

Özel Betonlar*

Turan Özturan**

Özet

Geleneksel betonun bazı durumlarda istenilen özellikleri sağlayamaması özel betonların kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Bu bildiriye bazı özel beton tipleri önemi, malzeme ve karışım oranları, özellikleri ve uygulama alanları açısından tartışılmıştır. Ağır agregalar ile üretilen ağır beton normal betona göre %50-100 daha yüksek birim ağırlığa sahip olabilmekte ve genellikle nükleer santrallerde radyasyon kalkanı olarak kullanılmaktadır. Şiddetli kimyasal etkilere maruz kalınan durumlarda polimer betonu yüksek geçirimsizliği ile yeterli dayanıklılığı sağlamak ve endüstriyel döşemeler ile köprü tabliyelerinde polimer beton kaplamalar donatı korozyonunu önlemede etkin olmaktadır. Kolay ulaşılamayan veya kalıp yapma zorluğu olan yerlerde iri agreganın önceden yerleştirildiği ve aralarına harç veya hamur enjekte edildiği prepak beton rötresiz olması ve yüksek geçirimsizlik sağlaması nedeniyle uygulanmaktadır. Tünel kaplaması, katlanmış plak çatılar ve kabuklar için püskürtme beton uygulaması ideal olmaktadır. Şev stabilitesi ve onarım amaçla da kullanılan püskürtme beton daha az kalıp masrafı nedeniyle avantajlı olabilmektedir. Köprü ayağı, liman, açık deniz platformu gibi su yapılarının inşaatında su altında beton dökümü kaçınılmaz olmaktadır.

1. GİRİŞ

Özel amaçlar ve kullanımlar için geliştirilmiş olan birçok farklı

tip özel betonlar bulunmaktadır. Genelde, portland çimentosu matris fazı ve/veya agrega fazı bir şekilde değişime uğratılarak bazı beton özelliklerin değiştirilmesi, iyileştirilmesi

ve/veya betona yeni bazı özelliklerin kazandırılması amaçlanmaktadır. Bu özel tip betonların bazıları çok uzun zamanlardan beri inşaat sektöründe kullanılmalarına rağmen, bazıları ise beton endüstrisine yeni kazandırılmaktadır. Bu bildiriye bazı özel beton tipleri tanım ve önemi, malzeme ve karışım oranları ile özellikleri ve uygulama alanları açısından tartışılmıştır.

2. AĞIR BETON

2.1. Tanım ve Önemi

Doğal veya yapay agregalar kullanılarak üretilen ve etüv kuru birim ağırlığı 2600 kg/m³'den büyük olan betonlar ağır beton olarak tanımlanmaktadır [1]. Önceleri bazı özel yapıların kayma veya devrilmeye karşı güvenliğini sağlamak amaçlı kullanılan ağır betonlar günümüzde nükleer enerji santrallerinde, tıp birimlerinde ve nükleer araştırma ve deney laboratuvarlarında radyasyona karşı koruyucu olarak kullanılmaktadırlar [2,3]. Bu amaçla kullanılacak başka malzemeler olsa da beton ekonomik olması ve bazı avantajları nedeniyle daha çok tercih edilmektedir.

Normal beton kullanımında etkin koruma için elemanların kalınlıklarının çok büyük olması gerekirken, ağır agregalar ile üretilen ve birim ağırlıkları 3360-3840 kg/m³ aralığında olan ağır betonlar ile kalınlıklar önemli oranda azaltılabilmektedir [4,5].

Special Concretes

Due to some deficiencies of conventional concrete special concretes have been developed.

Some special concretes are discussed in this paper regarding the general considerations, materials and mix proportions, properties and applications. Heavyweight concrete made with high density aggregates is approximately 50-100% heavier than normal concrete. It is used for radiation shielding in nuclear power plants.

The use of polymers in concrete resulted in very low permeability and excellent chemical resistance. Polymer concrete overlays also provide very good protection of reinforcing steel from corrosion in industrial floors and bridge decks. In places not easily accessible by, or suitable for ordinary concrete, preplaced concrete with reduced shrinkage and permeability has found useful applications.

* Beton 2013 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

** Boğaziçi Üniversitesi, ozturan@boun.edu.tr

2.2. Radyasyona Karşı Koruyucu Malzeme Olarak Beton

Biyolojik korumada iki tip radyasyon etkisi önemlidir. Yüksek enerji ve frekanslı elektromanyetik dalgalar olan x- ve γ -ışınları yüksek nüfuz etme yetenekleri nedeniyle ancak birim kütlesi yüksek olan malzeme tarafından emilip durdurulabilmektedirler.

