

ALTERNATİF KALIP YÜZEYLERİNİN TAZE BETON HİDROSTATİK BASINCI ÜZERİNE ETKİLERİ

Gazi Üniversitesi
Bilimsel Araştırma Projesi
Proje Kodu: 07/2001-13
(Kesin Rapor)

Proje Yürütücüsü

Prof.Dr.Metin ARSLAN

Yardımcı Araştırmacılar

Arş.Gör.Serkan SUBAŞI
Arş.Gör.Gökhan DURMUŞ
Arş.Gör.Ömer CAN

Aralık, 2004
ANKARA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	vi
RESİMLER LİSTESİ.....	viii
1. GİRİŞ	i
1.1 Kalıp tasarımı ve yüzey işlemleri	3
2. GEÇİRGEN KALIPLARA BETONUN YERLEŞTİRİLMESİ.....	10
2.1 Geçirgen Kalıp Astarlarının Davranışı.....	12
2.2 Geçirgen Kalıplarda Kullanılan Astarlar	14
2.2.1 Emici kalıp astarları	15
2.2.2 Kumaş kaplı emici kalıp astarları	17
2.2.3 Kumaş dokuma kalıp astarları	18
2.2.4 Dokuma olmayan (nonwoven) kalıp astar malzemeleri	22
2.3 Geçirgen Kalıplarda Kullanılan Beton Karışımları ve Yerleştirme Teknikleri	23
2.3.1 Yerleştirilme süresince geçirgen astarlı kalıp ve betonun etkileşimi.....	24
2.3.1.1 Suyun çekilmesi.....	24
2.3.1.2 Beton yüzeyinde yoğunlaşma	26
2.3.1.3 Yüzey hava kabarcıklarında azalma	27
2.3.2 Geçirgen kalıplara betonun yerleştirilmesinde vibrasyon ve basıncın etkileri	28
2.4 Geçirgen Kalıp Kullanmanın Faydaları	28
2.4.1 Beton yüzey kusurları	29

2.4.2	Donma ve çözülme dayanımı	30
2.4.3	Yüzeyde karbonatlaşma	31
2.4.4	Klor-iyonu nüfuz oranı	33
2.4.5	Yüzey dayanımında (sertliği) artma	34
2.4.6	Kalıp kaplama (koruma) gereksiniminde azalma	36
2.4.7	Kür için harcanan çabada azalma	36
2.4.8	Kaplama için yüzey hazırlığında azalma	37
2.5	Geçirgen Kalıpların Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar	37
2.6	Geçirgen Kalıp Seçimini Etkileyen Faktörler	39
2.6.1	Geçirgen kalıp kullanımının maliyete etkileri	39
2.6.2	Kalıp astarlarının yerleştirilmesi.....	42
2.7	Geçirgen Kalıplarla Dökülmüş Beton Yüzeylerin Dayanıklılığı.....	43
2.8	Geçirgen Kalıpların Örnek Uygulamaları	45
2.8.1	Kanada'daki Konfederasyon köprüsü için buz kalkanları.....	45
2.8.2	Su altında yüzen prefabrik tünel parçaları	47
2.8.3	Kanada'daki Champlain Köprüsü için beton bariyerler	47
3.	KALIPLAR ÜZERİNDEKİ TAZE BETON YANAL BASINCI.....	51
3.1	Taze Beton Yanal Basıncı Etkileyen Faktörler.....	51
3.1.1	Betonun yoğunluğu	52
3.1.2	Beton yerleştirme hızı.....	52
3.1.3	Vibrasyon	52
3.1.4	Sıcaklık.....	53
3.1.5	Diğer değişkenler (Etkiler)	53
3.2	Beton Yanal Basıncı Üzerine Önceden Yapılmış Araştırmalar	54
3.3	Beton Yanal Basıncını Hesaplamada Kullanılan Teknikler	73
3.3.1	ACI 347-94'e göre beton yanal basıncı	74
3.3.1.1	Duvar kalıpları üzerine gelen beton yanal basıncı	74
3.3.1.2	Kolon kalıpları üzerine gelen beton yanal basıncı.....	75
3.3.2	Gardner' a göre beton yanal basıncı	77
3.3.3	DIN 18218'e göre beton yanal basıncı	79

3.3.4	Ciria Report 108'e Göre Beton Yanal Basıncı (U.K).....	82
3.3.5	CSA S269.3'e göre beton yanal basıncı (Kanada)	86
4.	MALZEME VE METODLAR.....	89
4.1	Malzemeler	89
4.2	Metodlar	91
4.2.1	Kalıp örneklerinin hazırlanması	91
4.2.2	Kalıp örneklerine beton dökümü	94
4.2.3	Yanal Basınç Ölçümü	94
4.2.4	Penetrasyon Yöntemi ile Taze Betonun Priz Süresinin Bulunması	99
4.2.5	İstatistik Metodlar	100
5.	BULGULAR VE TARTIŞMA	101
5.1	Penetrasyon Yöntemi ile Taze Betonun Priz Süresi	101
5.2	Beton Yanal Basıncı	103
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	112
	KAYNAKÇA.....	114

ALTERNATİF KALIP YÜZEYLERİNİN TAZE BETON HİDROSTATİK BASINCI ÜZERİNE ETKİLERİ

ÖZET

Bu araştırmanın amacı; drenaj özelliği bulunan astarlı geçirgen kalıp yüzeylerinin taze beton yanal basıncına etkilerini araştırmaktır.

Araştırma sürecinde; taze beton yanal basıncı için 3 adet 2m yükseklik, 1m genişlik, 15 cm kalınlığında perde duvar kalıbı ve beton priz sürelerini belirleyebilmek için 3 adet 15x40x40 cm boyutlarında küçük kalıplar hazırlanmıştır. Hazırlanan perde duvar kalıplarından 2 adetinin yüzeyinde drenaj kanal ve delikleri açılarak SB 20 ve Zemdrain geotekstil kalıp astarları ile kaplanmıştır. Küçük kalıplarda perde duvar kalıplarında olduğu gibi kalıp yüzey ve kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan kalıplara C20 betonu yerleştirilerek vibratör ile sıkıştırılmıştır.

Perde duvar kalıpları üzerinde; taze beton yanal basıncı, küçük kalıplar üzerinde ise; beton priz başlangıç ve bitiş süreleri tayini deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak; SB 20 geotekstil astarlı kalıbın, en düşük taze beton yanal basınç değerlerini verdiği, taze beton yanal basıncının kalıp yüzey drenajı ve kalıp astarı kullanılarak azaltılabileceği, ayrıca SB 20 geotekstil astar kaplı kalıba yerleştirilen betonun diğer kalıplardakilere göre priz başlangıç ve bitiş sürelerinin kısaldığı görülmüştür.

THE EFFECTS OF ALTERNATIVE FORMWORK SURFACES ON LATERAL PRESSURE OF FRESH CONCRETE

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the effects of permeable formwork liner surfaces having drainage ability to the lateral pressure of fresh concrete. During the study three curtain wall formworks having 2 m height, 1 m width 15 cm thicknesses were prepared for the lateral pressure of fresh concrete and three small formworks having 15x40x40 cm dimensions were prepared for the determination of setting time on the surface of the two of the curtain wall formworks drainage channels and holes were opened and the surface was coated with SB 20 and Zemdrain geotextiles. Some surface coating procedures were applied to the small formworks. C 20 concrete was placed to the prepared formworks and it was compacted with vibration.

Fresh concrete lateral pressure determination tests were performed on curtain wall formworks and concrete setting time start and finish duration determination tests were performed on small formworks.

As a results it was determined that formwork with SB 20 geotextile liner showed the minimum fresh concrete lateral pressure and fresh concrete lateral pressure could be decreased by using surface drainage and formwork liners. In addition to these conditions, concrete setting time start and finish durations were shortened with the use of SB 20 geotextile liner.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın gerçekleştirilmesinde; değerli katkılarından dolayı G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölüm Başkanı Prof.Dr.M.Haluk ÇELİK'e, deney kalıplarının üretilmesinde yardımlarını esirgemeyen Metal Eğitimi Bölümü öğretim elemanlarından Doç.Dr.Yusuf ÖZÇATALBAŞ' a, deneysel işlemlerin gerçekleşmesinde yardımcı olan Yapı Eğitimi Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e ve Yapı Eğitimi Bölümü araştırma görevlilerinden Mürsel ERDAL, Nihat Sinan IŞIK, Emre SANCAK ve Hayati ULUSU'ya teşekkür ederim.

Beton ve ekipman yardımları ile çalışmalarımızı her zaman destekleyen Baştaş Beton Tesisleri Genel Müdürü Sn. Hulusi DEMİR'e teşekkür ederim. Ayrıca; Satın alma işlemlerinin gerçekleştirilmesinde yardımcı olan, G.Ü.Bilimsel Araştırma Projeleri personeline teşekkür ederim.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Döşeme, perde duvarı, kolon ve giriş kalıp yüzeyleri.....	4
Şekil 1.2 Brüt beton kalıplarında kalıp tahtalarının birleştirilmesine ait bir örnek.....	5
Şekil 1.3 Tipik bir perde duvarı kalıbı	6
Şekil 2.1 Geçirimli kalıplarda suyun kalıp yüzeyine doğru hareketi	13
Şekil 2.2 Tek tabakada çift örgülü kalıp astarı dokuma diyagramı	19
Şekil 2.3 48 saat küre tabi tutulmuş beton yüzeyinden kalıbı ayırmak için gerekli olan kuvvet grafiği	21
Şekil 2.4 Geçirimli kalıp ve geleneksel kalıp-beton ilişkisi.....	25
Şekil 3.1 Kalıplarda beton yanal basıncına etki eden faktörler.....	51
Şekil 3.2 Beton yanal basınç eğrisi	59
Şekil 3.3 Berger'e göre beton karışımının yanal basınç diyagramı	65
Şekil 3.4 Yanal basınç gelişim diyagramı (Hurley, 1965).....	66
Şekil 3.5. DMR diyagramı	71
Şekil 3.6.Yüksek Betonlama hızları için DMR tarafından önerilen taze beton basınç dağılımı	71
Şekil 3.7. Ertingshausen'e göre taze beton yanal basınçları dağılımı	72
Şekil 3.8. Fransız ve Belçika kayar kalıp inşaatçıların önerdiği kalıplarda taze beton basınç dağılımı	73
Şekil 3.9 Gardner (1986)'a göre taze beton yanal basıncı dağılım diyagramı	78
Şekil 3.10 Gardner 1986' da deneysel olarak ölçülen taze beton yanal basınç değerleri.....	79
Şekil 3.11 DIN 18218'e göre taze beton basınç dağılımı	80
Şekil 3.12 DIN 18218'e göre maksimum taze beton basınçları diyagramı ...	82
Şekil 3.13 CIRIA 108' göre taze beton yanal basıncını etkileyen faktörler ...	83
Şekil 4.1 Tasarımı yapılan perde duvar kalıbı perspektifi.....	92

Şekil 4.2 Kalıp yüzeyi drenaj kanal ve deliklerinin yerleşim planı.....	92
Şekil 4.3 Lama üzerinde streingeçlerin düzeni ve tam köprü devresi.....	95
Şekil 4.4 Kalibrasyon aparatı	95
Şekil 4.5 Regresyon analizi grafiği	98
Şekil 5.1 Zamana bağlı olarak penetrasyon dayanımının değişimi	102
Şekil 5.2 1 m'lik taze betonun kalıp üstünlerinde meydana getirdiği yanal basınç değerleri grafiği	105
Şekil 5.3 1 m'lik taze betonun kalıp altlarında meydana getirdiği yanal basınç değerleri grafiği	106
Şekil 5.4 1 m'lik taze beton yüksekliğinde zamana bağlı kalıp alt ve üstünde meydana gelen yanal basınç değerleri serpm grafiği.....	107
Şekil 5.5 2 m'lik taze betonun kalıp üstünlerinde meydana getirdiği yanal basınç değerleri grafiği	110
Şekil 5.6 2 m'lik taze betonun kalıp altlarında meydana getirdiği yanal basınç değerleri grafiği	110
Şekil 5.7 2 m'lik taze beton yüksekliğinde zamana bağlı kalıp alt ve üstünde meydana gelen yanal basınç değerleri serpm grafiği.....	111

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 250 mm kalınlığında bir perde duvar betonunun w/c oranının 0.40'a düşürülebilmesi için uzaklaştırılması gereken su miktarı	26
Çizelge 2.2 Drenajlı-astarlı olan ve olmayan kalıplarla dökülmüş betonların donma-çözülme dayanımı testi sonuçları	31
Çizelge 2.3 Drenajlı-astarlı kalıplarla yapılmış betonların karbonatlaşma testi sonuçlarının geleneksel kalıpla dökülen betonlarla karşılaştırması	32
Çizelge 2.4 Çeşitli araştırmacıların yaptığı klor-iyon infiltrasyonu deney sonuçları	34
Çizelge 2.5 Drenajlı astarlı kalıplarla dökülen betonlardaki geri tepme değerlerinin geleneksel kalıplarla dökülen betonların karşılaştırılması	36
Çizelge 2.6 Kalıp yüzeyindeki kabul edilebilir düzensizlikler	38
Çizelge 3.1 C_w birim ağırlık katsayısı değerleri	75
Çizelge 3.2 C_c Kimyasal katsayı değerleri	76
Çizelge 3.3 Priz gecikme katsayısı	81
Çizelge 3.4 DIN 18218'e göre maksimum taze beton basınçları	81
Çizelge 3.5 Beton birim hacim ağırlıklarına göre düzeltme faktörleri	82
Çizelge 3.6 C_1 ve C_2 katsayı değerleri	84
Çizelge 3.7 Kalıp tasarımı için yanal basınç değerleri.....	85
Çizelge 3.8 Duvar kalırları için CSA-S269.3 nın önermi olduğu beton yanal basıncı değerleri.....	87
Çizelge 4.1 Araştırmada kullanılan betonun özellikleri.....	89
Çizelge 4.2 Karışımda kullanılan malzemelere ait özellikler	89
Çizelge 4.3 Çimento kimyasal özellikleri	90
Çizelge 4.4 Basınç dayanımı değerleri	90

Çizelge 4.5 Eğilmede çekme dayanımı değerleri	91
Çizelge 4.6 Kalıp kodları ve özellikleri	93
Çizelge 4.7 Döküm sırasındaki beton ve hava sıcaklıkları	94
Çizelge 4.8 Kalibrasyon amacıyla uygulanan kuvvetlere karşı elde edilen strein değerleri.....	97
Çizelge 4.9 Regresyon analizi sonuçları	97
Çizelge 5.1 Penetrasyon direnci ve ısı değişimi değerleri.....	101
Çizelge 5.2 Geçen zaman ile penetrasyon dayanımı arasındaki ilişkinin modeli.....	102
Çizelge 5.3 Model denklemden elde edilen priz başlama ve bitiş süreleri ..	103
Çizelge 5.4 1 m yüksekliğindeki taze betonun yanıl basınç değerlerine ait açıklayıcı istatistikler.....	104
Çizelge 5.5 1 m yüksekliğindeki taze betonun yanıl basınç değerlerine ait varyans analizi sonuçları	104
Çizelge 5.6 1 m yüksekliğindeki taze betonun yanıl basınç değerlerine ait LSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	104
Çizelge 5.7 1 m yüksekliğindeki taze betonun yanıl basınç değerlerine ait regresyon analizi sonuçları.....	105
Çizelge 5.8 2 m yüksekliğindeki taze betonun yanıl basınç değerlerine ait açıklayıcı istatistikler.....	108
Çizelge 5.9 2 m yüksekliğindeki taze betonun yanıl basınç değerlerine ait varyans analizi sonuçları	108
Çizelge 5.10 2 m yüksekliğindeki taze betonun yanıl basınç değerlerine ait LSD testi sonuçları.....	109
Çizelge 5.11 2 m yüksekliğindeki taze betonun yanıl basınç değerlerine ait regresyon analizli sonuçları	109

RESİMLERİN LİSTESİ

Sayfa

Resim 2.1 Geçirgen ve çelik kalıplara dökülmüş beton yüzeyleri (U.S. Army, 1952)	14
Resim 2.2 Gevşek montajdan kaynaklanan astar katlanmasının beton yüzeyine yansması	20
Resim 2.3 Kalıp gergi deliği boşluğu etrafında gevşek astar katlanmasının beton yüzeyine yansması.....	20
Resim 2.4 Drenajlı-astarlı ve geleneksel kalıpla dökülmüş betonların donma-çözülme deneyi sonrasındaki durumları.....	30
Resim 2.5 Konfederasyon köprüsü ayağının temeli üzerindeki tekstil atsarlı aşap kalıp.....	46
Resim 2.6 Konfederasyon köprüsünde buz kalkanlarında tekstil astarlı kalıp kullanılarak dökülmüş pürüzsüz beton yüzeyi	47
Resim 2.7 Trafik bariyerlerinin astarlı kalıplar kullanılarak dökülmesi	48
Resim 2.8 Geleneksel kalıpla ve astarlı kalıplarla dökülmüş trafik bariyerlerinin yüzey görüntüsü	48
Resim 4.1 Üretimi gerçekleştirilen perde duvar kalıpları	93
Resim 4.2 Transmikser ve pompa yardımı ile betonun kalıplara dökülmesi .	94
Resim 4.3 Kalıpların alt ve üst kısımlarına yerleştirilen setreingeç lamaları..	96
Resim 4.4 Streingeç lamaları belirli kuvvetler uygulayarak kalibrasyonu ve kalıplara yerleştirildikten sonra kontrol işlemleri	96
Resim 4.5 Beton dökümü ve priz süresince yanal basınç değerlerinin data logera kayıt edilmesi	97
Resim 4.6 Hazırlanan kalıp örnekleri ve taze betonun kalıplara yerleştirilmesi	99
Resim 4.7 Penetrasyon aleti ile priz süresi ölçümü ve sıcaklık ölçümü.....	100

1. GİRİŞ

Kalıp, taze betonun hidrostatik (yanal) basıncı yanında beton döküm süreci ve diğer çevre faktörlerinden kaynaklanabilecek bütün yükleri taşıyabilmelidir. Kalıba tesir eden kuvvetler arasında en önemli yeri tutan beton ağırlığı ve/veya beton hidrostatik basıncıdır. Özellikle düşey kalıp yüzeylerinde (perde duvar, kolon gibi düşey konumdaki betonarme yapı elemanları kalıplarında) betonun hidrostatik basıncı kalıp tasarımında en etkin tasarım faktörü olarak görülmektedir (Johnston, D., W. et al 1984, CIB Report 1985).

Taze betonun yanal basıncını etkileyen faktörlerin belirlenmesi amacı ile çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda;

- ✓ betonun yerleştirme hızı
- ✓ betonun sıcaklığı
- ✓ beton karışım oranları
- ✓ beton karışımın kıvamı
- ✓ betonun sıkıştırılma metodu
- ✓ kalıp şekil ve boyutu
- ✓ çelik donatının miktar ve dağılımı
- ✓ betonun yoğunluğu
- ✓ beton döküm yüksekliği
- ✓ beton dökümü sırasında hava sıcaklığı
- ✓ kalıp yüzeyinin pürüzlülüğü ve geçirgenliği
- ✓ beton boşluk suyu basıncı
- ✓ çimento tipi

gibi faktörler beton yanal basıncını etkileyen önemli faktörler olarak görülmüştür (ACI 1958, Clear C:A. and Harrison T.A. 1985, Gardner N.J. 19+80, Rodin S. 1952, Douglas b. ve ark. 1981).

Kalıp yüzeylerinin pürüzlülüğünün, taze beton ile kalıp yüzeyi arasında meydana gelen sürtünme direncinin oluşmasındaki önemi bilinmektedir. Yüzey pürüzlülüğü kalıp içerisine betonun yerleştirilmesi sürecinde sıkıştırma sürelerini ve kalıp yüzeyine gelen yanal basıncın şiddetini etkilemesi beklenmektedir. Literatürde beton yanal basıncı hesaplanırken beton yoğunluğu, beton karışım elemanları ve beton kıvamı gibi faktörlerin genel faktörler olarak alındığı görülmektedir. Ayrıca bu faktörlerin hemen hemen hepsinin betona katılan su miktarı ile doğrudan ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Beton hazırlanmasında hidratasyonu sağlamak ve karışımın işlenebilirliğini artırmak amacı ile kullanılan suyun, özellikle pompa ile dökülecek betonlarda oldukça yüksek oranlara ulaştığı görülmektedir. Beton içerisine bu şekilde katılan su taze betonun yanal basıncını büyük oranda artırmaktadır. Dolayısı ile, inşaat maliyetleri içerisinde önemli bir paya sahip olan kalıp maliyetleri artmaktadır.

Özellikle duvar ve kolon gibi düşey betonarme eleman kalıplarına betonun yerleştirilmesi sürecinde, akıcı kıvamı sağlamak için betona katılan fazla suyun bir kısmının kalıp dışına direne edilmesi ile, taze betonun kalıp yüzeylerine yapmış olduğu yanal basınç miktarının azaltılabileceği düşünülmektedir.

Bu araştırmanın amacı, drenaj özelliği bulunan astarlı kalıp yüzeylerinin taze beton yanal basıncına etkilerini araştırmaktır.

1.1 Kalıp tasarımı ve yüzey işlemleri

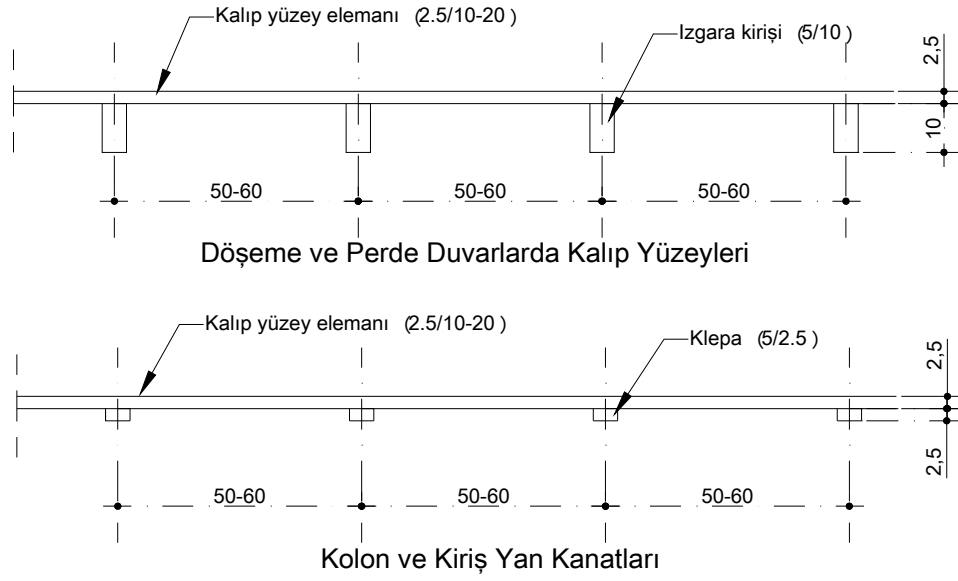
Genelde kalıp; taze betonu taşımak, istenilen şekil ve boyutlara sokmak ve yeterli bir şekilde betonun kendisini taşıyacak duruma gelmesine kadar onu desteklemek için tasarlanan geçici bir strüktür olarak tanımlanabilir. Kalıp terimi, betonla direk temas halinde bulunan esas materyal ve bütün gerekli taşıyıcı-destekleyici sistemi kapsar (Brett, 1988). Kalıp sisteminin tasarımına başlamadan önce tasarımcı bazı temel kararlar vermek durumundadır. Bir kısmı yüzey kalitesi ve diğerleri kalıp tasarımı ile ilgili olan bu kararların çoğu tasarımın gerekleri olarak ortaya çıkmaktadır.

- ✓ kalıp yüzey malzemesi seçimi (arzu edilen yüzey kalitesi kalıp yüzey malzemesinin türünü ve özelliklerini belirleyecektir),
- ✓ kalıp yüzeyini destekleyici sistemin seçimi,
- ✓ kalıp yüzey malzemesinin elde edilebilirliği,
- ✓ kalıp sökme (kalıp sökme gereksinimi kalıp montaj metodunun seçiminde önemli faktördür),

tasarımcının alması gereken temel kararlar olarak özetlenebilir (AS 3610, 1990).

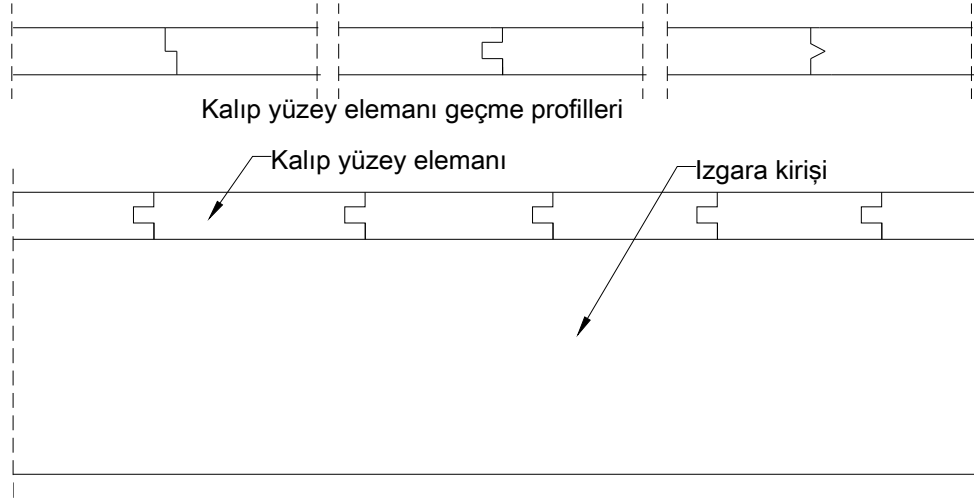
Taze beton düşey kalıp yüzeylerine yanay basınç uygular, beton hidrostatik basıncı olarak adlandırılan bu basıncın şiddetini birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörler genelde betonlama hızı ve betonun kıvamı ile doğrudan ilgili görülmektedir (Hurd, 1989). Beton döküm sürecinde sızıntının kontrol edilmesi ve önlenmesi önemlidir. Kalıp elemanlarının (kanat, panel gibi...) bağlanması için bulon deliklerinin delinmesinde dikkatli olunmalı, mümkün olduğu kadar delik delinmesinden kaçınılmalıdır. Ayrıca kalıp yüzey ek yerlerinin oluşturulmasına özen gösterilmelidir. Ek yerlerinden sızıntıların oluşumu ile değişik beton yüzey kusurları meydana gelir (James, 1985).

Betonarme yapı elemanı kalıp yüzeylerinin oluşturulmasında genel olarak; masif kereste (tahta), kontrplak (plywood), metal ve plastik malzemelerin kullanılmakta olduğu bilinmektedir. Tahtaların kalıp yüzey malzemesi olarak kullanılması durumunda; döşeme, perde duvar, kiriş ve kolon kalıp yüzeylerinin oluşturulmasına ait ayrıntı örnekleri Şekil 1.1 de görülmektedir.



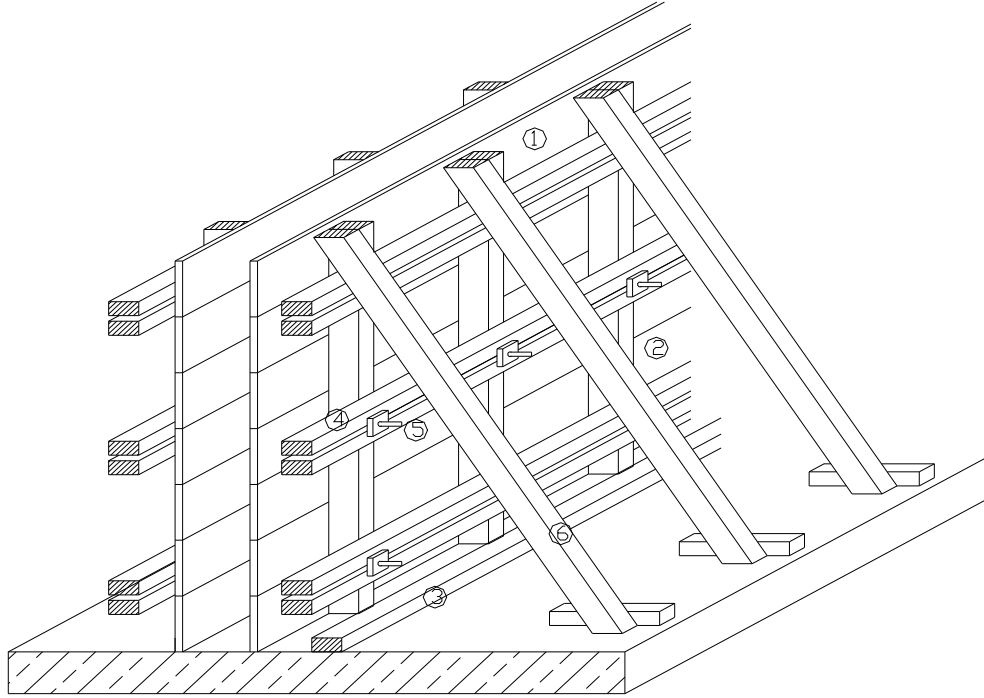
Şekil 1.1 Döşeme, perde duvarı, kolon ve kiriş kalıp yüzeyleri

Kalıp tahtalarının yüzeyde birleştirilmesi tekniklerinin seçimi, tasarlanan beton yüzey kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle eğer brüt beton uygulaması yapılacaksa kalıp yüzey tahtalarının yüzey ve boyutlandırma işlemlerinden geçirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, ek yerlerinin özel geçme işlemleri ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Şekil 1. 2).



Şekil 1.2 Brüt beton kalıplarında kalıp tahtalarının birleştirilmesine ait bir örnek

Kontrplak, kalıp yüzey astarı altında ve doğrudan kalıp yüzey malzemesi olarak en fazla kullanılan yüzey malzemesi durumundadır. Pürüzsüz bir brüt beton yüzeyi kaplanmış veya kaplanmamış kontrplak kullanımı ile elde edilebilir. Kaplanmış kontrplak kullanımı durumunda ahşabın dokusunun betona yansması önlenmiş olur. Eğer kontrplak doğrudan yüzey malzemesi olarak kullanılacaksa tam boy kontrplak tabakalarının kullanımı sağlanmaya çalışılmalı ve ek yerleri iyi birleştirilmelidir. Şekil 1.3’de görüldüğü gibi bütün düşey birleşim yerleri ızgara kirişleri üzerinde gerçekleşmeli ve çivilenerek sağlam bir şekilde desteklenmelidir (Hurd, 1989).



Şekil 1.3 Tipik bir perde duvarı kalıbı

1.Kalıp yüzeyi, 2.Dikme, 3.Betona çivilenmiş tespit latası, 4.Kuşak, 5.Kalıp ankraji, 6.Payanda

Özellikle brüt beton kalıbında sızıntının kontrol edilmesi ve önlenmesi önemlidir. Kalıp parçalarının boyutları ve ek yerlerinin doğru planlanması ile oluşması muhtemel potansiyel kusurlar büyük ölçüde önlenabilir.

Ek yerlerinin iyi planlanması:

- ✓ eklenen kalıp parçalarının aynı düzlemde birleşmemesi (bu malzeme boyutsal toleransları ve işçilik hatalarından kaynaklanabilir) ,
- ✓ kalıp kenarları kusursuz bir şekilde düzgün olamaz ve vibrasyon sürecinde aynı tepkiyi gösteremez. Bundan dolayı; harç sızmasından peteklenme (honey combing), çimento hamuru sızmasından kumlu yüzey (sand straking) görüntüsü, su

sızıntısından koyu gölgeler ve su çimento oranını değişmesinden dolayı koyu hatlar oluşması,

- ✓ kalıp kenarları yapıştırılarak veya kaplanarak üretilmiş olsa bile, ayrı kalıp parçaları için aynı problemler oluşması,

bakımından önemlidir (James, 1985).

Beton yüzeyi ile doğrudan temas halinde olması ve beton yüzeyinin bu yüzeydeki bozuklukları aynı şekilde yansıtmaması bakımından kalıp yüzey hareketleri önemli görülmektedir. Beton yüzeyinde dalgalanma veya yorgan deseni; kalıp yüzeyinin yüksek rutubet içeriği, yüzey kaplamasının yetersiz kalınlığı, yetersiz desteklenmesi ve çok yüksek beton basıncı gibi birçok nedenden dolayı ortaya çıkabilir (Hurst, 1983).

Beton ile doğrudan temas halinde bulunduğu için kalıp yüzeyini oluşturan malzeme çok önemli olmaktadır. Kullanılan malzemelerin çoğu absorpsiyon özelliğine sahip olup, hava su ve hatta bir miktar çimento absorbe edebilirler. Kalıbın absorpsiyonu nedeniyle beton karışım elemanlarından herhangi birisinin beton karışımından uzaklaşması fiziksel özelliklerde değişime neden olacaktır. İlk bakışta renk değişikliği olarak görülen fiziksel değişimde, eğer renk tamamen üniform ise önemli görülmez. Fakat, bunun gerçekleşmesi çoğu zaman mümkün olmaz. Kalıp yüzeyinin hava absorbe etmesi beton içerisindeki hava boşluklarını (blow holes) azaltabilir (Whilshire, 1989).

Betonun kalıba yapışması beton yüzeyinin kalitesini önemli ölçüde etkiler. Sertleşen betonun kalıp yüzeyine yapışma direnci:

- ✓ kalıp yüzey malzemesi,
- ✓ kalıp ayırıcılar,
- ✓ kalıp yüzey pürüzlülüğü,

- ✓ beton tip ve kalitesi,
- ✓ sıkıştırma şekli-zamanı,
- ✓ kür şartları,

gibi parametrelere bağlıdır (Mazkewitch, 1986).

Kalıp ayırıcı maddeler betondan kalıbın kolayca hasarsız bir şekilde alınmasını sağlayan metal ve ahşap yüzeylere uygulanan kimyasallardır. Bu kimyasallar yağların yanı sıra, küreme bileşikleri, mum ve reçinelerden oluşabilir. Beton ile kontak, güneş ışınlarına maruz kalma ve su ile işleme tabi tutulma durumlarına göre değişik kullanım ömrü gösterirler. Kalıp ayırıcı maddeler sıklıkla ahşap veya metal kalıp yüzeylerinden beton yüzeylerine transfer olarak beton içerisine penetre olurlar. Penetrasyonun derinliği ve genişlemesi penetrasyonu kontrol eden faktörlerin değişik olmasından dolayı önceden kestirilemez (Thomas, 1989).

Donatıyı kaplayan beton kabuk özelliklerinde iyileşmelerle betonarme eleman dayanıklılığında etkin yükseliş sağlanması ve taze betonun kalıba yaptığı hidrostatik basınçta önemli azalma meydana getirilmesi çok zor gibi görülmekte idi. Ancak, son yıllarda yapılan çalışmalar bunların betonarme kalıpların kontrol edilebilir miktarda su geçirmesi ile başarılabileceğini göstermektedir. Bu amaca yönelik kalıp yüzeylerinin, çimento partiküllerini geçirmeyen, fakat hava ve suyu geçirecek şekilde özel olarak tasarlanmış olması gerekmektedir (Harrison, 1991).

Kalıp yüzeylerinin beton suyunu emici tekstil astar ile kaplanması ile geleneksel kalıp yüzeyleri korunmuş, dolayısı ile kullanım adedi artırılmış olacaktır. Diğer taraftan yüzeye kaplanan geçirgen astar suyun tahtalara açılan deliklerinden drene edilerek dışarı atılmasına ve dolayısı ile beton

yüzeyinde su/çimento oranı düşük bir beton kabuğu oluşmasına neden olmaktadır (Morosszeyk, 1993).

