

KALIP TEKNOLOJİLERİNDEKİ GELİŞMELERİN BETONARME ELEMANLARIN DAYANIKLILIĞINA ETKİLERİ

Metin ARSLAN*, Serkan SUBAŞI**

ÖZET

Betonarme yapı üretim sistemi içerisinde önemli bir yere sahip olan kalıp, taze betonu desteklemek, şekil vermek, betonda istenilen yüzey düzgünlüğünü sağlamak gibi temel fonksiyonlara sahiptir.

Geleneksel yapım yöntemlerinde betonarme kalıpları geleneksel ve gelişmiş geleneksel kalıp sistemleri olarak iki grupta değerlendirilebilir. Geleneksel kalıplarda kalıp elemanları yerinde yapılıp monte edilmektedir. Gelişmiş geleneksel kalıplarda (panel, tırmanır, tünel v.b. kalıplar gibi) ise; kalıp elemanları önceden atölye veya fabrikalarda hazırlanarak ve yapım yerinde monte edilmektedir.

Kalıplar, beton yüzeyinin performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Betonarme kalıp yüzeylerinin malzeme türü, tasarımı ve yapım hatalarından dolayı kalıplanan beton yüzeylerinde beton kabuğun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen yüzey kusurlarının meydana geldiği bilinmektedir. Kalıp yüzeylerinin yapımında genel olarak; masif kereste (tahta), kontrplak (plywood), metal ve plastik malzemelerin kullanılmakta olduğu bilinmektedir. Su emme özelliği olmayan geçirimsiz kalıp yüzeyleri, beton yüzeyinde boşluklara neden olmaktadır. Boşluklu beton yüzeyleri zararlı aktif maddelerin betona daha kolay nüfuz ederek beton dayanıklılığının azalmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kalıp teknolojilerinde meydana gelen gelişmelerin betonarme eleman dayanıklılığı üzerine etkilerini araştırmaktır.

Sonuç olarak; kalıp teknolojisinde yeni bir uygulama olan drenajlı-astarlı kalıplara dökülmüş betonların, geleneksel kontrplak kalıba dökülen betonlara göre; daha iyi yüzey özelliklerine sahip olduğu, drenajlı-astarlı kalıp yüzeyi kullanımı ile beton/betonarme elemanların dayanıklılık faktörlerinde önemli ölçüde iyileşmeler sağlandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kalıp, astar, beton, dayanıklılık, beton kabuğu.

THE EFFECTS OF THE DEVELOPMENTS IN THE FORMWORK TECHNOLOGIES ON THE DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

ABSTRACT

Formworks, which has an important role in the production system of reinforced concrete structure, have basic functions such as supporting the fresh concrete, obtaining the desired shape, dimensions and smoothness of the surface.

Reinforced concrete formworks can be subdivided into two major groups, these are traditional and developed traditional formwork systems. In the traditional systems, elements of formworks are both built and formed insitu. However in the developed traditional formwork systems, elements of the formworks are built in the factories and formed insitu.

* G.Ü.Teknik Eğitim Fak., Yapı Eğitimi Bölümü, 06500 Tenikokullar, ANKARA Tel:(312) 212 6820/1605 metina@gazi.edu.tr

** G.Ü.Teknik Eğitim Fak., Yapı Eğitimi Bölümü, 06500 Tenikokullar, ANKARA Tel:(312) 212 6820/1616 subasi@gazi.edu.tr

Formworks are very important for the surface performance of the concrete. It has been known that physical and mechanical properties of the concrete cover are effected from the surface defects caused by formwork materials, improper design and manufacturing. Massive wood, plywood, plastic and metal materials are generally used for the production of formwork surface. Impermeable formwork surface having inability of draining water cause cavities on the concrete surface. Concrete surfaces having cavities decreases the strength of concrete by allowing penetration of harmful substances easily into concrete. The Purpose of this study is to investigate effects of new developments in the formwork technologies for the durability of concrete.

As a result, concretes poured into formworks covered with liners having ability to drain water have better surface properties than the concretes poured into traditional plywood formworks. By using liners having ability to drain water on the surface of the formwork, strength factor of the reinforced concrete elements can be improved significantly.

Key Words: Formwork, liner, concrete, durability, concrete surface.

1.GİRİŞ

Betonarme eleman tasarımında iki temel malzeme faktörü, betonarme çeliği ve betondur. Bunlardan betonarme çeliği tanımlanmış standart özelliklerde fabrikasyon olarak üretilmektedir. Buna karşın betonun, fiziksel ve mekanik özellikler bakımından; kendisini oluşturan (agrega, çimento, su ve katkı maddeleri gibi...) malzemelerin özelliklerinin yanı sıra, karışım oranları, hazırlanması, karıştırılması, taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve kürü gibi temel işlemler, kalıp özellikleri ve ortam şartlarından da büyük ölçüde etkilendiği bilinmektedir [1].

Betonarme yapı üretim sistemi içerisinde önemli bir yere sahip olan kalıp, kendisini taşıyabilecek hale gelinceye kadar betonu desteklemek, betona şekil vermek, betonda istenilen yüzey düzgünlüğünü sağlamak gibi temel fonksiyonlara sahiptir [2]. Kalıp bu temel fonksiyonlarının yanı sıra beton yüzeyinin performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Betonarme kalıp yüzey malzemesi türü, tasarım hataları ve kalıp yağlarının yanlış kullanımından dolayı, kalıplanan beton yüzeylerinde beton kabuğun (pas payı) fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen yüzey kusurlarının meydana geldiği bilinmektedir. Diğer taraftan betonarme elemanlarda donatıyı ve betonu dış tesirlerden koruyan beton kabuğun, eleman dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkinliğe sahip olduğu bilinmektedir [1,3]. Bu bakımdan beton kabuğun fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesiyle betonarme eleman dayanıklılığının artırılabilceği düşünülmektedir.

