kısaca tanıtılmıştır.

Ankara Şafak Sitesi

2005 yılında Mesa Mesken A.Ş tarafından tünel kalıp teknolojisi ile yapılan Çankaya Şafak sitesi 30 katlı ve 6+1 odalı daireleri ile özel bir toplu konut olarak yapılmıştır. Tünel kalıp sistemin kullanıldığı diğer projelere göre cephede bir monotonlukla karşılaşılmayıp aksine simetrik planlamalar yerine antimetrik (çapraz simetrik) planlamalar göze çarpmaktadır (Şekil 20) (Oğuzalp ve Korur, 2005).



Şekil 20. Ankara, Çankaya Şafak Sitesi (Oğuzalp ve Korur, 2005)

Bursa Geçitpark Konutları

Toplam 36.000 m^2 inşaat alanı üzerine oturan toplam 8 blok 220 konut olarak Eren İnşaat tarafından yaptırılan proje 2009 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Daire alanları 146 ile 284 m^2 arasında değişmektedir. Proje tünel kalıp teknolojisi ile yapılmış, kalıplar 110 kez tekrar kullanılarak 150 günde tamamlanmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Bursa, Geçitpark Konutları (Technowork, n.d)

İzmir Mavişehir Soyak Konutları

Soyak Yapı tarafından İzmir Mavişehir'de 2008 yılında 130 bin m^2 üzerine 21 bloktan ve 1568 konut olarak yapılan proje TOKİ Emlak Konut GYO A.Ş. Kaynak Geliştirme Uygulamaları kapsamında yapılmıştır (Şekil 22). Daire alanları 64 ile 200 m^2 arasında değişmektedir.



Şekil 22. İzmir Mavişehir Soyak Konutları Normal Kat Planı ve Görünüş (Soyak Mavişehir, n.d)

Örneklerden izlenebileceği gibi tünel kalıp teknolojisi hem depreme dayanıklı, hem hızlı yapım ve kaliteli beton ve beton yüzeyleri elde edilmek istenen çoklu bloklu ve çok katlı özel konut projelerinde ve TOKİ'nin çeşitli illerde yaptırdığı sosyal konut projelerinde kullanılmıştır. Rezidans yapımında da tercih edilen tünel kalıp sistem, detaylarının iyi çözülmesi ve kaliteli malzeme kullanılılması durumunda çok katlı konut yapımında vazgeçilmez bir yapım teknolojisi olacaktır.

4. Sonuç ve Öneriler

Hazır kalıp tekniklerinin anlatıldığı bu çalışmada, 1990-2010 yılları arasında yapılan Ataşehir Uydukent projesi ve bu projede kullanılan tünel kalıp teknolojisi, bu teknolojinin projeye getirdiği kısıtlamalar anlatılmıştır. İstanbul Ataşehirden sonra farklı illerde yapılan 3 farklı proje de kısaca tanıtılmıştır. Tünel kalıp teknolojisi standart boyutlu ve uzaysal formlu bir kalıp sistemi olduğu için yüzeyi neredeyse pürüzsüz ve tamamı donatılı beton duvar ve döşeme dökümünün yanı sıra proje tasarımlarına boyutsal anlamda kısıtlamalar getirmiştir. İncelenen projelerden elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir.

- Konutlarda yer alan mekanların alanları, bazen fonksiyonlara göre değil, belirli perde duvar aralıklarının verdiği ölçülere göre ayarlanmıştır.
- Tünel kalıplarla yapılan bir toplu konutta dubleks konutlar yapılabilmiştir.
- Kalıp sistemi mekan açıklıklarını kısıtlamıştır. Mekanlarda şu açıklıklar kullanılmıştır;

Çekirdek bölümünde: 240, 250, 270, 300 cm

Mutfak: 210, 240, 255, 270, 300, 415 cm

Banyo: 210, 240 cm

1 kişilik yatak odası: 240, 270, 300, 330, 350 cm

2 kişilik yatak odası: 270, 300, 330, 360, 350, 390 cm

Salon: 330, 360, 390, 420, 450 cm.