Daha önce yapılan araştırmalarda tekstil astarlı kalıba dökülmüş beton ile geleneksel kontrplak kalıba dökülmüş beton arasında performans farklılıkları;

- ✓ yüzeyde hava boşluğu oranının 20 kat azaldığı,
- ✓ beton test çekici değerlerinin % 70 arttığı,
- ✓ karbondioksit penetrasyon derinliğinin 4 kat azaldığı,
- ✓ klorür iyon penetrasyon derinliğinin 5 kat azaldığı,
- ✓ donma çözünme sonucu pullanma derinliğinin 10 kat azaldığı,

şeklinde belirlenmiştir (Yokota, 1986, Machida, 1986).

Su emici kalıpların etkin olduğu alanda meydana gelen beton yüzey direncinin artması sadece su çimento oranının düşmesi ile açıklanamaz. Bu kalıba yakın yüzey alanında beton yoğunluğunun daha yüksek olmasının etkisi olarak kabul edilebilir. Çünkü suyun uzaklaşmasından dolayı kapiler boşlukların azalması, onların çimento partikülleri ile dolması ve betonun hidrotasyon sürecinde daha yoğun hale gelmesi ile açıklanabilir. Örneğin, su emici kalıbın su emme etkinliği sürecinde kalıbın etki alanı içerisindeki betonun kendi kendisini konsolide etmesi gibi bir süreç oluşur. Emici kalıp yüzeyinin yakınındaki beton tabakasının kalitesindeki gelişme, bu alandaki beton içerisinde mevcut sıkıştırma tesiri altında bulunan kapiler boşlukların dışa doğru sürülmesi ile, beton suyunun bir kısmının burada betondan ayrılması ve çimento hidrotasyon ürünleri tarafından, genişleyen boşlukların tamamen doldurularak yoğun bir beton strüktür oluşturarak direncini yükseltmesi olarak açıklanabilir (Shmanstar, 1990).

2. GEÇİRGEN KALIPLARA BETONUN YERLEŞTİRİLMESİ

Geçirimli kalıplar beton yüzeyinin dayanım ve dayanıklılığını arttırmak amacını güden özel bir tür kaplamalı kalıplardır. Kalıp destekleri ve kaplama malzemesi taze betonun basıncına dayanabilecek şekilde tasarlanır, aynı zamanda kalıp fazla suyun ve havanın geçişine izin vermelidir. Geçirgen kalıp kullanmanın amacı betonda boşlukların (böcek yuvası tipi) oluşmasını önlemek ve kalıp yüzeyinin hemen arkasındaki betonun sağlamlık ve dayanıklılığını arttırmaktır.

Kalıba dökülen betonun; fazla suyunun giderilmesi fikri 1930'lardaki John J.Earley'in çalışmasına dayanmaktadır. Earley suyu emebilen kuru sıvanmış kalıplardan mimari kalıplar yapmış ve klasik kalıplarla elde edilen betondan daha iyi bir beton yüzeyi elde etmiştir. 1938 yılında İyileştirme Bürosu detaylı bir çalışma başlatmış, bu çalışmanın sonucunda ilk geçirgen kalıp üretilmiştir. Bu kalıp 'emici kalıp' olarak bilinmektedir (Johnson, 1941, Bidel and Blanks, 1942).

Emici kalıpların ilk türü yer kamışı, tahta yongalar ve benzer maddelerden yapılmış 12 mm kalınlığında sıkıştırılmış plakalardan oluşmaktaydı. Bu basit kalıp türü bile pratik olarak beton yüzeyindeki bütün boşlukları giderebilmekteydi. Kentucky barajında yapılan çalışmalar (Johnson, 1941) emici kalıplardan elde edilen beton yüzeylerinin, yağ ile kaplanmış normal ahşap kalıplardan elde edilen beton yüzeylerinden daha az su emdiğini ve donma-çözülme etkisine karşı daha dayanıklı olduğunu göstermiştir. Emici kalıplar ve yağlanmış ahşap kalıplardan elde edilen beton numuneleri kum püskürtme yöntemiyle test edilmiştir. Sıradan ahşap kalıba dökülen numunelerde açığa çıkan agregalar, emici kalıplara dökülen numunelerde ise bir iki boşluk dışında hiçbir yıpranma görülmemiştir. Genel olarak kalıp ne kadar geçirimli ise gözlenen yıpranma da o kadar az olmaktadır (Johnson,

1941). İlk testlerde kütlice su/çimento oranı 0,6 olan portland çimentosu karışımları kullanılmıştır. İlk çalışmalar sırasında 150 mm küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımları, normal kalıplardan elde edilen betonlardan daha yüksek çıkmaya da, emici kalıpların daha yoğun, daha dayanıklı, daha az boşluklu yüzeyler ürettiği görülmüştür.

1949 yılında, ABD ordusu mühendisleri su yolları deney istasyonu 7 tip emici olmayan, 13 tip emici (lifli tahta, emici kağıt, kumaş kaplanmış sunta, yüzeyi örülmüş kumaş ile kaplanmış çelik ve kontrplak) kalıpları karşılaştırmak amacıyla bir çalışma başlatmıştır. Emici kağıt kaplı kalıp hariç bütün kaplamalı kalıplar bütün yüzey bozukluklarını gidermiş, aşınma direncini arttırmış ve su emme kapasitesini düşürmüştür. O dönemde üretilen lifli tahta kalıp kaplamalarının hepsi yüzey boşluklarını önlemede ve aşınma direncini arttırmada başarılı olmuşlardır. Lifli tahta kullanılan kalıplar 48 saat sonra sökülebilmekte ve temiz bir beton yüzeyi elde edilmektedir (Ordu bölümü, 1952).

1960 lardan 1980 lere kadar emici veya geçirgen kalıplar ile ilgili temel olarak yüksek maliyet, yanlış kullanım ve kurma-sökülme zorluklarından dolayı çok az çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte, 1985 yılında artan temel kereste maliyetleri ile ilgili teknolojik birikimler yenilenmiştir. Geçirgen kalıplar Japonya'da Aseishi-Gawa Barajı projesinde yaygın olarak kullanılmıştır (Tanaka and Ikeda 1987, Wilson 1994). Mevcut yayınların büyük çoğunluğu bu teknolojiyi; tekstil kalıp metodu (Marosszeky ve Chew, 1990, Marosszeky ve ark., 1993), ipek kalıp metodu (Price, 1998), kontrollü geçirgen kalıp (Long ve ark., 1994, Wilson, 1994, Long and Basheer, 1997) veya kontrollü geçirgen kalıp (Peter and Chitharajan, 1995), veya geçirgen kalıp (Price and Widdows ,1991) olarak adlandırmışlardır.

Geçirgen kalıp astarları aşağıdaki yapıları da içeren modern yapılarda yaygın olarak kullanılmıştır.

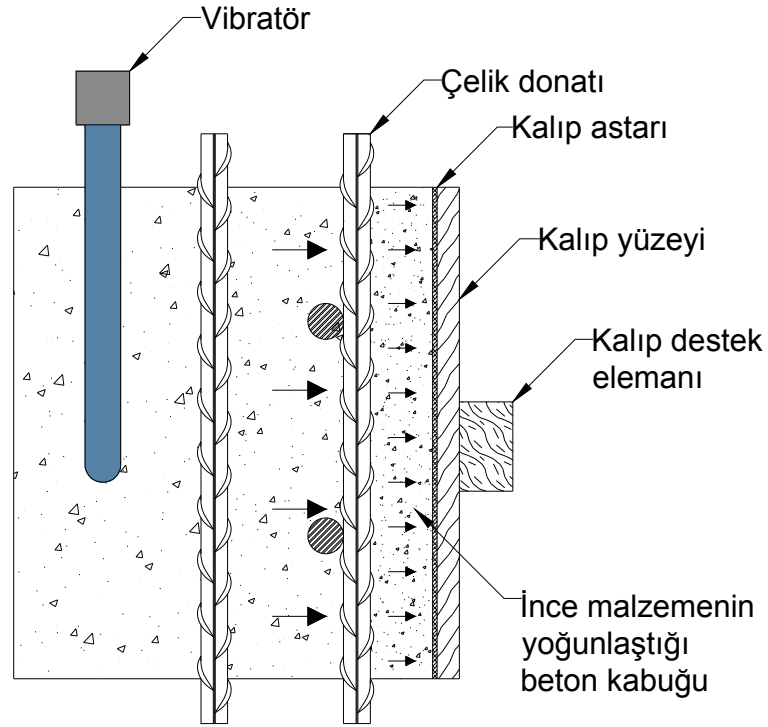
- ✓ Türkiye’de Fırat nehri üzerindeki Karakaya Barajı savaklarında
- ✓ Avustralya Sidney Limanı tünel projesindeki su altı tüp ünitelerinde (Marosszeky ve ark., 1993),
- ✓ İngiltere’de Lothian Gifford’da ki yıkama suyu tanklarında
- ✓ İngiltere’de Warrington yakınlarındaki Mersey nehri üzerindeki su bendindeki tahliye kanallarında,
- ✓ İngiltere’de Glen Shira ana su kuyusunda (Basheer ve ark., 1993).

Ayrıca Japonya’da 1985-1987 yılları arasında 135 yapı projesinde geçirgen kalıp astarlar kullanılmıştır.

2.1 Geçirgen Kalıp Astarlarının Davranışı

Emici astarlı geçirgen kalıplar bir filtre gibi davranarak kalıbın arkasındaki su ve havanın betonu terk etmesine müsaade etmektedir. Bunun yanında, kalıba bitişik durumdaki betondan hava, su, su içinde çözölen malzemeler ve ince serbest malzemeler kalıp yüzeyine doğru hareket etmektedir. Astardan sızan sular çözönmüş ve serbest ince malzemeler içermektedir. Çimento hamurundan çıkan sıvı pH’ı 12,5-13,5 arasında olan tipik bir doygun kalsiyum-hidroksit çözeltisidir. Serbest ince malzeme ortalama büyüklüğü 10 μm olan çimento taneleri ve ortalama büyüklüğü 0,1 μm olan silis dumanı gibi ince mineral katkı maddeleri içerebilir (Neville, 2002, Kosmatka ve Panarese, 1990).

Özellikle beton vibratör ile yerleştirilirken filtre (astar) içerisinde hareket eden sıvı birleşikleri kalıbın arkasındaki hapsolmuş havanın kaçmasına ve kalıbın bitişikindeki beton içerisindeki suyun bir kısmının dışarı çıkmasına müsaade eder (Şekil 2.1). Geçirgen kalıp kullanmanın amacı, havanın ve fazla suyun uzaklaşmasına imkan sağlamalıdır. Çimento tanecikleri ve silis dumanı içeren bir kısım serbest ince malzeme de su ile uzaklaşır. Eğer vibrasyon aşırı değilse ve filtre tabakasındaki boşluklar yeteri kadar küçük ise, çimento bileşenlerinin kaybı da aşırı olmamaktadır.

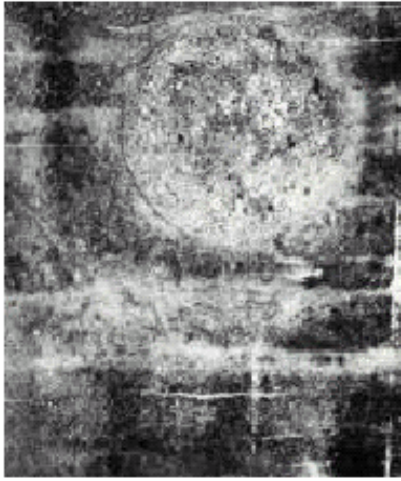


Şekil 2.1 Geçirgen kalıplarda suyun kalıp yüzeyine doğru hareketi
(Morosszeky ve ark., 1993, Wilson, 1994)

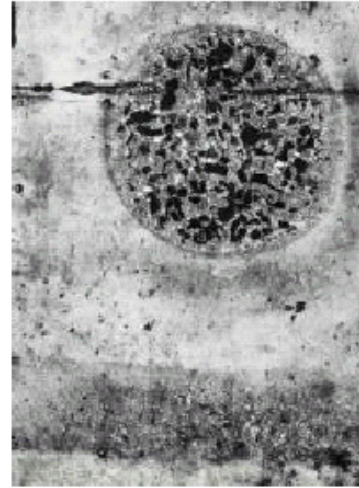
Kalıbın arkasındaki beton incelendiğinde; beton içerisindeki suyun hareketinin sonucunda betonun içerisindeki su miktarının azaldığı (su/çimento oranı azalmaktadır) ve beton kütesinin içerisindeki ince çimento tanelerinin filtre tabakasına doğru taşındığı görülmektedir.

Kalıplarda astar tabakasına doğru ve astar tabakasının içindeki sıvı hareketinin genel sonucu; alışıla gelmiş astarsız kalıplara göre daha yoğun, daha güçlü ve daha boşluksuz yapıya sahip bir beton yüzeyidir (Resim 2.1). Bir çok araştırma astar tabakasının betonun karakteristik özellikleri sadece birkaç cm için etkilediğini göstermiştir. Sonuç olarak, vibrasyonla beton içerisindeki katı tanelerin sıkıştırılması ile su, beton kütenin yüzeyine doğru hareket etmeye zorlanmaktadır. Beton alışıl gelmiş kalıbın arkasına sıkıca yerleştirildiğinde; kalıba temas eden beton daima orta kısımdaki betondan daha fazla suya sahip olacaktır. Yüzeydeki yüksek w/c oranı daha zayıf ve

daha geçirgen bir beton yüzeyin oluşmasına neden olacaktır. Astarlı drenajlı kalıp suyun astar-kalıp yüzeyinden geçip, kalıp dışına çıkmasına izin vererek bu problemi çözmektedir (Reddi,1992).



a.) Geçirgen kalıp



b.) Çelik kalıp

Resim 2.1 Geçirgen ve çelik kalıplara dökülmüş beton yüzeyleri (U.S. Army,1952)

2.2 Geçirgen Kalıplarda Kullanılan Astarlar

Astarların geliştirilmesindeki amaç: ince çimento tanelerinin kaçmasına izin vermeden su ve havanın dışarı çıkmasına izin veren bir malzeme elde etmektir. Dokuma astar; kalıp üzerine düzgünce serilebilecek veya kırışmasını engelleyecek kadar sert olmalıdır. Aynı zamanda suyun kalıptan dışarı çıkmasını sağlayacak bir destek malzemesi ile birlikte tefriş edilmelidir. Ayrıca astar beton yüzeyini nemli tutacak ve kürünü sağlayacak kadar suyu da alıkoymalıdır. Astar yüzeyi, astarın betona yapışma eğilimini minimum düzeyde tutacak şekilde üretilmelidir. İdeal astar malzemesi yırtılmadan önce birçok defa kullanılabilmelidir. Çok tekrarlı kullanılacak astar yapmaya yönelik çeşitli yaklaşımlar başarı derecesindeki farklılıkları da beraberinde getirmiştir (Malone,1999).

2.2.1 Emici kalıp astarları

İlk filtre malzemeleri ağaç liflerinden yapılmış preslenmiş levhalardır (Johnson, 1941, Cron, 1970). Preslenmiş lifli levhalar çoğunlukla tek kullanımlık astarlar olarak varsayırlar ve astarlar betona yapışmasını engellemek için kaplamaya ihtiyaç duyarlar. Genellikle, emici levhalar bezir yağı gibi serbest bırakıcı bileşiklerle kaplanırlar ki bu da kalıbın sökülmesi esnasında kolaylık sağlar ve beton yüzeyinin zarar görmemesini sağlar.

Emici astarların ilk büyük ölçekli arazi testleri Ekim 1939'da Grand Coulee Barajının akıntı yönündeki yüzeyi üzerinde yapılmıştır. Dört üretici tarafından üretilen toplam 22 astar malzemesi değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Testler, astar ürünlerinde iyileştirmelere (gelişmelere) ve daha iyi tanımlamalara öncülük etmiştir. Kalifornia'daki Friant Barajı da emici astarların denendiği yerlerden biridir. Bu proje geçirgen astar levhaların üretimi için hem pratik kullanım ve hem de yerleştirme tekniklerini de içeren bir şartname geliştirmiştir.

Arazi Islah Bürosu (Bureau of Reclamation) nun çalışmaları sonucunda birçok üretici, emici kalıp için uygun levhalar üretmişlerdir. 1941'de Kentucky Barajında 20,000 m²'nin üzerinde emici kalıp kullanılmıştır. Bu tarih itibarıyla Arazi Islah Bürosu (Bureau of Reclamation) kalıp astarları için fiziksel özellikleri (mukavemet, emme ve arazi kullanımı için adaptasyonu) ve arazi testlerini esas alan bir grup şartname geliştirmiştir. Yüzen bir 100x100mm'lik astar kesitini esas alan ve kütledeki zamana bağlı artışı ölçen bir standart su emme testi geliştirilmiştir. Bu teste göre astar malzemeler su emme kabiliyetlerine göre sınıflandırılmıştır.

Emme aşağıda verilen bir eğri denklemiyle açıklanmaktadır.

$$W = C \cdot \log_e T$$

burada;

W = test numunesi tarafından emilen suyun kütlesi (gr)

C = emme sabiti (emme katsayısı)

T = zaman (dak.)

Emme sabiti (emme katsayısı) 3,83-5,50 arasında olan malzemeler kabul edilebilir. C , değeri 3,83'ün altında olanlar yeterince su uzaklaştıramaz, 5,50'nin üzerinde olanlar ise gereğinden fazla su uzaklaştırırlar ve bazı durumlarda zararlı etki üretebilirler (Cron, 1970).

Emici kalıplar üzerindeki ilk deneylerle, çok çeşitli malzemeler değerlendirilmiştir. Çuvallık bez, tülbent, kumaş kaplı elek, ızgara, kurutma kağıdı, odun hamuru test edilen ilk malzemeler arasındadır. En iyi performansı yalıtıcı duvar panelleri (prenslenmiş ahşap, saman ve kamıştan yapılmış paneller) göstermiştir. Astar malzemesinde kullanılan malzemelerin şeker veya renk değişikliğine veya beton içerisindeki çimentonun kimyasal reaksiyonuna engel olacak diğer maddeleri bulundurmamasına dikkat edilmelidir. Duvar panellerinin içindeki liflerin beton yüzeyine yapışmasını engellemek için kullanılan bezir yağı, kullanımdan en az 48 saat önce uygulanmıştır. Standart uygulama betonun dökülmesinden itibaren 5 gün içerisinde kalıpların alınması doğrultusunda olmuştur.

Emici astarların kalıp içerisinde tutturulmasında ve yerleştirilmesinde kullanılan çivi veya vidaların büyüklüklerini ve aralıklarını da kapsayan detaylı bir yerleştirme talimatı geliştirilmiştir. Kullanıcılar için yerleştirme esnasında bitişik tabakalar arasında düzenli boşluk bırakabilmek için açıklığı ayarlayan madeni levhalar geliştirilmiştir ki, bu da betonun içindeki nemden dolayı parçalarda meydana gelen genleşmelerin birleşim yerlerinde şişkinlik (çıkıntı) oluşturmasını engeller.

Astar levhaları standart büyüklüklerde üretilir. Levhalar tipik olarak 12mm kalınlığında, 1,3m genişliğinde ve 2,6m uzunluğundadır. Bununla birlikte 5,2 uzunluğa kadar levhalar mevcuttur. Astar levhaları inşaat sahasında depolamak yatay ve düşey taşımak için teknikler ve sudan ve nemden korumak için özel paketler geliştirilmiştir. Yapım teknikleri şartnamesinde ıslak panellerin kurutulması için ve çok kuru panellerin ıslatılması için öneriler vardır (Johnson, 1941)

Astar levhalar, “Tennessee Valley Authority”, “U.S. Army Corps of Engineers” ve “Wyoming State Highway Department”ı kapsayan büyük yapı kuruluşları tarafından araştırılmış veya kullanılmış olmasına rağmen emici astar levha kullanımına Arazi Islah Bürosu öncülük etmiştir. Astar levhalar hidrolik yapıların (Friant ve Kentucky barajları) yanısıra Los Angeles Demiryolu Terminal Binası gibi diğer yapılarda da kullanılmıştır. Emici kalıp astar levhaları teknolojisinin kullanımı 1942 yılında olgunlaşmıştır.

2.2.2 Kumaş kaplı emici kalıp astarları

1943 yılında iyileştirilmiş bir emici panel geliştirilmiştir. Yeni emici kalıp astarı lateks çimentosu kullanılan bir lif levha veya levhaya tutturulmuş tek bir dokuma-kumaştan veya preslenmiş kağıt liflerinden oluşmaktadır (U.S. Patent Office, 1943). Filtre tabakası pamuk, keten, kendir, jüt veya kağıt lifi gibi lifli su emicilerden meydana gelmektedir. Emici arka levha su emme kapasitesinin metrekaresi 0,48-1,92 litre olan malzemeler olduğu düşünülmektedir. Emici panel ve filtre tabakası bir birine, ince ve sürekli olmayan (tamamına sürülmemiş) bir lateks çimentosu ile birleştirilmelidir.

Emici astarlar üzerinde yapılan çalışmalar astarların 3 saatin sonunda maksimum miktarda (yaklaşık $2,01 \text{ L/m}^2$) su emdiğini göstermektedir. 3 saatten sonra beton yüzeyindeki astarın su muhtevası $0,96 \text{ L/m}^2$ ye düşmekte ve 72 saatin sonunda astarın su muhtevası $0,68 \text{ L/m}^2$ 'ye

düşmektedir. Kumaş kaplı emici astarlar ile hazırlanan test küplerinin dayanımları araştırılarak bu astarların yüzey aşınmasına ve beton tarafından emilen su miktarına etkisi incelenmiştir. Kumaş kaplı emici astara bitişik dökülen kapların aşınma dayanımları daha yüksek su emmeleri daha düşüktür. Su emme deneyleri esas alındığında emici astarların etkisinin yüzeyden itibaren 50 mm derinliğe kadar fark edildiği görülmüştür (Malone, 1999).

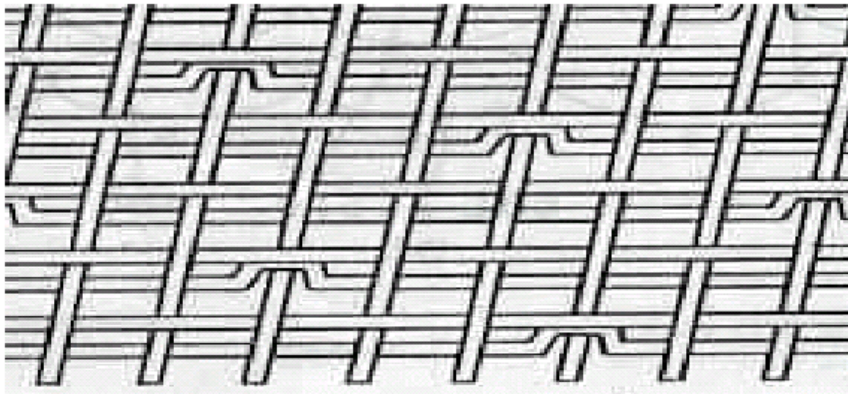
2.2.3 Kumaş dokuma kalıp astarları

Kumaş dokuma kalıp astarları en erken 1960'lı yıllarda Hollanda'da su altında ayakların ve kazıkların yerleştirilmesinde kullanılmıştır. Japonlar 1985 li yıllarda kumaş dokuma astarların düz ve dikey kalıplarda kullanılmasına öncülük etmişlerdir. İlk denemeler, kumaş dokumayı delinmiş metal kalıplara tutturmayı içermektedir. Gelişmeleri iki tabakalı yüzeyi giydirilmiş kalıplar takip etmiş (U.S. Patent Office, 1988) ve 1989 yılında iki kat kumaş dokumalı kalıplar ortaya çıkmıştır (U.S. Patent Office, 1989).

Kalıpları saran dokumalar genellikle polyamit, polyester veya polipropilen lifler gibi beton içerisindeki alkali çözeltisinden etkilenmeyen dokumalardır. Bu kumaş dokumalar, çimento taneciklerini tutmak ve beton yüzeyindeki mukavemetin azalmasını engellemek için yeterince ince yapılmaktadır. Bu ince dokuma ile bile astarlar $9,5 \times 10^{-3}$ cm/sn veya daha büyük bir su geçirgenlik katsayısına sahiptir.

Çerçeveye monte edilmiş tek kat kumaş dokunabilmekte ancak suyun drenajı için yeterli olmamaktadır. Başlangıçta su dokuma içerisinden kalıp dışına çıkabilmek için bir yol bulamamaktadır. Suyun drenajını sağlayabilmek amacıyla kalıp panellerinde delikler açılabilir fakat kalıbı zayıflatmamak için bu delikler birbirlerine çok yakın olmamalıdır. Daha pratik bir yaklaşım olarak bir filtre gibi çalışan ince kumaş dokumanın arkasına drenajı teşvik edecek

daha kaba bir kumaş dokuma tabakası koymaktır. Bu iki tabakalı yapı iki ayrı dokuma tabakası da olabilir veya çift örgülü tek tabakada olabilir (Şekil 2.2). İki ayrı dokuma tabakası kullanılan yerlerde, tabakalar tipik olarak 2mm aralıklarla dikey olarak dikilmektedir. Japonların geliştirdikleri bir kalıp astarında dokuma polyester filtre malzemesi dokuma olmayan polyester bir drenaj malzemesine yapıştırılmıştır.



Şekil 2.2 Tek tabakada çift örgülü kalıp astarı dokuma diyagramı (U.S. Patent Office, 1989)

Japon şartnamelerine göre iki katlı bir dokuma kalıp astarının malzemesi; kalınlığı 0,74 mm veya daha fazla olan, birim ağırlığı en az 440 g/m² olan ve su geçirgenliği $9,5 \times 10^{-3}$ cm/sn veya daha büyük olan polyester veya polipropilen olmalıdır. Astar malzemesinin ince dokuma tarafı beton yüzeyine, kalın dokuma tarafı kalıp yüzeyine gelmelidir (Reddi, 1992). Astar malzemesindeki iplik sayısı 700-1000 iplik/m olmalıdır. Dokumada kullanılan bir iplik 5-10 kg'lık bir kütleyi kopmadan taşıyabilmelidir.

Dokuma kumaş astarlar genellikle suyun kalıptan dışarı çıkabilmesi için kalıpta delik açılmasını gerektirirler. Astarlar tipik olarak 100mm merkez aralıkları ile açılmış 3mm çaplı delikli çelik veya ahşap çerçevelere monte edilirler. Dokuma kumaş astarlar, çelik kalıplara tutkal veya bant ile ahşap kalıplara ise tel raptiye veya diğer bağlayıcılarla gergin şekilde tutturulurlar.

Astarların kalıba monte edildikten sonra kendi ağırlığı ile esnememesine dikkat edilmelidir. Germe, astardaki kırışıklıkları giderirken astarın beton yüzeyinde bozukluklar oluşturmasını engeller. Eğer astar beton dökümünden önce ıslanır veya ısınır; deforme olabilir ve beton yüzeyinde yiv, oluk oluşturabilir (Şekil 2.2-2.3)

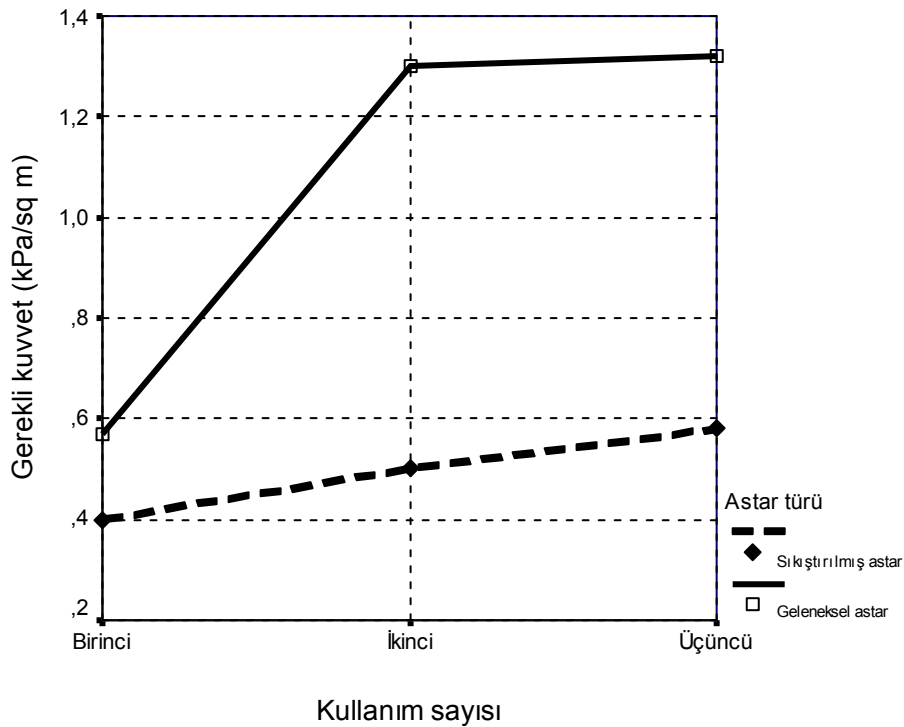


Resim 2.2 Gevşek montajdan kaynaklanan astar katlanmasının beton yüzeyine yansıması



Resim 2.3 Kalıp gergi deliği boşluğu etrafında gevşek astar katlanmasının beton yüzeyine yansıması

Dokuma kumaş astarlı kalıpların bir kereden fazla kullanılması problem çıkarabilir. Astarlı kalıplar sertleşmiş betona yapışabilir. Kalıbı sertleşmiş betondan ayırmak için kullanılan kuvvet astarı kalıptan soyabilir (söküp alabilir). Astara yapışan beton tanecikleri her bir kullanımda kalıbı sökmek için gereken kuvveti artıracaktır. Bu sorunu çözmek için; bazı astar malzemeleri daha düz ve daha pürüzsüz bir astar yüzeyi elde edebilmek için sıcak silindirle sıkıştırılırlar. Şekil 2.3'te sıcak silindirle sıkıştırılmış ve sıkıştırmamış kalıp astarlarının kullanılması durumunda kalıbı betondan ayırmak için gerekli olan kuvvetler karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Sıkıştırma, astarın betona yapışma eğilimini azaltmaktadır ve astar üzerinde daha iyi bir filtre tabakası oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 2.3 48 saat küre tabi tutulmuş beton yüzeyinden kalıbı ayırmak için gerekli olan kuvvet grafiği

Farklı dokuma astar tabakaları için nispi bir değer biçmek oldukça zordur. Peter ve Chitharanjan (1995) aralarında polipropilen, naylon ve polyesterinde

bulunduğu 9 tip astar malzemesini test etmişlerdir. Dokuma filtre tabakaları ile elde edilmiş beton yüzeyleri alışıla gelmiş düşük permeabiliteli kalıplarla elde edilmiş beton yüzeylerine göre daha yüksek mukavemet ve daha düşük su geçirgenliği göstermiştir.

2.2.4 Dokuma olmayan (nonwoven) kalıp astar malzemeleri

Isıl yapıştırmalı polietilen veya polipropilen gibi dokuma olmayan malzemeler filtre malzemesi olarak çok yararlı olduklarını ispatlamışlardır. Üretim işlerindeki esneklik malzemenin boşluk ebatlarının düzenlenmesinde büyük avantajlar sunmaktadır. Bu tip astarlar ince filtre tabakalı bir yüzey ve suyun drenajına müsaade edecek daha kalın (boşlukları daha büyük) bir alt tabakadan oluşmaktadır. Dokuma olmayan astar malzeme ön yüzünde çapı 0,2-20 mikron olan arka yüzünde ise çapı 10-259mm olan boşluklara sahip olmalıdır. Astar malzemesi etilen vinil asetat veya etilen vinil klorid köpük ile yüzeyi çok üniform boşluklu olarak üretilmelidir. Solventler kaybolduğunda köpükler çöker ve köpük tabakası üniform büyüklüklü boşluklar oluşturur. Poroz yüzeyin üzerine uygulanacak ince bir yağ tabakası astarın beton yüzeyinden minimum bir yapışmayla ayrılmasına imkan sağlayacaktır (U.S. Patent Office, 1992).

Bazı dokuma olmayan astarlar polietilenden yapılmış bir file veya ızgara ile desteklenirler. Izgara 25 mm veya daha büyük çaplı boşluklu olarak üretilir ve yüzeyi ızgaranın sadece bir kısmının kalıp yüzeyine temas etmesine imkan verecek şekilde biçimlendirmektedir. Izgara destekli astar malzemesinin amacı betondan gelen suyun ızgara içinden geçerek kalıp tabanına ulaşmasına imkan veren katı ve kırışmayan bir astar malzemesi elde etmektir. Izgara astarın arkasındaki kalıpta birbirine yakın delikler bulunmaksızın kalıptan suyun hızlı bir şekilde drene edilmesini mümkün kılar (U.S. Patent Office, 1994).

Birleştirilmiş liflerden yapılan astarlar dokuma malzemelerden daha serttir ve kırılma ve sarkmalara karşı daha etkili direnç gösterirler. Dokuma olmayan astarlar (ızgara ile desteklenmiş olanlar da dahil) gerilmeli ve yapışkanlı bant veya tel raptiyelerle kalıba tutturulmalıdır. Dokuma olmayan bir astar, betonun alkaliliğinden etkilenmemeli ve boşluk büyüklüğü suyun drene olmasına müsaade etmeli fakat çimento taneciklerini tutmalıdır. Filtre yüzeyindeki 0,2-20 μ m arasında değişen boşluklar kabul edilebilir boşluklardır.

2.3 Geçirgen Kalıplarda Kullanılan Beton Karışımları ve Yerleştirme Teknikleri

Testler; geçirgen kalıpların çeşitli beton karışımları ile kullanıldığında iyileştirilmiş yüzey karakteristikleri (artan yoğunluk ve artan mukavemet) meydana getirdiğini göstermektedir. w/c oranı 0,40-0,65 arasında değişen betonlarda iyileşmeler göstermiştir. Portland çimentosu, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanımı; portland çimentosunun %75'nin ince yüksek fırın cürufuyla yer değiştirdiği hava sürüklenmiş yüksek fırın cürufu çimento betonuna kıyasla; daha iyi bir donma-çözülme dayanımı ve kimyasal bozulmaya karşı daha büyük bir direnç meydana getirmiştir (Stark and Knaack, 1997, Stark and Ludwig, 1997). Su azaltıcı katkıların yüksek oranda su azaltıcı katkı veya hava sürükleyici katkıların kullanımı ve betonunun farklı slamlarda (50-210mm) yerleştirilmesi geçirgen kalıpların etkilerini değiştirmez (Wilson and Serafini, 1996). Üretici teknik rehberleri geçirgen kalıplarda slampı 50mm veya daha düşük beton kullanılması önermektedir. Yüksek slamlı betonlar bitmiş beton yüzeyinde renk lekelerinin oluşmasına neden olmaktadır (DuPont, 1997).

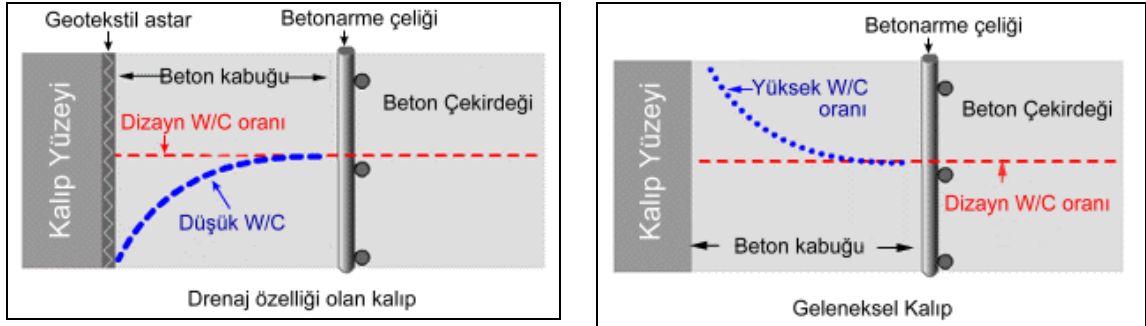
Betonda silis dumanı kullanımı geçirgen kalıpla birlikte kullanılan astarı kısmi olarak tıkayabilir böylece filtre görevini yapamaz ve silis dumanının geçiş yüzey alanı betondan dışarı çıkacak su miktarını azaltabilir (Malone, 1999).