Genel olarak beton kusurları, betonarme elemanların yüzeyinde ve iç kısımlarında meydana gelebilmektedir. Çoğu zaman beton iç kısımlarında oluşan kusurların görünüşleri beton yüzeyine de yansımaktadır. Beton kusurlarının yüzeyde oluşmaları ve iç kısımlarda oluştuğu halde yüzeye yansıyanları üzerinde daha çok durulmaktadır. Bu durumda yüzeye görüntü vermeyen kusurlar ihmal edilmektedir.

Beton yüzeyinde yer yer farklı görünümlere neden olan yüzey kusurları aynı yüzeyde fiziksel özellikler bakımından farklı yapıların oluştuğunu göstermektedir. Bu oluşum, yapının bulunduğu ortam şartlarından kaynaklanan zararlı tesirlere karşı farklı davranış gösteren beton yüzey alanlarının oluşacağı anlamındadır. Dolayısı ile ileri yıllarda farklı zamanlarda, farklı seviyelerde yıpranma ve tamir-bakım gereksinimi ortaya çıkacak ve yapı elemanlarının farklı kullanım ömrü problemleri ile karşılaşılacaktır. Bu bakımdan yüzey kusurlarının dereceleri ve beton yüzeyinin

fiziksel özellikler bakımından üniform olması önem taşımaktadır. Değerlendirme kriteri olarak; beton yüzeyinin görünümü ve yüzey fiziksel özelliklerinin etkin olduğu betonarme strüktürün kullanım ömrü (service life), esas alınarak tasarım faktörlerinin organize edilmesiyle daha fonksiyonel ve ekonomik sonuçlar elde edilebilecektir. Strüktürel amaçlı olmanın yanı sıra estetik özellik de taşıması beklenen brüt beton yüzeylerinin tasarımında yüzey kusurlarını minimize edecek; yapı, kalıp ve beton tasarımının bir bütünlük içerisinde gerçekleştirilmesi gerekli görülmektedir [1].

Bu çalışmanın amacı, kalıp teknolojilerinde meydana gelen gelişmelerin betonarme eleman dayanıklılığı üzerine etkilerini araştırmaktır.

2. BETONARME ELEMAN DAYANIKLILIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Çevre şartlarına bağlı olarak, beton agregasının fiziksel özellikleri, tane dağılımı, su-çimento oranı ve çimento içeriği gibi faktörler tasarım alt sürecinde ayrıntıları ile belirlenmektedir. Betonarme elemanlar servis yükleri altında meydana gelecek gerilmeleri karşılamak durumundadır. Tasarımda sağlanması gereken bu olgunun yanı sıra, kalıp yüzey karakteristikleri ve beton döküm işlemlerinden kaynaklanan beton kusurlarının betonarme elemanların dayanımı ve dayanıklılığı üzerindeki etkileri önemli bir faktör olarak bilinmektedir. Diğer taraftan, genelde büyük ölçüde çevre şartlarından kaynaklanan ve betonarme elemanların dayanıklılığını etkileyen faktörler; betonarme çeliği korozyonu, kimyasal tesirler, donma/çözülme, aşınma olarak görülmektedir [4]. Bu faktörlerin etkinlik dereceleri, yapının bulunduğu çevre ve kullanım şartları, malzeme özellikleri, beton karışım oranları, beton kabuğu özellikleri ve kalıp karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir [5].

2.1. Beton Yüzey Kusurları

Beton yüzey kusurları renk-görüntü kusurları ve fiziksel kusurlar olmak üzere iki grupta değerlendirilmektedir.

Betonun yapısal rengi betonu oluşturan çimento ve agrega gibi iki temel unsurun rengine bağlıdır. Renk bozuklukları terimi genel olarak; betonun yapısal renginde değişimlerden anlaşılan kusurların anlatımı için kullanılır. Beton karışımının homojen olmaması, vibratörün kalıba çok yakın tutulmasıyla beton yüzeyinde kaymağın oluşmaması, vibratörü daldırma noktalarının iyi seçilmemesi, üniform olmayan kalıp absorpsiyonu ve/veya yanlış kalıp ayırıcıların kullanımı, renk bozukluklarına neden olabilmektedir [6].

Betonda meydana gelen fiziksel kusurlar ve sebepleri ise kısaca aşağıdaki şekilde açıklanabilir;

- **Peteklenme (honeycombing):** Harcın kaba agrega arasındaki boşlukları etkin bir şekilde doldurma yetersizliğinden kaynaklanan beton yüzeyindeki düzensiz boşluklardır [7].
- **Böcek yuvası tipi boşluklar (bug holes):** Betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sürecinde beton ve kalıp yüzeyi arasında tutulan hava kabarcıklarından oluşan küçük düzenli veya düzensiz boşluklardır [7].

- Kumlu görünüm (sand streaking): Beton yüzeyinde çimento kaymak tabakasının bulunmadığı kumlu bir beton yüzey görünümüdür. Kumlu görünümlü beton yüzeyi oluşmasında kalıp ek yerleri boyunca aşırı sızıntı, uygunsuz tane dağılımı, bağlayıcı malzemeye oranla kum miktarının artması, önemli faktörler olarak bilinmektedir [8].
- Kalıp izleri yansıması (form offset): Kalıp birleşim yerlerinin beton yüzeyine yansımasıdır. Kalıbın yetersiz bir şekilde desteklenmesi, beton döküm yüksekliğinin fazla olması, çok güçlü vibratör kullanılması, kalıp izleri yansımasına neden olan faktörler olarak bilinmektedir [9].
- Hava boşlukları (blow holes): Beton yüzeyinde, normalde 15 mm' yi geçmeyen tek tek düzenli veya düzensiz küçük boşluklardır. Kalıp yüzeyinin geçirimsizliği, uygun olmayan kalıp yağı seçimi, çok fazla kalıp yağı kullanımı, yetersiz vibrasyon betonda hava boşluklarının oluşmasına neden olabilecek önemli faktörler olarak bilinmektedir [8].
- Kılcal çatlak ağı (crazing): Aşırı parlak camsı beton yüzeylerinde, betonun ileri yaşlarında ince yapılı çatlak ağı oluşmasıdır. Kılcal çatlak ağının, çok parlak camsı kalıp yüzeyi kullanımı, karışımın fazla miktarda çimento ve ince malzeme içermesi, yüksek su içeriği, gibi faktörlerden kaynaklandığı bilinmektedir [8].
- Harç kaybı (grout loss): Genellikle hidrotasyon renk bozuklukları ile birlikte çimentodan yoksun yoğun kum yapılı yüzey alanlarıdır. Yeterince sıkı alıştırmamış kalıp yüzey elemanı aralıkları, harç kaybı oluşumunda önemli faktör olarak görülebilir [8].
- Yüzeyde pullanma (scaling): Beton yüzeyindeki çimentolu derinin yer yer kopması halidir. Uygun olmayan kalıp yüzeyi, yanlış kalıp yağı seçimi, su kusması, beton yüzeyinde pullanma oluşumuna neden olan önemli faktörlerdir [9].