- Blok planları genelde simetrik veya aynı planlı konutların değişik şekillerde biraraya getirilmesi ile oluşmuşlardır. Bu nedenle cephe monotonluğunu bozmak adına perde duvarlarda yatay ve düşey düzlemde ileri geri hareketler, döşemelerde yatay yönde geri çekmeler, balkon çıkmaları ile cephe hareketleri yapılmıştır.
- Kalıp tekniğinden dolayı perde duvar yüzeylerinde girinti-çıkıntı, döşemelerde kot farklılıkları yapılamamıştır. Bu sistem perde duvarlarda ve döşemelerde sonradan boşluk açılmasına izin vermediği için kullanıcı esenekliğine de izin vermemektedir.
- Döşemeler genelde dik açılı olarak düzenlenmiş, ancak balkon döşemelerinde estetik kaygılardan dolayı döşeme bitişleri açılı veya yuvarlak formda bitirilebilmiştir.
- Yatay yönlü kalıp hareketine izin veren sistemde çekirdek kısmı boşluk olarak bırakılmakta, merdiven elemanları şantiyede prekast olarak dökülüp üstten katların perde duvarları üzerine

sırasıyla yerleştirilmektedir. Çekirdek bölümünde, genelde merdiven cepheye bakan kısımlara, asansörler ise iç kısımlara yerleştirilmiştir.

- Perde duvarların akslarının değiştirilmesi, özel boyutlu kalıp kullanımını gerektirmiştir.
- Planın birbirine dik iki eksene göre simetrik olması, çarpraz kalıp rotasyonunu mümkün kılmakta, bu da kalıp kuruluşu değişmediği için zaman ve işçilik tasarrufu sağlamaktadır. Perde duvarların genelde birbirlerine paralel olarak düzenlenmesi, kalıp rotasyonunu kolaylaştırmıştır.
- Standart boyutlardaki tünel kalıp elemanlarından dolayı, duvar birleşimlerini 90°'den farklı açılarda yapabilmek için özel kalıp ve ankraj elemanları kullanmak gerekmektedir.

Kendine has kuralları ve kısıtları olan sistem özellikle deprem bölgeleri için çok katlı toplu konut yapımında bir çok avantaj sağlamaktadır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda tünel kalıp teknolojisi ile yapılan binaların kullanımı aşamasında yaşanan kısıtlamalar ve bunlara getirilebilecek çözümler araştırılabilir.

Teşekkür ve Bilgi Notu

Bu makale Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda tamamlanan ve "Tünel Kalıplı Teknolojilerin Getirdiği Olanak ve Kısıtlamaların Ataşehir Örneği Üzerinde İrdelenmesi" adlı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Makalede, ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışmada Etik Kurul izni gerekmemiştir.

Yazar Katkısı ve Çıkar Çatışması Beyan Bilgisi

Makale tek yazar tarafından yazılmıştır. Makalede herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Alarko. (1996). Alarko İnşaat ve Taahhüt A.Ş.'den Alınan Çizimler.

Akbaş, A. & Çalışkan, Ö. (2023). Tünel Kalıp Sistemi. *2nd International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences.* April 4-6, 2023 : Konya, Türkiye.

Ataşehir. (1996). Tanıtım Broşürleri.

Balkaya, C. & Kalkan, E. (2002). Tünel Kalıp ile İnşa Edilen Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Davranışları. *ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Bulgu, N. N. (2007). Tünel Kalıpla İnşa Edilen Binaların Deprem Yükleri Etkisindeki Davranışının İncelenmesi. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi). İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çiçek, A. (1985). Tünel Kalıp Yapım Sistemleri ile Toplu Konut Tasarımı. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi). Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Emlak Bankası. (1996). Ataşehir Tanıtım Kataloğu.

Daliform. (n.d.). U-Boot Beton. Erişim Adresi (06.09.2024): https://www.daliform.com/tr/saglamlastirilmis-betondan-yapilan-bosluklu-levhalar-icin-kaybedilecek-kalip-yapisi/

Durisol. (1996). Tanıtım Kitapçığı.

Fındıkoğlu, C. (1996). İNPO İnşaat Proje A.Ş.'den Y.Mimar Cihat Fındıkoğlu ile Yapılan Görüşme, 15.06.1996

Hellaç, D.E. (1996). Eltes Firmasından İnş.Müh. Davut Eski Hellaç ile Yapılan Görüşme, 25.10.1996.