Skjolsvold (1991); portland çimentosunun %5'inin silis dumanı ile yer değiştirdiği w/c oranının 0,4 olduğu hava sürüklenmiş betonun geçirgen kalıplarla birlikte kullanıldığında bile sertleşmiş beton yüzeyinde iyileşmeler gözlemlendiğini belirtmiştir. Nolan, Basheer, ve Long (1995) %5 silis dumanını içeren ve w/c oranı 0,55 veya 0,65 olan betonları test etmişlerdir. Onlar silis dumanının astardaki küçük gözenekleri tıkadığı ve geçirgen kalıpların etkisini azalttığı sonucuna varmışlardır. Test sonuçları arasındaki farklılık w/c oranındaki değişimle veya iki testte kullanılan silis dumanı tipiyle ilişkili olabilir. Geçirgen kalıba yerleştirilen betonda silis dumanı veya diğer ince puzolanların (metakaolin gibi) kullanılması durumunda, kullanılan puzolanın geçirgen kalıbın fonksiyonlarını engelleyip engellemediğinin test edilmesi gerekebilir.

2.3.1 Yerleştirilme süresince geçirgen astarlı kalıp ve betonun etkileşimi

2.3.1.1 Suyun çekilmesi

Geçirgen kalıp kullanmanın amaçlarından biri kalıbın hemen arkasındaki betonda optimum miktarda suyun bulunmasını sağlamaktır. 0,40 veya daha düşük bir w/c oranı genellikle beton üretimi için optimum olarak kabul edilir (Kosmatka ve Panarese, 1990). Su azaltıcı katkıları kullanılmadıkça 0,40 w/c oranının gerektirdiğinden fazla su betonun daha düzgün yerleştirilmesi ve konsolide edilmesi için faydalı olabilir. Geçirgen kalıp kullanmanın diğer bir amacı w/c oranını 0,45 veya 0,60'tan 0,40'a veya daha aşağıya düşürmektir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Geçirgen kalıp ve geleneksel kalıp-beton ilişkisi

Çizelge 2.1’de 250 mm kalınlığında olan bir duvarın teorik olarak yerleştirildiğinde 0,45-0,60 arasında olan w/c oranını 0,40’a düşürebilmesi için tüm duvardan uzaklaştırılması gereken su miktarını verilerini göstermektedir. Suyun büyük bir kısmı 90 saniyelik vibrasyon boyunca betondan ayrılmaktadır. Vibrasyon süresi agreganın çimento hamurundan ayrılma eğiliminde olması nedeni ile sınırlı tutulmaktadır. w/c oranı 0,50 olan betonlar üzerinde yapılan testlerde; iyi dizayn edilmiş geçirgen kalıplar, 90sn’lik vibrasyon boyunca $2,0\text{L/m}^2$ ’lik su drenajına imkan sağlamışlardır (U.S. Patent Office, 1994). Beddoe (1993); $1-2,5\text{L/m}^2$ ’lik su kaybını rapor etmiştir. Kalıp astarları betondan uzaklaşan suyu $0,5\text{L/m}^2$ ’ye kadar indirmişlerdir. Betonun metreküpünün 340kg su içerdiğini; $2,0\text{L/m}^2$ ’lik su kaybının sadece yüzeyden itibaren 20-30mm derinliğe kadar olduğu varsayılırsa, yüzeyin w/c oranı 0,2-0,3 olacaktır. Farahmandpour (1992); geçirgen kalıp astarı altındaki betonun w/c oranının 0,35-0,40 iken, aynı betonun alışıla gelmiş ahşap kalıp altındaki w/c oranının 0,40-0,50 olduğunu tahmin etmiştir. Yapılan ölçümlere göre geçirgen kalıplar betonunun w/c oranını daha güçlü ve daha yoğun bir yüzey elde edecek kadar azaltmıştır.

Çizelge 2.1 250 mm kalınlığında bir perde duvar betonunun w/c oranının 0.40'a düşürülebilmesi için uzaklaştırılması gereken su miktarı

Çimento Miktarı (kg/m ³)	Fazla Su (L/m ²)		
	w/c=0.45	w/c=0.50	w/c=0.60
300	4	8	15
400	5	10	20
500	6	13	25
U.S. Patent Office (1994)			

2.3.1.2 Beton yüzeyinde yoğunlaşma

Betonun sıkıştırılması süresince meydana gelen sıvı hareketi serbest çimento taneciklerini ve diğer ince taneleri kalıp ve betonun temas yüzeyine doğru taşır. Bu kütle transferinin sonucu olarak beton yüzeyindeki çimento miktarı/ince agrega oranı artar. Cron (1970); kalıp yüzeyine bitişik beton yüzeylerden kesilen parçalar üzerinde yapılan X-ray radyografik analizlerde geçirgen kalıplara dökülen betonların alışıla gelmiş (düşük permeabilitesi) kalıplara dökülen betonlara göre gözle görülebilecek kadar yoğunluk farklılığı olduğunu açıklamıştır. Beddoe (1993); geçirgen kalıbın hemen arkasındaki beton yüzeyinin çimento/ince agrega oranı aynı olan betonun 5cm içerideki kısmına kıyasla %10 arttığını belirtmiştir.

Reeves (1993); sertleşmiş betonu beton yüzeyine dik olarak kesip hazırladığı ince parçaları kullanarak yaptığı değerlendirmelerde yoğunluktaki benzer bir artışı belirtmiştir. Geçirgen kalıplara dökülen beton numuneler, büyük agregalar arasında daha az boşluk göstermiş ve geçirgen kalıp yüzeyindeki betondaki hidrate olmuş çimento taneciklerinin birbirine daha yakın olduğu görülmüştür. Reeves ayrıca, betonun yüzey alanındaki kapiler boşlukların boyutlarında ve sayılarında da azalma olduğuna dikkat çekmiştir. Kontrol numuneleri aynı betondan çelik kalıplara dökülerek hazırlanmıştır. Kontrol numunesindeki gözeneklerin alanları geçirgen kalıplardaki gözenek

alanlarının yaklaşık iki katıdır. Işık mikroskobu kullanılarak yapılan gözlemler civa boşluk ölçer kullanılarak yapılan gözenek ölçümleriyle doğrulanmıştır. Boşluk ölçer verileri geçirimsiz kalıp kullanarak dökülen numunelerin gözenek alanlarının geçirgen kalıplar kullanılarak dökülen numunelerin gözenek alanlarından %1,6 daha büyük olduğunu göstermiştir. Tabakanın arkasında artan çimento içeriği geçirgen kalıplarda daha yoğun ve daha sağlam bir yüzey oluşturmuştur.

2.3.1.3 Yüzey hava kabarcıklarında azalma

Betonun dökülmesi esnasında karışım içinde hapsolan hava, beton yüzeyine doğru giderken beton ve kalıp arasında tutulabilir. Bir çok durumda; beton yüzeyindeki boşlukların varlığı tipik olarak kusura işaret eder ve betonun mukavemetini, dayanaklılığını ve hizmet süresini etkileyen bir problem olarak algılanmalıdır. Hidrolik yapılarda; beton yüzeyindeki çukurluklar beton yüzeyindeki akımın türbülansını (dalgalanmasını) artırır ki buda aşınma oranını arttırabilir.

Reeves (1993); geçirgen kalıp kullanılarak gözeneklerin sayılarının azaltılabileceğine fakat, mikroskobik ölçüde geçirgen kalıplarla elde edilen yüzeylerin astarı oluşturan lif tanelerinin izlerinden dolayı daha pürüzlü olacağına dikkat çekmiştir. Lifler beton yüzeyi üzerinde çıplak gözle fark edilemeyecek kanallar oluşturur. Beton yüzeyinde bulunan mikroskobik pürüzlülük yüzeyde bakteri gelişimini etkileyen önemli bir faktör değildir. Ancak sabit nemin varlığı önemli bir faktördür. Yüzeydeki nem yüzeyin nem emme kabiliyeti ve emilen suyun beton yüzeyine kılcal taşınımından dolayı nemin muhafazasıyla ilişkilidir. Beton yüzeyin porozitesi, yüzey mikro yapısında meydana gelen bakteri gelişiminden daha kritiktir. Geçirgen kalıplarla hazırlanan beton numunelerin yüzeyleri daha düşük poroziteye sahiptirler ve ıslatıldıktan sonra daha az nem tutarlar.

2.3.2 Geçirgen kalıplara betonun yerleştirilmesinde vibrasyon ve basıncın etkileri

Geçirgen kalıp; w/c oranını değiştirmesi, kalıplanmış yüzeye çimento transferini gerçekleştirmesi ve hapsolmuş hava kabarcıklarını uzaklaştırması gibi etkilerini, ancak beton vibrasyonlarla sıkıştırılırsa gösterebilir. Geçirgen kalıplara dökülmüş betonlara vibrasyon uygulanırken dikkatli olunmalı ve kullanılan dahili (genellikle dalgıç tipi) vibratör kalıp yüzeyinden 50-100 mm uzağından uygulanmalıdır. Kalıp vibratörleri ve harici (external) vibratörler genellikle beton dahili vibratörle konsolide edildikten sonra uygulanırlar. Eğer vibrasyon uygulanmış alanın üzerindeki beton, alttaki betona basınç uyguluyorsa vibrasyon yüksek kaliteli beton yüzeyi elde etmekte çok etkilidir. Geçirgen kalıplar kalıbın en üst kısmındaki betonu iyileştirmede çok az etkilidir. Çoğunlukla, üsten 50-100 mm'lik beton tekrar vibrasyona tabi tutulmadıkça, sıkıştırılmadıkça ve düzeltilmedikçe, beton gözeneklerini muhafaza edecek ve düşük yoğunluklu olacaklardır.

Çok kalın taze beton kütlesi geçirimli astarlar üzerinde düzleştirme etkisi gösterebilir. Drenaj tabakalı astarlar (file veya ızgara gibi) beton yüzeyi üzerinde drenaj deliklerinin şeklini yansıtan bir desen oluşturabilir. Genellikle taze beton tabakasının kalınlığı kalıba 2MPa'lı aşmayacak bir basınç uygulayacak kadar olmalıdır (DuPont, 1997).

2.4 Geçirgen Kalıp Kullanmanın Faydaları

Geçirgen kalıp kullanılarak dökülen betonlarda geleneksel kalıp kullanılarak elde edilen betonlara kıyasla daha yoğun ve daha güçlü bir yüzey elde edilmektedir. En önemli faydaları daha az kusurlu, daha düzgün, daha yoğun ve daha iyi aşınma özelliklerine sahip bir yüzey oluşturması gibi görünmektedir. Geçirgen kalıplar beton yapılar için daha uzun bir hizmet

süresi sağlamakta ve tamir ve yenileme için gerekli harcamaları azaltmaktadır.

2.4.1 Beton yüzey kusurları

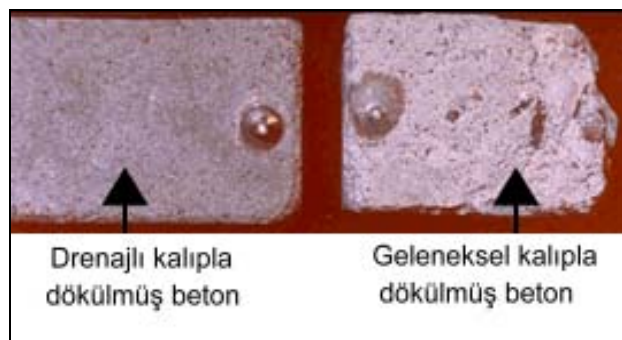
Beton yüzeyindeki gözeneklerin genellikle dayanıklılıktan ziyade estetik bir problem olduğu düşünülmektedir. Ancak, gözenekler gibi yüzey düzensizlikleri yağmurlu bölgelerdeki yapılarda yağmur taneleri içerisindeki serbest malzemelerin yüzeydeki boşluklara girerek burada aşınma ve bozulmalara sebep olarak yapı performansını etkilemesine sebep olabilir.

Geçirgen kalıplar gözenek sayısını azaltmaktadır. Marasszeky ve diğerleri (1993); geçirgen kalıp ve geçirgen olmayan kalıplarla dökülen beton bloklarda gözenek alanlarını ve düzgün yüzey alanlarını ölçmüşlerdir. Geleneksel kalıplarla dökülen blokların; yüzey alanları %0,59-1,5 arasında gözenek içermektedirler. Geçirgen kalıplarla dökülen blokların içerdikleri gözenekler yüzey alanının %0,1'den daha azdır. Richardson (1994) eğimli yüzeylere beton dökülürken geçirgen kalıp kullanılmasının gözenek sayısını azaltmada yararlı olduğunu ve aynı zamanda beton yüzeyinin hemen altındaki boşlukların sayısını da azalttığını belirtmiştir.

Cron (1970); Los Angeles Union Terminali üzerindeki çalışmalarında (terminal inşa edildikten 3 yıl sonra) geçirgen kalıplara dökülen beton yüzeydeki kılcal çatlakların tamamen kaybolduğunu bildirmiştir. Terminalin bitişindeki ve terminalle aynı zamanda geleneksel kalıplara dökülmüş beton yüzeylerde oldukça fazla kılcal çatlaklar bulunmaktadır. Kılcal çatlaklar kür döneminin başlarında su kaybına neden olmuşlardır ve karbonatlaşma hızlanmıştır (Neville, 2002). Price ve Widdows (1992); geçirgen kalıplar kullanıldığında ilk dönemlerdeki su kaybı ve karbonatlaşma oranının azaltıldığını göstermişlerdir.

2.4.2 Donma ve çözülme dayanımı

Drenajlı-astarlı kalıplarla dökülen betonların yüzeylerinin daha yoğun olması betonu donma-çözülme hasarına karşı daha dayanıklı hale getirmektedir (Mather, 1990). Resim 2.4'te sodyum sülfat don dayanımı deneyine tabi tutulmuş geleneksel ve drenajlı-astarlı kalıplara dökülmüş beton numunelerinin deney sonraki hasarları görülmektedir. Çizelge2.2'de bir grup araştırmacı tarafından geçirgen kalıplar ile hazırlanan betonların donma ve çözülmenin verdiği zararlara karşı hassasiyetini belirlemek için yapılan testlerin sonucunu özetlemektedir. Test malzemeleri ve test metotları değişmektedir fakat sonuçlar geçirgen kalıpların donma ve çözülmenin verdiği zararı azalttığını göstermektedir. Deney numuneleri üzerindeki hasarın; geleneksel kalıplarla hazırlanan kontrol numunesi üzerindeki hasarların %19 ile %1'inden daha azı arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Sonuçlar test edilen beton tipleri ve test şartlarından etkilenmektedir. Bununla birlikte; geçirgen kalıpla dökülen betonlarda oluşan hasarın; geleneksel kalıplarla dökülen betonlarda oluşan hasarın beşte birinden daha az olduğu sonucuna varılabilmektedir.



Resim 2.4 Drenajlı-astarlı ve geleneksel kalıpla dökülmüş betonların donma-çözülme deneyi sonrasındaki durumları (DuPont, 1997)

Çizelge 2.2 Drenajlı-astarlı olan ve olmayan kalıplarla dökülmüş betonların donma-çözülme dayanımı testi sonuçları

Referans	Çimento İçeriği (kg/m ³)	W/C	Mineral katkı	Test Türü	Kayıp Miktarı		
					Drenajlı Astarlı Kalıp Numunesi	Kontrol Numunesi	Kontrolde Yüzde Kayıp
Skjolsvold (1991)	384	0.42	28 saykıldan sonra kütle değişimi (kg/m ³)				
			%4.7	İsviçre			
			Uçucu kül	SS137244	0.02	2.54	0.01
Farrahmandpour (1992)	-	-	306 saykıldan sonra kütle değişimi				
			-	-	+%96	-%63	-
Beddoe (1993)	355	0.55	28. saykıldan sonra kütle kaybı (kg/m ²)				
			-	-	0.10	6.2	2
			50. saykıldan sonra kütle kaybı (kg/m ²)				
			-	-	0.17	7.87	2
Wilson (1994)	325	0.57	28. saykıldan sonra kütle kaybı (kg/m ²)				
			-	-	0.06	1.12	5
			375	0.44	-	-	0.01
Arslan ve ark.(2003)	400	0.47	5. saykıldan sonra kütle kaybı (gr)				
			-	TS4045	239	501	2

2.4.3 Yüzeyde karbonatlaşma

Geçirgen kalıplara dökülen betonlarda gözlenen yüzey yoğunluğu artışı betonu karbonatlaşmaya karşı daha dayanıklı yapabilir. Karbonatlaşmayı azaltabilecek üç etki oluşmaktadır;

- 1- Geçirgen kalıplar tarafından betonda oluşturulan daha pürüzsüz yüzey, atmosfer ile temasta olan alanı azaltır,
- 2- Yoğunluktaki artış karbondioksitin beton içerisine difüzyon oranını azaltır,
- 3- Yüzey tabakasında artan çimento miktarı, ilave kalsiyum hidroksit meydana getirebilir ki bu da yüzeylerin alkalinitesini devam ettirir.

Çizelge 2.3'te bir grup araştırmacı tarafından geçirgen kalıplarla hazırlanan betonların içindeki karbonatlaşma oranı ile ilgili yapılan testlerin sonuçlarını özetlenmektedir. Test malzemeleri ve test metotları değişmektedir fakat sonuçlar geçirgen kalıpların karbonatlaşma oranını azalttığını göstermektedir. Deney numunelerindeki karbonatlaşma derinliği; geleneksel kalıplarla dökülen kontrol numunelerinde ölçülen karbonatlaşma derinliğinin %64 ile yaklaşık %5'i arasında değişmektedir. Sonuçlar test edilen beton tipi ve test şartları ile değişebilir; bununla birlikte geçirgen kalıplarla dökülen betonlarda gözlenen karbonatlaşmanın benzer şartlarda geleneksel kalıplarla dökülmüş betonlarda gözlenen karbonatlaşmanın %50'sinden daha az olduğu sonucuna varılabilir.

Çizelge 2.3 Drenajlı-astarlı kalıplarla yapılmış betonların karbonatlaşma testi sonuçlarının geleneksel kalıpla dökülen betonlarla karşılaştırması

Referans	Çimento İçeriği (kg/m ³)	W/C	Mineral katkı	Test Türü	Karbonatlaşma Derinliği (mm)		
					Drenajlı Astarlı Kalıp Numunesi	Kontrol Numunesi	Yüzde Fark
Skjolsvold (1991)	-	-	-	22 hafta sonra %3 CO ₂ %60 RH ¹	4	12	33
Farrahmandpour (1992)	-	-	-	CO ₂ etkisinde 60 gün sonra	1.3	25.4	5
Karl and Solacolu (1993)	285	0.65	-	-	3.1	4.8	64
	300	0.49	%13 Uçucu kül	180 gün sonra %3 CO ₂	3.3	9.5	29
Wilson (1994)	250	0.76	-	11 ay sonra doğal karbonatlaşma	5	9.9	50
	285	0.65	-		4.2	8.1	52
	400	0.48	-		1.9	7.0	27

¹Bağıl nem oranı

2.4.4 Klor-iyonu nüfuz oranı

Klor-iyon nüfuzuna karşı gösterilen direnç özellikle çelikle güçlendirilmiş betonların hizmet süreleri için çok önemlidir. Çünkü klor-iyonu çelik donatılarda korozyon oluşumunu hızlandırmaktadır. Çelikte oluşan korozyon orijinal hacmini 2-3 kat arttırmaktadır.

Meydana gelen bu ilave hacmin neden olduğu gerilme beton yüzeyinde çatlaklara ve dökülmelere neden olacaktır. Betonda karbonatlaşmadan dolayı çelikte meydana gelebilecek korozyon; klor tarafından meydana getirilebilecek korozyonla kıyaslandığında daha yavaş bir bozulma meydana getirecektir (klor tarafından oluşturulan korozyon atmosferik korozyondan çok daha hızlı bir bozulma meydana getirir). Betonun pH'ı 9,0 veya daha aşağıya düştüğünde ve çeliğe bitişik betonun klor-iyon konsantrasyonu 0,77 kg klor iyonu/m³ olduğunda çelikte ozulma en hızlı şekilde meydana gelmektedir (Perenchio, 1994).

Çizelge 2.4'te geçirgen kalıplarla hazırlanmış beton içerisine, klor-iyon nüfuz oranını belirlemek için bir grup araştırmacı tarafından yapılmış test sonuçlarını özetlemektedir. Test malzemeleri ve test metotları değişmektedir fakat; sonuçlar geçirgen kalıpların klor-iyon nüfuz oranını azalttığını göstermektedir. Klor konsantrasyonu olarak veya deney numunelerindeki elektrik iletkenliğinin artışı olarak ölçülen klor-iyon nüfuzu derinliğinin; geleneksel kalıplarla dökülen kontrol numunelerinde ölçülen klor-iyon nüfuzu derinliğinin %67'si ile yaklaşık %45'i arasında olduğu tahmin edilmektedir. Test sonuçları nüfuzu ölçmek için kullanılan yöntemlere, test edilen beton tipine ve test koşullarına göre değişmektedir. Bununla birlikte; geçirgen kalıplarla hazırlanmış ve benzer klor zenginliğine sahip şartlara maruz kalan betonlarda gözlenen klor-iyon nüfuzunun genellikle %60'ından az olduğu sonucuna varılabilir.

Çizelge 2.4 Çeşitli araştırmacıların yaptığı klor-iyon nüfuzu deney sonuçları

Referans	Çimento İçeriği (kg/m ³)	W/C	Mineral katkı	Test Türü	Drenajlı Astarlı Kalıp Numunesi	Kontrol Numunesi	Yüzde Fark
Klor difüzyon katsayısı							
Widdows and Price (1990)	288	0.66		TEL ¹ Precedure A9	3,5.10 ⁻⁹	7,68.10 ⁻⁹	45
Etkin difüzyon sabiti 10 ⁻⁷ cm ² /s							
Skjolsvold (1991)	-	-	-	AASHTO ² T227-831 ²	5.79	9.41	62
Çimento miktarına bağlı klor % si (0-2 cm derinliğinde)							
Karl Solacolu and (1993)	285	0.65	-	90 gün %5 NaCl	1.95	2.90	67
	300	0.49	%13 Silis Dumanı	90 gün %5 NaCl	2.09	3.47	60
Arslan (1999)	400	0.47	-	120 hafta %5 NaCl	1.66	4.63	64
¹ TEL Procedure A9 : Taywood Engineering, Middlesex, England. ² American Association of State Highway and Transportation Officials.							

2.4.5 Yüzey dayanımında (sertliği) artma

Schmidt çekici ve pin penetrasyon testi gibi yüzey mukavemeti ölçen metotlar kür edilmiş betonların tümü mukavemetlerindeki değişiklikler hakkında bilgi edinilmesinde faydalanılmaktadır.

Yüzey test sonuçları; yüzey düzgünlüğünü, kullanılan agrega tipi ve kullanılan kalıp tipini de içeren bir çok faktörden etkilenmektedir (Malhotra, 1994). Kolek (1958); betondan yapılan Schmidt çekici okumaları ile Brinell sertlik metodu kullanılarak ölçülen sertlik arasında bir korelasyon olduğunu göstermiştir.

Çizelge 2.5'te bir grup araştırmacının Schimidt çekici tekniğini kullanarak hazırladıkları beton numuneleri karşılaştırmak için yaptıkları test sonuçlarını özetlemektedir. Test malzemelerini ve test yöntemleri değişmektedir, fakat sonuçlar geçirgen kalıpların geri tepme okuma değerlerini artırdığını yani geçirgen kalıpların daha sert yüzeyleri ürettiğini göstermektedir. Geri tepme okuma değerleri geçirgen kalıplarla dökülen betonlar için %10-18 daha yüksektir. Sonuçlar kullanılan test metodu ve test edilen beton tipine göre değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte; geçirgen kalıplarla hazırlanan betonların Schimidt çekici okumaları geleneksel kalıplarla hazırlanan betonlardan elde edilen okumalardan %10-18 arasında daha fazla olduğu sonucuna varılmaktadır. Marosszeky ve diğerleri (1993); geçirgen kalıplarla hazırlanan betonların geleneksel kalıplarla dökülen betonlara kıyasla yüzey mukavemetini yaklaşık %20 artırdığını belirtmektedir.

Geleneksel kalıba dökülen betonların geri tepme değerindeki %10'luk bir artış betonun basınç dayanımında yaklaşık 6MPa'lık bir artışa karşılık gelmektedir (Zolders, 1957).

Geçirgen kalıplarla dökülen betonlardaki daha yoğun yüzey tabakası sadece birkaç 10 milimetre derinliğe kadar uzanır. Schimidt çekici ile elde edilen veriler üzerinde yapılacak en mantıklı yorum; geçirgen kalıplarla dökülmüş betonun kazandığı mukavemet Schimidt çekici değerleri ile serbest basınç mukavemeti eğirleri betonun mukavemetini olduğundan %10 veya daha fazla hata ile tahmin edilmesine neden olacaktır.

Çizelge 2.5 Drenajlı astarlı kalıplarla dökülen betonlardaki geri tepme değerlerinin geleneksel kalıplarla dökülen betonların karşılaştırılması

Referans	Çimento İçeriği (kg/m ³)	W/C	Test Türü	Schmidt Çekici Verileri		
				Drenajlı Astarlı Kalıp Numuneleri	Kontrol Numuneleri	Yüzde Fark
Widdows ve Price (1990)	250	0.76	Schmidt Çekici	39	34	114
	400	0.48		47	40	118
Farrahmandpour (1992)	-	-	Schmidt Çekici	35.5	32.4	110
Karl ve Solacolu (1993)	285	0.65	DIN 1048	32	29	110
			Part 2	34	31	110
Subaşı (2001)	400	0.48	TS	34.2	30.9	110

2.4.6 Kalıp kaplama (koruma) gereksiniminde azalma

Astar malzemelerinin dokuma gözeneklerini tıkaması veya malzemedeki liflerin genişlemesine neden olduğundan dolayı kalıp ayırıcı bileşikler genellikle kullanılmazlar. Bazı deneysel çalışmalar kumaş astarların (fabric liner) kaplanması için bazı parçaların kullanılabileceğini göstermektedir (U.S. Patent Office, 1992). Fakat kalıpların hazırlanması ile ilgili teknik prosedürler genellikle kalıp ayırıcı bileşiklerin uygulamalarını gerekli bir prosedür olarak kapsamamaktadır.

2.4.7 Kür için harcanan çabada azalma

Genelde geçirgen kalıplar astar malzemesinin her metre karesinden yaklaşık 0,5L (litre) su emer. Beton döküldükten hemen sonra beton yüzeyinde mevcut olan bu su küre katkıda bulunur. Brooks ve arkadaşlarının yaptığı araştırmada (U.S Patent Office, 1943); astarların kür süresince suyun beton tarafından tekrar emilmesine imkan sağladığı belirtilmiştir. Kalıp ve astar söküldükten sonra kür gereksinimi geleneksel kalıpla dökülen betonlardakine benzerdir. Cron (1970); emici kalıplarla dökülen betonların yetersiz kürden

daha az etkilendiğini bildirmiştir. Geçirgen kalıpların sertleşme durumuna etkisi; havada kür edilen numunelerde daha az nem kaybına; nem kürüne tabi tutulan numunelerde daha az nem emmesine neden olmaktadır.

Long, Shaat ve Basheer (1995); geçirimli astarlı kalıplara dökülen ve geleneksel kimyasallarla kür edilen beton numuneleri teste tabi tutmuşlardır. Kalıplar 24 saat sonra sökülmüştür ve numuneler 20°C sıcaklık ve %55 nisbi nemde muhafaza edilmiştir. Geçirgen kalıp kullanılması nedeniyle karbonatlaşma ve klor-iyon girişindeki azalmada sağlanan başarı her kür metodunda geçirgen kalıpların geleneksel kalıplardan daha iyi sonuç verdiğini ortaya çıkarmıştır. Price ve Widebws (1991,1992) ve Price (1992,1993) benzer sonuçları açıklamışlardır.

2.4.8 Kaplama için yüzey hazırlığında azalma

Yüzey kaplamaları yeni beton yüzeyindeki yumuşak tozlu malzemelerden dolayı bu yüzeylere iyi yapışmazlar. Yüzey kaplama uygulaması için yapılan hazırlık; kaplama için daha sert bir yüzey sağlamak için tel fırça kullanımını veya kum püskürtmeyi kapsamaktadır. Tipik kusur gözenekleri kaplamadan önce yamanır (doldurulur). Geçirimli kalıp astarlarıyla elde edilen beton yüzeyler daha sağlam ve gözeneksizdirler ve kaplamalar; kaplama öncesi hazırlığa gerek kalmadan direk uygulanabilirler (Malone, 1999)

2.5 Geçirgen Kalıpların Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar

Geçirgen kalıplara dökülen beton yüzeylerde elde edilen gözle görülür en büyük iyileşme yüzeydeki hava dolu gözenek kusurlarındaki azalmadır. Standart uygulamaları özetleyen dokümanlar (ACI 309.2R, 1990) emici kalıpların kullanılmasının kusur gözeneklerini azalttığını onaylamaktadır. Fakat, gözeneklere sebep olan havanın düzgün kalıp ve doğru kalıp ayırıcı bileşimler kullanılarak giderilebileceğini belirtmektedir.

Betonun hidrolik uygulamalarında, betonun oyulma erozyonunu minimize etmek için çok düzgün bir kalıp yüzeyine ihtiyaç duyulmaktadır. Beton yüzey düzgünlüğü sınıfı Çizelge 2.6'da verilmiştir. Dolusavaklar, tüneller ve su hızının 12m/sn veya daha büyük olduğu su geçitleri için AHV denilen özel bir beton sınıfı tavsiye edilmektedir (Department of the Army, 1994). AHV sınıfında A sınıfı ile aynı düzensizliklere müsaade etmektedir. AHV sınıfını oluşturmak için gerekli malzeme ve işçilik A sınıfının gereksinimleri ile aynıdır. A sınıfı yüzeyler elde edilirken kalıp yapımı için genellikle plywood veya düzgün yüzeyli ve zıvanalı keresteye ihtiyaç duyulurken, AHV sınıfı yüzeylerin elde edilmesinde çelik kalıp kullanılmasına da müsaade edilmektedir (Department of Army, 1991). Yüzey düzgünlüğü ile ilgili şartnamelerin tümü geleneksel kalıpların kullanımına müsaade etmekle birlikte; durabilitesi ve aşınma dayanımı daha yüksek bir beton yüzeyi elde edilebilmesi için geçirgen veya emici kalıpların kullanılması önerilmektedir.

Çizelge 2.6 Kalıp yüzeyindeki kabul edilebilir düzensizlikler

Düzensizlik tipi	Yüzey sınıfı			
	A	B	C	D
Aşamalı	3 mm	6 mm	13 mm	25 mm
Ani	3 mm	6 mm	6 mm	25 mm
ACI (1997) 'den sonra				

Daha dayanıklı bir beton yüzeyine ve yüzey düzensizliklerinin azaltılmasına ihtiyaç duyulduğunun fark edilmesi beton dökümü için geçirimli kalıp astarların seçilmesini zorunlu kılmaktadır. Bazı yüzey düzensizlikleri tekstildeki kıvrımlardan kaynaklanabilir. Dokuma olmayan sentetiklerde 0,1-0,2mm'ye kadar yada daha büyük olan gevşeklikler kıvrım oluşturabilir ve bu kıvrımların beton yüzeyi üzerindeki izleri gözle görülebilir. Dokuma olmayan sentetikler eğer 20 dakikadan fazla güneş ışığına maruz kalırlarsa maksimum

%15 kalıcı genleşmeye maruz kalabilirler. Böyle malzemeler normal olarak kıvrım oluşmaması için kalıba monte edilirken %0,3-%0,5 oranında gerilirler (Department of the Army, 1994). Tüm kalıp astarları (geçirimli ve geçirimsiz) eğer ıslatılır veya beton dökümünden önce ısınmasına müsaade edilirse harekete maruz kalır. Astarlar gerilir ve tel raptiye, bant, yapıştırıcılar veya vidalarla tutturulursa oluşabilecek kıvrımlar minimize edilebilir. Kıvrımlardan kaçınmak için gerekli özen gösterildiği zaman, geçirgen kalıplarla yoğun yüzeyli ve yüzey sınıfı A veya AHC olan beton yüzeyleri elde edilebilir.

2.6 Geçirgen Kalıp Seçimini Etkileyen Faktörler

Geçirgen kalıpların geleneksel kalıplara tercih edilmesinin ana sebepleri maliyet farkı, uygun olmayan kullanım riski ve kullanım zorluklarıdır (montaj ve sökme) (Department of Army, 1952). Maliyetlerdeki tasarruf özel kullanım ve betonun hizmet verdiği ortam ile yakından ilişkilidir. Geçirgen kalıpların tekrar kullanımı kritik bir faktör olarak kabul edilebilir.

2.6.1 Geçirgen kalıp kullanımının maliyete etkileri

Ayrı tip yapılar inşa etmek için geçirgen kalıpların tekrar kullanılma kabiliyeti kullanılan geçirgen kalıbın türüne, malzemelerin montaj ve sökümünde gösterilen itinaya bağlıdır. Emici kalıp panelleri kullanıcılar tarafından daima tek kullanımlık olarak düşünülürler (Johnson, 1941, Bidel ve Blanks, 1942, Cron, 1970). Emici kalıp astarlarının modern bir versiyonu olan ve süper emici polimer tabaka kullanan sistemlerde tek kullanımlık olarak geliştirilmişlerdir (Harrison, 1991).

Filtre ve drenaj tabakasını birlikte içeren ve tek tabakadan oluşan tekstil kalıplar düşey yüzeylerde 5 defaya, eğimli yüzeylerde 15 defaya kadar başarıyla kullanılabilirler. Kalıp panelleri her kullanımdan sonra yüksek basınçlı su ile temizlenmelidir. Polyester filtre malzemesi ve polietilen drenaj

malzemesinden oluşan iki tabakalı dokuma kalıp astarlarının tekrar kullanımı astarın tekrar gerilme gereksinimi ile ilişkilidir. Astarın tekrar gerilmesi astarın köşelerinde yıpranmaya neden olur ve tipik olarak sadece bir kez yapılabilir (Harrison, 1991).

Karl ve Solacolu (1993) dokuma olmayan geçirimli kalıp astarlarının üzerinde yaptıkları denemelerde; bu malzemelerin ikinci veya üçüncü defa kullanılmasının beton yüzeylerin özelliklerini azalttığını (zayıflattığını) belirlemişlerdir. Üçüncü kullanımda, klor penetrasyonu ve karbonatlaşma derinliğı birinci kullanımdakine oranla en az iki kat artmaktadır. Onlar bunu kalıp panellerindeki ince (küçük) gözeneklerin sertleşmiş çimento macunu ile tıkanmasına bağlamaktadır. Kalıp panellerinin söküldükten hemen sonra temizlenmesi girişimi de başarısız olmuştur.

Japon inşaat firmaları astarlı kalıp kullanmanın maliyetinin geleneksel kalıp maliyetinin 3,5-4,5 katı arasında değıştiğini tahmin etmektedir (Reddi, 1992). Bazı araştırmacılar tarafından hazırlanan analizler astarlı kalıp maliyetinin geleneksel kalıp maliyetinin 1,78-1,96 katı arasında değıştiğini göstermiştir (Marosszeky ve diğeri, 1993). Reeves (1993)'e göre; kullanılan astarın maliyeti, kalıpta kullanılan plywood'un maliyetine eşit olduğı farz edilebilmekte ve bu da kalıbın maliyetini yaklaşık ikiye katlamaktadır.