Elektrik yükü taşıyan ve atom çekirdeğinin ağır parçacığı olan yüksek hızlardaki nötronlar demir gibi yüksek atom ağırlıklı malzemeler ile elastik olmayan çarpışma sonunda yavaşlatılırlar; hidrojen gibi hafif elemanlar orta hızdaki nötronlar ile elastik çarpışma yaparak daha da yavaşlamalarına neden olurlar; yavaş hareket eden nötronlar ise yine hidrojen atomu ya da bor minerali tarafından tamamen emilerek yok edilirler. Beton dayanımına olumsuz etkisi olmaması için suda çözünmeyen boron kullanılmalıdır [6].

Nötron ve γ -ışınlarını yavaşlatabilme karakterinin yanında yeterli mekanik özelliklere sahip ve ilk maliyeti ve bakım masrafları düşük olan beton bu amaç için en ideal malzemedir. Karma suyunun bünyesindeki hidrojen ve oksijen gibi hafif atomlu cisimlerin yanında içerdiği yüksek özgül ağırlıklı agregalar ve parçacıklar ile ağır beton yüksek enerjili γ -ışınlarını ve nötronları pratik koşullar altında durdurmaya yeterli olmaktadır.

Çizelge 1. Bazı ağır agregalar ve fiziksel özellikleri [4].

Agrega	Kimyasal Kompozisyon	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Kaynak	Özgül Ağırlık
Geotit	Fe ₂ O ₃ .H ₂ O	2100-2250	Doğal	3,5-3,7
Limonit	Fe ₂ O ₃ (safsızlık var)	2100-2400	Doğal	3,4-4,0
Barit	BaSO ₄	2300-2550	Doğal	4,0-4,6
İlmenit	FeTiO ₃	2550-2700	Doğal	4,3-4,8
Magnetit	Fe ₃ O ₄	2400-3050	Doğal	4,2-5,2
Hematit	Fe ₂ O ₃	2900-3200	Doğal	4,9-5,3
Ferrosfor	Fe ₂ O ₃ -P ₂ O ₃	3200-4150	Sentetik	5,8-6,8
Demir çelik parçacıkları	Fe	3700-4650	Sanayi atığı	6,2-7,8

Ağır beton, üretiminde kullanılan ağır agregalar dışında diğer malzemeler ve karışım oranları açısından normal betonlardan pek farklı değildir [7]. Kullanılan agreganın granülometrisi taze betonda ayrışmaya neden olmayacak ve sertleşmiş betonun boşluk oranını en aza indirecek uygunlukta olmalıdır. Mümkün olan en yüksek birim ağırlığı sağlamak ve de taze betonda ayrışmayı önlemek için hem ince hem de iri agreganın yüksek özgül ağırlıklı kayaç ve minerallerden olması tercih edilmelidir. Ağır kır-

2.3. Malzemeler ve Karışım Oranları

TS EN 206 standardına [1] göre özgül ağırlıkları 3,00'dan büyük olan agregalar ağır agregalar olarak tanımlanmaktadır. Türk standardında ağır agregalar ile ilgili bir standart yoktur, ancak ASTM C637 ve ASTM C638 standartları [7,8] ağır betonlarda kullanılan ağır agregalar ile ilgili detaylı bilgileri vermektedir.

Ağır beton üretiminde genellikle barit, limonit, magnetit, hematit, ilmenit, viterit, geotit gibi doğal agregalar ile demir saçmaları, kurşun parçacıkları, ferrosilikon ve ferrosfor gibi yapay agregalar kullanılmaktadır (Çizelge 1). Ayrıca bor minerali de bu amaçla kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan baryum sülfat esaslı barit minerali stabil olması nedeniyle betona zarar vermez ve betonun birim ağırlığı 3600 kg/m³'e kadar çıkabilmektedir. Magnetit ve limonit ile üretilen betonların birim ağırlıkları da 3400-3600 kg/m³ arasında olabilmektedir. Demir parçacıkları tek başlarına ya da diğer ağır agregalar ile kullanıldıklarında betonların birim ağırlıkları 5500-6500 kg/m³ değerlerine yükselmektedir.