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).

Korur, S. (2004). Tünel Kalıp Sistemi Uygulamalarında Karşılaşılan Teknik Sorunlar ve Üretilen Çözümlerin İrdelenmesi. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi). S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

LOMA. (1996). Bausystems Tanıtım Broşürleri.

MESA. (1996). Tanıtım Broşürleri.

Müller, R. (1977). Raumschalungen. Köln-Braunsfeld, Germany.

NERU Kalıp Sistemleri. (2024). H Tipi Masa Kalıbı. Erişim Adresi (06.09.2024): https://neru.com.tr/masa-kalibi/

Oğuzalp, E.H. & Korur, S. (2005). Toplu Konut Üretiminde Tünel Kalıp Sistemi Uygulamaları Ve Karşılaşılan Sorunlar. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.,* c.20, s.3.

Soyak Mavişehir. (n.d.). Soyak. Erişim Adresi (05.05.2025): https://www.soyak.com.tr/wp-content/uploads/2021/12/soyak-mavisehir-katalog.pdf

Şahin, B. (1997).*Tünel Kalıplı Teknolojilerin Getirdiği Olanak ve Kısıtlamaların Ataşehir Örneği Üzerinde İrdelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Şahin, T. (1999).Tünel Kalıp Teknolojisinin Konut Planlamasına Uyabilirliği Üzerine Bir Araştırma. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi). İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Technowork. (n.d.). Geçitpark Konutları. Erişim Adresi (10.06.2025): http://www.technowork.com.tr/referans/gecitpark-konutlari-39.html#gallery-1

Türkel, E. B. (2016). Tünel Kalıp Sistemi Kullanılan Betonarme Yüksek Yapılarda Bina Özellikleri ile Maliyet Arasındaki İlişkiler. (Basılmamış Doktora Tezi). İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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.

Uğur, L.O., Bıyıklı, R., Diriklik, A.M. & Ayyıldız, M.A. (2017). Tünel Kalıp Sitemlerinin Geleneksel Kalıp Sistem Maliyeti İle Karşılaştırılması. *Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi*, 06 - 07 Ekim, Samsun.

State of Tunnel Formwork Technology in Today's Construction Industry: An Assessment

Summary

In the aftermath of major seismic events in Turkey, a country situated within the Alp Himalayan seismic belt – one of the most active seismic belts worldwide – the utilisation of tunnel formwork systems for the construction of public housing was initiated, initially in Istanbul and subsequently in other high-risk provinces. The load-bearing systems of structures constructed using this technology function as a unified system, and the structures demonstrate enhanced rigidity under seismic effects, particularly in multi-storey buildings. The employment of a tunnel formwork system has been demonstrated to enhance horizontal rigidity by transmitting all seismic forces through reinforced concrete walls, thereby ensuring the safety of structures constructed with this system in comparison to those assembled with traditional formwork techniques (Türkel and Ergen, 2016).

Tunnel formwork technology is a method employed in the construction of satellite cities and residential complexes in large cities with high earthquake risks. Despite its continued utilisation by TOKİ within the context of urban transformation projects, this method has been phased out by other major construction companies when it comes to the construction of public housing. This phenomenon is hypothesised to be attributable to several factors, including the comparable external characteristics of the projects, the absence of flexibility in modifying spaces for users, substantial expenses, and constraints on space allocation. In the contemporary era, tunnel formwork technology has emerged as a prevalent method employed by public companies such as TOKİ in the construction of mass housing and earthquake-resistant housing. The present study will evaluate the use of tunnel formwork technology and identify the reasons for its declining popularity.

This study examined ready-made formwork techniques in light of data obtained from the literature, before transitioning to tunnel formwork systems. The first and second phase projects carried out using tunnel formwork technology in Ataşehir, Istanbul, were then examined in this context. Using project data and verbal interviews conducted with relevant professionals at the construction site, the advantages and limitations of the tunnel formwork system in terms of design and construction were examined. Within this scope, five projects with different characteristics were selected from the first and second phase housing projects for evaluation. During these evaluations, emphasis was placed on the relationship between building design and construction. The effects of plan types on the construction system, the impact of façade forms and desired movement on curtain wall placement, formwork type selection based on balcony type and width, and the sequence and timing of floor concrete pouring for blocks were examined.