Ahşap beton yüzeyi ile direk temas etmediğinden; kalıpta daha düşük kalitede ucuz ahşap kullanılarak biraz tasarruf gerçekleştirilebilir. (Reeves, 1993) Geçirgen kalıplarla kullanılan tüm ahşaplar; ahşap içindeki doğal şekerin etkilerini engellemek için detaylı olarak incelenmelidir. Eğer daha ucuz ahşabın kullanılmadan önce kaplanması gerekiyorsa; bu yapılan tasarrufu ortadan kaldırabilir. Cron (1970); emici astarlar kullanıldığını zaman maliyetten tasarruf edileceğine dikkat çekmiştir. Çünkü, masif kalıplar hasar görmekten korunacaktır ve ihmal edilebilir bir maliyetle tekrar kullanılabilir.

Kalıp astarları kullanıldığında yüksek kaliteli ahşaplar daha uzun ömürlü olacaktır.

Sonuçta, maliyetten tasarrufla ilgili herhangi bir tartışma, geçirgen kalıp kullanmanın betonun dayanıklılığında meydana getirdiği artışa bağlı olacaktır. Geçirgen kalıplar özellikle tuzlanan yollar (Stark ve Knauck, 1997, Stark and Lugwig, 1997), deniz çevresi (Long ve diğerleri, 1994) ve yüksek tuz içeriğinin betonarme yapıların hizmet ömrünü kısaltmak için birleştiği alanlar gibi betonun sert şartlara maruz kaldığı alanlarda en büyük maliyet tasarrufunu sunmaktadır (Price, 1992). Geçirgen kalıplar tamiratın zor ve pahalı olduğu durumlarda çok yararlı bir seçenek olmaktadır. Örneğin Kanada'daki Konfederasyon köprüsünde, ayakları korumak için kullanılan buz kalkanlarında geçirgen tekstil kalıplar kullanılmıştır. Ayrıca nükleer güç santrallerindeki kritik depolama yapılarında ve prefabrike beton tünel kesitlerinde geçirgen tekstil kalıplar kullanılmıştır (Kumagai Gumi Limited, 1998). Kanal kaplamaları ve su yolu gibi hidrolik yapılarda geçirgen kalıplardan başka betonun sağlam, pürüzsüz eğimli yüzeye sahip ve kusur gözenekleri olmaksızın dökülmesine imkan sağlayacak metot bulunmamaktadır.

Geçirgen kalıp kullanmanın maliyet analizi dayanıklılığı daha iyi ve hizmet ömrü daha uzun beton geliştirilmesi için alternatif stratejilere de adres göstermelidir. Nolan, Basheer ve Long (1995); silis dumanı katkısının etkileri, geçirgen kalıp kullanımı ve silane kaplama uygulaması üzerinde çalışmışlardır. Durabilite; beton test numunesinin hava geçirgenliği, su emmesi ve yüzey mukavemeti esas alınarak tahmin edilmiştir. Geçirgen kalıp kullanılması hava geçirgenliği ve su emmede önemli azalmalar meydana getirmiştir. Geçirgen kalıplar kalıcı yüzey değişiklikleri üretme avantajına sahiptir ki, kaplamalar bunu üretemez. Silis dumanı, durabilite ile ilişkili kritik faktörleri artırmaktadır fakat tek başına kullanıldığında yüzeyleri geçirgen kalıplar kadar iyileştiremez. Tüm geçirgen kalıplar durabiliteyi iyileştirmek için

en etkili prosedürü sağlamıştır. Marosszeky ve diğerleri (1993); dayanıklı bir yapı elde etmek için geçirgen kalıp kullanmanın maliyeti ile geleneksel kalıp kullanırken betonun mukavemetini artırarak diğerine eşdeğer durabilite özellikleri elde etmenin maliyetini karşılaştırmışlardır. Yazarlar geleneksel kalıplarla dökülmüş ve 50 MPa serbest basınç dayanımına sahip bir betonun 30MPa serbest basınç dayanımına sahip ve geçirgen kalıplarla dökülmüş beton ile aynı yüzey dayanıklılığına sahip olduğu sonucunu çıkarmışlardır. Onlar üzerinde çalışılan örnek yapı için; yapının dış yüzeylerindeki betonlarda geçirgen kalıp kullanmanın maliyette yaklaşık %4 tasarruf sağlanabileceği sonucunu da çıkarmışlardır.

2.6.2 Kalıp astarlarının yerleştirilmesi

Astarı kalıbın iç yüzeyine tutturmak için gerekli olan ilave malzemeler kalıbın montajı için gereken işçiliği artırır. Emici panellerin yerleştirilmesi kalıp kenarlarının veya yalıtım plakalarının yerleştirilmesine kıyasla ustalık ve ilave efor gerektirir. Tekstil astarlarının yerleştirilmesi hemen hemen duvar kağıdı kaplaması için gereken ustalık ve eforun aynısını gerektirir. Tekstil astarların yerleştirilmesi için gereken ustalık ve eforun aynısını gerektirir. Tekstil astarların yerleştirilmesi için gerekli işçilik 0,08 adam-saat/m² tahmin edilmektedir (DuPont, 1995); emici panellerde muhtemelen aynı eforu gerektirmektedir.

Emici panel astarları kalıba direk vidalarla tutturulurlar ve emici panellerin su emdiklerinde genişleyebilmeleri için montajları aralarında bir miktar boşluk bırakılarak yapılır. Boşluklar dikkatlice ayarlandığında genişleyen paneller uc uca temas eder ve düzgün bir yüzey elde edilir. Tekstil astarlar kullanıldığı zaman kırışıklıkların ve yırtılmaların olmaması için gerilmeleri esnasında gerekli itina gösterilmelidir. Germe işleminde astar kenarlarından çekilerek kalıp yanlarına veya arkasına tel raptiye ile tutturulur (raptiyeleme işi kalıbın ön yüzeyine yapılmamalıdır). Astarlar metresi 3-5 mm uzayacak kadar

gerilmelidir. Arka yüzeyi sert (katı) olarak üretilen tekstil astarların gerilmesi gerekmez kalıbın ön yüzeyine direk tutturulurlar. Tekstil astarlar metal kalıplarla kullanılırken; metal kalıbın etrafına ahşap malzeme vida ile tutturulur ve tekstil astarlar bu ahşap malzemelere tel raptiyelerle monte edilir. Sert arka yüzeyli tekstil astarlar metal kalıplara yapıştırıcılar veya bantlarla direk tutturulabilirler. Düzgün yüzey elde etmenin kritik olduğu astarların birleşim (ek) yerleri bantla kapatılabilir.

Astar kalıba monte edildikten sonra, ıslanmasına veya ısıya maruz kalmasına izin verilirse gerilebilir, sehim yapabilir veya tahrif olabilir. Astarlar kuru tutulmalı ve astarların montajı beton dökümünden önce 10°C'den fazla ısınmasına imkan vermeyecek şekilde programlanmalıdır.

Eğer tekstil astarlı kalıp tekrar kullanılacaksa; paslanmayı önleyerek beton yüzeyi elde edebilmek için tel raptiyelerin ve metal kalıp malzemelerinin geleneksel kaplamasız çelikten yapılmamış olmasına özen gösterilmelidir. Çünkü astarı sökmeden geleneksel çelik kalıptan kaynaklanan pası temizlemek mümkün değildir ve pas astardan içeri sızarak betonu lekeleyecektir. Benzer şekilde tel raptiyeler gibi metal bağlayıcılar taze betonla temas ettiklerinde betonda lekeler oluşturacaklardır. Kalıplarda paslanmaz çelikten yapılmış tel raptiyeler ve vidalar gibi pas tutmayan bağlayıcılar tercih edilmektedir.

2.7 Geçirgen Kalıplarla Dökülmüş Beton Yüzeylerin Dayanıklılığı

Geçirgen kalıpların tamamı; üzerinde kusur gözenekleri bulunmayan düzgün yüzeyli betonların dökülmesinde arazide uygulamalarında başarıyla kullanılmışlardır. Japonya, Avrupa, Kanada ve Birleşik Devletlerde yüzlerce yapı projesinde beton dökmek için geçirgen kalıplar kullanılmıştır. Çok sayıda uygulama ve dökülen yüklü miktardaki beton dikkate alındığında, geçirgen kalıpların uzun vadedeki etkileri (donma ve çözülmenin yüzeye verdiği

zararın ve karbonatlaşmanı azalması açısından) ile ilgili arazi dökümanının azlığı şaşırtıcıdır.

Cron(1970); Arazi Islah Bürosu'nun Denver'daki test alanında 1944 yılında tekstil astar kaplanmış emici panellerle numune dökünceye kadar playwoodla ve 1940'lı yıllarda yaygın olarak kullanılan iki emici panel ile döktüğü numuneleri muhafaza ettiğini belirtmektedir. Test panellerini ve binlerce m² yüzey alanına sahip tam ölçekli arazi uygulamalarının hiç biri araştırılmamıştır. Çünkü beton döküldükten sonraki 26 yıl boyunca anlaşılabilir bir hizmet değerlendirilmesi yapılmadığından bu numunelerin (panellerin) geleneksel ahşap kalıplarla dökülen betonlara kıyasla hava şartlarına karşı dayanımının üstünlüğü bilinmemektedir. 1970 yılında test programlarına ilgi yoktu. Çünkü Birleşik Devletlerde emici kalıpları kullanan yoktu ve piyasada hala sadece bir tane astar markası vardı.

Basheer ve diğerleri (1995); Kuzey İrlanda'da inşa edilen üç köprü ayağı üzerinde yürütülen bir çalışmanın sonuçlarını rapor etmişlerdir. Bu köprü ayaklarından her birinin yarısı geçirgen kalıplarla, diğer yarısı geleneksel kalıplarla dökülmüştür. Ayaklar döküldükten altı ay sonra; geçirgen kalıplarla dökülen betonun yüzey çekme mukavemeti (Pull-off testi ile) ölçülmüştür. Geleneksel playwood kalıpla dökülen aynı betonunkinden yaklaşık %27 daha büyük çıkmıştır. Geçirgen kalıplarla dökülen betonda çok daha düşük hava geçirgenliği göstermiştir. Ölçümlerde Queen Üniversitesi Hava Permeabilite test cihazı kullanılmıştır (Basheer, 1993). Basheer 1993'te özetlenen method kullanılarak yürütülen su emme deneylerinde geçirgen kalıplara dökülmüş beton yüzeylerde çok daha düşük değerler elde edilmiştir. Geçirgen kalıplarla dökülen betonların ortalama elektrik iletkenlikleri geleneksel kalıplarla dökülen betonların ortalama elektrik iletkenliğinden sadece bir miktar daha yüksektir. Betonun yerleştirilmesinden 3 yıl sonra yapılan ölçümlere göre; Longford ve Boomfield (1987) tarafından geliştirilen ve muhtemel yüksek

korozyon oranı belirleyici olarak esas alan sınıflandırmaya göre her üç köprü ayağında elektriksel dirence sahiptir.

Wilson ve Serafani (1996)' da; Birleşik Arap Emirlikleri' ndeki Port Rashid' de sulu (göl-deniz) bölgelerde geçirgen kalıplarla dökülen betonlarla geleneksel kalıplarla dökülen betonların tersine klor-iyon içeriğinde uzun vadede önemli azalmalar olduğunu bildirmişlerdir. Tuzlu su ve ısıya maruz betonlarda üç yıl sonra numuneler alınmıştır. Analizler geçirgen kalıplarla dökülen betonlarda 5mm derinlikteki klor-iyon konsantrasyonunun %35 daha az olduğunu göstermiştir. 17.5mm derinlikten alınan numuneler klor-iyon içeriğinde %65' lik bir azalma olduğunu göstermiştir.

Geçirgen kalıplarla dökülen betonlar üzerinde yapılan az sayıdaki arazi ölçümünün laboratuvar testlerinde gözlenen etkileri doğruladığı görülmektedir. Geçirgen kalıpların betonun hizmet süresini artırmadaki etkisini gösterebilmek için üç yıl sonra alınan numunelerin ötesinde ilave arazi çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

2.8 Geçirgen Kalıpların Örnek Uygulamaları

Geçirgen kalıplar dünya üzerinde yüzlerce beton yapıda kullanılmıştır. İyileştirilmiş yüzey özellikleri; özellikle denizcilik yapılarında ve buz çözücü tuzların kullanıldığı alanlarda önemlidir. İyileştirilmiş yüzeyler betonun minimum hazırlık ile kaplandığı içme suyu tankları veya atık tesislerinde de çok faydalıdır.

2.8.1 Kanada'daki Konfederasyon köprüsü için buz kalkanları

Kanada'daki New Brunswick ve Prens Edward Island arasındaki Northumberland Caddesinden geçen 13 km açıklığındaki Konfederasyon Köprüsünün destek ayağının etrafına inşa edilen konik beton eteklerde

dokuma olmayan tekstil kalıp astarları kullanılmıştır. Yuvarlak köprü ayaklarını kanaldan geçen buz kütlelerinden korumak için ayaklar beton yaka veya eteklerle çevrelenmiştir. Orjinal planda çelik yaka veya koniler düşünülmekteydi ancak yekpare betonarmenin daha etkili olacağına karar verilmiştir. Koruyucu koniler 20 m çapında ve 13,6 m yüksekliğindedir. Koni su seviyesinin 10m üzerine ve 6,4 m aşağısına kadar uzanmaktadır. Dış yüzey eğimi içeriye doğru 52°'lik açıya sahiptir. Sürüklenen buz kütleleri eğimli beton yüzeyi üzerine çıkmakta ve kendi ağırlığı altında kırılmaktadır (DuPont, 1998). Resim 2.5; köprü ayağının temeli üzerindeki tekstil astarlı ahşap kalıbı göstermektedir. Resim 2.6; kalıp söküldükten sonraki beton kalkanı göstermektedir. Tekstil astarlı dökülmüş yüzeye yakından bakıldığında; geçirimli tekstil astarları kalıpların geleneksel astarsız ahşap kalıpların tersine pürüzsüz bir yüzey oluşturduğu görülmektedir.



Resim 2.5 Konfederasyon köprüsü ayağının temeli üzerindeki tekstil astarlı ahşap kalıp



Resim 2.6 Konfederasyon köprüsünde buz kalkanlarında tekstil astarlı kalıp kullanılarak dökülmüş pürüzsüz beton yüzeyi

2.8.2 Su altında yüzen prefabrik tünel parçaları

Su altındaki ve yüzen tünelleri oluşturmak için dökülen betonarme tünel kesitlerinde dokuma tekstil kalıp astarları kullanılmaktadır. Daha yoğun bir beton yüzeyi elde etmek ve deniz suyundan kaynaklanabilecek korozyon riskini azaltmak için Japon tekstil kalıp metodu kullanılmaktadır (Kumagai Gumi Limited, 1998). Hong Kong'daki Western Limanı geçidi ve Sydney Liman Tüneli bu teknik kullanılarak inşa edilmiştir.

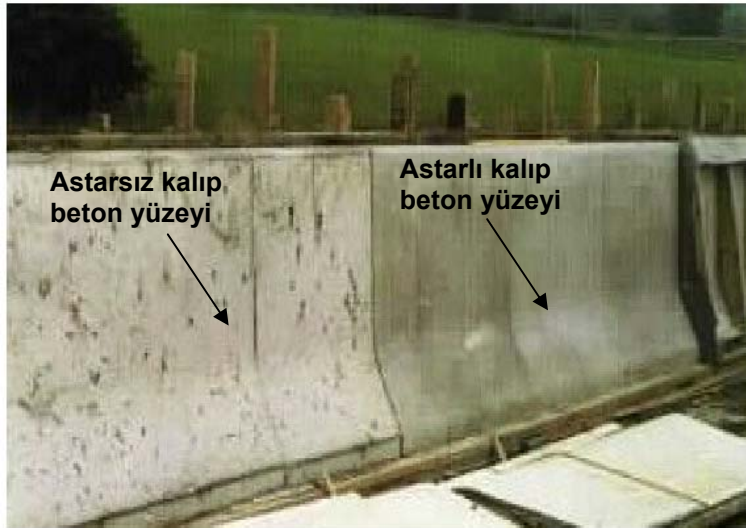
2.8.3 Kanada'daki Champlain Köprüsü için beton bariyerler

Montreal'daki Champlain Köprüsü için New-Jersey tipi trafik bariyerleri hazırlanırken dokuma olmayan tekstil kalıp astarları kullanılmıştır. Yeni bariyerler yol tuzlama çalışmalarından dolayı önemli ölçüde zarar görmüş mevcut bariyerlerle yer değiştirilmiştir (tahmini kullanılan tuz, 3000 ton/yıl'ın üzerindedir). 6 metre uzunluğundaki yeni bariyer parçaları tekstil astarlı çelik kalıplar kullanılarak dökülmüştür (Resim 2.7). 1559 m³ beton kullanılarak toplam 2600 m'lik bariyer dökülmüştür. Astar, çelik kalıplara cıvata ile tutturulmuş ahşap plakalara tel raptiye ile tutturularak elde edilmiştir. Astarlar

sadece bir döküm için kullanılmıştır. Mühendis grubu yüksek-mukavemetli beton karışımı, (35 MPa serbest basınç dayanımına sahip) epoksi ile kaplanmış çelik donatı ve minimum 25 yıl hizmet ömrüne sahip düzgün (pürüzsüz) yüzey elde etmek amacı ile tekstil astarlı geçirgen kalıp kullanmıştır (Resim 2.8).



Resim 2.7 Trafik bariyerlerinin astarlı kalıplar kullanılarak dökülmesi



Resim 2.8 Geleneksel kalıpla (solda) ve astarlı kalıplarla (sağda) dökülmüş trafik bariyerlerinin yüzey görüntüsü (astarlı kalıplarla dökülen beton yüzeyinde çok az miktarda hava boşlukları oluşmuştur.)

Geçirgen kalıpların ve beton dökümünde kullanımları şu sonuçları göstermektedir;

1. İyi dizayn edilmiş geçirgen kalıplar ; beton dökülüp vibratörle sıkıştırıldıktan sonra kalıbın hemen arkasındaki betonun w/c oranını azaltır. w/c oranındaki azalma 25-50 mm derinliğe kadarki betonu etkiler.
2. w/c oranı azalır çünkü geçirgen kalıbın hemen arkasındaki beton içerisindeki su drene olur ve çimentoyu da kapsayan ince taneler kalıbın filtre tabakası tarafından kalıba bitişik beton hacmi içerisinde tutulur.
3. Geçirgen kalıpların hava çıkışına izin verme kabiliyeti neredeyse hiç kusur gözeneği bulunmayan yüzey elde edilmesine imkan verir.
4. Yüzey betonunda w/c oranının azalması daha yoğun ve daha sağlam bir yüzeyin elde edilmesini sağlar ki buda donma-çözülme dayanımını artırır, yüzey karbonatlaşma oranını azaltır, klor-iyon nüfuzu oranını azaltır ve yüzey mukavemetini artırır.
5. Geçirgen kalıplarla dökülen betonlarda elde edilen daha yoğun yüzeyler betonu yetersiz kür uygulamalarına karşı daha az hassas yapar.
6. Geçirgen kalıp kullanmanın maliyeti iş sahaları arasında büyük farklılık gösterebilir. Bununla birlikte geçirgen kalıp kullanmanın maliyeti genellikle geleneksel düşük permeabiliteli kalıpların iki katıdır.
7. Filtre astarın arkasında kullanılan ahşap kalıbın ömrünü uzatması, herhangi bir kalıp ayırıcı bileşiklerin kullanımına gerek kalmadan uygulanabilmesi, yüzey hazırlama maliyetini azaltması (eğer bitmiş beton yüzeyine kaplama uygulanacaksa) ve bitmiş betonun hizmet ömrünü uzatması gibi faktörlerden dolayı maliyette tasarruf gerçekleştirilebilir.

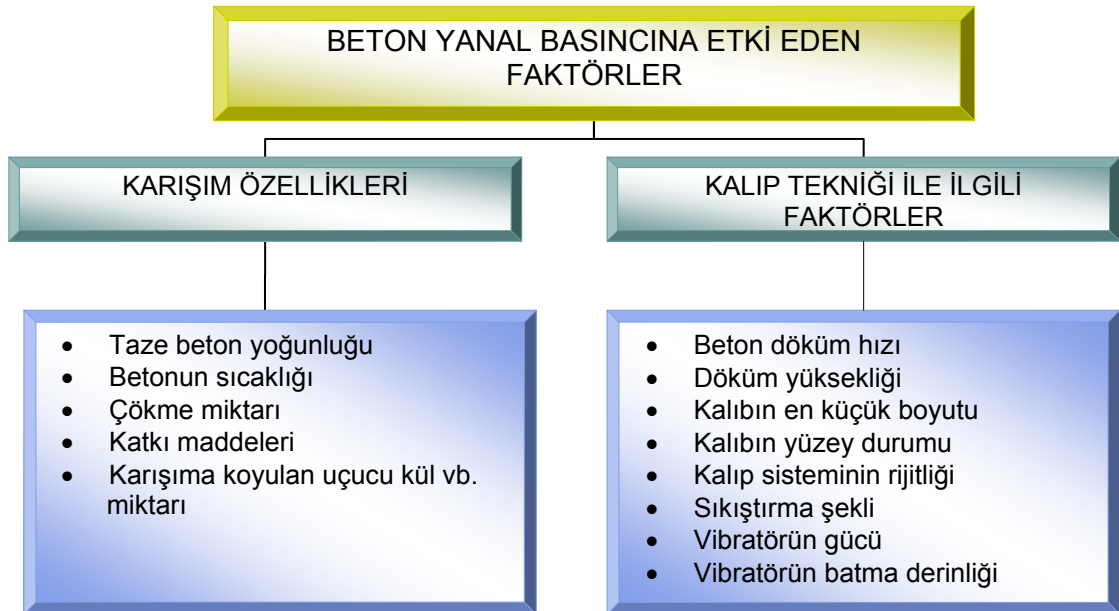
8. Geçirgen kalıp kullanmak; tekstil filtrenin bükülebileceği ve yırtılabileceği şartlara maruz kalmaması için; beton dökümü planlanırken ekstra dikkatin gösterilmesini gerektirmektedir.
9. Tekstil filtreye gelen basıncın en düşük olduğu kalıbın en üst kısımlarında kalıbın fonksiyonunu düzgün bir şekilde yerine getirebilmesi ve kalıba zarar verilmesi ile ilişkili problemlerden dolayı; kalıbın arkasındaki beton vibratörle sıkıştırılırken astar üreticisinin dikkatle takip edilmelidir.
10. İçinde silis dumanı içeren karışımlar gibi ince malzeme oranı yüksek olan beton karışımlar filtrede tıkanıklığa sebep olabilir ve geçirgen kalıpların etkisini azaltabilir ancak yinede geçirgen kalıplar hemen hemen her beton karışımı ile birlikte kullanılabilir.

3. KALIPLAR ÜZERİNDEKİ TAZE BETON YANAL BASINCI

Genel olarak kalıp yüzeyine gelebilecek maksimum yanal basınç $P = w.h$ formülü ile ifade edilebilir. Kalıbın bir noktasındaki basıncın zamanla değişiyor olmasına rağmen, bu değişimin kesin değeri kalıp tasarımcısının ihtiyaçları içerisinde değildir. Çünkü, yukarıda verilen formülden elde edilecek değer tasarımda kullanılacak maksimum değeri vermektedir. Tasarımcı bu değere göre yapacağı kalıp tasarımında en güvenli eleman kesitlerini tayin edebilir. Ancak bu değere göre yapılan kalıp tasarımlarında ekonomiklikten uzaklaşmış olacaktır. Daha gerçekçi bir kalıp tasarımı için kalıp yüzeylerine etki eden taze beton yanal basıncının büyüklüğünü etkileyen faktörlerin detaylı olarak belirlenmesinde fayda vardır.

3.1 Taze Beton Yanal Basıncı Etkileyen Faktörler

Taze beton yanal basıncının büyüklüğünü etkileyen faktörler Şekil 3.1’de gösterildiği gibi tasnif edilebilir.



Şekil 3.1 Beton yanal basıncına etki eden faktörler

3.1.1 Betonun yoğunluğu

Beton ağırlığının kalıba gelen basınca direkt etkisi vardır, çünkü bir akışkanın herhangi bir noktasındaki hidrostatik basınç, akışkanın ağırlığı tarafından oluşturulmaktadır. Taze beton, katı taneler ile suyun karıştırılmasından meydana gelen yarı akışkan bir malzemedir. Ancak betonun bir süre sonra katılaşmaya başlaması nedeni ile, bu davranışının belli bir zaman sınırı vardır (Hurd,1989).

3.1.2 Beton yerleştirme hızı

Betonun kalıp içindeki ortalama yükselme oranı “yerleştirme hızı” olarak adlandırılır. Beton kalıba yerleştirildikçe, herhangi bir noktadaki yanal basınç, bu nokta üzerindeki beton derinliği yükseldikçe artar. En sonunda belli bir zaman sonra betonun sertleşmesiyle bu noktadaki beton kendi kendini taşımaya başlar ve artık kalıpta yanal basınç meydana getirmez. Yerleştirme hızı, yanal basınç üzerine birinci dereceden etkilidir ve maksimum yanal basınç yerleştirme hızı ile doğru orantılıdır. Yanal basıncın üst limiti ise tam akışkan basıncına eşittir (Hurd,1989).

3.1.3 Vibrasyon

Vibrasyon sonucunda, normal şişlemeye göre %10-20 daha fazla bölgesel geçici yanal basınçlar meydana gelir, çünkü tüm vibrasyon derinliği boyunca betonun bir sıvı gibi davranmasına yol açabilir. Günümüzde iç vibrasyonlar yaygın olarak kullanıldığından dolayı, vibrasyondan gelen fazla basınca karşı koyabilecek şekilde kalıp tasarımı yapılmalıdır. Aynı zamanda kalıp ek yerlerinden sızıntıları önlemek için tedbirler alınmalıdır (Hurd,1989).

3.1.4 Sıcaklık

Yerleştirme anındaki beton sıcaklığı, basınç üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çünkü sıcaklık betonun olgunlaşma (sertleşme) zamanını etkiler. Düşük sıcaklıklarda betonun sertleşmesi daha uzun zaman alır. Dolayısıyla betonun daha az bir bölümü kendini taşımaya yetebilecek kadar katılaşmadan önce daha fazla derinlikte beton yerleştirilebilir. Akışkan kıvamdaki beton üst seviyesi ne kadar yüksek olursa o kadar yüksek yanıl basınçlara neden olur. Soğuk havalarda veya uçucu kül vb. katkıları kullanılarak beton yerleştirilecekse, kalıp tasarlanırken bu faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (Hurd,1989).

3.1.5 Diğer değişkenler (Etkiler)

Çeşitli zamanlarda yapılan ölçümlerde diğer bazı değişkenlerin de yanıl basınç üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Bunlar betonun kıvamı, donatının yerleştirilme şekli ve miktarı, çevre sıcaklığı, boşluk suyu basıncı, maksimum agrega boyutu, yerleştirme yöntemi, çimento tipi, yerleştirme derinliği, kalıbın en kesit ölçüsü, kalıbın yüzey düzgünlüğü ve geçirimsizliği. Ancak genel beton uygulamalarında bu değişkenlerin etkileme düzeyleri genellikle küçüktür ve dolayısıyla ihmal edilebilir. Uçucu kül ve diğer puzolanların düşük ortam-çevre sıcaklıklarında çimento ile yer değiştirilmesinde veya priz geciktirici katkıların kullanılmasında yanıl basınçlar üzerinde gözden kaçırılmaması gereken önemli etkileri olur. Benzer şekilde süper akışkanlaştırıcı katkıların etkileri ve priz geciktiricilerin etkileri de göz önüne alınmalıdır (Hurd,1989).

3.2 Beton Yanal Basıncı Üzerine Önceden Yapılmış Araştırmalar

1874'te Ernest McCullough kalıbın yüzeyinde bulunan 7/8 inç lik tahtanın kırılmasına kadar geçen zamanda bu tahtadaki deformasyonun ölçülmesi ile ilgili bir seri deney yapmıştır (Ming-Yu, 2000).

1909 yılında Shunk tarafından betonun basıncının kalıp üstündeki etkisini farklı sıcaklıklarda gözlemleyen daha geniş deneyler yapmıştır. Bu deneyler sırasında bir silindir ve dengeleyici ağırlıklardan meydana gelen deri pistondan oluşan bir ölçüm aleti kullanılmıştır. Shunk pistonu ölçekli bir kirişe bağlayarak yanal basınçları ölçerek, oluşan basıncın sıvı basıncına eşit olduğunu görmüştür. Bir süre sonra bu basıncın betonun katı bir cisim gibi davranmaya başlamasından dolayı sıvı basıncından az olduğunu tespit etmiştir. Bu yüzden kalıp üzerinde beton basıncını tahmin etmeye yönelik tavsiye ettiği metot betonun sıvı basıncının zamana bağlı olarak $C+150/R$ miktarından daha az olduğunu öneriyordu. Bu formülde R: beton döküm hızı, C: ise beton karışımının sıcaklığına bağlı olan bir katsayıdır. Her ne kadar basınç zamana bağlı olarak azalsa da bu metodla kaydedilen basınçlar hala çok yüksekti ve maksimum hidrostatik basınca yaklaşıyordu (Ming-Yu, 2000).

1913'ten 1915' e kadar olan periyotta, McDaniel ve Garver iki seri araştırma yaparak, taze betonun kolon kalıbının yüzeylerinde oluşturduğu basıncı incelediler. Testler iki boyutlu kolon kalıpları kullanılarak yapıldı ve kalıp yüzeyinde 5 farklı noktada diyafram geyçler kullanılarak basınçlar ölçülmüştür. Yinede test şartları gözle görünür oranda değişmekteydi ve aynı kolon kalıbı üzerinde farklı iki testin sonuçları arasında bile yakın karşılaştırmalar yapmak zordu. Testler taze betonu yanal basıncı hakkında belirli kurallar ortaya koymak için yeterince açıklayıcı değildi. Fakat bu testler yanal basıncın maksimum bir noktaya kadar sıvı basıncı ile beraber arttığını

ve bu noktadan sonra basıncın neredeyse sabit kaldığını gösterdi. Daha sonraki araştırmalar için bu çoğu zaman kullanılan bir kabul olarak kaldı (Ming-Yu, 2000).

1920 yılında “US. Bureau of Public Roads” tarafından pek çok deney gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kalıplar 7,8-9,1 inç yatay kesitli ve 10 feet yüksekliğindeydi. Yanal basınçlar istinat yapılarındaki toprak basıncını ölçmede kullanılan hücreler ile ölçüldü. Sonuçlar geniş bir aralıkta değişmekteydi fakat maksimum basıncın Shunk tarafından rapor edilen sıvı basınçların sadece %40’ı kadar olduğunun tespit edilmesi ilginçti. Aynı yıl Smith (1920), basınç üzerinde etkili olan altı faktörü belirlemiştir. Bunlar 1. beton döküm hızı, 2. kalıpların boyutu, 3. beton yoğunluğu, 4. betondaki çimento miktarı, 5. beton sıcaklığı ve çimentonun sertleşme zamanı, 6. agreganın özellikleridir (Ming-Yu, 2000).

Betonun sıvı halden katı hale geçmesi sırasındaki davranışının modellenmesi oldukça zor bir problemdir. 1920 yılında ilk defa Passwell buna yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Hidrostatik bir kural belirledi ve yerleştirme sırasında geçen zamana bağlı eksponensiyel bir ifade önererek, yanal basıncın $P=Awh^2/2$ formülü ile hesaplanabileceğini belirtmiştir. Formülde; A tablolarla verilen deneysel bir değer, w betonun özkütlesi, h yerleştirme yüksekliğidir (Ming-Yu, 2000).

1930 ların başında yeni konsolidasyon tekniği olan vibrasyon, mühendislerin ve müteahhitlerin dikkatini çekmiştir. Teller betonun konsolidasyonunda vibrasyonun yeni bir teknik olduğunu ve kalıpların dizaynında yeni bir etken olacağını belirtmiştir. Teller konsolidasyon metodlarının etkilerini karşılaştırmak için farklı örneklerdeki aynı beton karışım oranlarını kullandı. Kolonlarda kalıbın alt tarafındaki betonun yüksek slump’lı olmasada, kalıp dolmadan önce sıvı gibi hareket ettiğini gösterdi. Betonda vibrasyon devam

ettiği süre içerisinde düşük slump'lu betonlarda bile akışkanlık korunmaktadır. Teller sonuç olarak konsolidasyon metodunun betonun akışkanlığında önemli bir etken olduğunu ve beton akışkanlığının da kalıp dizaynında önemli olduğunu belirtmiştir (Ming-Yu, 2000).

1935 yılında Roby çimentonun ve su miktarının kalıp üzerindeki basınç etkisini ortaya çıkarmıştır. Roby, normal hızda yerleştirme sırasında, katkılı betonun normal betona göre yaklaşık %40- %60 civarında daha yüksek basınç meydana getirdiğini, zayıf karışımın %10- %15 civarında daha az basınç oluşturduğunu, kuru karışımın yaklaşık %20 -%25 daha az basınç oluşturduğunu ve hava sıcaklığı arttıkça yanıl basıncın azaldığını ortaya koymuştur (Ming-Yu, 2000).

1939 yılında, White ve Paaswell yatay toprak basıncı teorisini baz alarak elastisiteyi kullanarak ilk ciddi araştırmayı yaptılar. Sonuçlarını “zemin ve beton yanıl basıncı” adlı kitapta yayınladılar. White ve Paaswell ilave yükten kaynaklanan yanıl basıncın hesaplanmasında temel elastisite kanunlarını ve Boussinesq formülünü kullanarak maximum basıncın $P = 0,52 w H t_0$ formülü ile bulunabileceğini ifade etmişlerdir. Formülde, w betonun ağırlığı, H yerleştirme hızı, t_0 betonun sertleşme zamanını ifade etmektedir (Ming-Yu, 2000).

1940'lara kadar beton kalıplarının dizaynı, betonun bir akışkan gibi hareket ettiği ve derinliğe bağlı hidrostatik bir basınç oluşturduğu kabulüne dayanmaktaydı. 1947 yılında Macklin, betonun sıvı hareketi ile alakalı hipotezin doğal birçok testten çıkarıldığını fakat doğru olmadığını belirtti. Kalıp yüzey tahtası ve destek kirişlerindeki deformasyonları ölçerek elde ettiği sonuçlara göre; beton karışımındaki çimento miktarını gözardı ederek taze betonun kalıplar üzerinde oluşturduğu yanıl basıncı belirleyen exponansiyel biçimli deneysel bir formül elde etmiştir.

$$P = 150.R^{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{R}}\right)}$$

Formülde;

P= yanal basınç (psf),

R= yerleştirme hızı (ft/hr), ifade etmektedir.

Formül iki düzenlemeye tabii tutuldu. İlk olarak eğer vibrasyon betonun konsolidasyonu için kullanılacak ise 300 psf basınç döküm hızından bağımsız olarak bulunan basınca eklenmelidir. İkinci olarak eğer karışım oranları 1:2:4 ise deneysel düzeltme faktörü kullanılması önerilmiştir.