2.2. Betonarme Çeliği Korozyonu

Betonarme Türkiye'de en fazla kullanılan yapı malzemesi durumundadır. Betonarme yapılarda donatının korozyona uğraması yapının erken yaşta yıpranmasına neden olmaktadır. Beton tarafından sağlanan alkalın (Ca(OH)_2) ortamı çeliği korozyondan korur. Ancak, karbondioksit gazı ve klorür iyonları betona nüfuz ettiği zaman normal olarak pasif korozyon durumunda bulunan çelik üzerinde aktif korozyon süreci başlar. Korozyon ürünleri (pas), kendisini oluşturan orjinal çelik hacminin yaklaşık 2-4 katı kadar artar [5]. Böylece korozyonun oluşmasıyla beton kabuğun çatlatmasına neden olabilecek basınç üretilmiş olur. Bu nedenle, klorür ve diğer korozyona neden olabilecek aktif maddelerin bulunduğu ortamlarda bulunan betonarme elemanlarda; iyi özelliklere sahip beton kabuğu esas alınmalıdır. Ayrıca, yapılan araştırmalar beton kabuğunun kalınlığının da önemli olduğunu göstermektedir [8]. Bu şekilde, betonarme elemanın kabuk (pas payı) kalınlığı ve beton kalitesi; klorür ve karbondioksit gibi aktif maddelerin atmosferden betona nüfuz ederek betonarme çeliği seviyesine ulaşmasını önlemekteki kabuk eforunun yeterliliğini belirlemekte bir ölçü olarak alınabilir.

2.3. Kimyasal Tesirler

Suyun beton içerisine doğru girmesi yapı bünyesinde birçok önemli sonuçlar doğurmaktadır. Tamamlanmış bir yapıda suyun boşluklu malzeme içerisinde ilerlemesi betonun performansını etkiler ve rutubetin yükselmesi, su penetrasyonu gibi pratik problemleri önemli hale getirir [10]. Su penetrasyon derinliği ve beton yüzey tabakasının porozitesi çok önemli olarak görülmektedir.

Donatıda kimyasal korozyonun meydana gelmesine neden olan, sülfat asitleri, deniz suyu ve klorürlerin zarar verebilmesi için beton içerisine girmiş olması gerekmektedir. Betonun permeabilitesi bu bakımdan da önemli görülmektedir. İç rutubet yükselmesinden, ısıdan ve ozmoz olayından dolayı aktif maddelerin beton içerisine doğru taşınması kimyasal tesirin gerçekleşmesinde etkin olmaktadır. Beton agregası; tane şekli, yapısı ve tane dağılımı özelliklerinden dolayı taze betonun sıkıştırılması işleminde önemli etkiye sahiptir. Ancak karışımın; toplam su içeriği düşük, kıvam bakımından iyi özelliklere sahip, uygun yüzey özelliklerine sahip kalıp içerisine dökülerek yeterli bir şekilde sıkıştırılmış ise beton permeabilitesi düşük olacaktır [11].

2.4. Donma-Çözülme

Beton, boşluklarına önemli miktarda su alabilen bir malzeme olduğuna göre, donma olayının etkisi altında kalmaya ve bu olay sonucunda hasar görmeye elverişli bir malzemedir. Donma olayı önce büyük boşluklarda gerçekleşir. Suyun donma derecesi boşluk boyutları küçüldükçe artmaktadır. Bu nedenle iri boşluklarda başlayan donma olayı küçük boşluklara doğru gelişir ve bunun sonunda kılcal boşluklardaki su donmaya başlar. Jel boşluk boyutları küçük olduğundan buralarda buz kristalleri oluşamaz. Bu ince boşluklarda suyun donabilmesi için sıcaklık derecesinin -78°C nin altına düşmesi gerekmektedir. Bu böyle olmakla beraber, jel suyu ile buzun etropilerindeki farklılıklardan dolayı, potansiyel enerjisi artan jel suyu kılcal boşluklara yönelerek donma olayının şiddetlenmesine neden olurlar [12].

Betonun dona dayanıklı olabilmesi için kendisini oluşturan çimento hamurunun ve agreganın dona dayanıklı olması gerekir. Yapılan incelemelerde çimento hamurunda, dona dayanımının su/çimento oranına ve beton içine sürüklenmiş kabarcıklarının miktarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür [12].

2.5. Aşınma

Aşınma direnci, aşınmaya maruz kalabilecek bütün yüzeyler için önemli görülmektedir. Aşınma direnci; su/çimento oranına, yüzey işlemleri ve betonun kürüne bağlıdır. Ayrıca, çimento hamuru direnci, agrega fiziksel özellikleri ve karışım oranları da betonun aşınma direncinin oluşmasında önemli rol oynamaktadır [11]. Çoğu durumda beton yüzeyleri aşınmaya maruzdur. Aşınma; kayma, kazıma veya vurmaktan kaynaklanan sürtünmelerle gerçekleşebilir [8]. Hidrolik yapı durumunda bulunan beton elemanlarda su tarafından taşınan aşındırıcı malzemelerin hareketi genellikle erozyona neden olur. Akan suyun neden olduğu beton hasarının diğer bir şekli ise oyulma olarak bilinmektedir, beton kabuğunun homojen bir yapıda olması gerekmektedir. Aksi takdirde, farklı seviyelerde aşınma ve oyulma meydana gelecektir [9].