In Turkey, the tunnel formwork system was the most widely used formwork technology in the collective housing sector for earthquake zones in the 1990s (TOKSAR, 2017). In residential areas such as Ataköy, Mimaroba, Sinanoba, Bahçeşehir, and Ataşehir, which can be regarded as small cities in their own right and which are located in and around Istanbul, the tunnel formwork on-site construction method was utilised for the construction of mass housing and even 1-2 storey villas. In cities characterised by elevated seismic risk, including Gölcük, Yalova, Adapazarı, Erzincan, Dinar, Hatay, Adıyaman and Maraş, which have experienced substantial destruction due to seismic events, the construction of mass housing is being undertaken utilising tunnel formwork technology. In buildings constructed using this technology, it is assumed that the entire building consists of curtain walls, and it is accepted that the building can remain sufficiently stable against horizontal forces during an earthquake, except for the movement of the facade panels (Fındıkoğlu, 1996). The construction of the preliminary framework of a 15-storey building within a 60-day timeframe represents a commendable accomplishment within the context of the construction sector (Hellaç, 1996). Nevertheless, the utilisation of this technology in residential construction outside earthquake zones has all but ceased in the present day. Conversely, systems with closely spaced beams are typically employed.

Multi-storey reinforced concrete buildings are constructed in two ways. The most prevalent construction method is 'in-situ construction' using moulds. The second method is 'prefabricated

construction,' in which the structural elements that make up the building are manufactured separately in a factory and subsequently assembled on site. In reinforced concrete in-situ construction systems, which are considered more reliable by users in terms of earthquake safety, there is no requirement for the employment of qualified personnel, and they are thought to be more cost-effective than the prefabricated system. Furthermore, they allow for partial modifications at a later stage. The moulds used are divided into two categories: 'Permanent Moulds,' which remain in place where they are used, and 'Removable Moulds,' which can be dismantled and reused.

Following the completion of the concrete pouring process, permanent moulds that are not removed consist of various materials, including lightweight concrete, Heraklit, styrofoam, wood chip, baked clay and polyethylene foam. These materials form both the mould surface and the insulation layer of the wall or floor. The process of concrete pouring is conducted in multiple stages, utilising small-sized permanent moulds that can be transported manually. This method precludes the possibility of achieving a fully finished surface, necessitating the subsequent process of plastering the wall surface. In a large-sized permanent wall mould the upper part of the formwork element, which has been produced with zigzag-shaped reinforcements, is designed to accommodate the beam, and the foundation and beam joints are reinforced with additional reinforcements. The hollow blind slab formwork finds application in the construction of reinforced concrete slabs characterised by substantial spans. These moulds, fabricated from recycled materials and embedded in the surrounding concrete, serve two primary functions: they reduce the weight of the slab and they protect the building against lateral seismic forces through the slab-on-grade and slab-on-deck configurations formed above and below.

Removable moulds are used after concrete pouring. They are made of materials that are resistant to deformation, waterproof, easy to assemble and disassemble, and resistant to welding removal. Small removable moulds offer significant advantages in slab flooring production. They are rarely used in walls due to the abundance of joints and connection elements. The formwork surface can be 1.5-2 cm thick plywood panels, 1.2 mm thick steel sheets, aluminium, or 2-5 mm thick steel sheets, with an aluminium or steel frame. Intermediate studs or bands are used to reinforce these surfaces. Modular moulds are used for columns and walls of different sizes due to their adjustable feature. There are also types of modular moulds for flooring. These moulds are placed on beams called longitudinal and transverse beams, which are in turn placed on posts with adjustable heights. If the mould dimensions are followed, the flooring can be lowered or raised. Large removable moulds, which can be 250 cm wide and as high as a residential floor (275-285 cm), are used to cast concrete walls or the outer wall surface of walls with flooring. Table moulds, which are frequently used as reinforced concrete floor moulds, can be used for floor casting in spaces with high ceilings by increasing the number of rod-shaped metal structures. These moulds, which are 110/150/200 cm in size, are placed in position by workers by rolling them on the floor using their wheeled legs. Frequent beam moulds, which can be prepared according to the project, are created by mounting metal or wooden crossbars and longitudinal bars behind a mould surface such as plywood. Today, these moulds are frequently used for individual housing, office, school, etc. projects because they provide flexibility to the designer during construction; recesses/protrusions can be easily made on wall-floor surfaces, and moulds suitable for the dimensions of elements such as walls, floors, and columns in the project can be created on site.