1950'lere kadar çoğu araştırmada hidrolik ve pnomatik basınç hücreleri konsolidasyon metotlarını ölçüm ve gözlemlemek için kullanıldı. 1952 yılında Rodin; taze betonun kalıp üzerindeki yanal basıncın deneysel sonuçlarını gözden geçirdi. Farklı faktörlerin relatif etkilerini analiz etti ve iki denklem önerdi;

$$P_{max} = 400.R^{1/3}$$

$$H_{max} = 3,6.R^{1/3}$$

Formülde;

P_{max}= maksimum beton basıncı (psf)

H_{max}= maksimum basınçta betonun yüksekliği (ft)

R = beton döküm hızı(ft/hr), ifade etmektedir.

Rodin bununla birlikte taze betonun meydana getirdiği basıncın etkiyen faktörleri özetledi;

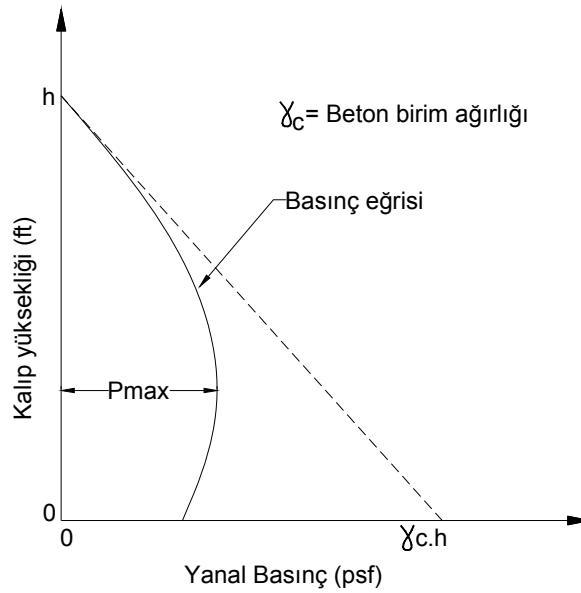
- ✓ Kalıpta beton dolum hızı
- ✓ Beton yerleştirme metodu(elle veya vibratörle)

- ✓ Karışım oranları ve kıvam
- ✓ Beton sıcaklığı
- ✓ Betonun sertleşme hızı
- ✓ Kalıp boyut ve şekli

Betonun granüler bir malzemeye benzediğini varsayarak ve Tezaghi (1943) tarafından bulunan “kemerleşme etkisi” adında bir teori uyguladı. Rodin özel durumlar dışında davranışın neden hidrostatik olmadığı fiziksel olayını rasyonel bir şekilde açıklamaya çalıştı. Kemerleşme etkisinin ve betonla kalıp arasındaki sürtünmenin yanıl basınç dağılımını belirli bir şekilde etkilediğine inanıyordu (Şekil 3.2)

Rodin kemerleme etkisinin derecesinin öncelikle (1) kalıbın kendisinde meydana gelen akma ve deformasyon tarafından, (2) kalıbın genişliğinin yerleştirme beton yüksekliğine oranı tarafından etkilendiğini belirtmiştir. Genişliğin yüksekliğe olan oranı ne kadar küçükse kemerleşme etkisinin de o kadar büyük olduğunu ifade etmiştir.

Rodin kalıpta meydana gelen basınç değerinin genel şeklini belirleyen beş fiziksel faktörü sıralamaktadır; (1) agrega tarafından meydana getirilen kemerleşme etkisi, (2) çimentonun sertleşme hızı, (3) çimentonun büzülmesi, (4) beton yüksekliğinin artması ile birlikte kalıbın relatif rijitliği, (5) beton yerleştirme yöntemi.



Şekil 3.2 Beton yanal basınç eğrisi (Rodin, 1952)

1955 yılında Schjödtt; kalıp basınç analizinde boşluk sıvı basıncını tanımladı ve temel zemin mekaniği tanımlarını kullanarak kalıp basınçlarını tahmin edecek teorik bir model geliştirdi. Su miktarı ve karışımdaki boşluklar teorik olarak boşluk sıvı basıncının hesaplanmasında kullanılabilir. Çalışmasında betonu boşluk suyu basıncı olan ve içsel sürtünmeli bir granüler malzeme olarak modellemiş ancak kohezyonu gözardı etmiştir.

Schjödtt modeli şu değişkenleri içermektedir; 1. kalıbın kesiti, 2. vibrasyon derinliği, 3. kalıbın geçirimsizliği, 4. boşluk sıvı basıncı, 5. yerleştirme hızı, 6. oturma zamanı, 7. kalıbın pürüzsüzlüğü, 8. betonun ağırlığı, 9. betonun işlenebilirliği.

Schjödtt yanal basınç için betonla kalıp arasındaki sürtünmeli ve sürtünmesiz bir rasyonel analiz önererek dar duvar ve kolon kalıplarında, betonun kalıptaki sürtünmesinin baskın bir etkisi olduğunu ifade etmiştir. Schjödtt betonda kalıbın sürtünmesi ile maksimum basıncın bulunabilmesi için aşağıdaki formülü önermiştir;

$$P = \gamma\lambda.(Ah_l + Kh_s).\left(1 - \frac{h}{h_s}\right) + \gamma_0.K_0.(h_l + h)$$

Sürtünmesiz durumlarda(geniş bir duvar veya bir kolon için) maksimum yanal basıncı tahmin etmeye yönelik;

$$P = \left[(\gamma - \gamma_0.K_0).\lambda\left(1 - \frac{h}{h_s}\right) + \gamma_0.K_0 \right].(h_l + h) \text{ formülünü önermiştir.}$$

1959 yılında ise vibrasyonlu beton için basitleştirilmiş bir formül bulmuştur;

$$P = 0,015\left(40 + \frac{2400K}{150 - 60K}\right).V_t$$

Formülde;

P =yanal basınç (psf)

γ = beton karışımının birim ağırlığı (pcf)

γ_0 = suyun birim ağırlığı (pcf)

K_0 = boşluk sıvı basıncının beton yüksekliğine bağlı bir fonksiyonun katsayısı

λ = zamana bağlı betonun iç sürtünmesinin fonksiyonu

h = üst noktadan basıncın hesaplandığı noktaya kadar olan derinlik(ft)

h_s = prizini almış betondan sonraki yükselen beton derinliği (ft)

h_t = vibrasyonun etkilediği derinlik (ft)

A = exponsiyel fonksiyon

K = exponsiyel fonksiyon

V = yerleştirme hızı (ft/hr)

t = betonun oturma zamanı (dak.) ifade etmektedir.

1950'ye kadar betonun sertleşmesi ile zamana bağlı olarak betonun plastisitesindeki değişimin ilgisini araştıran sınırlı sayıda araştırma yapılmıştır. 1954'te Ricovard betonun plastisitesi hakkında yaptığı araştırmasının sonuçlarını yayınlamıştır. Araştırma sonuçlarında kalıp üzerinde meydana gelen basıncı etkileyen özellikleri şu şekilde sıralamıştır; 1. betonun kohezyonu ve içsel sürtünme açısı, 2. betonun sıkıştırma metodu,

3. betonarme çeliğinin kayna sürtünme açısı, 4. kalıbın yatay kesitinin boyutları (Ming-Yu, 2000).

1955 yılında organize edilen ACI 622 komitesi (ACI 347) “beton kalıbı hazırlanmasında dikkat edilecek özellikler ve öneriler” konulu çalışmalarında (ACI 622, 1957) betonun kalıptaki yanal basıncı üzerine etkilerini de incelemişlerdir. 1962 yılına kadar komite kalıp konusu üzerine dört adet yayın hazırlamıştır. İlk (ACI 622,1957) rapor tüm komite tarafından 1957 yılında hazırlandı ve kalıpların yapım, dizayn ve kullanımı üzerine güncel uygulamaları içermekteydi.

İkincisi; (ACI 622) 1958 yılında yayınlandı ve beton kalıbının yapım ve tasarımı için hazırlık ve öneriler içeriyordu. Komite 1952 yılına kadar önemli kullanılabilir detaylar için Rodin’in çalışmalarını kullanmıştır. Daha sonra Hoffman ve Hidroelektrik Güç Komisyonu (1958) tarafından geliştirilen teoriler değerlendirilmiştir. Komite beton yanal basıncını etkileyen 13 faktör bulmuştur;

- ✓ Yerleştirme hızı
- ✓ Betonun yoğunluğu
- ✓ Betonun ağırlığı
- ✓ Maksimum agrega boyutu
- ✓ Beton karışımın sıcaklığı
- ✓ Hava sıcaklığı
- ✓ Kalıpların pürüzsüzlüğü ve geçirimsizliği
- ✓ Kalıp kesiti
- ✓ Vibrasyon nedeniyle oluşan konsolidasyon etkisi
- ✓ Yerleştirme metodları
- ✓ Boşluk suyu basıncı
- ✓ Çimento türü
- ✓ Yerleştirme derinliği

Kullanılabilir dataları gözden geçirdikten sonra, komite yerleştirme hızının, beton karışım sıcaklığının ve vibrasyon nedeniyle oluşan konsolidasyonun yanıl basıncı etkileyen en önemli faktörler olarak belirlemiştir. Komite 622 iç vibrasyonlu beton için yanıl basıncı hesaplamak üzere aşağıdaki formülü önermiştir;

$$P = C_1 \cdot \frac{(1 + C_2 \cdot R)}{T}$$

Formülde;

P = yanıl basınç(psf)

C₁= karışımın birim ağırlığının fonksiyonu

C₂= karışımın yoğunluğunun fonksiyonu

R = yerleştirme hızı (ft/ hr)

T = karışımın sıcaklığı(°F) ifade etmektedir.

1961 yılında yayınlanan “Beton için kalıp”[17] kalıp tasarımı için önemli bir yayındır. Yapım şartları, minumum tasarım gereklilikleri, kalıp malzemeleri, mimar ve mühendis sorumluluğu konularını içermektedir. 1962’de ACI standardı olarak kabul edilen “beton kalıpları için tavsiye edilen yöntemler” isimli rapor yayınlandı. ACI metodu yanıl basıncın dağılımının belirli bir noktaya kadar hidrostatik daha sonra ise sabit olduğunu kabul etmekteydi. Maksimum yanıl basıncı tespit etmede tavsiye edilen formüller üretilmiştir. Bu formüller puzolan katkısız normal yoğunluklu veya Type I’den farklı çimentolar ve dört inçten düşük çökmeli betonlar için uygulanabilmektedir;

Kolonlarda iç vibrasyonla yerleştirilmiş normal betonlar için;

$$P = 150 + \frac{9000 \cdot R}{T} \quad (\text{Maksimum } 3000 \text{ psf veya } 150 \cdot h, \text{ en az hangi değer ise})$$

Duvarlarda 7ft/ hr’den daha az yerleştirme hızlarında;

$$P = 150 + \frac{9000 \cdot R}{T} \quad (\text{Maksimum } 2000 \text{ psf veya } 150 \cdot h, \text{ en az hangi değer ise})$$

Duvarlarda 7ft/hr'den daha çok yerleştirme hızlarında;

$$P = 150 + \frac{43400}{T} + \frac{2800.R}{T} \quad (\text{Maksimum } 2000 \text{ psf veya } 150.h, \text{ en az hangi}$$

değer ise) Formüllerde;

P= yanal basınç (psf)

R= yerleştirme hızı(ft/h)

T= kalıplarda beton sıcaklığı (°F)

H= hesaplanan noktaların üstündeki taze betonun yüksekliğini (ft), ifade etmektedir.

1960'ların başına kadar betonun yanal basına, işlenilebilirliğin etkisini araştıran pek çok çalışma yapılmıştır. Beton işlenilebilirliğinin belirlenmesi çoğunlukla gelişmişti. Bu araştırmaların bir çoğunda taze beton karışımının temel reolojik özellikleri kullanılmıyordu. 1962 yılında Ritchie; beton üzerinde içsel sürtünme açısını üç boyutlu gerilme sistemi kullanarak ölçmeye çalışmıştır. Bu araştırmanın sonucu olarak Ritchie kalıp basıncı üzerinde betonun işlenilebilirliği faktörünün üzerine daha ileri araştırmalar yapılmasını önermiştir. Orta işlenilebilirlikte aynı sıkıştırma faktörleri için geniş bir agrega karışımı ve su çimento oranı seçmiştir. Ritchie sonuç olarak; 1. agregaya bağlı olarak sabit bir sıkıştırma faktöründe veya yoğunluğunda içsel sürtünme açısının arttığı, 2. su çimento oranının artması ile içsel sürtünme açısının azaldığı, (3) hava sürükleyici ve priz geciktirici katkıların kullanılmasının kemerleşme etkisini ve yanal basıncı arttırdığı yorumunu yapmıştır.

İngiltere'de CERA'ya ait bir araştırma grubu geniş şartlar altında kalıp dizaynı için 1961 yılında Çimento & Beton Birliği tarafından yapılan deneysel çalışmalarda baz alınarak yeni öneriler geliştirmiştir. Şantiyedeki olağan durumlar altında 200 basınç ölçümünün toplanmasından sonra CERA sonuçları "kalıp üzerinde betonun basıncı"(Kinnear, 1965) isimli raporunda yayınlamıştır.

CERA yanal basınç dağılımının belirli bir noktaya kadar hidrostatik daha sonra sabit olduğu sonucuna varmıştır. Değerlendirmeleri desteklemek için deneysel diyagramlar ortaya konmuştur. Bu diyagramlar önceden toplanmış verilerin regresyon analizine dayanmaktaydı. Maksimum basınç değerleri ya betonun setleşmesi yada beton ve kalıp arasındaki kemerleşme parametreleri tarafından sınırlandırılmıştır.

Betonun sertleşmesine bağlı oluşan maksimum basınç;

$$P = \frac{\Delta.R.t}{1 + C \left(\frac{t}{t_{max}} \right)^4} + 12.(8 - R)$$

Kemerleşmeden dolayı oluşan maksimum basınç;

$$P = 200 + 50.d + 20.R$$

Formüllerde;

P = yanal basınç (psf)

Δ = betonun yoğunluğu(pcf)

R = yerleştirme hızı(ft/hr)

T = yerleştirme zamanı(h)

t_{max} = betonun sertleşme zamanı(h)

C = betonun işlenilebilirliğine bağlı faktör.

d = minimum kalıp boyutu (in) ifade etmektedir.

Tasarım basıncı maksimum basınca 200 psf'lik ilave etki eklenerek belirlenmiştir. Betonun 6 ft'lik yükseklikten serbest olarak döküldüğü ve iç vibrasyonunun kullanıldığı kabul edilmiştir. Diğer çalışmalar gibi CERA tarafından üretilen formülde betona katılan ek katkıların etkisini dahil etmemiştir. Fakat bu formülleri desteklemek için katkı türlerine bağlı olarak bazı düzeltmeler önerilmiştir.

1964 yılında Berger çeşitli araştırmalardan elde edilen veriler üzerinde çalışarak bu verileri Rus Standartları ile karşılaştırmıştır. ACI 347 tarafından

uygulanan faktörlerin dışında Berger iki faktörden daha bahsetmiştir. Bunlar; betonla kalıp arasındaki yapışma ve kalıbın rijitlik değeridir. Bu faktörlerin yanal basıncı tespitinde önemli olduğunu belirlemiştir. Şekil 3.3'te görülen ABE ve ABCD eğrilerinin ordinatları betonun akışkanlığının kaybettiği zamanı simgelemektedir (Ming-Yu, 2000).

Berger yanal basınç hesaplamasında şu formülü önermiştir;

$$P = 0,00207 \cdot [\gamma \cdot (68 - t) \cdot (S + 13) \cdot V^{1/3}]$$

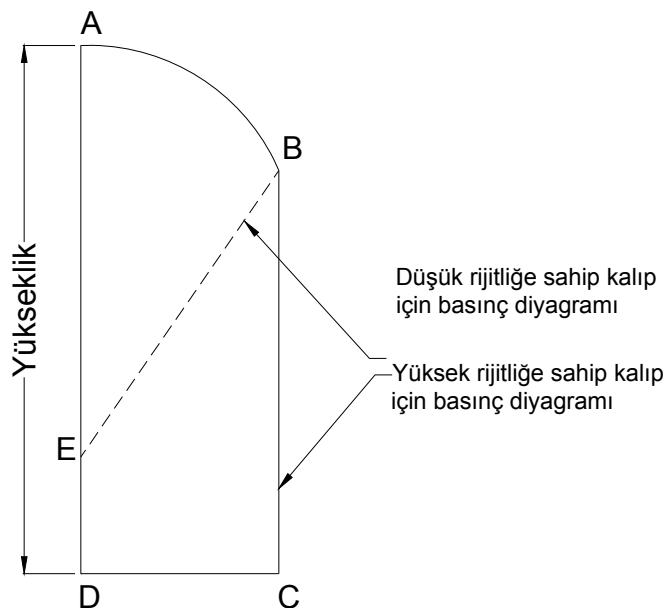
Formülde;

γ = beton karışım yoğunluğu (T/m^3)

t = betonun karışım sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)

S= beton karışım çökme miktarı (m)

V = yerleştirme hızı(m/hr) ifade etmektedir.



Şekil 3.3 Berger'e göre beton karışımının yanal basınç diyagramı

1965 yılında Hurley İrlanda da taze betonun kalıp üzerinde oluşturduğu basıncı tespit eden araştırma sonuçlarını yayınlamıştır. Basıncı dağılımının Şekil 3.4'te görüldüğü gibi iki parçadan meydana geldiğini ifade etmiştir.

Grafikte, 1. t_1 zamanına kadar oluşan düz çizgi betonun sıvı olarak hareketinin sonucu oluşan basıncı, 2. eğimli bölüm, t_2 zamanına kadar betonun sertliği ile oluşan basıncı göstermektedir. Beton yanal basıncını hesaplamada aşağıdaki formülü önermiştir;

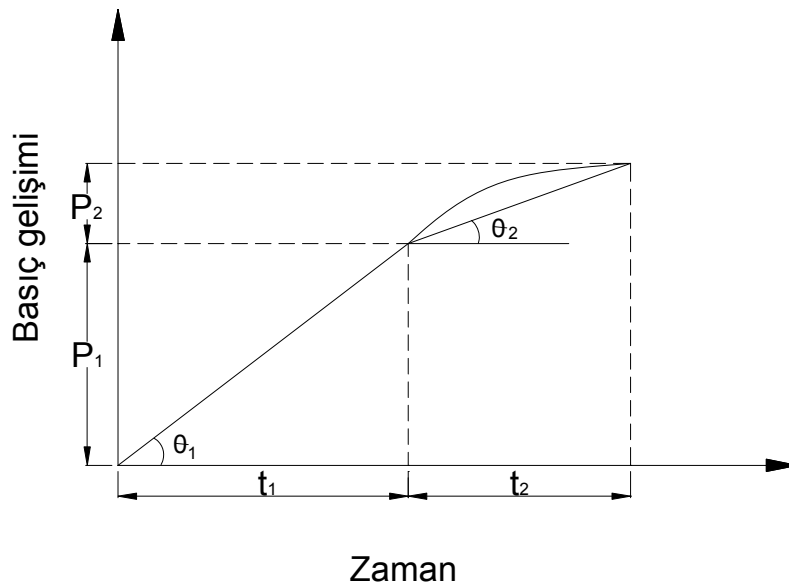
$$P = \gamma \cdot \frac{R}{60} \cdot (t_1 + y \cdot t_2)$$

Formülde;

y = karışımının akışkanlığına bağlı faktör

γ = betonun birim ağırlığı (pfs)

R = kalıpta betonun yükselme hızını (ft/hr), ifade etmektedir.



Şekil 3.4 Yanal basınç gelişim diyagramı (Hurley, 1965)

1965 yılında Peurifoy; 16 inç çapında dairesel çelik plaklardan oluşan kesitlerdeki dairesel kolonlarda sık kullanılan kalıplar üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Beton derinliği, yerleştirme hızı ve beton sıcaklığı ile basınç değişimini ölçmüştür.

Sonuç olarak beton yanal basıncının yerleştirilebilen beton derinliği ve yerleştirme hızı ile arttığı ve sıcaklık artışı ile azaldığını tespit etmiştir. Peurifoy bu konuyu “beton yapılar için kalıp” adlı kitabında daha detaylı olarak ele almıştır. Bu kitap kalıba gelen beton yanal basınç dağılımı ile ilgili deneysel ve teorik çalışmaları içermektedir(Perifoy, 1965).

1960’lardan sonra, çevresel ve enerji ile ilgili düşünceler beton içerisindeki uçucu kül miktarını artırmıştır. Ek olarak kimyasal karışımlarda geniş bir çeşitlikle ticari olarak ta bulunabilir seviyeye gelmiştir. Bu yüzden araştırmaların çoğu bu karışımların beton yanal basıncına etkileri üzerine odaklanmıştır.

1968’de Ore ve Straughan; çimento hidratasyonunun kalıp basınçları üzerindeki etkisi üzerine yaptığı deneysel çalışmaların sonuçlarını yayınlamıştır. Bu deneylerin sonuçlarına göre, normal portland çimentoların uygulandığı kalıplardaki basınçtan uçucu kül içeren karışımların kalıp basınçları daha yüksek çıkmıştır.

Olsen (1968); betonun drenajsız kesme mukavemeti ve yanal basınç ilişkilerini içeren bir çalışma tamamlamıştır. Olsen üç yönlü hücre testi kullanarak taze betonun drenajsız kesme mukavemetindeki değişiklikleri ölçmüştür. Daha sonra üç yönlü hücre testinden elde edilen beton numunelerinin gerilme – deformasyon ilişkilerini kalıp üzerindeki basınç değerleri ile ilişkilendirmiştir. Olsen, 1. taze betonun başlangıçtaki drenajsız kesme mukavemeti değerinin, çimento hamurunun başlıca yapışma bağı oluşturduğunu, 2. hidratasyon devam ederken ve karışımın sertleştiği, çimento hamurunun katılaştığı ve içsel sürtünmenin arttığını, 3. çimento ve suyun reaksiyonu sonucunda oluşan sertleşme ile kohezyon yavaşça arttığını belirtmiştir.

1974'de Olsen, Salek ve Peck; üç eksenli testten elde edilen yarı plastik betonun serbest basınç mukavemeti ile düşey kalıp yanal basıncı ilişkisini belirlemeye çalışmıştır. Çalışmaları sonucunda aşağıdaki formülü geliştirmiştir;

$$P = 2145 - 9,8.t + 223 \frac{A}{W} + 75.h$$

$$- \left[(2145 - 9,8.t + 223 \frac{A}{W} + 75.h)^2 - (643.h - 2950.t.h - 86,6 \frac{A.t}{W}) \right]^{1/2} + P_{vib}$$

Formülde;

P = yanal basınç (psf)

t = su eklenmeye başlamadan yerine konulana kadar geçen süre (dakika)

A = (yerine koyma oranı/9)+ 0,7 yerine koyma oranı ≤ 15 ft/hr veya
(yerine koyma oranı/40)+2,0 yerine koyma oranı ≥ 15 ft/hr

h = duvar arkasındaki beton yüksekliği (ft)

W = betonun birim ağırlığı (pcf)

P_{vib}= vibrasyondan dolayı meydana gelen ek basınç {100+200[1-W/10]} (psf). ifade etmektedir.

1978'de, Gardner ve Ho; kalıp hareketi, kalıp boyutu, betonun kıvam ve çökmesi, beton basınç dayanımı ve beton döküm hızı ile beton yanal basınç zarfına bağlı değişimleri belirleyen deneysel araştırma sonuçlarını yayınlamıştır. Araştırma sonucunda;

1. beton çökmesi ve yerleştirme hızının aynı anda artması maksimum yanal basıncın artmasına sebep olduğu,
2. beton mukavemeti ve agrega boyutunun maksimum beton yanal basıncı üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğu,
3. zayıf esnek kalıpların yanal basıncını azalttığı,
4. daha küçük kalıp ebatları daha büyük kemerleşme etkisi oluşturduğu

görülmüştür.

1979 'da Gardner ve Quereschi; önceki çalışmaların ve vibrasyon etkilerinden elde edilen parametreleri içeren bir dizi test yapmışlardır.

Bu çalışmalara göre vibrasyonun yanal basıncın büyüklüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve kemerlenme kriterinin kalıp yüzeyinin pürüzlü olması ve beton sıcaklığının 60 °F'den yüksek olması durumunda kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

1980'de Gardner; ilave dökülen kalıplardan elde edilen sonuçlar ile katkı etkilerini inceleyen test sonuçlarını yayınlamıştır. Yanal basıncın tahmini denklemi geliştirilmiş ve aşağıda gösterildiği şekilde düzenlenmiştir;

$$P_{max} = 153.h_i + \frac{2467.HP}{d} + 13,26.d + \frac{8305.R^{1/3}}{T} + 53(\text{çökme} - 3) \leq 153.h$$

Formülde;

P_{max} = Beton yanal basıncı (en yüksek 150h değerinde)

h_i = vibratörün batma derinliği (ft)

h = kalıbın toplam yüksekliği (ft)

HP = vibratörün gücü

D = en küçük kalıp ebadı (in)

R = yerleştirme oranı (ft/hr)

T = sıcaklık(°F) ve

Çökme= betonun çökme değeri (in), ifade etmektedir.

Teklif edilen denklemin süper akışkanlaştırıcı etkisini içermemesine rağmen Gardner'in tavsiye ettiği gibi eğer süper akışkanlaştırıcı kullanılırsa kalıp hesabı en yüksek hidrostatik basıncına göre dizayn edilmesi önerilmiştir.

Douglas, Seiidi, Hayes ve Holcomb (1981); belli bir aralıktaki yerleştirme hızı ve baz katkıların dahil edildiği parametrelerden oluşan tam ölçekli deneyler yapmışlardır. Kalıp gergi çubukları ile gerilme değerlerini ölçerek, basınç fonksiyonlarını bu ölçüm değerlerinden ve kalıp sisteminin yapısal parametrelerinden elde edilmiştir. Deney aygıtlarının eksik ve konusunun sınırlandırılmış olmasına rağmen deney sonuçları gösteriyor ki ACI 347-78'in

10-13 ft/hr yerleştirme hızı için olan tahmininin gözlenen basınç değerlerinden daha fazla olduğu belirlenmiştir.

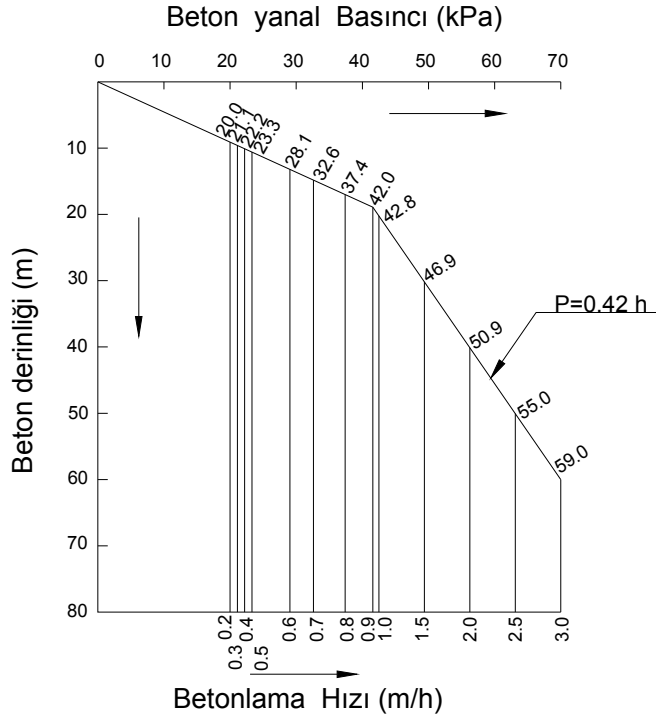
1982 yılında Gardner; süper akışkanlaştırıcı ve uçucu kül gibi çimento ile kısmen yer değiştirilebilen katkıların etkileri üzerine araştırma yapmıştır. Gardner gözenek oranı, uygulanan titreşim derinliği, vibratör gücü, beton çökme miktarı, çimento yerine konulan uçucu kül yüzdesi değerlerinin artması ve sıcaklığın azalması ile yanal basıncın değerlerinin arttığını saptamıştır. Gardner uçucu kül ilave yüzdesine bağlı olarak ortaya çıkan yanal basınç artışını önceki önerdiği denkleme ekleyerek yeniden düzenlemiştir. 1985 yılında Gardner; bir ileri safha olarak cüruf çimento kullanılan betonun oluşturduğu yanal basıncın belirlenmesinde basit bir şekilde uçucu kül yerine cüruf değeri koyarak yapılabileceğini ifade etmiştir.

$$P_{max} = 153.h_i + \frac{2467.HP}{d} + 13,26.d + \frac{8305.\sqrt{R}}{T} \cdot \left(\frac{100}{100 - \%uçucu.kül} \right) + \frac{53(\text{çökme} - 3)}{10}$$

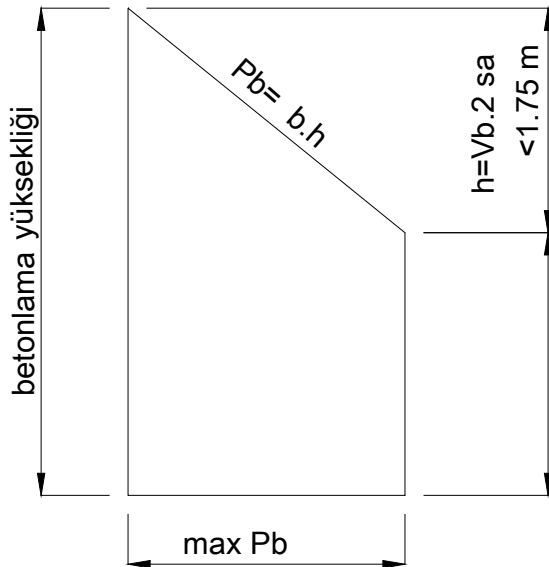
Beton yanal basınç için, Avusturya “Department Of Main Roads” tarafından DMR diyagramı olarak isimlendirilen bir diyagram önerilmiştir (Şekil 3.5). Bu diyagramdan beton üst yüzeyinden itibaren h derinliğinde oluşan maksimum taze beton basıncı $P_{b_{max}}$, betonlama hızına bağlı olarak seçilebilmektedir. Beton dökümü takip eden ilk iki saatte 24 kN/m^3 birim ağırlıklı betonda betonlama hızının $v_b = 0,9 \text{ m/h}$ değeri için 1,75 m derinliğe kadar hidrostatik basınç almaktadır. Bu noktadan itibaren 3 m/h betonlama hızına ve 5,80 m beton derinliğine kadar $p_b = 0,42.h$ 'lik azaltılmış basınç değeri esas alınmaktadır.

Bu sınır değerlerin üstündeki taze beton basınçları Şekil 3.6'da gösterildiği gibi üçgen-dikdörtgen bir diyagram olarak şekillenmektedir. Beton birim hacim ağırlığının 24 kN/m^3 farklı olması durumunda $\gamma_b/24$ oranında ve iç

vibrasyon uygulanması durumunda %10 bir artırım gerekmektedir (Altan, 1992)



Şekil 3.5. DMR diyagramı



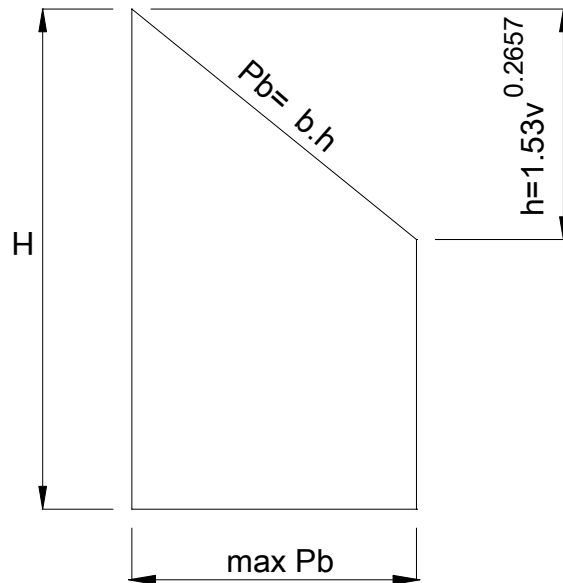
Şekil 3.6. Yüksek Betonlama hızları için ($V_b > 3$ m/h) DMR tarafından önerilen taze beton basınç dağılımı

Ertingshausen'in önerisine göre taze beton basınçlarında esas parametre betonlama hızıdır. Taze beton basınçları V_b [m/h] betonlama hızının 4 m/h den büyük veya küçük oluşuna göre ampirik iki formül ile verilmiştir.

$$V_b \geq 4 \text{ m/h için } P_b = 30 \cdot \sqrt{V_b} \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (3.12)$$

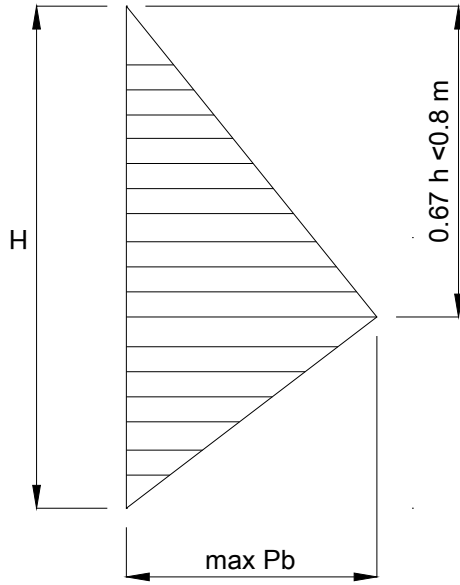
$$V_b < 4 \text{ m/h için } P_b = 30 \cdot \sqrt{V_b} \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (3.13)$$

Formülde; γ_b beton birim hacim ağırlığı 24 kN/m³ olarak kabul edilmiştir. Yükseklik boyunca taze beton basınçlarının dağılımı Şekil 3.7'de görüldüğü gibidir. Bu sonuçlar katı kıvamdaki betonlar için uygun sonuçlar vermekte olup plastik kıvamdaki betonlar için ise sonuçlar düşük kalmaktadır (Ertingshausen,1965).



Şekil 3.7. Ertingshausen'e göre taze beton yanal basınçları dağılımı

Fransız ve Belçika kayar kalıp inşaatçılarına göre beton yanal basıncı, kayar kalıp basıncı dağılımı $0,67 \times h$ ($\leq 0,80$ m) yüksekliğe kadar hidrostatik basınç şeklinde, bu noktadan itibaren alt uçta sıfıra inen lineer iki doğru gibi alınabilmektedir (Atlan, 1992) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Fransız ve Belçika kayar kalıp inşaatçıların önerdiği kalıplarda taze beton basınç dağılımı

Specth'in önerisine göre katı ve plastik betonlar için maksimum taze beton basıncı v_b betonlama hızına [m/h] bağlı olarak;

$$\max p_b = 7,5.v_b + 21 \quad [\text{kN/m}^2]$$

bağıntısı ile ifade edilmiştir. İçerdiği sabit terimden dolayı düşük betonlama hızlarında da bir minimum taze beton basınç değeri göz önüne alınabilmektedir(Specth,1973).

3.3 Beton Yanal Basıncını Hesaplamada Kullanılan Teknikler

Günümüzde uygulamalarda beton yanal basıncını tahmin etmede genellikle Amerika, İngiltere, Kanada ve Almanya da yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkan hesaplama teknikleri kullanılmaktadır.

3.3.1 ACI 347-94'e göre beton yanal basıncı

Taze beton basınçlarının hesabında beton döküm hızı ve taze beton sıcaklığı göz önüne alınmaktadır. ACI Comitte kalıbın, gelen tüm hidrostatik yanal basınca göre tasarlanmasını tavsiye etmektedir.

$$p = w \cdot h$$

p = yanal basınç, kPa

w = taze beton birim ağırlığı, kN/m³

h = plastik kıvamdaki betonun derinliği, m

Hızlı bir şekilde yerleştirilen betonlarda, örneğin kolanlarda, h yüksekliği olarak kalıbın toplam yüksekliği alınmalıdır.