3. BETONARME KALIPLARI VE BETON İLİŞKİSİ

3.1. Kalıp Teknolojileri

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 strüktürü kapsar [13].

Kalıp parçalarının boyutları ve ek yerlerinin doğru planlanması ile oluşması muhtemel potansiyel kusurlar büyük ölçüde önlenir. Kalıp kenarları kusursuz bir şekilde düzgün olamaz ve vibrasyon sürecinde aynı tepkiyi gösteremez. Bundan dolayı; harç sızmasından peteklenme, çimento hamuru sızmasından kumlu yüzey görünümlü, su sızıntısından koyu gölgeler ve su çimento oranının değişmesinden dolayı da koyu hatlar oluşabilir [14]. 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 azaltabilir [15].

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

- kalıp yüzey malzemesi türü,
- kalıp ayırıcılar,
- kalıp yüzey pürüzlülüğü,
- beton tip ve kalitesi,
- beton sıkıştırma tekniği ve süresi,
- beton kür şartları,

gibi faktörlere bağlıdır [16].

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. Kusursuz bir beton yüzeyi elde etmenin yollarından birisi de kalıp ayırıcının temiz ve artık vermeyecek şekilde yüzeye uygulanmasıdır [11]. Çok fazla kalıp yağı beton yüzeyinin sertleşmesini önler ve renk bozukluklarına neden olur. Özellikle atık yağların, kalıp ayırıcı olarak kullanımı, renk bozuklukları ve boşluklu yüzeyler gibi arzu edilmeyen sonuçlar doğurur. Bu nedenlerle kalıp ayırıcıların tür ve özelliklerinin iyi bilinerek seçilmesi gerekmektedir. Kalıbın betona yapışmasını önleyebilmek için kullanılan birçok kalıp ayırıcı madde doğru kullanılmadığı takdirde beton yüzeyinde hava boşluğu oluşumuna, beton prizinin gecikmesine ve renk bozukluklarına neden olabilmektedir [1].

Geleneksel yapı üretiminde yapı teknolojilerine göre kalıplar iki grupta değerlendirilmektedir. Bunlar, geleneksel kalıplar ve gelişmiş geleneksel kalıplar olarak adlandırılmaktadır. Ancak burada beton ile ilişkileri bakımından bir değerlendirme yapılacağı için kalıp yüzeyleri üzerinde gerçekleştirilen gelişmeler açısından değerlendirme yapılmaktadır.

3.1.1. Geleneksel kalıp yüzeyleri ve beton ilişkisi

Betonarme yapı elemanı kalıp yüzeylerinin oluşturulmasında genel olarak; masif kereste (tahta), kontrplak (plywood), metal ve plastik malzemeler kullanılmaktadır. Kalıp yüzey kaplamasının kalıpta en pahalı malzeme olduğu gözden uzak tutulmamalıdır [17]. Mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından farklılıklar gösteren bu malzemeler kaplandıkları beton yüzey özellikleri bakımından da farklılık göstermektedirler.

Geleneksel kalıplarda kullanılan ahşap kalıp yüzeyleri bir miktar absorpsiyon özelliği bulunan yüzeylerdir. Absorpsiyon değerleri yüksek olan kalıp yüzeyleri daha koyu beton rengi vermektedir. Kalıp yüzeyini oluşturan bütün tahtalar aynı derecede absorpsiyon özelliğine sahip olmaması durumunda farklı koyulukta bölgeler oluşmaktadır. 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. Her kullanımda kalıp yağı ve ince taneler ahşabın gözeneklerini doldurduğu için kullanım sayısı arttıkça daha açık renkli beton yüzeyi oluşmaktadır [18].

Metal kalıp yüzeyleri absorpsiyon özelliği bulunmayan yüzeylerdir. Absorpsiyon özelliği bulunan diğer kalıp yüzeylerinden farklı özellik göstermektedir. Renk bozukluğu açısından tatmin edici olan bu yüzeyler; hava boşluğu ve kılcal çatlak ağı gibi yüzey kusurlarının oluşmasına neden olur.

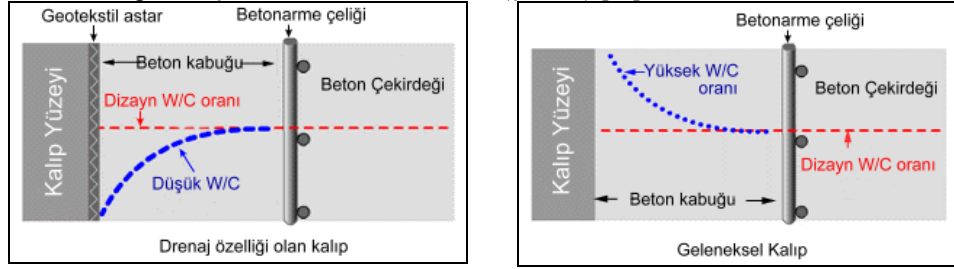
Plastik kalıp yüzeylerinin absorpsiyon özellikleri yoktur. Bu yüzeyler; çelik kalıp yüzeyine benzer sonuçlar verirler. Parlak-camsı bir yüzey kullanılması durumunda kılcal çatlakları artırır [19].