Tunnel forms also fall into the category of removable forms, but because they are a technology that allows the floor and walls of a 250 m2 area to be cast together, they are different from other removable forms and, because they are a spatial construction technology, this system is also referred to as spatial forms. With tunnel formwork, it is possible to cast the wall and floor elements of a structure in a single piece using precisely dimensioned and smooth-surfaced steel formwork. Structures built using this system have particularly high horizontal load-bearing capacities, with the entire seismic force being absorbed by the highly rigid walls (Müller, 1977). Tunnel formwork is divided into two types: full tunnel and half tunnel formwork. Full tunnel formwork is a type of formwork where the walls and floors of a structure are cast in a single piece in a single stage. Half tunnel formwork is the split version of full tunnel formwork. In the tunnel formwork system, the reinforcements for the walls and floors are manufactured in the factory using welded wire mesh and transported to the site, making the

reinforcement preparation stage much faster than in the traditional system. In tunnel formwork systems, the concrete can be cured to achieve the required strength in a short time, enabling formwork removal and installation on the next floor to be carried out very quickly (Türkel and Ergen, 2016).

The Ataşehir Uydukent project is in the Anatolian side of Istanbul's small town of Karaman. It is 1990s in its location, around 800 m from the Ankara highway and 12 km from the city centre. The 12 km stretch to the south is 9 km from the small town of Kadıköy. The Ataşehir Uydukent is planned to include 23,500 residences and a population of 99,600. It is made up of various residential density's. The central area is home of the commercial, administrative, sports, social and mixed-use facilities. The Emlak Bank Project Implementation Directorate is in charge of selecting companies for the collective housing projects in the Ataşehir settlement area. In the first phase of this three-phase project, the construction of the following housing units has been assigned; Baytur: 874 housing units, Eltes: 450 housing units, Tekfen A.Ş.: 868 housing units. In the second phase, the following housing units are assigned; Baytur: 1686 housing units, Eltes: 348 housing units, Tekfen: 878 housing units, Alarko: 448 housing units (Emlak Bankası, 1996).

This study delineates ready-made formwork techniques, the Ataşehir Uydukent project (commencing 1990 and concluding in 2010) and the tunnel formwork technology utilised in this project. Furthermore, it elucidates the limitations imposed by this technology on the project. Tunnel formwork technology, being a standard-sized and spatially shaped formwork system, has imposed dimensional constraints on project designs, in addition to enabling nearly smooth surfaces and fully reinforced concrete wall and floor castings. The results obtained from the examined projects can be summarised as follows.

- The spaces in some residential buildings are not determined by their function. Instead, it is down to the dimensions of specific curtain wall intervals.
- You can construct duplex residences in a collective residence built with tunnel moulds.
- The general block plan is formed by combining symmetrical or identical residential units. Movements in the partition walls, floors and balcony projections create facade movement.
- The recesses and projections on the curtain walls cannot be created with the formwork technique. You cannot achieve floor level differences. This system does not allow for gaps in the curtain walls and floors afterwards. This limits the user's flexibility.
- The floors are generally arranged at right angles. However, floor edges can be finished at an angle or in a rounded form for aesthetic reasons.
- In the system that allows horizontal formwork movement, the core section is left as a void. The staircase elements are cast on the curtain walls. The staircases go on the façade-facing sides and elevators on the interior sides.

As can be seen, this system has its own set of rules and restrictions and offers many advantages when it comes to the construction of multi-storey apartment buildings, particularly in earthquake zones. Future studies could investigate the restrictions encountered when using tunnel formwork technology to construct buildings, and possible solutions to these restrictions.

Authors are responsible for the copyright of figures, pictures, and images in the articles, the content of the articles, the accuracy of the references and citations, and the suggested ideas and others.