3.3.1.1 Duvar kalıpları üzerine gelen beton yanal basıncı

İçerisinde herhangi bir katkı olmayan Tip I çimento ile üretilmiş ve maksimum çökmesi 10 cm olan, 23,54 kN/m³ birim ağırlığına sahip bir beton, yüksekliği 120 cm'den daha küçük olan bir duvar kalıbına normal vibrasyon ile yerleştirilmiştir. Kalıbın, yüzeyine gelen beton yanal basıncına göre dizaynı için;

$$p_m = 7,2 + \frac{785 \cdot R}{T + 17,8} \quad \text{beton döküm hızı } R < 2 \text{ m/h}$$

$$p_m = 7,2 + \frac{1156}{T + 17,8} + \frac{244 \cdot R}{T + 17,8} \quad \text{beton döküm hızı } R = 2-3 \text{ m/h}$$

formülü önerilmiştir. Formülde;

p_m = maksimum yanal basınç, (kPa)

R = beton döküm hızı, (m/h)

T = taze beton sıcaklığı, (°C)

İfade etmektedir.

3.3.1.2 Kolon kalıpları üzerine gelen beton yanal basıncı

Önceden de belirtildiği gibi, ACI Comitee kalıp dizaynında maksimum yanal basınçlara göre hesaplanmasını önermektedir. $p_m = w.h$, p_m yanal basınç (kPa), w taze betonun birim ağırlığı (kN/m^3), h ise plastik kıvamdaki betonun derinliğini göstermektedir. Kolonlara beton genellikle hızlı bir şekilde yerleştirilir. Bundan dolayı h kalıbın toplam yüksekliği olarak alınmalıdır.

Barnes 1999'da; ACI 347 de belirtilen beton yanal basıncı hesaplama tekniklerinin güncellenmesini teklif etmiştir. Bunun üzerine ACI 347 de belirtilen yanal basınç hesaplama formülleri birim ağırlık katsayısı ve kimyasal katsayı olmak üzere iki yeni katsayı kullanılarak yeniden düzenlenmiştir.

Kolonlar için;

$$p_m = C_w \cdot C_c \left[7,2 + \frac{785.R}{T + 17,8} \right] \text{ maksimum } 144 \text{ kPa } C_w C_c \text{ veya } P_m = w.h$$

Duvarlar için;

$$p_m = C_w \cdot C_c \left[7,2 + \frac{1156}{T + 17,8} + \frac{244.R}{T + 17,8} \right] \text{ maksimum } 95,8 \text{ kPa } C_w C_c \text{ veya } P_m = w.h$$

C_w = Birim ağırlık katsayısı (Çizelge 3.1) ve

C_c = Kimyasal katsayısı (Çizelge 3.2)

Çizelge 3.1 C_w birim ağırlık katsayısı değerleri

Betonun Birim Ağırlığı (kN/m^3)	C_w
2,24 – 2,40 arasında	1.00
2,24 > küçük ise	$0.5[1 + \{w / 145\}]$, ancak > 0.80
2,40 < büyük ise	$w/145$

Çizelge 3.2 C_c Kimyasal katsayı değerleri

Beton özellikleri	C _c
Tip I ve Tip III çimentoları, katkı maddesi kullanmayan	1.0
Tip I ve Tip III çimentoları ile katkı maddesi, priz geciktirici kullanılan	
Tip I ve Tip III çimentoları ile priz geciktirici kullanılan	
Diğer Tip çimentolar veya karışımında %70'ten az ggbfs yada %40 pfa içermeyen katkıları kullanılan	1.2
Diğer Tip çimentolar veya karışımında %70'ten az ggbfs yada %40 pfa içeren bir katkı ile priz geciktirici kullanılan	
Diğer Tip çimentolar veya karışımında %70'ten az ggbfs yada %40 pfa ile bir priz geciktirici kullanılan	1.4
Karışımında %70'ten fazla ggbfs veya %40'tan fazla pfa içeren	

Ayrıca ACI komitenin 1999 yılında revize etmiş olduğu ACI 347R “Guide to Formwork for Concrete” raporunda gergi çubuğu ve kuşaklar kullanılan kayar kalıplar için aşağıdaki formülü önermektedir;

$$P = C_1 + \frac{524R}{T + 17,8}$$

$$C_1 = 4,79^*$$

P = yanal basınç (kPa)

R = yerleştirme hızı (m/hr)

T = beton sıcaklığı (°C)

* Kayar kalıptaki beton 15-25 cm'lik tabakalar halinde yerleştiriliyorsa vibrasyon etkisi fazla olmayacağından dolayı $C_1 = 4,79$ alınması önerilmektedir. Bununla birlikte geçirimsiz veya sızdırmaz yapılarda maksimum beton yoğunluğuna ulaşabilmek için ilave vibrasyon gerekmektedir. Bu gibi durumlarda $C_1 = 7,2$ alınmalıdır.

3.3.2 Gardner' a göre beton yanal basıncı

Gardner ayrıntılı deneysel çalışmalarının sonucunda taze beton yanal basıncının hesaplanmasına yönelik formüller ortaya koymuştur. Gardner formülünün geçerliliği $h \leq 1.0$ m, $d \leq 100$ mm, vibratörün gücü 1-2.5 HP, vibrasyon süresi 0-5 dak., betonun sıcaklığı $T = 8-29$ °C, 28 günlük silindir basınç dayanımı 28-36 MPa, çökme 50-220 mm, beton döküm hızı $R = 1.52-6.6$ m/h, katkı maddesi süperplastikleştirici, deneysel şartlarına karşılık gelmektedir (Şekil 3.9).

Kalıp tasarımı için Gardner formülü (1980);

$$P_{mak} = 24.h_i + \frac{3000HP}{d} + \frac{d}{40} + \frac{400.R^{0.5}}{18+T} + \frac{\Delta-75}{10} < 24.h \text{ (kPa)}$$

Kalıp tasarımı için Gardner formülü (1984);

$$P_{mak} = 24.h_i + \frac{3000HP}{d} + \frac{d}{40} + \frac{400.R^{0.5}}{18+T} \cdot \left[\frac{100}{100-\beta} \right] + \frac{\Delta-75}{10} < 24.h \text{ (kPa)}$$

Kalıp tasarımı için Gardner formülü (1986);

$$p_{mak} = 24.h_i + \frac{d}{40} + \frac{400R^{0.5}}{18+T} \cdot \left[\frac{100}{100-\beta} \right] + \frac{\Delta}{10} < 24.h \text{ (kPa)}$$

önerilmiştir. Formüllerde;

P_{max} : Maksimum yanal basınç, kPa

h_0 : Maksimum yanal basıncın oluşturduğu yükseklik, m

h : Kalıbın yüksekliği, m

h_i : Vibratörün batma derinliği, m

R : Beton dökme hızı, m/h

T : Beton sıcaklığı, °C

β : Uçucu kül veya curuf miktarı (ağırlıkça yüzde)

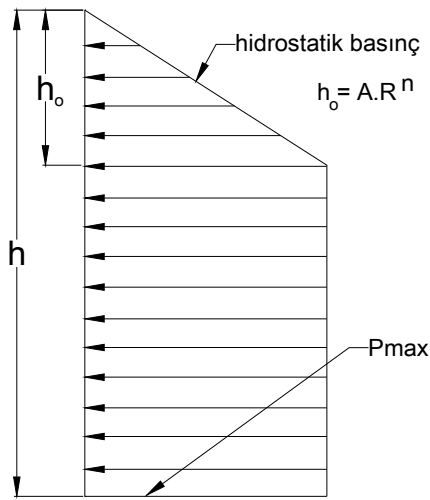
Δ : Çökme miktarı, mm ifade etmektedir.

Normal betonlar için yaklaşık yanal taze beton basıncı;

$h_i = 1 \text{ m}$, $d = 300 \text{ mm}$, $T = 15^\circ\text{C}$, $\beta = 0$, $\Delta = 75 \text{ mm}$ için;

$$p_{mak} = 39 + 12.12R^{0.5} \text{ (kPa)}$$

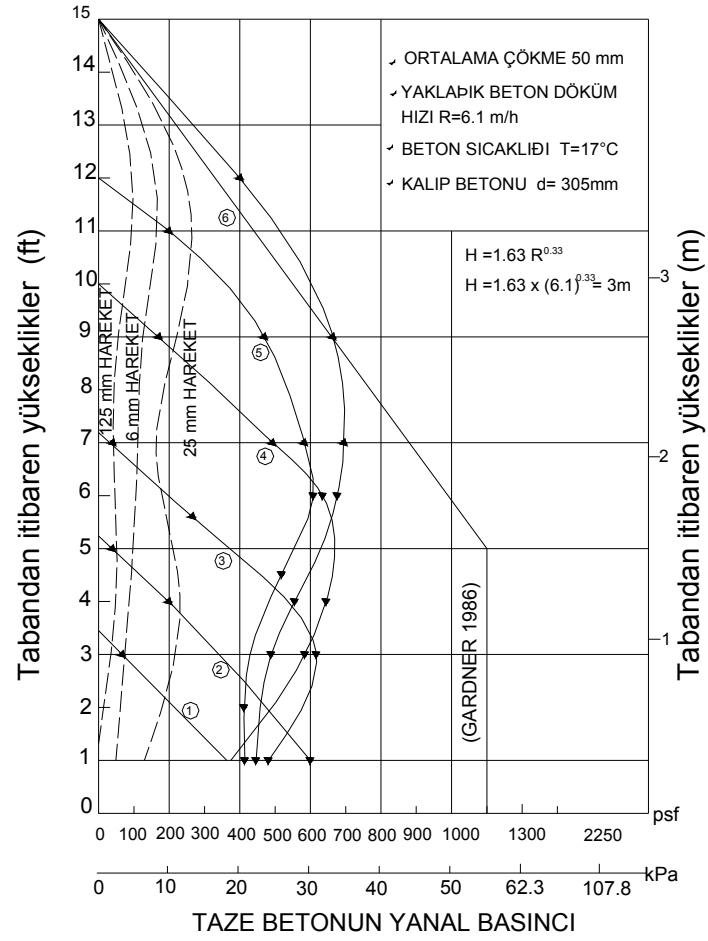
R (m/saat)	1	2	3	4	5	6
P _{mak} (Kpa)	51	56	60	63	66	69



P_{mak} =Maksimum yanal basınç, KPa
 h_o ...=Maksimum yanal basıncın oluşturduğu yükseklik, m
 h ...=Kalıbın yüksekliği, m
 h_i ...=Vibratorun batma derinliği, m
 A , n =Amprlik faktörler, Rodin'e göre
 $A = 1.63$, $n = 0.33$
 d ...=En küçük kalıp boyutu, mm
 R ... =Beton döküm hızı, m/saat
 T ... =Betonun sıcaklığı, $^\circ\text{C}$
 B ...=Uçucu kül veya curuf miktarı (yüzde olarak ağırlıkça)
 Δ ..=Çökme miktarı , mm

Şekil 3.9 Gardner (1986)'a göre taze beton yanal basıncı dağılım diyagramı

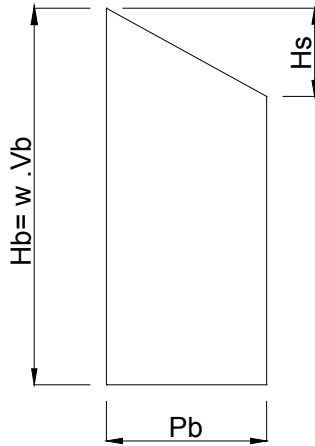
Şekil 3.10'da Gardner (1986)'da verilen deneysel çalışmanın sonuçları görülmektedir.



Şekil 3.10 Gardner 1986’ da deneysel olarak ölçülen taze beton yanal basınç değerleri

3.3.3 DIN 18218’e göre beton yanal basıncı

Taze beton basınçlarının hesabında beton sınıfları, betonlama hızı, beton birim ağırlığı, priz süresi, vibrasyon durumu göz önüne alınmış olup taze beton basınçlarının kalıp yüksekliği boyunca dağılımı Şekil 3.11’de görülen diyagramda verilmiştir.



Şekil 3.11 DIN 18218'e göre taze beton basınç dağılımı

p_b maksimum basınç değeri ve h_s hidrostatik basınç yüksekliği beton sınıflarına ve V_b betonlama hızına bağlı olarak Şekil 3.12 deki diyagramdan alınabilir. Diyagramda verilen şartlardan birinin veya birkaçının değişmesi durumunda p_b ve h_s değerleri Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'ten alınan katsayılar yardımıyla düzeltilir. DIN 18218'de beton karışımları dör tipte sınıflandırılmıştır. Bunlar K1 katı veya kuru beton, K2 plastik beton, K3 yumuşak beton ve K4 akıcı betondur. Beton yanıl basıncı hesaplamak için hazırlanan formüllerde; beton yoğunluğu; 25 kN/m³, sertleşme süresi; 5 saat, geçirimsiz kalıp, iç vibratörle yerleştirilmiş beton ve beton sıcaklığı; 15 °C olarak kabul edilmiştir. Buna göre beton yanıl basıncı hesaplamak için;

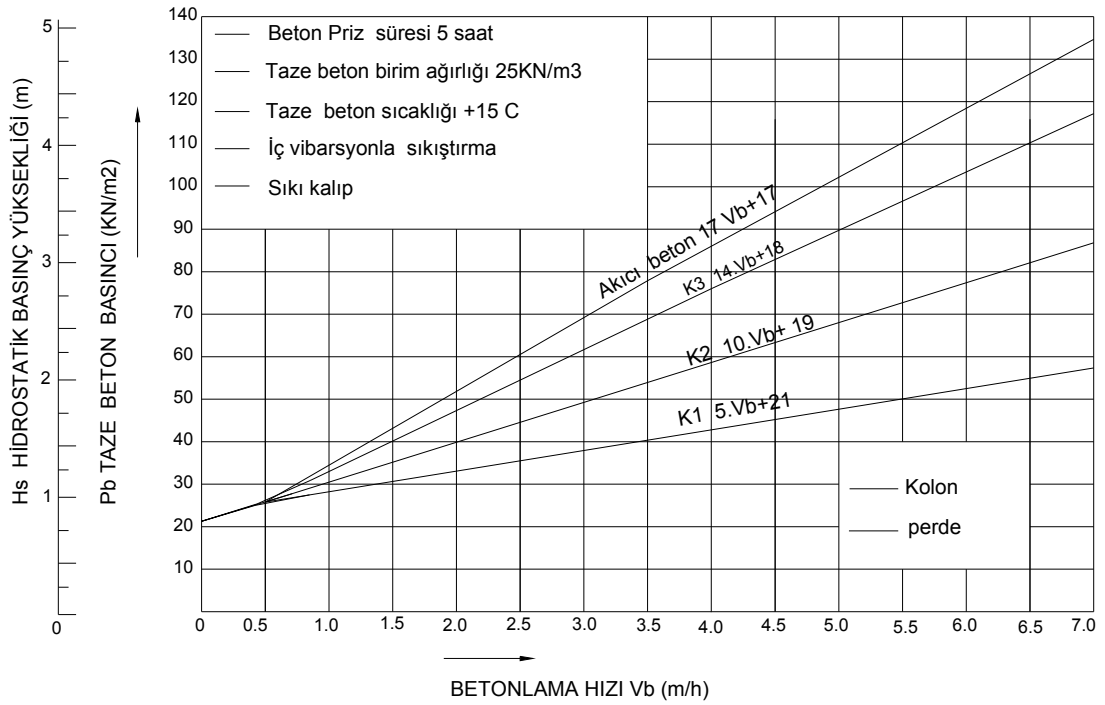
K1 için $P_{max} = 5.V + 21$ (V= beton döküm hızı m/h)

K2 için $P_{max} = 10.V + 19$

K3 için $P_{max} = 14.V + 18$

K4 için $P_{max} = 17.V + 17$ formülleri önerilmektedir.

Oost-Albanië, nimm an, ich bin ein Mensch!



Şekil 3.12 DIN 18218'e göre maksimum taze beton basınçları diyagramı

Çizelge 3.5 Beton birim hacim ağırlıklarına göre düzeltme faktörleri

γ_b		γ_b	
kN/m^3	α	kN/m^3	α
10	0,40	24	0,96
12	0,48	25	1,00
14	0,56	26	1,04
16	0,64	28	1,12
18	0,72	30	1,20
20	0,80	35	1,40
22	0,88	40	1,60

3.3.4 Ciria Report 108'e Göre Beton Yanal Basıncı (U.K)

İngiliz yapı endüstrisi araştırma ve danışma birliği (CIRIA)'nin yayınladığı raporda daha önceki çalışmaların üzerine, beton teknolojisindeki gelişmeler ve birçok faktör göz önünde bulundurularak taze betonun yanal basıncını etkileyen faktörler yeniden düzenlenmiştir (Şekil 3.13)



Şekil 3.13 CIRIA 108' göre taze beton yanal basıncını etkileyen faktörler

CIRIA tasarımda kullanılacak maksimum kalıp basıncını hesaplada kullanılabilecek iki formül geliştirmiştir. Bu rapora göre kalıplarda maksimum beton yanal basıncının hesaplanmasında;

$$p_{b \max} = D \left[C_1 \sqrt{R} + C_2 \cdot K \sqrt{H - C_1 \sqrt{R}} \right]$$

$C_1 \sqrt{R} > H$ ise yanal basınç hesaplamasında

$$p_{b \max} = D \cdot h$$

formülünün kullanımı önerilmektedir .

Formülde ;

$P_{\max}$ =beton yanal basıncı, kN/m²

C_1 = Kalıp büyüklüğüne bağlı olan katsayı [$m \cdot h^{0.5}$] (Çizelge 3.6)

C_2 = çimento cinsi ve katkı maddelerine bağlı katsayısı [$m^{0.5}$] (Çizelge 3.7)

D = beton birim hacim ağırlığı, (kN/m³)

H = kalıp yüksekliği, (m)

h = betonlama yüksekliği, (m)

$$K = \text{sıcaklık katsayısı } k = \left(\frac{36}{T + 16} \right)^2$$

R = beton döküm hızı (m/h),

T = taze beton sıcaklığı (°C),

olarak verilmektedir.

Geliştirilen formüllere göre tasarımda kullanılacak olan yanal basınç değerleri tablolastırılmıştır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.6 C₁ ve C₂ katsayı değerleri

Perde duvarlarda C ₁ = 1.0*	
Kolonlarda C ₁ = 1.5**	
Beton karışım özellikleri	C ₂ katsayısı
1.) OPC, RHPC veya SRPC olmayan katkılar	0,3
2.) OPC, RHPC veya SRPC ile birlikte katkı, priz geciktirici	0,3
3.) OPC, RHPC veya SRPC ile birlikte priz geciktirici	0,45
4.) LHPBFC, PBFC, PPFAC veya karışımında %70'ten az ggbfs yada %40 pfa içermeyen katkılar	0,45
5.) LHPBFC, PBFC, PPFAC veya karışımında %70'ten az ggbfs yada %40 pfa içeren herhangi bir katkı ile priz geciktirici*	0,45
6.) LHPBFC, PBFC, PPFAC veya karışımında %70'ten az ggbfs yada %40 pfa ile bir priz geciktirici	0.6
7.) Karışımında %70'ten fazla ggbfs veya %40'tan fazla pfa içeren	0.6
* duvar kalıbının en az bir doğrultudaki buyutunun 2 m den büyük olduğu durumlarda	
** kolon kalıbının her iki doğrultuda 2 m den küçük olduğu durumlarda,	
OPC	Portland çimentosu
RHPC	Hızlı sertleşen Portland çimentosu
LHPBFC	Düşük ısı yüksek fırın Portland çimentosu
PBFC	Yüksek fırın Portland çimentosu
PPFAC	Uçucu kül Portland çimentosu
SRPC	Sülfa dayanıklı Portland çimentosu
ggbf	Öğütülmüş yüksek fırın cürufu
pfa	Toz halinde uçucu kül

Çizelge 3.7 Kalıp tasarımı için yanal basınç değerleri

DUVARLAR VE TEMELLER										KOLONLAR					
Beton grubu	Beton Sıcak. (°C)	Kalıp Yük. (m)	Beton döküm hızı (m/h)						Kalıp Yük. (m)	Beton döküm hızı (m/h)					
			0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0		10	2	4	6	10	15
1.) OPC, RHPC veya SRPC olmayan katkıları	5	2	40	40	50	50	50	50	50	3	75	75	75	75	75
		3	50	50	60	65	70	75	75	4	85	10	10	10	10
		4	60	60	65	70	75	85	10	6	95	11	12	14	15
		6	70	70	80	80	90	10	11	10	11	13	14	17	19
		10	85	85	95	10	10	11	13	15	13	15	16	19	21
2.) OPC, RHPC veya SRPC ile birlikte katkı, priz geciktirici	10	2	35	35	45	45	50	50	50	3	65	75	75	75	75
		3	40	40	50	55	60	70	75	4	75	90	10	10	10
		4	45	45	55	60	65	75	90	6	80	10	11	13	15
		6	50	50	60	65	75	85	11	10	95	11	13	15	17
		10	60	60	75	80	85	95	5	15	10	12	14	16	19
3.) OPC, RHPC veya SRPC ile birlikte priz geciktirici	5	2	30	30	40	45	50	50	50	3	60	75	75	75	75
		3	35	35	45	50	55	65	75	4	65	85	95	10	10
		4	35	35	50	50	60	70	90	6	75	90	10	13	15
		6	40	40	55	60	65	75	95	10	80	10	11	14	16
		10	50	50	60	65	75	85	10	15	90	11	12	15	17
4.) LHPBFC, PBFC, PPFAC veya karışımında %70'ten az ggbfs yada %40 pfa içermeyen katkıları	10	2	40	45	50	50	50	50	50	3	75	75	75	75	75
		3	50	55	60	65	70	75	75	4	85	95	10	10	10
		4	60	60	65	70	75	85	10	6	95	11	12	14	15
		6	70	75	80	80	90	10	11	10	11	13	14	17	19
		10	85	90	95	10	10	11	13	15	13	15	16	19	21
5.) LHPBFC, PBFC, PPFAC veya karışımında %70'ten az ggbfs yada %40 pfa içereni bir katkı ile priz geciktirici	15	2	30	40	45	45	50	50	50	3	65	75	75	75	75
		3	40	45	50	55	60	70	75	4	75	90	10	10	10
		4	45	50	55	60	65	75	90	6	80	10	11	13	15
		6	50	60	65	65	75	85	10	10	95	11	13	15	17
		10	65	70	75	80	85	10	12	15	10	12	14	16	19

3.3.5 CSA S269.3'e göre beton yanal basıncı (Kanada)

Kanada Standardında maksimum yanal masıncı tahmin etmede etkin faktörleri; yerleştirme hızı, beton sıcaklığı, katkı maddeleri, kalıbın deformasyonu, beton sertleşme süresini etkileyen ilave bağlayıcı ve katkı maddeleri olarak belirtmektedir. Kolon kalıplarının tasarımında, kontrol edilebilir bir beton döküm hızında dökülmesi tavsiye edilmekçe, tüm beton yanal basıncına göre yapılmasını önermektedir. Tipl veya Tip III çimento kullanılan ve maksimum çökmesi 100 mm olan, iç vibrasyonla yrleştirilen beton kullanılan duvar kalıplarında tasarım için;

1. Kalıp yüksekliği 1.3 m ye kadar tüm hisrostatik basınç,
2. Kalıp yüksekliği 1.3 m den fazla ise yanal basınç Çizelge 3.8 deki değerler,
3. Özel beton dökümleri için bilinen tüm parametreleri içeren Gardner (1985)'in yaptığı çalışmalara dayanan aşağıdaki formül türetilmiştir.

$$p_{mak} = \left[(24 \cdot h_i) + \left(\frac{d}{40} \right) + \left(\frac{400R^{0.5}}{18 + T} \cdot \left(\frac{100}{100 - \beta} \right) \right) + \left(\frac{Slump}{10} \right) \right] < 24h, (kPa)$$

formülde;

- P_{max} = Yanal basınç limiti (kPa),
 h_i = Vibratörün batma derinliği (minumum 1 m)
 d = Kalıbın minumum ölçüsü
 R = Beton yerleştirme hızı (m/h)
 T = Beton sıcaklığı (°C)
 F = Beton içerisindeki uçucu kül ve curuf içeriğinin yüsdesi

Slump = Betonun çökme miktarı (mm)

h = Beton yerleştirme yüksekliği (m)

ifade etmektedir.

Çizelge 3.8 Duvar kalırları için CSA-S269.3 nın önermi olduğu beton yanal basınçlı değerleri

Beton döküm hızı (m/h)	Yanal basınç limiti (kPa)					
	Beton sıcaklığı (°C)					
	5	10	15	20	25	30
1.0 ¹	69	58	50	48	48	48*
1.5 ¹	74	62	54	48	48	48
2.0 ¹	79	66	57	51	48	48
2.5 ¹	85	71	61	54	48	48
3.0 ¹	90	75	65	57	51	48
3.5 ²	128	106	91	80	71	65
4.0 ²	144**	120	103	90	81	73
4.5 ²		134	115	101	90	81
5.0 ²		144	127	111	99	89
5.5 ²			139	121	108	98
6.0 ²				132	117	106
* Minimum basınç limiti = 48 kPa						
** Maksimum basınç limiti = 144 kPa						
Yanal basınç hesaplamasında ACI 347 duvar kalıplarında kullanılan formül $R \leq 3m / h$ için						
1	$p_m = 7,2 + \frac{1156}{T + 17,8} + \frac{244.R}{T + 17,8}$					
Yanal basınç hesaplamasında ACI 347 kolon kalıplarında kullanılan formül $R > 3m / h$ için						
2	$p_m = 7,2 + \frac{785.R}{T + 17,8}$					

4. MALZEME VE METODLAR

4.1 Malzemeler

Kalıp örneklerinin üretiminde kalıp yüzey malzemesi olarak;

- ✓ kontrplak (suya dayanıklı, 23mm)

kalıp destek ve gergi elemanları olarak;

- ✓ II.sınıf çam kerestesi
- ✓ I çelik profilleri
- ✓ streingeç lamaları (üzerinde; PFL: 10-11 tip, L:10 mm, direnci:120 $\pm 03\Omega$ özelliklerinde strengeçlerle tam köprü kuruldu.)

kalıp astarı olarak;

- ✓ Zemdrain kalıp astarı
- ✓ Geotekstil astar ; SB 20 geotekstil; ağırlık 200 gr/m², çekme dayanımı 286 N, kopma uzaması %29, delinme dayanımı 225 N,

kullanılmıştır.

Araştırmada Çizelge 4.1’de özellikleri verilen C 20 akıcı kıvamlı hazır beton kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 Araştırmada kullanılan betonun özellikleri

Beton sınıfı	C20
Dmax	25 mm
W/C oranı	0,60
Hava içeriği %	1,5
Kıvam	16 cm
Hedef Dayanım (15x15x15) Küp	29 N/mm ²

Beton karışımında kullanılan malzemeler ait özellikler Çizege 4.2’de, karışımında kullanılan çimentoya ait özellikler ise Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.2 Karışımında kullanılan malzemelere ait özellikler

Malzeme Bilgileri							
Malzeme Adı	Tip	Kaynak	Özgül Ağ. (Gr/Cm ³)	Ağırlık (Kg)	Hacim (m ³)	Agrega Oranı (%)	Nem Nedeniyle Karışıma Fazla Giren Su (lt)
D. Kum	0-3	-	2.40	0	0.000	0.0	
K. Kum	0-5	TAMTAŞ	2.60	920	0.354	48.7	
Mıcır 1	5-15	TAMTAŞ	2.71	400	0.148	21.2	
Mıcır 2	15-25	TAMTAŞ	2.74	570	0.208	30.2	
TOPLAM AGREGA (Kg)				1890	0.710	100.0	
Çimento	PÇ 42.5	BAŞTAŞ	3.09	240	0.078	Teorik Birim Ağırlık	Beton İncelik Modülü
M.Katkı	U. Kül	TUNÇBİLEK	2.15	50	0.023		
K.Katkı (%)	WRDA 90	GRACE	1.18	% 0.50	0.001	2.355	4.26
Su	Kuyu	OSTİM	1.00	173	0.173		
TOPLAM MALZEME (Kg)				2.355	1.000		

Çizelge 4.3 Çimento kimyasal özellikleri

PÇ 42.5 Çimentosunun Analiz Değerleri	
SiO ₂ (%)	20.32
Al ₂ O ₃ (%)	5.59
Fe ₂ O ₃ (%)	3.09
CaO (%)	62.50
MgO (%)	1.74
SO ₃ (%)	3.29
Na ₂ O (%)	0.34
K ₂ O (%)	0.91
Kızdırma kaybı (%)	2.73
Çözünmeyen kalıntı (%)	0.61
S.CaO (%)	0.93
Donma başlangıcı (sa/dk)	01:58
Donma sonu (sa/dk)	02:57
Hacim sabitliği (mm Toplam)	1
Özgül yüzey (cm ² /g)	3642
Basınç dayanımı (N/mm ²)	
2. Gün	27
7. Gün	38.5
28.Gün	48

Kalıplara dökülen betonun 7,14,28 günlük basınç ve eğilmede çekme dayanımını değerleri Çizelge 4.4 ve 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Basınç dayanımı değerleri

Numune No	Basınç Dayanımları (N/mm ²)		
	7 günlük	14 günlük	28 günlük
1	18,38	22,03	25,19
2	16,15	21,88	24,17
3	19,57	21,06	24,27
4	18,95	20,07	25,06
5	19,98	21,48	24,70
6	19,09	22,28	26,36
Ortalama	18,69	21,47	24,96

Çizelge 4.5 Eğilmede çekme dayanımı değerleri

Numune No	Eğilmede Çekme Dayanımları (N/mm ²)		
	7 günlük	14 günlük	28 günlük
1	1,51	1,71	1,77
2	1,59	1,85	1,92
Ortalama	1,55	1,78	1,85

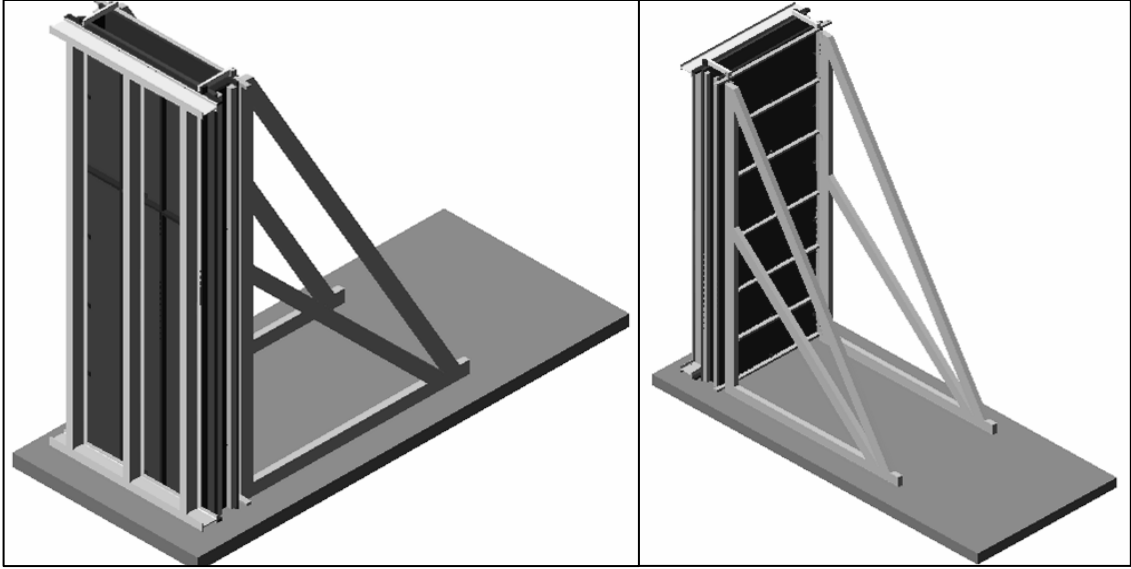
4.2 Metodlar

4.2.1 Kalıp örneklerinin hazırlanması

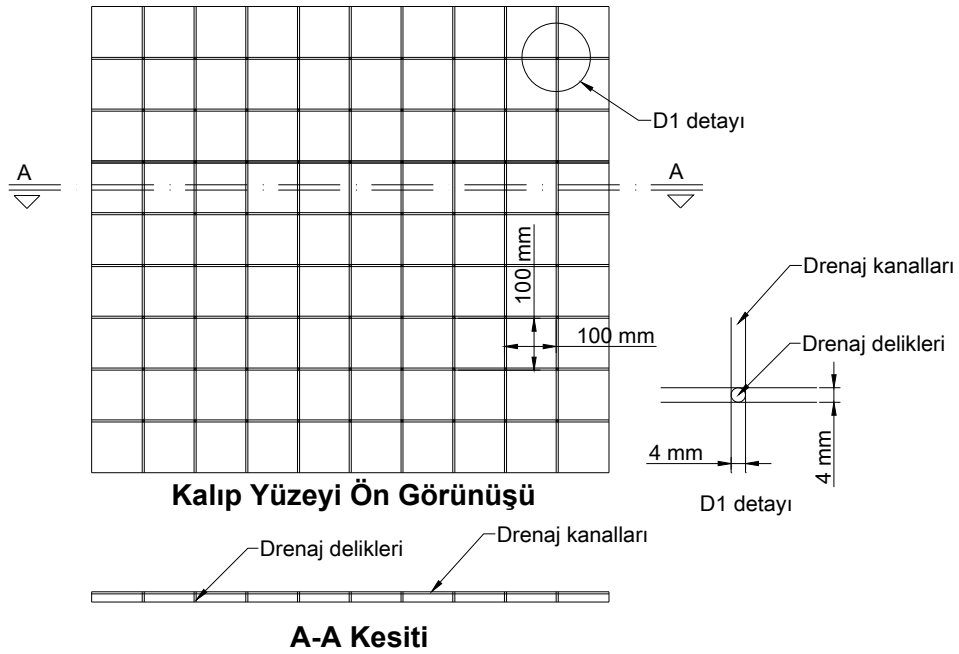
Beton yanal basıncını ölçmek için 1 m genişlik ve 2 m yükseklikte beton dökümüne olanak sağlayacak 3 adet kontrplak yüzeyli duvar kalıbı üretilmiştir (Şekil 4.1) . Kalıplardan 2 adetinin yüzeyinde drenaj kanal ve delikleri açılmıştır. Drenaj kanalları kalıp yüzeyinin betona temas eden kısmında 100 mm aralıklarla 4 mm genişlik ve 4mm derinlikte yatay ve düşey kanallardan oluşmaktadır. Diğer taraftan, drenaj kanallarının birleşim noktasında 4 mm çapında drenaj delikleri açılmıştır (Şekil 4.2). Bu şekilde drenaj kanal ve delikleri açılan iki kalıptan birinin yüzeyine SB 20 diğerine Zemdrain kalıp yüzey astarı kaplanmıştır. Geriye kalan bir adet kontrplak kalıp yüzeyinde işlem yapmaksızın referans olarak kullanılmıştır (Resim 4.1). Kalıp örneklerine ait bilgiler Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Kalıp yüzeylerinden birisi destek elemanları ile sabitlenerek, diğeri alt kısmından rulmanlar üzerine oturtulmuştur. Kalıpların yüzeyleri üst ve alt

kısımlarından straining lamaları ile bağlanmıştır. Bu şekilde her bir kalıp için 4 noktadan toplamda 12 straining laması ile yanal basıç değerleri ölçülmek üzere bağlanmıştır.