3.1.2. Drenajlı-astarlı kalıp yüzeyleri ve beton ilişkisi

Betonarme yapı elemanlarında beton dayanıklılığı, kür uygulamalarının değişiminden büyük ölçüde etkilenir. Yetersiz kür uygulamaları beton yüzeyinde zayıf ve boşluklu bir yapının oluşması ile sonuçlanır. Böylece yapı çevresinden kaynaklanan zararlı aktif maddelerin tesirlerine karşı dirençsiz bir yapı elemanı üretilmiş olur. Betonarme elemanlarda, donatı korozyonu ve betonda çatlaklarla başlayıp parçalanmaya varan bir yıpranma süreci başlar. Betonun yerleştirilmesinden sonra tasarlanan dayanım ve dayanıklılığı artırmak için uygulanan en yaygın yöntemlerden birisi onu doğru bir şekilde kür işlemine tabi tutmaktır. Bağlayıcı malzemenin yeterli bir şekilde hidrasyon yapmasını sağlamak için tatmin edici bir rutubet ortamı sağlamak gerekmektedir. Kür işlemi, beton yüzeyini nemli tutmak veya rutubet kaybını önlemek için uygulanan değişik metodlarla gerçekleştirilebilir. Diğer taraftan kür işlemleri zaman kaybettirici ve masraflı olabilmektedir. Bu nedenle beton dayanıklılığını artırmaya yönelik alternatif metodların araştırılması çalışmaları devam etmektedir. Son yıllarda üzerinde araştırmalar yapılan yönlerden birisi kalıp yüzeylerinin geçirgen ve astarlı yapılmasıdır. Drenajlı astarlı kalıp yüzeylerinin kullanımının temel amacı, fazla karışım suyunun ve hava kabarcıklarının beton yüzeyinden drene edilmesini sağlamaktır [20]. Bunun yanı sıra bir miktar karışım suyunu bünyesine alan kalıp astarı betonu kür etmek gibi önemli bir görevi de yerine getirmektedir.

Donatıyı kaplayan beton kabuk özelliklerinde iyileşmelerle betonarme eleman dayanıklılığında etkin gelişme sağlanmasının geçmişte düşünülmediği görülmektedir. Ancak, son yıllarda yapılan çalışmalar beton kabuğu özelliklerinin betonarme kalıpların kontrol edilebilir miktarda su geçirmesi ile gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Bu amaca yönelik kalıp yüzeylerinin, çimento partiküllerini geçirmeyen, fakat hava ve suyu geçirecek şekilde özel olarak tasarlanmış olması gerekmektedir [21].

Kalıp yüzeyleri, beton suyunu emici astarlar ile kaplanması sonucunda geleneksel kalıp yüzeyleri korunarak kullanım adedi artırılmaktadır. Diğer taraftan yüzeye kaplanan astar suyun kalıp yüzey elemanlarına açılan deliklerinden direne edilerek dışarı atılmasına ve dolayısı ile beton yüzeyinde su/çimento oranı düşük bir beton kabuğun oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 1) [22].



Şekil 1. Drenajlı-astarlı kalıp ve Geleneksel kalıp-beton ilişkisi

Yapılan bazı araştırmalarda drenajlı-astarlı kalıba dökülmüş betonların geleneksel kontrplak kalıba dökülmüş betonlara göre;

- yüzeyde hava boşluğu oranının 20 kat azaldığı,
- beton test çekici geri tepme sayısının % 70 arttığı,
- karbondioksit penetrasyon derinliğinin 4 kat azaldığı,
- klorür iyon penetrasyon derinliğinin 5 kat azaldığı,
- donma çözülme sonucu pullanma derinliğinin 10 kat azaldığı,

belirlenmiştir [23,24].

Arslan (1999)'ın yapmış olduğu araştırmada drenajlı-astarlı kalıba dökülmüş betonların geleneksel kontrplak kalıba dökülmüş betonlara göre;

- Schmidt çekici yüzey sertliği değerlerinin %15 arttığı,
- drenajlı-astarlı kalıplara ait beton yüzeylerinde ölçülebilir boyutlarda hava boşluğu olmadığı, buna karşılık astarsız drenajsız kalıp betonu yüzeyinde hava boşluğu oranının %13,5 olduğu,
- %36 oranında daha büyük kopma dayanımı değerine sahip olduğu, %52 oranında daha küçük kapilarite katsayısına sahip olduğu,
- %94 oranında daha az ağırlık kaybı değerine sahip olduğu,
- 4, 14 ve 120 hafta klorür iyonu penetrasyonu deneyi verilerine göre, %90, %88 ve %64 oranında daha az klorür miktarına sahip olduğu,
- 4, 14 ve 120 hafta karbondioksit gazı penetrasyonu deneyi verilerine göre, %3.5, %3.8 ve %38 oranında daha yüksek pH değerlerine sahip olduğu,
- %73 oranında daha küçük korozyon potansiyeline sahip olduğu, %23 oranında daha az hacim korozyon potansiyeline sahip olduğu,

- %23 oranında daha az hacim kaybına sahip olduğu görülmüştür [25].

Arslan (2000)'in yapmış olduğu araştırmada ise drenajlı-astarlı kalıba dökülmüş betonların geleneksel kontrplak kalıba dökülmüş betonlara göre; yüzeyde hava boşluğu miktarının yaklaşık %100 azaldığı, yüzeyde kopma dayanımı direncinin %20 daha fazla olduğu, su emme değerlerinin %70 daha az olduğu, pH değerinin %23 arttığı, aşınmadan dolayı olan hacim değişiminin %36 daha az olduğu, Schmidt yüzey sertliği değerlerinin %17 arttığı görülmüştür [26].

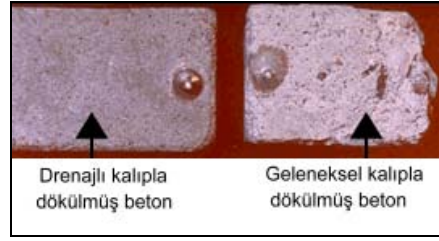
Drenajlı-astarlı kalıpların etkin olduğu alanda meydana gelen beton yüzey direncinin artması sadece su çimento oranının düşmesi ile açıklanamaz. Bu kalıba yakın yüzey alanında beton yoğunluğunun daha yüksek olmasının etkisi olarak kabul edilebilir. Çünkü suyun uzaklaşmasından dolayı kapiler boşlukların azalması, onların çimento partikülleri ile dolması ve betonun hidrotasyon sürecinde daha yoğun hale gelmesi ile açıklanabilir. Örneğin, su drenajı etkinliği sürecinde drenajlı-astarlı kalıbın etki alanı içerisindeki betonun kendi kendisini konsolide etmesi gibi bir süreç oluşur. Drenajlı astarlı 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 yapısı oluşturularak direncini yükseltmesi olarak açıklanabilir [18].