Şekil 4.1 Tasarımı yapılan perde duvar kalıbı perspektifi

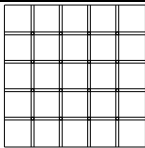
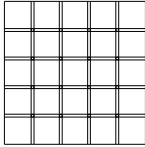


Şekil 4.2 Kalıp yüzeyi drenaj kanal ve deliklerinin yerleşim planı



Resim 4.1 Kalıp örneklerinin yapım süreci ve sabitleme görüntüleri

Çizelge 4.6 Kalıp kodları ve özellikleri

Kalıp Kodu	Yüzey Şekli	Yüzey Astarı	Yüzey Özellikleri
K1		Zemdrain	Drenajlı
K2		SB-20	Drenajlı
K3		Yok	Drenajsız

4.2.2 Kalıp örneklerine beton dökümü

Transmikser ile getirilen beton, pompa ile iki tabaka halinde dökülmüştür (Resim 4.2). Her tabaka üç noktadan iç poker vibratör kullanarak sıkıştırılmıştır. Vibratörler her tabakaya eşit aralık ve hızda üç noktadan 15 sn süre ile daldırılmıştır. Beton döküm hızı 2m/h olarak gerçekleştirilmiştir. Beton dökümü sırasında ve döküm işlemlerinin tamamlanmasından sonra, beton iç sıcaklığı, hava sıcaklıkları ve havanın nemi ölçülmüştür (Çizelge 4.7).



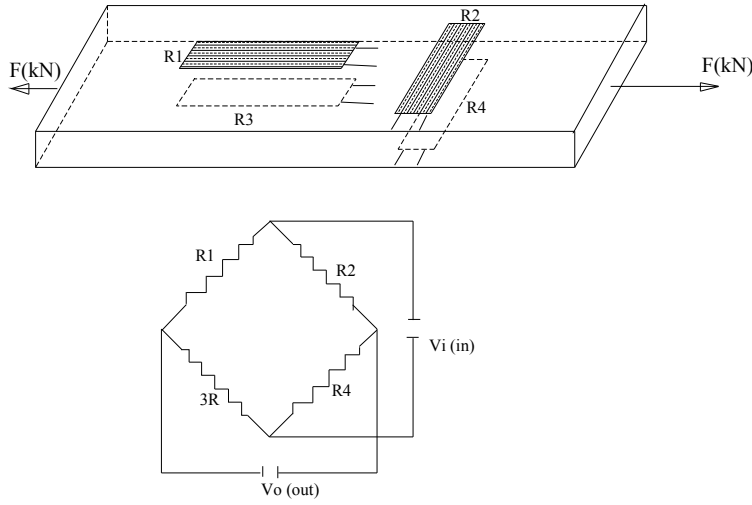
Resim 4.2 Transmikser ve pompa yardımı ile betonun kalıplara dökülmesi

Çizelge 4.7 Döküm sırasındaki beton ve hava sıcaklıkları

Hava sıcaklıkları (°C)		Nisbi Nem (%)		Beton sıcaklığı (°C)	
Döküm öncesi	Döküm sonrası	Döküm öncesi	Döküm sonrası	Döküm öncesi	Döküm sonrası
27,3	22,8	46	50	18,1	18,9

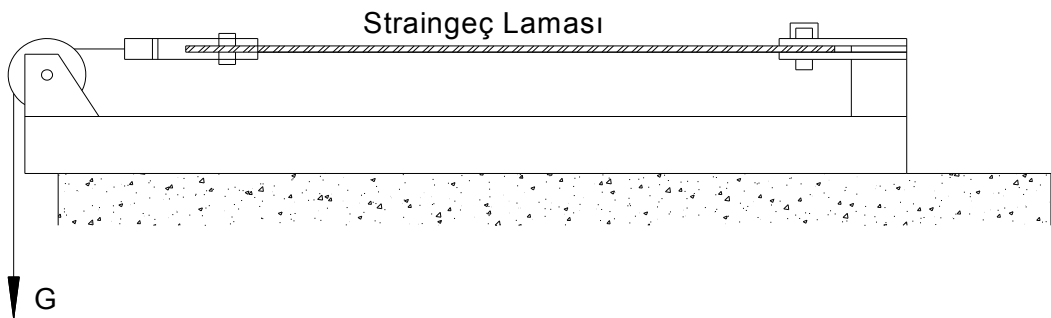
4.2.3 Yanal Basınç Ölçümü

Streingeç lamaları Şekil 4.3'te planlandığı gibi tam köprü olarak üretilmiştir (Dolly W.J. et al).

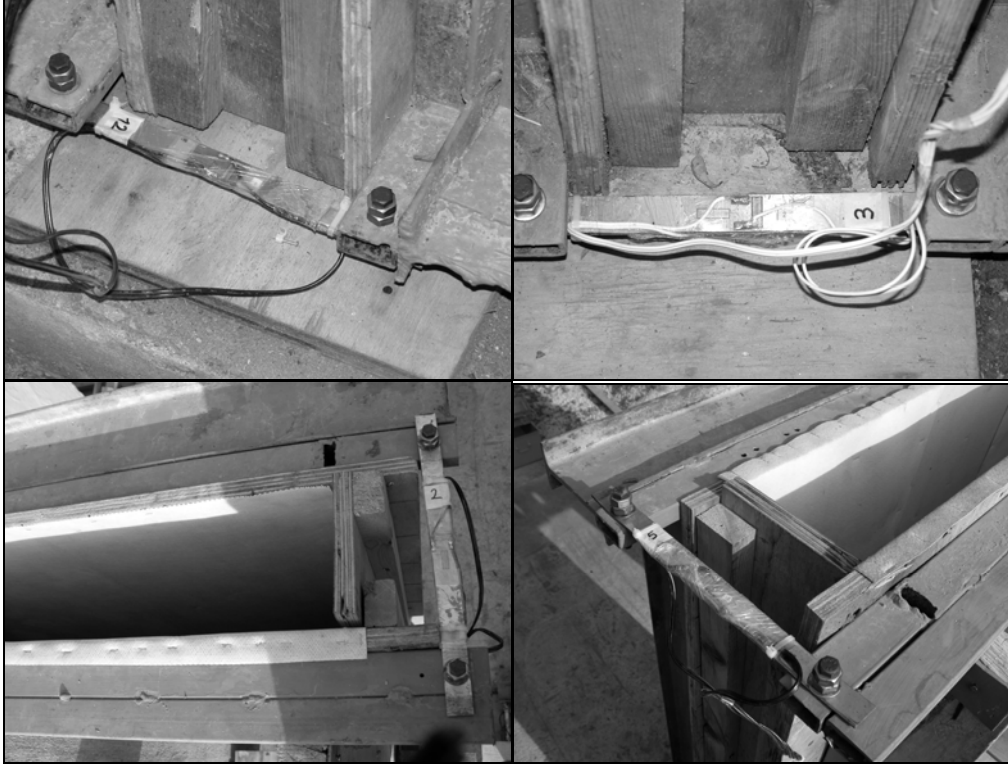


Şekil 4.3 Lama üzerinde streingeçlerin düzeni ve tam köprü devresi

Streingeç lamaları 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 kg ağırlıklarda kalibre edilmiştir. Ağırlıkların asılması ve strein değerlerinin okunmasında kullanılmak üzere Şekil 4.4’de planı verilen aparat üretilerek kullanılmıştır. Hazırlanan streingeç lamaları yanal basınç gerilerinin ölçümü için kalıp alt ve üst noktalarına bağlanmıştır (Resim 4.3). Strein değerlerinin okunmasında Resim 4.4 ve Resim 4.5’te görülen TDS 601 Data Loger ve SSW 50C soket kutusu (Swich Box) veri toplama ünitesi kullanılmıştır. Kalibrasyon sürecinde uygulanan ağırlıklara karşı elde edilen strein değerleri arasındaki ilişki regresyon analizi ile belirlenerek her streingeç laması için regresyon formülü elde edilmiştir (Çizelge 4.8). Yapılan regresyon analizi sonuçları Çizelge 4.9’da, regresyon analizi grafiği ise Şekil 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.4 Kalibrasyon aparatı



Resim 4.3 Kalıpların alt ve üst kısımlarına yerleştirilen streingeç lamaları



Resim 4.4 Streingeç lamaları belirli kuvvetler uygulayarak kalibrasyonu ve kalıplara yerleştirildikten sonra kontrol işlemleri



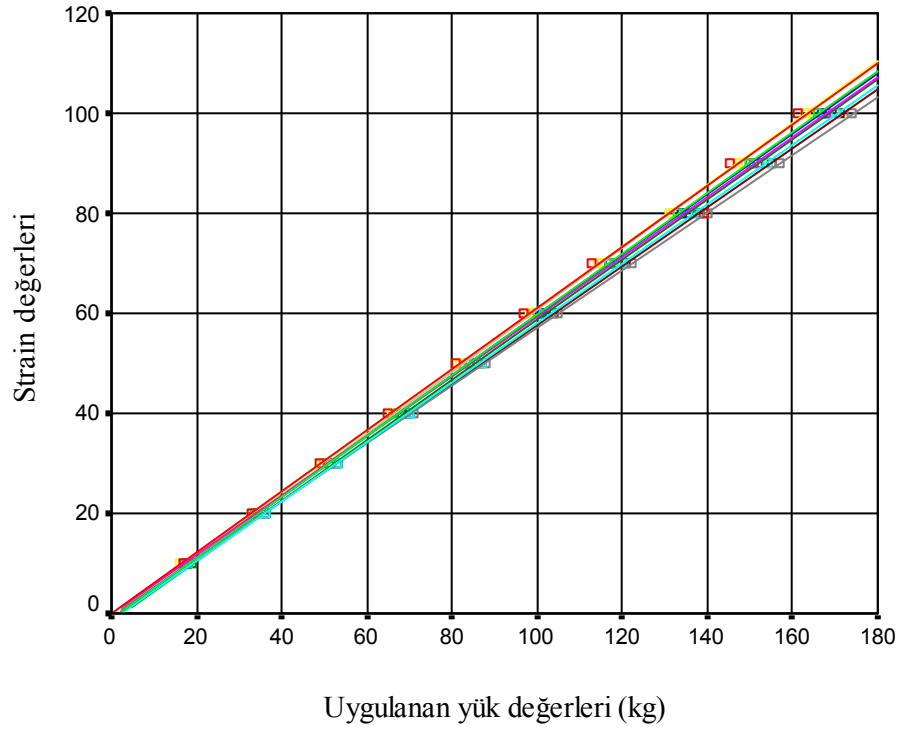
Resim 4.5 Beton dökümü ve priz süresince yanal basınç değerlerinin data logera kayıtlı edilmesi

Çizelge 4.8 Kalibrasyon amacıyla uygulanan kuvvetlere karşı elde edilen strein değerleri

Streingeç No		Uygulanan kuvvet kgf									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Elde edilen gerilme değerleri	S1	17	33	49	65	81	97	113	139	145	161
	S2	18	34	51	67	84	100	117	133	150	166
	S3	18	34	51	68	84	101	117	134	150	167
	S4	17	34	51	68	84	101	117	134	151	168
	S5	18	36	53	70	87	103	120	137	154	170
	S6	16	33	49	66	82	98	114	131	147	163
	S7	18	34	50	67	83	99	115	131	147	163
	S8	18	36	53	71	88	105	122	140	157	174
	S9	18	36	53	70	87	104	121	138	155	171
	S10	19	36	53	69	86	102	119	136	152	168
	S11	17	33	50	66	83	99	115	132	148	164
	S12	18	36	53	71	88	105	123	140	157	174

Çizelge 4.9 Regresyon analizi sonuçları

Streingeç No	R ²	Lineer Regrasyon model denklemleri
S1	0,996	$Y = 0,33 + 1,6303.X$
S2	1	$Y = 1,33 + 1,6485.X$
S3	1	$Y = 1,33 + 1,6558.X$
S4	1	$Y = 0,60 + 1,6709.X$
S5	1	$Y = 2,13 + 1,6848.X$
S6	1	$Y = 0,20 + 1,6309.X$
S7	1	$Y = 2,00 + 1,6127.X$
S8	1	$Y = 1,20 + 1,7309.X$
S9	1	$Y = 1,80 + 1,7000.X$
S10	1	$Y = 2,86 + 1,6570.X$
S11	1	$Y = 0,66 + 1,6370.X$
S12	1	$Y = 1,20 + 1,7327.X$

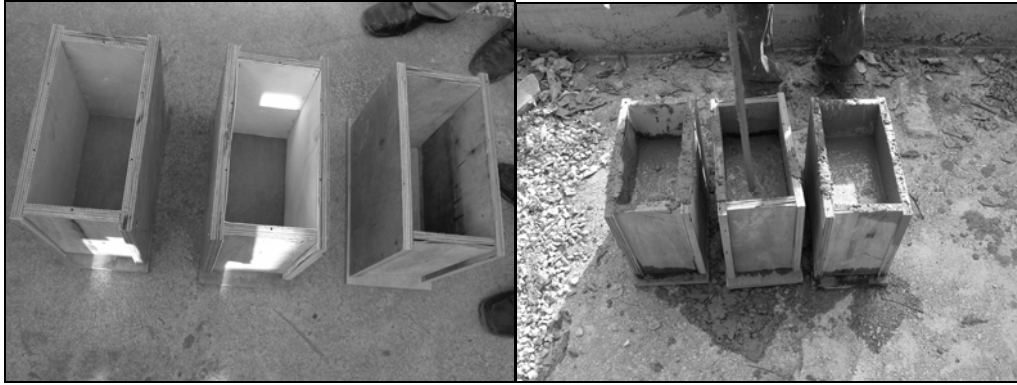


Şekil 4.5 Regresyon analizi grafiği

Kalıplara dökülen taze beton yanal basıncı, betonun kalıp içerisindeki yüksekliğin 1. ve 2. m sinde ayrı ayrı ölçülmüştür. Beton 1 m yüksekliğe ulaştıktan sonra vibratörle sıkıştırıldıktan sonra 5 sn aralıklarla 8 dak. boyunca, 2 m yüksekliğe ulaştıktan sonra ise 5 sn aralıklarla 60 dakika boyunca yanal basınç değerleri okuması gerçekleştirilmiştir. Alınan değerler strengaç kalibrasyon katsayıları ile çarpılarak kilogram kuvvete (kgf) dönüştürülmüştür. 1m^2 'lik kalıp yüzeyi birim alanına etki eden yanal basınç değerleri hesaplanırken kalıp altındaki strengaç okumaları toplanarak kalıp yüzey alanına bölünmüştür.

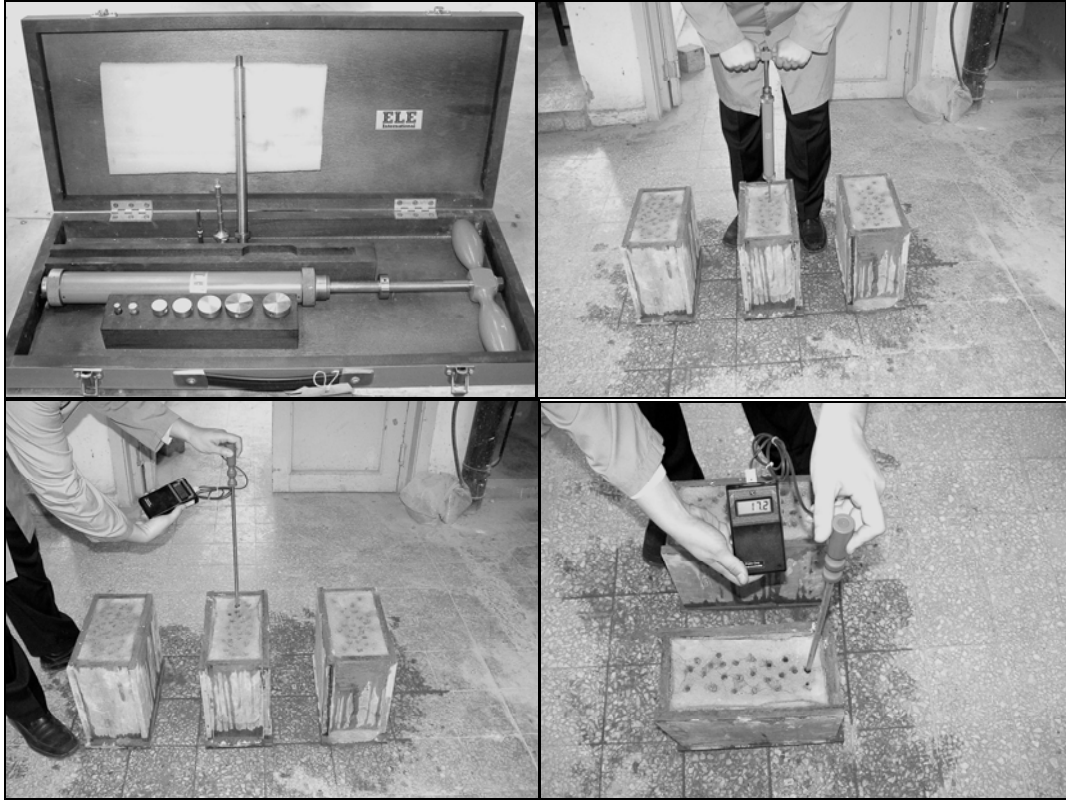
4.2.4 Penetrasyon Yöntemi ile Taze Betonun Priz Süresinin Bulunması

Dökümü gerçekleştirilen betonun priz süresinin belirleyebilmek için 15x40x40 cm boyutlarında üç adet küçük kalıp örneği üretilmiştir. Üretilen küçük kalıp örnekleri büyük kalıpları temsil etmesi için 2 tanesine drenaj kanal ve delikleri açılmış, 3.kalıp ise referans kalıp olarak kullanılmıştır. Drenajlı kalıpların bir tanesine SB-20 geotekstil astarla diğeri ise Zemdrain ile kaplanmıştır. Hazırlanan kalıpların içersine ASTM C 403 standardında belirtildiği gibi 4,75 mm göz açıklıklı elekten elenen taze beton harcı üç kademe halinde sıkıştırılarak yerleştirilmiştir(Resim 4.6).



Resim 4.6 Hazırlanan kalıp örnekleri ve taze betonun kalıplara yerleştirilmesi

Beton kalıplara yerleştirildikten sonra penetrasyon aleti ile beton sertleşme sürecine ilişkin ölçümler alınmıştır. Aynı zamanda beton sıcaklığındaki değişimlerde gözlenmiştir (Resim 4.7).



Resim 4.7 Penetrasyon aleti ile priz süresi ölçümü ve sıcaklık ölçümü

4.2.5 İstatistik Metodlar

Çalışmalardan elde edilecek taze beton yanıl basıncı sonuçları üzerinde ortalamalar arasında fark olup olmadığı varyans analizi tekniği ile belirlenip, fark bulunan gruplarda farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek için çoklu karşılaştırma (multiple comparison) testleri kullanılacaktır. Çalışma sürecinde gözlenen değerler arasındaki ilişki derecelerini belirlemek amacıyla regresyon analizleri gerçekleştirilecektir. Ayrıca verilerin daha iyi değerlendirilebilmesi için çubuk (bar), çizgi, serpm ve histogram grafikleri kullanılacaktır.

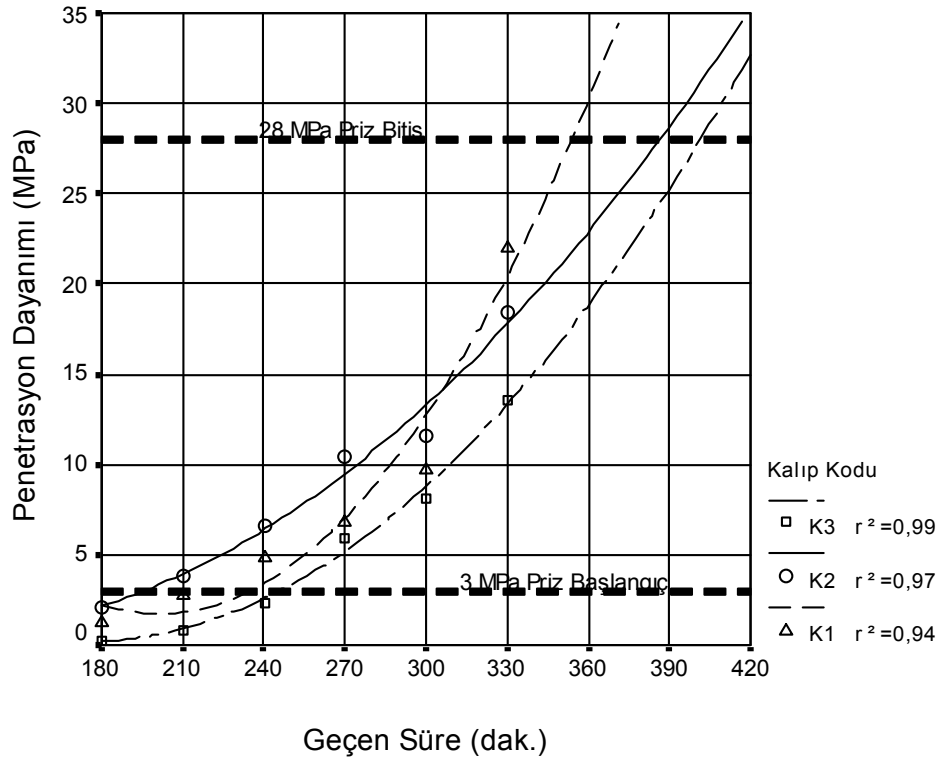
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Penetrasyon Yöntemi ile Taze Betonun Priz Süresi

Beton kalıplara döküldükten sonra alınan penetrasyon dayanımı değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Ayrıca penetrasyon dayanımının zamana bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 5.1 ‘de görülmektedir.

Çizelge 5.1 Penetrasyon direnci ve ısı değişimi değerleri

Okuma No	Geçen süre (dak.)	Kalıp Kodu					
		1 Nolu Kalıp (Zemdrain)		2 Nolu Kalıp (SB-20)		3 Nolu Kalıp (Referans)	
		Penetrasyon dayanımı (MPa)	Beton sıcaklığı (°C)	Penetrasyon dayanımı (MPa)	Beton sıcaklığı (°C)	Penetrasyon dayanımı (MPa)	Beton sıcaklığı (°C)
1	60	-	17,80	-	17,7	-	17,7
2	90	-	-	-	-	-	-
3	120	-	-	-	-	-	-
4	150	-	-	-	-	-	-
5	180	1,24	18,10	2,07	18	0,28	18,2
6	210	2,76	18,70	3,86	18,5	0,83	18,9
7	240	4,83	19,30	6,62	19	2,34	19,3
8	270	6,89	19,70	10,48	19,7	5,93	19,8
9	300	9,79	19,90	11,58	19,8	8,14	19,9
10	330	22,06	20,80	18,48	20,5	13,51	20,8



Şekil 5.1 Zamana bağlı olarak penetrasyon dayanımının değişimi

Geçen zamana bağlı olarak penetrasyon dayanımındaki değişimi belirten ilişkinin model denklemini kurabilmek için korelasyon ve regrasyon analizleri gerçekleştirilmiştir(Çizelge 5.2). Elde edilen model denklem üzerinden 3 ve 28 MPa Penetrasyon dayanımına karşılık gelen beton priz başlama ve bitiş süreleri belirlenmiştir(Çizelge 5.3).

Çizelge 5.2 Geçen zaman ile penetrasyon dayanımı arasındaki ilişkinin modeli

Kalıp Kodu	Korelasyon	Regrasyon	Regrasyon model denklemini	Anlamlılık
	katsayısı	katsayısı		Düzeyi (α)
K1	0,90	0,94	$Y= 47,6829 - 0,4563.X + 0,0011.X^2$	0,01
K2	0,97	0,97	$Y= 5,7723 - 0,0875.X + 0,0004.X^2$	0,01
K3	0,95	0,99	$Y= 16,2137 - 0,1849.X + 0,0005.X^2$	0,01

Çizelge 5.3 Model denklemden elde edilen priz başlama ve bitiş süreleri

Kalıp Kodu	Priz başlama (dak.)	Priz bitiş (dak.)
K1	256	365
K2	180	369
K3	272	425

K1, K2 ve K3 kalıplarına ait priz başlangıç süreleri sırasıyla 256 dk, 180 dk, 272 dk, priz bitiş sürelerinin ise sırasıyla 365 dk, 369 dk, 425 dk olarak hesaplanmıştır. Kalıpların içerisine dökülen betonun aynı olmasına rağmen priz başlangıç ve bitiş sürelerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Buna kalıp yüzey farklılığı sebep olmaktadır. Beton priz başlangıç süresi referans kalıp olan K3'e göre K1 ve K2 kalıplarında sırasıyla %6 ve %36 daha önce gerçekleşmektedir. Priz bitiş süresi ise K3 kalıbına göre K1 ve K2 kalıplarında sırasıyla %15 ve %14 daha erken tamamlanmaktadır.

5.2 Beton Yanal Basıncı

1m yüksekliğindeki taze betonun kalıp yüzeyi birim alanında meydana getirdiği yanal basınç verileri üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre yanal basınç değerlerinin $\alpha=0.01$ anlamlılık düzeyinde birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Yanal basınç verilerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 5.4'te, varyans analizi sonuçları Çizelge 5.5'te, farklılığın hangi kalıplar arasında olduğunu anlamak için yapılan LSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.4 1 m yüksekliğindeki taze betonun yanal basınç değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp Bölgesi	Grup	N	Ortalama	Std.Sapma	Minimum	Maksimum
Üst	K1 (Zemdrain)	58	2,4156	0,1360	2,19	2,63
	K2 (SB-20)	58	2,6528	0,1196	2,45	2,85
	K3 (Referans)	58	4,2660	0,1670	3,99	4,58
Alt	K1 (Zemdrain)	58	24,3206	0,8938	22,68	25,45
	K2 (SB-20)	58	16,4696	0,9327	14,87	17,82
	K3 (Referans)	58	29,0356	0,7162	27,99	30,34

Çizelge 5.5 1 m yüksekliğindeki taze betonun yanal basınç değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Kalıp Bölgesi	Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
Üst	Gruplar					
	Arası	2	117,594	58,797	2906,546	0,01
	İç	171	3,459	$2,023 \cdot 10^{-2}$		
	Toplam	173	121,054			
Alt	Gruplar					
	Arası	2	4674,311	2337,156	3213,689	0,01
	İç	171	124,360	,727		
	Toplam	173	4798,671			

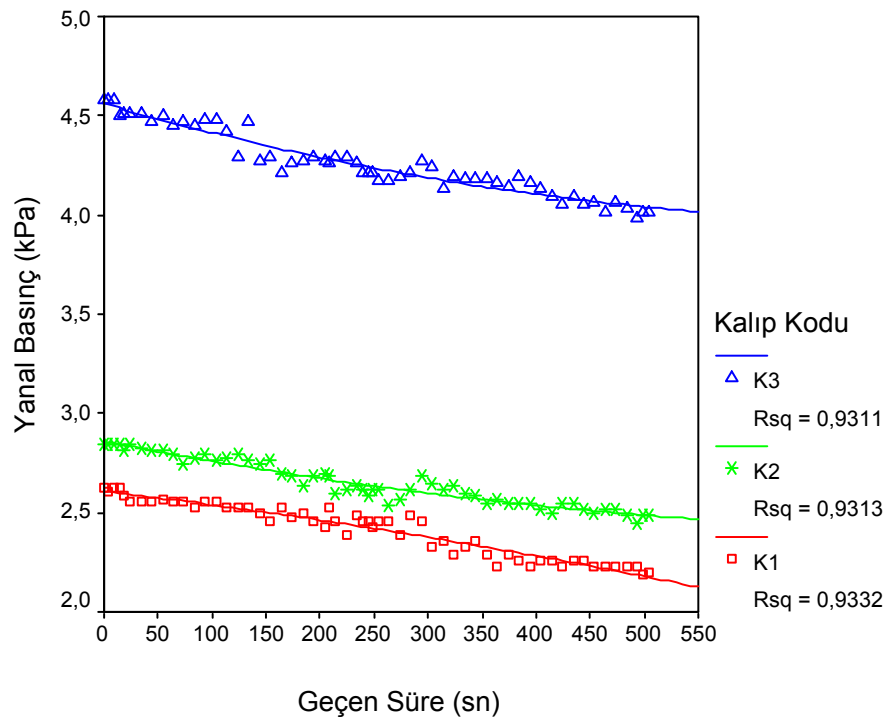
Çizelge 5.6 1 m yüksekliğindeki taze betonun yanal basınç değerlerine ait LSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Kalıp Bölgesi	Kalıp No	N	Farklı Gruplar		
			1	2	3
Üst	K1 (Zemdrain)	58	2,4156		
	K2 (SB-20)	58		2,6528	
	K3 (Referans)	58			4,2660
Alt	K2 (SB-20)	58	16,4696		
	K1 (Zemdrain)	58		24,3206	
	K3 (Referans)	58			29,0356

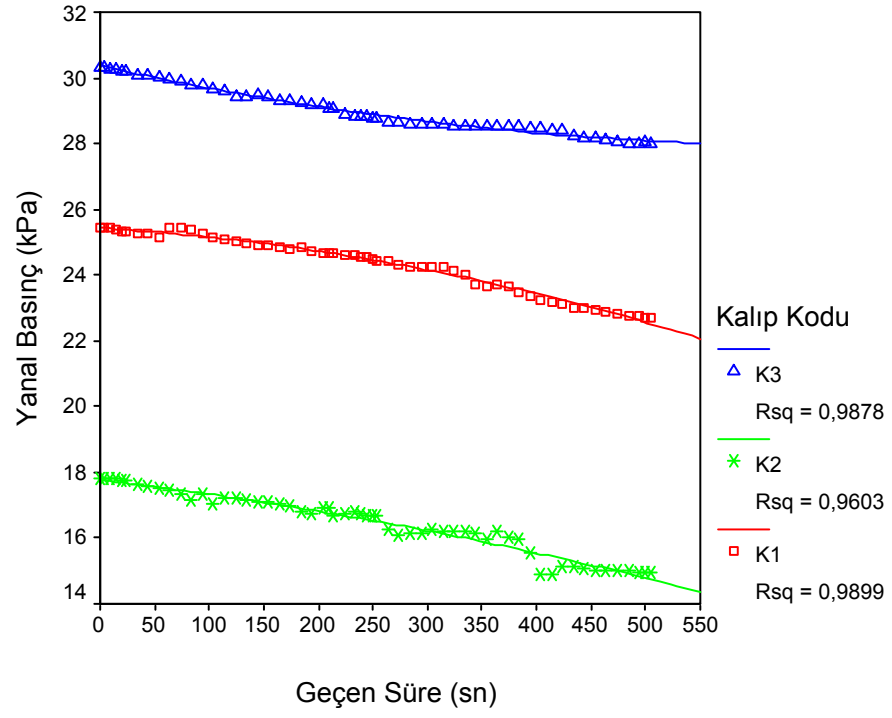
Zamana bağılı olarak yanal basınç değerlerindeki değişim $Y = a + bX + cX^2$ denklemiyle açıklanmaktadır. Regrasyon analizi sonuçları Çizelge 5.7’de verilmiştir. Ayrıca regrasyon analizine ait serpmme grafikler Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4’de görülmektedir.

Çizelge 5.7 1 m yüksekliğindeki taze betonun yanal basınç değerlerine ait regrasyon analizi sonuçları

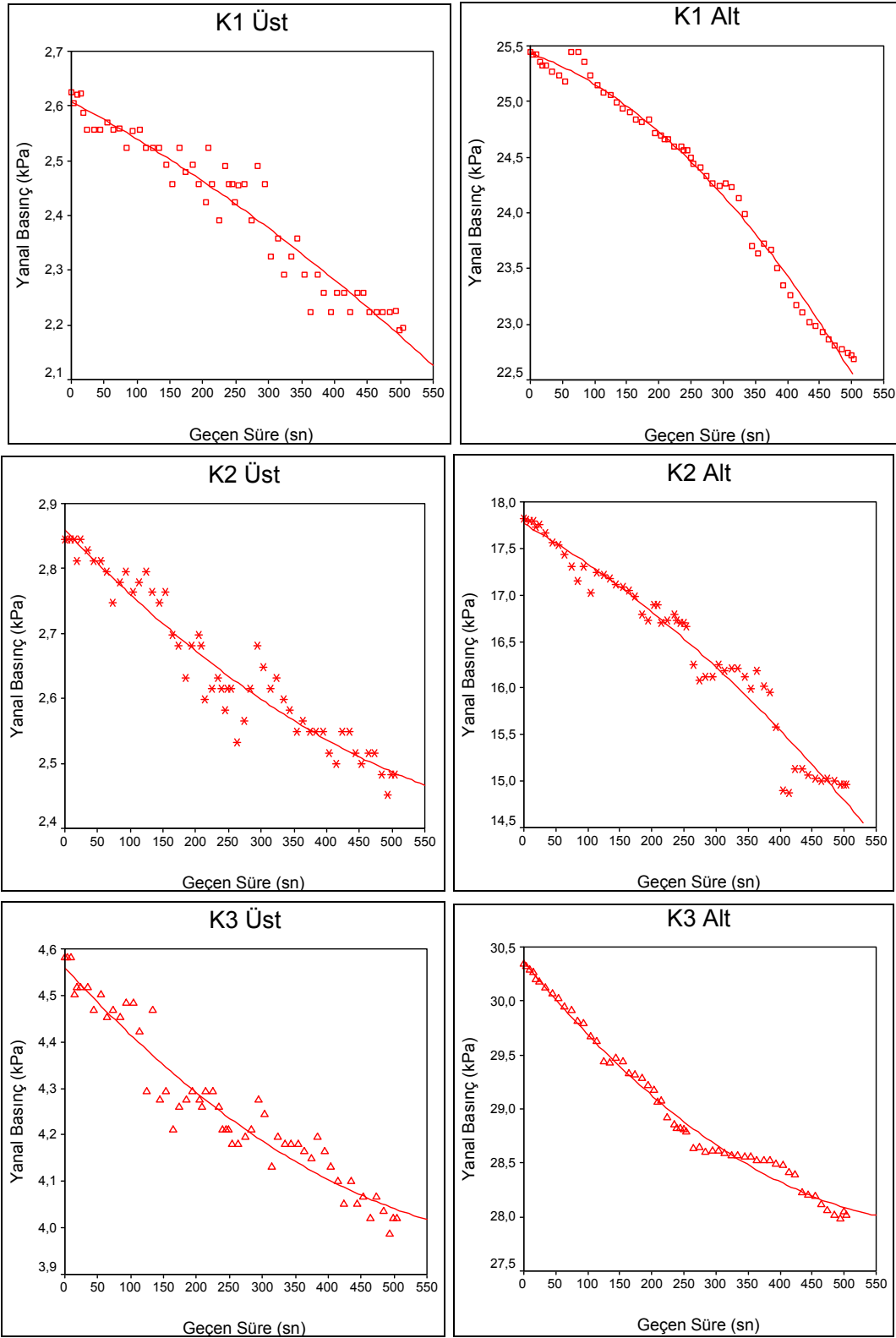
Kalıp Bölgesi	Kalıp Kodu	Regrasyon katsayısı	Regrasyon model denklemi	Anlamlılık Düzeyi (α)
Üst	K1	0,933	$Y = 26,081 - 0,0006.X - 0,00000004.X^2$	0,01
	K2	0,931	$Y = 28,592 - 0,0011.X + 0,00000062.X^2$	0,01
	K3	0,931	$Y = 45,596 - 0,015.X + 0,000001.X^2$	0,01
Alt	K1	0,990	$Y = 254,319 - 0,002.X - 0,000007.X^2$	0,01
	K2	0,960	$Y = 177,651 - 0,0039.X - 0,000004.X^2$	0,01
	K3	0,988	$Y = 303,653 - 0,0073.X + 0,0000055.X^2$	0,01



Şekil 5.2 1 m'lik taze betonun kalıp üstünlerinde meydana getirdiği yanal basınç değerleri grafiği



Şekil 5.3 1 m'lik taze betonun kalıp altlarında meydana getirdiği yanal basınç değerleri grafiği



Şekil 5.4 1 m'lik taze beton yüksekliğinde zamana bağlı kalıp alt ve üstünde meydana gelen yanıl basınç değeri serpmi grafiğı

2 m yüksekliğindeki taze betonun kalıp yüzeyi birim alanında meydana getirdiği yanal basınç verileri üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre kalıplar arasında yanal basınç değerlerinin $\alpha=0.01$ anlamlılık düzeyinde farklı olduğu görülmüştür. Yanal basınç verilerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 5.8’de, varyans analizi sonuçları Çizelge 5.9’da, farklılığın hangi kalıplar arasında olduğunu anlamak için yapılan LSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.8 2 m yüksekliğindeki taze betonun yanal basınç değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Kalıp Bölgesi	Grup	N	Ortalama	Std.Sapma	Minimum	Maksimum
Üst	K1 (Zemdrain)	283	4,8765	$7,713 \cdot 10^{-2}$	4,75	5,08
	K2 (SB-20)	283	4,5782	$8,207 \cdot 10^{-2}$	4,47	4,79
	K3 (Referans)	283	5,2308	0,1448	4,98	5,57
Alt	K1 (Zemdrain)	283	12,7440	$3,655 \cdot 10^{-2}$	12,69	12,83
	K2 (SB-20)	283	8,5850	0,2718	8,06	9,04
	K3 (Referans)	283	19,7786	0,4308	19,14	21,14

Çizelge 5.9 2 m yüksekliğindeki taze betonun yanal basınç değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Kalıp Bölgesi	Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
Üst	Gruplar Arası	2	60,404	30,202	2692,599	0,01
	Gruplar İçi	846	9,489	$1,122 \cdot 10^{-2}$		
	Toplam	848	69,893			
Alt	Gruplar Arası	2	18119,639	9059,819	104206,788	0,01
	Gruplar İçi	846	73,552	$8,694 \cdot 10^{-2}$		
	Toplam	848	18193,191			

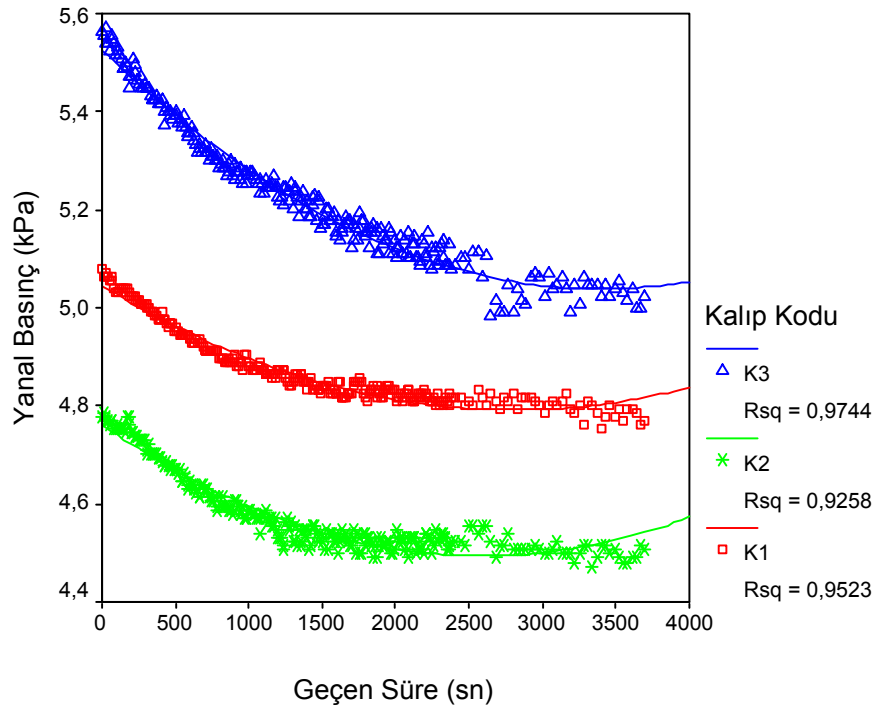
Çizelge 5.10 2 m yüksekliğindeki taze betonun yanal basınç değerlerine ait LSD testi sonuçları

Kalıp Bölgesi	Kalıp No	N	Farklı Gruplar		
			1	2	3
Üst	K2 (SB-20)	283	4,5782		
	K1 (Zemdrain)	283		4,8765	
	K3 (Referans)	283			5,2308
Alt	K2 (SB-20)	283	8,5850		
	K1 (Zemdrain)	283		12,7440	
	K3 (Referans)	283			19,7786

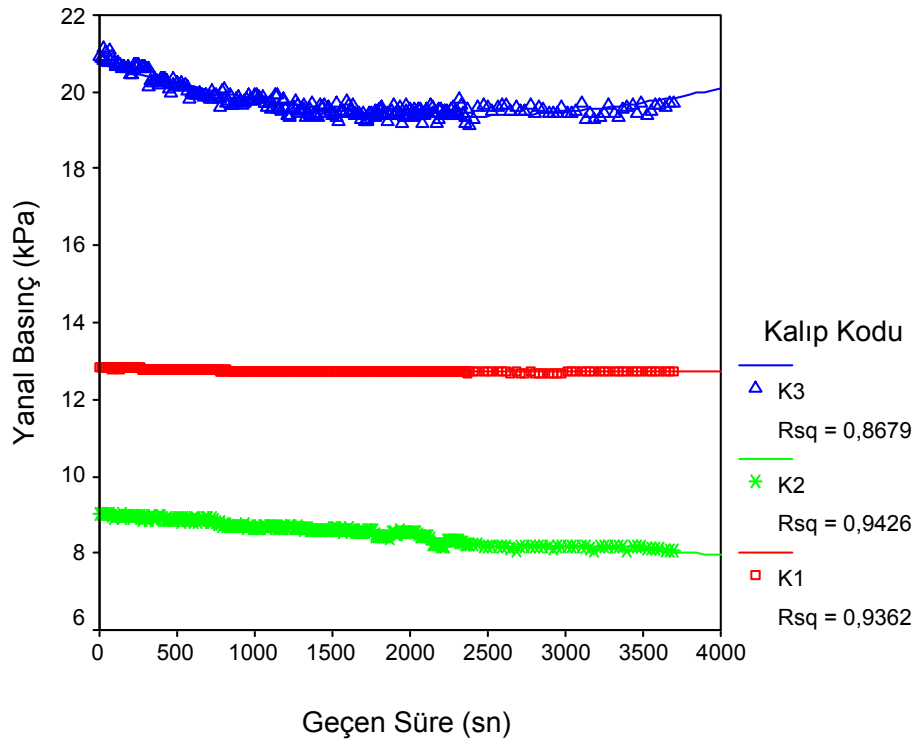
2 m yüksekliğindeki taze betonun kalıba yaptığı yanal basıncın zamana bağlı olarak değişimini belirleyebilmek amacıyla regrasyon analizi yapılmıştır. Zamana bağlı olarak yanal basınç değerlerindeki değişim $Y = a + bX + cX^2$ denklemiyle açıklanmaktadır. Regrasyon analizi sonuçları Çizelge 5.11’de verilmiştir. Ayrıca regrasyon analizine ait serpmme grafikler Şekil 5.5, 5.6 ve 5.7’de görülmektedir.

Çizelge 5.11 2 m yüksekliğindeki taze betonun yanal basınç değerlerine ait regrasyon anazili sonuçları

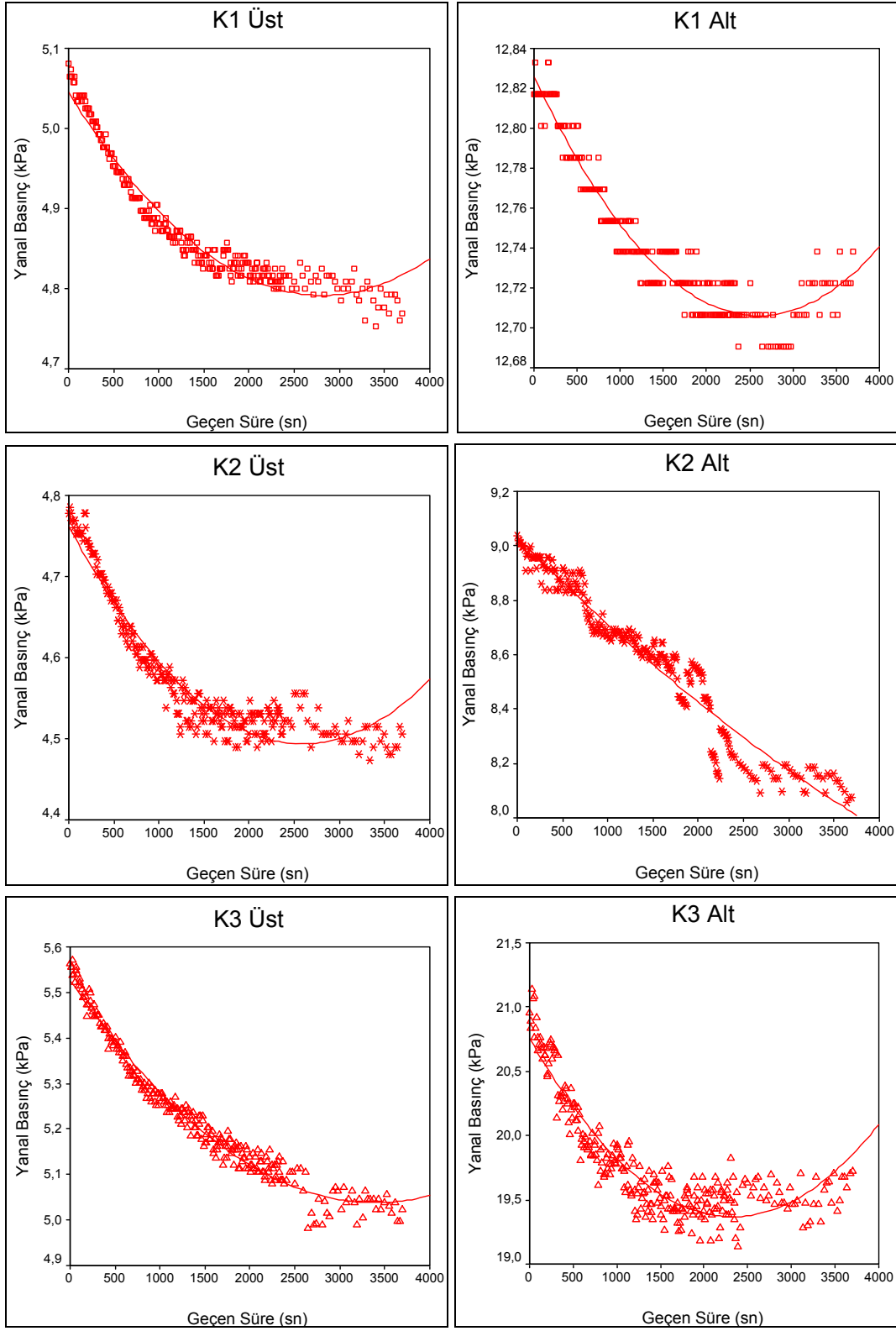
Kalıp Bölgesi	Kalıp Kodu	Regrasyon katsayısı	Regrasyon model denklemi	Anlamlılık Düzeyi (α)
Üst	K1	0,952	$Y = 50,45 - 0,0002.X + 3,2.10^{-8}.X^2$	0,01
	K2	0,926	$Y = 47,618 - 0,0002.X + 4.10^{-8}.X^2$	0,01
	K3	0,974	$Y = 55,259 - 0,0003.X + 4,2.10^{-8}.X^2$	0,01
Alt	K1	0,936	$Y = 128,26 - 9.10^{-5}.X - 1,8.10^{-8}.X^2$	0,01
	K2	0,943	$Y = 90,329 - 0,0003.X - 1,8.10^{-8}.X^2$	0,01
	K3	0,868	$Y = 207,578 - 0,0012.X + 2,6.10^{-7}.X^2$	0,01



Şekil 5.5 2 m'lik taze betonun kalıp üstünlerinde meydana getirdiği yanal basınç değerleri grafiği



Şekil 5.6 2 m'lik taze betonun kalıp altlarında meydana getirdiği yanal basınç değerleri grafiği



Şekil 5.7 2 m'lik taze beton yüksekliğinde zamana bağlı kalıp alt ve üstünde meydana gelen yanıl basınç değeri serpmi grafiğı

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı yüzey özelliklerine sahip 3 tür 2 m yükseklikteki beton duvar kalıplarına normal hava koşullarında beton dökülmüştür. Beton dökümü sürecinin hemen sonrasında başlanan kalıp yüzeyine gelen yanal hidrostatik basınç okumaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler üzerinde yapılan istatistik değerlendirmeler sonucunda;

- ✓ Zembrain, SB 20 astarlı-drenajlı ve astarsız-drenajsız kalıplarda meydana gelen yanal basınç değerlerinin birbirinden farklı olduğu ve bu farklılığın kalıp yüzey malzemesinden kaynaklandığı,
- ✓ Kalıp yüzeyinde meydana gelen maksimum yanal basınç değerlerinin Zembrain astarlı kalıp= 12,83, SB 20 astarlı kalıp= 9,04, astarsız kalıp=21,14 KPa olduğu,
- ✓ Zembrain ve SB 20 astarlı-drenajlı kalıpların astarsız-drenajsız kalıba göre sırasıyla %64, %133 daha az yanal basınç değerlerinin oluştuğu,
- ✓ SB-20 geotekstil astar ile kaplanan kalıbın en az yanal basınç değerlerine sahip olduğu,
- ✓ Astarlı kalıplarda meydana gelen yanal basıncın kendi aralarında birbirinden istatistiksel anlamda farklı olduğu,
- ✓ SB-20 geotekstil astarla kaplı olan kalıbın, Zembrain kalıp astarı ile kaplanan kalıpta meydana gelen yanal basınca göre %41 daha az oluştuğu,

- ✓ Kalıp tabanında meydana gelen ortalama yanal basınç değerlerinin istatistiksel anlamda birbirinden farklı olduğu,
- ✓ Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; kalıplarda sırasıyla SB 20 astarlı kalıp= 8,58, Zemdrain astarlı kalıp=12,74 ve astarsız kalıp= 19,77 KPa ortalama yanal basınç meydana geldiği,
- ✓ Kalıplarda meydana gelen ortalama yanal basınç değerlerinin referans kalıp olan astarsız-drenajsız kalıbına göre Zemdrain ve SB 20 astarlı-drenajlı kalıplarında sırasıyla %55, %130 daha az olduğu

görülmüştür.

Ayrıca beton priz ve başlangıç sürelerinin kalıp yüzey farklılığına göre olan değişimi gözlemlemek için yapılan penetresyon dayanımı deneyi sonuçlarına göre;

- ✓ Kalıpların içerisine dökülen betonun aynı olmasına rağmen priz başlangıç ve bitiş sürelerinin istatistiksel anlamda birbirinden farklı olduğu,
- ✓ Bu farklılığın kalıp yüzey astarlarından kaynaklandığı,
- ✓ Beton priz başlangıç süresi referans kalıp olan astarsız-drenajsız kalıba göre Zemdrain ve SB 20 astarlı-drenajlı kalıplarda sırasıyla %6 ve %36 daha önce gerçekleştiği,
- ✓ Priz bitiş süresi ise astarsız-drenajsız kalıbına göre Zemdrain ve SB 20 astarlı-drenajlı kalıplarda sırasıyla %15 ve %14 daha erken tamamlandığı,

görülmüştür.

Dolayısı ile astarlı-drenajlı kalıp yüzeylerinde beton karışım suyu drene edilirken priz süresi kısalmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak beton maksimum yanıl basıncı azalmaktadır.

Sonuç olarak; kalıp yanıl basıncının kalıp yüzey drenajı ve kalıp astarı kullanılarak azaltılabileceğı ve kalıba etki eden beton yanıl basıncı değlerlerinin hesaplamasında kalıp yüzey özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gerektiğı görülmüştür. Ayrıca taze beton yanıl basınç değlerlerinin daha doğru tahmin edilebilmesi için gelişen kalıp ve beton teknolojisine bağılı olarak yeni araştırmaların yapılmasına ihtiyaç vardır.

KANAKÇA

ACI 347R-94,1994, Guide To Fromwork For Concrete, ACI Commitee, USA

ACI Committee 304. “ Recommended Practice for Measuring, Mixing, Transportation and Placing Concrete” ACI Journal, Pp: 374-414, July, 1972.

ACI Committee 347 (622), "Proposed Recommended Practice for Concrete Formwork," *Journal of the American Concrete Institute*, Proceedings Vol. 59, No. 8, August 1962, pp. 993-1046.

ACI Committee 622, "Form Construction Practices," *Journal of the American Concrete Institute*, Vol. 53, No. 12, June 1957, pp. 1105-1118.

ACI Committee 622, "Formwork for Concrete," *Journal of the American Concrete Institute*, Proceedings Vol. 57, No. 9, March 1961, pp. 993-1040.

ACI Committee 622, "Pressure on Formwork," *Journal of the American Concrete Institute*, Vol. 30, No. 2, Title No. 55-10, Detroit MI, August 1958, pp. 173-190.

Altan M.;Aydogan M.,1992 Düşey Kalıp Yüzeyine Teki Eden Taze Beton Basıncının Hesabı Hakkında,İMO Teknik Dergi, Yazı 38, 529-537, Ankara

American Concrete Institute. (1977). “Recommended practice for concrete formwork,” *ACI manual of concrete practice*, Publication No. ACI 347-78, Detroit, MI.

American Concrete Institute. (1990). “Identification and control of consolidation-related surface defects in formed concrete,” *ACI manual of concrete practice*, Publication No. ACI 309.2R-90, Detroit, MI.

American Concrete Institute. (1997). “Guide to formwork for concrete,” *ACI manual of concrete practice*, Publication No. ACI 347R-94, Farmington Hills, MI.

American Society for Testing and Materials. (1998). “Standard test method for rebound number of hardened concrete (ASTM C 805-97).” *Annual book of*

ASTM standards. Vol 04.02, West Conshohocken, PA, 397-99.

Arıoğlu, E.,1992, Düşey Kalıp Yüzeylerine Etki Eden Taze Beton Basıncının Hesabı, İMO Teknik Dergi, Yazı 46,604-608, Ankara.

Arslan, M. (1999a). "The Effects of Drainer Formworks with Sucker Lining on the Concrete Surface Properties." *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, Vol. 23, No. 2, pp. 121-133.

Arslan, M. (1999b). "The Effects of Vertical Formwork Surfaces with Sucker Lining-Drainage on the Concrete Cover Physical Properties and Reinforcement Corrosion." *Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, Vol. 10 No. 2, pp.: 1909-1925.

Arslan, M. " Betonarme Yapı Elemanı Tasarımında Dayanıklılık Faktörlerini Belirlemeye Yönelik Bir Araştırma" Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (Yayında), 1996.

Arslan, M. (1996)"Betonarme Yapı Tasarımında Dikkate Alınması Gereken Beton Yüzey Kusurları" G.Ü., Fen Bilimleri Enst. Dergisi, (Yayında), Ankara,

Arslan, M., Şimşek, O., Subaşı, S., "Effects of formwork surface materials on concrete lateral pressure", *Construction and Building Materials*, 20 July, 2004, England.

AS 3610, Formwork For Concrete (Supplement to AS 3610-1990), Standart House, 80 Arthur St, Nort Sydney NSW,1990.

ASTM. (1991). "Standard Test Method For Gab Breaking Load and Elongation of Geotextiles." D 4632-91.

Barnes, J. M., "Modification Factors for Prediction of Fresh Concrete Lateral "Pressure," M. S. thesis, North Carolina State University, 1999,90 pp.

Basheer, P. (1993). "A brief review of methods for measuring the permeation properties of concrete in-situ," *Buildings and Structures, Institute of Civil Engineers* 99(1), 74-83.

Basheer, P. A., Rankin, G. I., Sháat, A., and Long, A. (1995). "Surface properties of bridge piers cast with controlled permeability formwork." *Concrete under severe conditions; 1, Environmental and loading*. K. Sakai, N. Banthia, and O. Gjorv, ed., 495-503.

Basheer, P., Sháat, A., Long, A., and Montgomery, F. (1993). "Influence of controlled permeability formwork on durability of concrete." *Concrete 2000*. R. Dhir and M. Jones, ed., 1, 738-47.

Beddoe, R. E. (1993). "The effect of formwork linings on surface concrete." *28th Research Colloquium Dafs*. University of Technology, Munich, Germany.

Bidel, E. N., and Blanks, R. F. (1942). "Absorptive form lining," *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings* 13(3), 253-68.

Brett, P., *Requirements and Materials For Formwork*, Heinemann Professional Publishing Ltd., 22 Bedford Square, London WC 1 B hh, 1988.

Charles, J., H. "Service Life Prediction of Concrete Structures-Case Histories Needs", *Concrete International*, November, 1992.

CIB Report, *Tolerances On Blemishes of Concrete*, Rp No: 24, Rotterdam, 1985.

CIRIA, "Concrete Pressure on Formwork-Data Sheet," *Construction Industry Research and Information Association*, London, 1979, pp. 1-2.

Cron, F. W. (1970). "Effect of absorptive form liner on surface durability of concrete," *Public Roads* 36(3), 53-59.

CSA S269.3 M92, *Concrete Formwork*, A National Standard of Canada, Rexdale, Ontario, 1992, pp. 1-17.

Department of the Army. (1952). "Tests on concrete and mortar surfaces cast against various types of forms and form linings," Technical Memorandum 6-336, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Department of the Army., (1991). "Civil works construction guide specification for formwork for concrete," U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.

Department of the Army., (1994). "Standard practice for concrete for civil works structures," Engineer Manual 1110-2-2000, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.

Department of the Army., (1997). "Architectural concrete," Engineer Manual 1110-1-2009, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.

DIN 18218, "Pressure of Concrete on Vertical Formwork (Frischbeton auf Lotrechte Schalungen)," DIN Deutsches Institut fur Normung e.V., Berlin, 1980.

Douglas, B. M., Saudi, M., Hayes, R., and Holcomb, G., "Field Measurements of Lateral Pressures on Concrete Wall Forms," *Concrete International*, Vol. 3, No. 11, A November 1981, pp. 56-62.

DuPont Canada. (Undated). "General guidelines for using Zemdrain," Mississauga, Ontario, Canada.

DuPont Corporation. (1995). "Champlain bridge, Montreal, Quebec, Canada;Precast concrete New Jersey barriers," DuPont Nonwovens, Old Hickory, TN.

DuPont Corporation. (1997). "Zemdrain MD2-controlled permeability form liner," User Technical Guidelines, DuPont Nonwovens, Luxembourg.

DuPont Corporation. (1998). "Piers without peer," *DuPont Magazine ONLINE*. <http://www.dupont.com/corp/products/dupontmag/98/Zemdrain.html> (15 Feb 98).

Ertingshausen, H., "Über den schalungsdruck von frischbeton, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, Heft 5, 1965.

Farahmandpour, Kamran. (1992). "Evaluation of Zemdrain," Report No. 260392, Construction Technology Laboratories, Inc., Skokie, IL.

Gardner, N. J. and Ho, P. T., "Lateral Pressure of Fresh Concrete," *Journal of the American Concrete Institute*, Proceedings Vol. 76, No. 7, July 1979, pp. 809-820.

Gardner, N. J. and Quereshi, A. R., "Internal Vibration and The Lateral Pressure Exerted by Fresh Concrete," *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 6, No. 4, December 1979, pp. 592-600.

Gardner, N. J., "Pressure of Concrete Against Formwork," *Journal of the American Concrete Institute*, Proceedings Vol. 77, Title No. 77-31, July 1980, pp. 279-286.

Gardner, N. J., "Pressure of Concrete on Formwork-A Review," *Journal of the American Concrete Institute*, Proceedings Vol. 82, No. 5, September 1985, pp. 744-753.

Gardner, N. J., "The Effect of Superplasticizers And Fly Ash on Formwork Pressures," *Proceedings of an International Conference on How to Integrate Forming into the Total Building Design and Construction Process*, Portland Cement Association, 1982, pp. 21.1-21.12.

Harrison, T. (1991). "Introducing controlled permeability formwork," *Concrete Construction* 36(2), 198-200.

Hoffman, R., "Pressure of Concrete Against Forms," *Beton u. Stahlbetonbau*, 42-, September 1943. (Reviewed by Theuer, A. U., *Journal of the American Concrete Institute*, Vol. 16, September 1944, pp. 68-69.)

Hurd, M. K. (1995). *Formwork for concrete*. Special Publication No. 4, American Concrete Institute, Detroit, MI.

Hurd, M., K, *Formwork For Concrete*, Fifth Edition, Spn;4, P: 11-17, ACI, November, 1989.

Hurst, P. M., *Formwork*, Construction Press, P:136, London, 1983.

Hydro-Electric Power Commission of Ontario, "Summary of Laboratory Investigations of Concrete Form Pressure," unpublished, February 1957, cited from ACI Committee 622 (1958).

James, M. Shilstone, S, "Architectural Concrete Contract Documents" Concrete International, Pp: 48-55, November, 1985.

Johnson, W. R. (1941). The use of absorptive wall boards for concrete forms," *Journal of the American Concrete Institute* 12(6), 621-30.

Karl, J.-H. and Solacolu, C. (1993). "Verbesserung der Betonrandzone:Wirkung und Ein satzgrenden der saugenden," *Schlunbsbahn Beton* 43(5), 222-25.

Kinnear, R. G., Sadgrove, B. M., Acharya, D. N., George, W. H., Turner, W. A., and Shepherd, M. I., "The Pressure of Concrete on Formwork," *CERA Research Report*; Civil Engineering Research Association, London, April 1965, pp. 1-44.

Klieger and J. F. Lamond, ed., *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, PA, 320-88.

Kolek, J. (1958). "An appreciation of the Schmidt rebound hammer," *Magazine of Concrete Research* 10, 28.

Kosmatka, S. H., and Panarese, W. C. (1990). *Design and control of concrete mixtures*. 13th ed., Portland Cement Association, Skokie, IL.

Kumagai Gumi Limited. (1998). "Immersed-tube method," Tokyo, Japan.

Long, A. E., and Basheer, P. (1997). "The influence of controlled permeability formwork liners on the durability related characteristics of concrete," Paper, ACI Fall Convention. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

Long, A. E., Basheer, P., Brady, P., and McCauley, A. (1996). "A comparative study of three types of controlled permeability formwork liners." *Radical Concrete Technology*. R. Dhir and P. C. Hewlitt, ed., 273-80.

Long, A., Sháat, A., and Basheer, P. (1995). "The influence of controlled permeability formwork on the durability and transport properties of near surface concrete." *Advances in concrete technology*, Special Publication 154. V. Malhotra, ed., American Concrete Institute, 41-54.

Long, A., Sháat, A., Montgomery, F., and Basheer, P. (1994). "A controlled permeability formwork—its influence on chloride ingress in concrete under various environment conditions." *Structural materials in marine environments*. The Royal Society, London, 288-309.

Longford, P., and Broomfield, J. (1987). "Monitoring the corrosion of reinforcing steel," *Construction Repair*. Paladin Publication, Ltd., Surrey, England.

Machida, N., et al "Studies on Improvement of Concrete Quality by Textile Form Method" Atomic Energy Development Division, Kumagai Gumi Co, 1986.

Malhotra, V. M. (1994). "Nondestructive tests." *Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials*, Special Technical Publication 169C. P.

Malone G., Philip, (1999), "Use of permeable formwork in placing and curing concrete" U.S Army Corps of Engineers, Technical Report SL-99-12, October, Washington D.C.

Marosszeky, M., and Chew, M. Y. L. (1990). "Textile form method to improve concrete durability," Report 1/90, Building Research Centre, Sydney, Australia.

Marosszeky, M., Chew, M., Arioka, M., and Peck, P. (1993). "Textile form method to improve concrete durability," *Concrete International* 15(11), 37-41.

Marosszeky, M., et al "Textile Form Method to Improve Concrete Durability" *Concrete International*, P: 37, 1993

Mather, B. (1990). "How to make concrete that will be immune to the effects of freezing and thawing." ACI SP-122, *Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete*. D. Whiting, ed., American Concrete Institute, Detroit, MI, 1-18.

Mazkewitch, A. and Jawaski, A. "Adhesion Between Concrete and Formwork" Conference Paper, No:11125, Pp:67-72, Institute of Civil Engineering, Gorki USSR, 1986.

Ming Yu, Dung., 2000., "Modelling and prediction concrete lateral pressure on formwork", Thesis of Doctor, North Carolina State University.

Neville, A. M. (2002). *Properties of concrete., Final edition*, Wiley, New York.

Nolan, E., Basheer, P. A. M., and Long, A. E. (1995). "Effects of three durability enhancing products on some physical properties of near-surface concrete," *Construction and Building Materials* 9(5), 267-72.

Olsen, R. H., "Lateral Pressure of Concrete on Formwork," Ph.D. dissertation, Oklahoma State University, 1968, 133 pp.

Olsen, R. H., Salek, F., and Peck, C. F., "Lateral Pressure of Concrete Formwork," *Journal of the American Concrete Institute*, Proceedings Vol. 71, No. 7, July 1974, pp. 358-361.

Ore, E. L. and Straughan, J. J., "Effect of Cement Hydration on Cement Form Pressure," *Journal of the American Concrete Institute*, Proceedings Vol. 65, No. 2, February 1968, pp. 111-120.

Perenchio, W. F. (1994). "Corrosion of reinforcing steel." *Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials*, Special Technical Publication 169C. P. Klieger and J. F. Lamond, ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 164-72.

Peter, J., and Chitharanjan, N. (1995). "Evaluation of indigenous filter fabrics for use in controlled-permeable formwork," *The Indian Concrete Journal* 69, 215-19.

Peurifoy, R. L., "Lateral Pressure of Concrete on Formwork," *Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol. 35, No. 12, December 1965, pp. 60-62.

Peurifoy, R. L., *Formwork for Concrete Structures*, 2nd ed., McGraw-Hall, New York, 1976, 330 pp.

Price, W. F. (1992). "Durability benefits from using controlled permeability formwork in hot climates," Special Report—Technical Review Middle East. Taywood Engineering, Ltd., Middlesex, England.

Price, W. F., and Widdows, S. J. (1991). "The effects of permeable formwork on surface properties of concrete," *Magazine of Concrete Research* 43(1455), 93-104.

Price, W. F., and Widdows, S. J. (1992). "Durability of concrete in hot climates: benefits from permeable formwork." *Concrete in hot climates*. M. Walker, ed., Chapman and Hill, London, 207-20.

Price, W. F.. (1993). "The improvement of concrete durability using controlled permeability formwork," *Proceedings, 5th international conference on structural faults and repairs*. 2, 233-38.

Price, W. F.. (1998). "Recent developments in the use of controlled permeability formwork," *Concrete* 32(3), 8-10.

Reading, T. J. (1972). "The bug hole problem," *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings* 69(3), 165-71.

Reddi, S. A. (1992). "Permeable formwork for impermeable concrete," *The Indian Concrete Journal* 66, 31-35.

Reeves, S. J. (1993). "The effect of formwork permeability on algae growth on concrete surfaces," Undergraduate thesis, University of Bath, Bath, UK.

Richardson, M. (1994). "CPF is good for inclined surfaces." *Newsletter* 24, 4, Institute of Concrete Technology, Dublin, Ireland.

Ritchie, A. G. B., "The Triaxial Testing of Fresh Concrete," *Magazine of Concrete Research*, Cement and Concrete Association, Vol. 14, No. 40, March 1962, pp. 37-42.

Rodin, S., "Pressure of Concrete Formwork," *Proceedings*, Institution of Civil Engineers (London), Part I, Vol. 1, November 1952, pp. 709-746.

Schjodt, R., "Calculation of Pressure on Concrete on Forms," *Proceedings of the Structural Division*, American Society of Civil Engineers, Vol. 81, No. 680, May 1955, pp. 1-16.

Sha'at, A. et al. "The Influence of Controlled Permeability Formwork Liner on the Quality of the Cover Concrete" *Durable Concrete in Hot Climates*, ACI, Sp:139-6, Pp: 91-105, 1986.

Shmanstar, R., N. et al. " Investigation of Concrete in Absorbing Formwork" *Hydrotechnical Construction*, Vol: 23, Part: May 11th, Pp: 665-668, 1990.

Skjolsvold, O. (1991). "Testing of concrete cast with and without Zemdrain liner on the formwork," Report STF 65A91049, Scientific and Industrial Research, Norwegian Institute of Technology, Oslo.

Specht, M, 1973., “ Belastung von Schaulung ud Rüstung durch Frischbeton, Wenwer Verlag, Dusseldorf.

Stark, J., and Knaack, U. (1997). “Effect of draining formwork material Zemdrain on the resistance of portland cement and blast furnace cement concrete to frost and de-icing chemical attack,” F. A. Finger-Institut für Baustoffunde der Bauhaus-Universität Weimar, Germany.

Stark, J., and Ludwig, H.-M. (1997). “Freeze-thaw and freeze-deicing salt resistance of concretes containing cement rich in granulated blast furnace slag.” *American Concrete Institute Materials Journal* 94(1), 47-55.

Subaşı, S. (2001) “Kalıp yüzey farklılıklarının betonun bazı fiziksel özelliklerine etkileri”, Gazi Üniv.Fen Bilimleri Enst.Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Subaşı,S., Arslan, M., Durmuş, G., “Kalıp Yüzeylerinin Beton Kabuğunun Kapilaritesi ve Dona Dayanıklılığı Üzerine Etkileri”, Hazır Beton Dergisi, Yıl:9, Sayı:50, ISSN:1300-8390 Nisan, 2002.

Subaşı, S., Arslan, M., Durmuş,G., “Kalıp Teknolojilerindeki Gelişmelerin Betonarme Elemanların Dayanıklılığına Etkileri”, 3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Cilt:4, Sayfa: 355-370, Ağustos, 2003, Ankara.

Tanaka, K., and Ikeda, H. (1987). “Improvement of surface quality of concrete structures by unique formwork,” IABSE Reports, 55. International Association of Bridge and Structural Engineering, Zurich, Switzerland.

Terzaghi, K., *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1943, pp. 66-76.

Thomas, C., G. “Improving Bonding To Concrete Surface” *Concrete International*, Pp: 55-59, April ,1989.

U.S. Patent Office. (1943). “Absorptive mold lining,” U.S. Patent No. 2,310,391, Washington, DC.

U.S. Patent Office. (1988). “Cloth faced form for forming concrete,” U.S. Patent No. 4,787,597, Washington, DC.

U.S. Patent Office. (1989). “Concrete form shuttering having double woven fabric covering,” U.S. Patent No. 4,856,754, Washington, DC.

U.S. Patent Office. (1992). “Fabric useful as a concrete form liner,” U.S. Patent No. 5,124,102, Washington, DC.

U.S. Patent Office. (1994). "Laminated fabric useful as a concrete form liner," U.S. Patent No. 5,302,099, Washington, DC.

Whilshire, C., J., Formwork, P: 45-47, Thomas Telford House 1 Heron Quay, London, 1989

Widdows, S. J., and Price, W. F. (1990). "The effects of DuPont Zemdrain formwork liner on the near surface properties of concrete," Report 1303N/90/4921, Taywood Engineering, Ltd., Research Laboratories, England, UK.

Wilson, D., and Serafini, F. L. (1996). "Controlled permeability formwork." *Radical concrete technology*, R. Dhir, and P. C. Hewlitt, ed., 218-90.

Wilson, David. (1994). "Controlled permeability formwork concrete," *Concrete*, 28(2), 20-22.

Yokota, T., et al. "Development of Textile Form Method in Aheiashi- Gawa Dam" Civil Engineering Division, Kumagai Gumi Co, 1986.

Zoldners, N. G. (1957). "Calibration and use of impact test hammer," *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings* 54(2), 161-65.