Drenajlı astarlı kalıp kullanılarak dökülen özellikleri geliştirilmiş beton, geleneksel kalıplarla dökülen betonla karşılaştırıldığında daha yoğun ve güçlü yüzey özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. Yüzey kusurlarını azaltarak daha yoğun, düzgün ve atmosfer etkilerine karşı dayanıklı bir beton yüzeyinin oluşmasına neden olması geçirgen kalıp kullanımının en önemli faydalarıdır. Drenajlı astarlı kalıp kullanımı; bir beton yapı için daha uzun servis ömrünü ve bakım onarım için yapılacak olan tüm harcamaların azalmasına neden olacaktır [27].

3.1.2.1.Drenajlı-astarlı kalıp yüzeyi kullanımı avantajları

*Beton yüzey kusurları;*Drenajlı-astarlı kalıp kullanımı peteklenme, kumlu görünüm, kalıp izleri yansımaları, hava boşlukları, kılcal çatlak ağı, harç kaybı, yüzeyde pullanma ve böcek yuvası tipi boşlukları gibi beton yüzey kusurlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Geleneksel kalıplarla dökülen betonlarda böcek yuvası tipi boşluklar %0.59 ile %1.5 yüzey alanına sahipken, bu oran drenajlı-astarlı kalıplarla dökülen betonlarda %0.1'den daha azdır [28].

*Dona dayanıklılık;*Drenajlı-astarlı kalıplarla dökülen betonların yüzeylerinin daha yoğun olması betonu donma-çözülme hasarına karşı daha dayanıklı hale getirmektedir [29]. Şekil-2'de sodyum sülfat don dayanımı deneyine tabi tutulmuş geleneksel ve drenajlı-astarlı kalıplara dökülmüş beton numunelerinin deney sonraki hasarları görülmektedir. Tablo-1'de drenajlı-astarlı kalıplarla dökülmüş olan betonların farklı araştırmacılar tarafından belirlenmiş test sonuçları verilmiştir [30].



Şekil 2. Drenajlı-astarlı ve geleneksel kalıpla dökülmüş betonların donma-çözülme deneyi sonrasındaki durumları

Tablo 1 Drenajlı-astarlı olan ve olmayan kalıplarla dökülmüş betonların donma-çözülme dayanımı testi sonuçları[31-35].

Referans	Çimento İçeriği (kg/m ³)	W/C	Mineral katkı	Test Türü	F ayıp Miktarı		
					Drenajlı Astarlı Kalıp Numunesi	Kontrol Numunesi	Kontrolde Yüzde Kayıp
Skjolsvold (1991)	384	0.42	%4.7 Uçucu kül	İsviçre SS137244	28 saykıdan sonra kütle değişimi (kg/m ³)		
					0.02	2.54	0.01
Farahmandpour (1992)	-	-	-	-	306 saykıdan sonra kütle değişimi		
					+%96	-%63	-
Beddoe (1993)	355	0.55	-	-	28. saykıdan sonra kütle kaybı (kg/m ²)		
					0.10	6.2	2
					50. saykıdan sonra kütle kaybı (kg/m ²)		
					0.17	7.87	2
Wilson (1994)	325	0.57	-	-	28. saykıdan sonra kütle kaybı (kg/m ²)		
	375	0.44	-	-	0.06	1.12	5
					0.01	0.79	1
Arslan ve ark.(2003)	400	0.47	-	TS4045	5. saykıdan sonra kütle kaybı (gr)		
					239	501	2

Yüzeyde karbonatlaşma;Drenajlı-astarlı kalıpla kalıplanan beton yüzeyinin daha yoğun hale gelmesiyle betonun karbonatlaşma direnci artar. Yoğunluğun artması karbondioksitin betona difüzyonunu yavaşlatır ve yüzey tabakasındaki çimento miktarının artması yüzeyin alkalinitesini korumak için daha fazla kalsiyum hidroksit sağlar. Tablo-2’de çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış drenajlı-astarlı kalıplarla yapılmış betonların karbonatlaşma testi sonuçları görülmektedir.

Tablo 2 Drenajlı-astarlı kalıplarla yapılmış betonların karbonatlaşma testi sonuçlarının geleneksel kalıpla dökülen betonlarla karşılaştırması [31,32,34,36].

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

Klor-iyon infiltrasyon oranı; Klor-iyon infiltrasyonuna karşı direnç betondaki donatı ömrü açısından oldukça önemlidir. Çünkü çeliğin korozyonunun ilk safhalarında bile pasın hacmi orijinal çeliğin hacmine oranla 2 ile 3 kat büyüktür. Hacim artışıyla beton içerisinde oluşan aşırı gerilmeler beton yüzeyinde çatlama ve dökülmelere yol açar [26]. Tablo-3'te çeşitli araştırmacıların yaptığı klor-iyon infiltrasyonu deney sonuçları görülmektedir.

Yüzey dayanımı (sertliği); Yüzey sertliği, yüzey pürüzlülüğü, kullanılan agrega tipi ve kalıp tipi gibi birçok değişkenden etkilendiği bilinmektedir [37]. Tablo-4'te drenajlı-astarlı kalıplarla dökülen betonlardaki geri tepme değerlerinin geleneksel kalıpla dökülen betonlardakine göre %10-18 arasında artışı görülmektedir. Marosszky ve ark.(1993) [28] yapmış oldukları araştırmada geleneksel kalıplarla dökülen betonlara göre drenajlı-astarlı kalıplara dökülen betonların %20 daha fazla yüzey dayanımına sahip olduğu belirtilmektedir. Zoldners (1957)'in [38] yapmış olduğu çalışmada ise geleneksel kalıplarla dökülen betonlarda geri tepme sayılarındaki %10'luk artışın beton basınç dayanımında yaklaşık olarak 6 MPa 'lık bir artışı gösterdiği belirtilmektedir.

Tablo 3 Çeşitli araştırmacıların yaptığı klor-iyon infiltrasyonu deney sonuçları [25,31,36,39]

Referans	Çimento İçeriği (kg/m ³)	W/C	Mineral katkı	Test Türü	Drenajlı Astarlı Kalıp Numunesi	Kontrol Numunesi	Yüzde Fark
Widdows and Price (1990)	288	0.66	Klor difüzyon katsayısı				
			TEL ¹ Precedure A9	3,5.10 ⁻⁹	7,68.10 ⁻⁹	45	
Skjolsvold (1991)	-	-	Etkin difüzyon sabiti 10 ⁻⁷ cm ² /s				
			- AASHTO ² T227-831 ²	5.79	9.41	62	
Karl and Solacolu (1993)	285	0.65	Çimento miktarına bağlı klor % si (0-10 cm derinliğinde)				
			-	90 gün %5 NaCl	1.95	2.90	67
			%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.

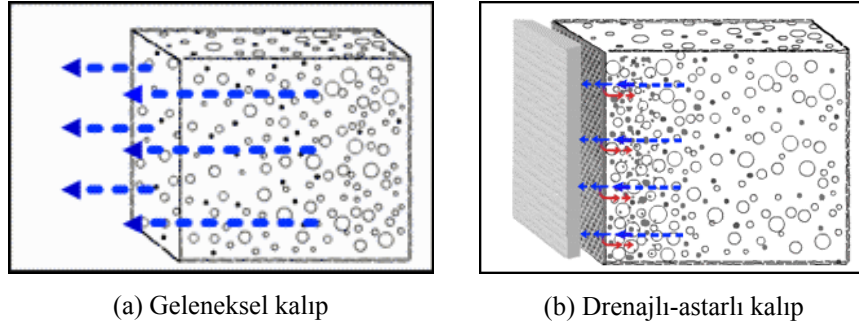
Tablo 4 Drenajlı astarlı kalıplarla dökülen betonlardaki geri tepme değerlerinin geleneksel kalıplarla dökülen betonlar karşılaştırılması [12,32,36,39].

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

Aşınma direnci; Özellikle aşınmaya maruz kalan beton yüzeyleri için önemli olan aşınma direnci drenajlı-astarlı kalıp kullanımı ile büyük ölçüde azalmaktadır. Yapılan araştırmalarda drenajlı-astarlı kalıp kullanılarak dökülen betonlardaki aşınma derinliğinin geleneksel kalıplarla dökülen betonlara göre %75 daha az olduğu görülmüştür [40].

Tekrar kullanımda kalıp yüzey işlemleri; Geleneksel kalıplarda, kalıbı beton dökümüne hazırlamak amacıyla kalıp yağı vb. kaplama malzemeleri kullanılmaktadır. Drenajlı-astarlı kalıp yüzeyinde kaplama malzemesi kullanımı astar gözeneklerini tıkayabileceğinden dolayı kullanılmamalıdır.

Beton kür işlemleri; Drenajlı-astarlı kalıplar, 1 m² kalıp yüzeyine yaklaşık olarak yarım litre su çeken kalıplardır. Bu su betonun sertleşmesinden hemen sonraki kür dönemi için beton yüzeyi tarafından geri emilebilir. Ancak kalıp ve astar söküldükten sonraki kür gereksinimleri geleneksel kalıplarda olduğu şekildedir [41]. Şekil 3'de görüldüğü gibi (a) geleneksel kalıpla dökülen beton fazlalık suyu hızlıca dışarı atarak nemini kaybetmekte ancak (b) astar kaplanmış kalıp yüzeyi fazlalık suyu bünyesinde tutarak beton prizini aldıktan sonra tekrar geri vererek erken kür görevi görmektedir.



Şekil 3. Drenajlı-astarlı kalıplarda erken kür görevi

Beton yüzeyine yapılacak olan kaplama işlemleri; Geleneksel kalıplarla yapılan beton yüzeylerinde yumuşak tozlu tabakanın varlığı bu yüzeye yapılacak olan kaplamanın beton yüzeyine iyi tutunmamasına yol açar. Bu sebeple bu tür betonlara kaplama yapılabilmesi için yüzeyin çeşitli özel işlemlerle temizlenmesi gerekir. Drenajlı-astarlı kalıplarla elde edilen beton yüzeyleri ise daha düzgün ve boşluksuz olduğundan dolayı kaplama için önceden bir işlem yapılmasına gerek yoktur [42].

4. SONUÇLAR

Betonarme elemanların dayanıklılığını etkileyen faktörler; beton yüzey kusurları, betonarme çeliğin korozyonu, kimyasal tesirler, donma-çözülme, aşınma vb. faktörler olarak bilinmektedir. Geleneksel yöntemlerle yapı üretiminde betonarme yapı elemanlarının dökümü drenajlı-astarlı kalıplarda üretilmesiyle betonarme elemanların dayanıklılığı artırılabilir.

Yapılan araştırmalar drenajlı-astarlı kalıplara dökülen betonların geleneksel kalıplara dökülen betonlara göre;

- donma-çözülme deneyi sonunda ağırlık kaybı değerlerinin %95-%99 oranlarında azaldığı,
- karbonatlaşma derinliğinin %36-%95 oranlarında azaldığı,
- klor-iyon infiltrasyonunun %33-%55 oranlarında azaldığı,
- Schmidt yüzey serliği değerlerinin %10-%18 oranlarında arttığı,
- aşınma direncinin ise %75 oranında arttığı

görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Arslan, M., 'Betonarme elemanların dayanıklılığı üzerine araştırmalar', DPT Projesi, 96K120750, Ankara, 1997
2. Anthony, W.R., Stainer, D.J. "Concrete High Rises Offer Many Cost Advantages" Concrete Construction, Vol: 33, Pp:452-456, Ceco Cord, Oak Brook, P: 81, USA, 1988.
3. Report, Tolerances On Blemishes of Concrete, Rp No: 24, Rotterdam, 1975.
4. Charles, J., H. "Service Life Prediction of Concrete Structures-Case Histories Needs", Concrete International November, 1992.
5. Arslan, M. " Betonarme Yapı Elemanı Tasarımında Dayanıklılık Faktörlerini Belirlemeye Yönelik Bir Araştırma" Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt: 9, No: 4, 1996.
6. Arslan ,M., Ahşap Kalıp Yüzey Malzemesinin Performansını Belirlemeye Yönelik Kriterlerin Saptanması ve Geleneksel Yapım Çerçevesinde Karakavak Kerestesinin Kalıp Yüzey Malzemesi Olarak Kullanım Sınırlarının Belirlenmesi, GÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), Ankara, 1994.
7. Reading, T., J. "Deleterious Effect of Wood Forms on Concrete Surface" Concrete International. Vol: 1, Pp.57-62, Nov, 1985.
8. ACI Committee 303, Guide To Cast-in-Place Architectural Concrete Practice, (ACI 303 R-74), American Concrete Institute, Detroit, 1974.
9. ACI Committee 397 2R -82, Identification and Control of Consolidation Related Surface Defects in Formed Concrete, 2002.
10. Schmidt, M., J., Scht beton-Und Tapezierbeton- Schalungen, Wiesbaden, Bauverlag GMBH, 1972.
11. Boor, U. "Experience With Mould Oils in Precast Concrete Production" Beton WerkUndFertigteil-Technik, Vol:54-II.th, 1988.
12. Subaşı, S., Kalıp Yüzey Faklılıklarının Betonun Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkileri, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniv., Fen Bilimleri Enst., Ankara, 2001.
13. Brett, P., Requirements and Materials For Formwork. Heinemann Professional Publishing Ltd., 22 Bedford Square, London WC1B hh, 1988.
14. James, M. Shilstone, S, "Architectural Concrete Contract Documents" Concrete International, Pp: 48-55, November, 1985.
15. Whilshere, C., J., Formwork. P: 45-47, Thomas Telford House 1 Heron Quay, London, 1989

16. Mazkewitch, A. and Jawaski, A. "Adhesion Between Concrete and Formwork" Conference Paper. No: 11125, Pp:67-72, Institute of Civil Engineering, Gorki USSR, 1986.
17. Hurst, P. M., Formwork. Construction Press, P: 136, London, 1983.
18. Shmanstar, R., N. et al. " Investigation of Concrete in Absorbing Formwork" Hydrotechnical Construction, Vol: 23, Part: May 11th, Pp: 665-668, 1990.
19. Kinnear, R., G. "Technical Report" Cement and Concrete Association, 52 Grosvenor Gardens, London, SW 1. TRA/38/ July, 1964.
20. Sha'at, A. et al. "The Influence of Controlled Permeability Formwork Liner on the Quality of the Cover Concrete" Durable Concrete in Höt Climates , ACI, Sp:139-6,Pp: 91-105.
21. Harrison, T. "Introducing Controlled Permeability Formwork" Concrete International Pp: 198-202, February, 1991.
22. Marosszeky, M., et al "Textüe Form Method to Improve Concrete Durability" Concrete International P: 37, 1993
23. Yokota, T., et al. " Development of Textile Form Method in Aheiashi- Gawa Dam" Civil Engineering Division, Kumagai Gumi Co, 1986.
24. Machida, N., et al "Studies on Improvement of Concrete Quality by Textile Form Method" Atomic Energy Development Division, Kumagai Gumi Co, 1986.
25. Arslan, M., ‘Su emici astarlı ve drenajlı düşey kalıp yüzeylerinin beton kabuğu fiziksel özellikleri ve donatı korozyonu üzerine etkileri’, IMO Teknik Dergi, Yazı: 135, Syf: 1909-1924, Ankara, 1999.
26. Arslan, M., The Effects of Permeable Formworks with Sucker Liners on The Physical Properties of Concrete Surfaces, Construction and Building Materials, vol: 15, p. 149- 156, 2001.
27. Malone, P.G., Use of Permeable Formwork in Placing and Curing Concrete, technical report SL-99-12, US Army Corps of Engineers, Washington,1999.
28. Marosszeky, M., Chew, M., Arioka, M., and Peck, P.,“Textile form method to improve concrete durability,” *Concrete International* 15(11), 37-41, 1993.
29. Mather, B.,“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, 1990.
30. Use Zemdriin to improve concrete’s durability, User Technical Guidelines, DuPont Nonwovens, Luxembourg.,2002.
31. Skjolsvold, O. ,“Testing of concrete cast with and without Zemdriin liner on the formwork,” Report STF 65A91049, Scientific and Industrial Research, Norwegian Institute of Technology, Oslo, 1991.
32. Farahmandpour, Kamran. “Evaluation of Zemdriin,” Report No. 260392, Construction Technology Laboratories, Inc., Skokie, IL, 1992.
33. Beddoe, R. E. ,“The effect of formwork linings on surface concrete.” *28th Research Colloquium Dafsbb*. University of Technology, Munich, Germany, 1993.

34. Wilson, David. ,“Controlled permeability formwork concrete,” *Concrete*, 28(2), 20-22, 1994.
35. Arslan,M., Subaşı,S.,Durmuş,G., Kalıp Yüzeylerinin Kapilaritesi ve Dona Dayanıklılığı Üzerine Etkileri, Hazır Beton, Yıl:1, Sayı:50, İstanbul, Nisan 2002.
36. Karl, J.-H. and Solacolu, C.,“Verbesserung der Betonrandzone: Wirkung und Einatzgrenzen der saugenden,” *Schlunghbahn Beton* 43(5), 222-25, 1993.
37. Malhotra, V. M. , “Nondestructive tests.” *Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials*, Special Technical Publication 169C.P, 1994.
38. Zoldners, N. G. , “Calibration and use of impact test hammer,” *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings* 54(2), 161-65,1957.
39. Widdows, S. J., and Price, W. F. , “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,1990.
40. Price, B., Recent developments in the use of controlled permeability formwork, *Concrete*, pp:8-10, 1998.
41. Long, A., Sháat, A., and Basheer, P. , “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, 1995.
42. Anonymous,“DuPont membrane for Mersey Weir,” *International Water Power and Dam Construction* 46, 6,1994.