Shotcrete is used for thin, lightly reinforced sections, such as shells or folded plate roofs, tunnel linings and prestressed concrete tanks with the advantage of reduced cost of formwork. Underwater concreting is specially required in marine constructions such as bridge piers, harbours and off-shore platforms. Specialities in materials, mix design and production and placing are to be considered in such concretes.

2.4. Üretimi ve Yerleştirilmesi

ma agregaların genellikle düzgün olmayan şekillerde ve yüzeyleri çok pürüzlü olduğu için taze betonda kıvamı sağlamak için kumun inceliği arttırılmalı ve çimento dozajı 350 kg/m³ değerinin üzerinde olmalıdır. Süperakışkanlaştırıcı kullanımı ile istenen akışkanlıkta, su/çimento oranı 0,40'ın altında ve boşluk oranı ve çatlama riski en düşük düzeyde beton üretmek mümkündür [4].

Ağır betonların taze haldeki işlenebilmesi sorun olabilmekte ve yerleştirme sırasında ayrışma oluşabilmektedir. Bu nedenle ağır betonların pompalanabilmesi ya da oluklar ile akıtılarak yerleştirilmesi ancak kısa mesafeler ile sınırlı kalmaktadır. Ayrışma sorununu çözebilmek için bazı durumlarda prepakt tekniği uygulanabilmektedir. Dikkat edilmesi gereken önemli hususlar arasında karıştırma sürelerinin kısa tutulması, en fazla 25 cm kalınlığında tabakalar halinde dökülmesi, yerleştirme sırasında kısa süreli güçlü vibrasyon uygulanması ve kalıpların daha rijid olması sayılabilir. Diğer taraftan bazı bor minerali türevleri çimentonun hidratasyonunu yavaşlatıp priz sürelerini uzatabildiklerinden dolayı kullanımlarında dikkatli davranmak gerekmektedir [6].

2.5. Önemli Özellikleri

Radyasyona karşı koruma amaçlı olarak taşıyıcı olmayan kalın kütle beton duvarlar kullanılması durumunda beton basınç dayanımlarının yaklaşık 14 MPa olması yeterli görülmekteyken, taşıyıcı beton duvarlar kullanılması durumunda ise beton dayanımları 20-35 MPa arasında olması gerekmektedir. Diğer taraftan nükleer enerji santrallerinin beton reaktör silolarında özellikle ağır beton perdeler ve öngermeli beton reaktör siloların kullanımı tercih edilmektedir. Bu betonlar 0,30-0,35 su/çimento oranında 7 günlük dayanımları 50-65 MPa ve 28 günlük dayanımları ise 60-75 MPa olacak şekilde üretilmelidirler. Ayrıca bu betonların normal şartlarda 70°C ve kaza anında çok daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı olacak şekilde üretilmeleri gereklidir.

Radyasyona karşı koruma amaçlı olarak barit agregası ile üretilen ağır betonların elastisite modülleri kırmataş agregalı normal betona göre daha yüksek bulunurken, barit agregası kullanımı betonun ultrases hızı ile Schmidt sertliği değerlerini etkilememiştir [9]. Barit agregalı ağır betonların γ -ışınlarını absorbe etme katsayısının kullanılan malzemeler ve karışım oranları ile değişimi birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve γ -ışını absorbe etme katsayısının beton birim ağırlığı ile doğrudan arttığı, su-çimento oranı ve basınç dayanımının önemli etkisinin olmadığı gözlenmiştir [10,11,12]. Sakr ve El-Hakim [13] çakıl, barit ve ilmenit agregaları ile yapılmış betonların radyasyon ve yüksek sıcaklık (25-550°C) etkisi altında fiziksel ve mekanik özellikleri ile γ -ışını absorbe etme katsayısını incelemişler ve ilmenit agregası ile üretilen betonların birim ağırlıklarının, basınç, çekme ve eğilme dayanımları ile elastiklik modüllerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğunu ve ayrıca ilmenit agregalı betonların γ -ışınlarını absorbe etme katsayısının yüksek sıcaklıklardan barit agregalı betonlara göre daha az etkilendiğini gözlemişlerdir. Kan ve diğerleri [14] demir cevheri ve çelik bilyeler ile ürettikleri ağır betonlarda, ağır agreganın artmasıyla beton basınç ve eğilme dayanımlarının pek fark etmediğini, ancak elastiklik modülünün arttığını gözlemişlerdir. Radyasyona karşı en iyi korumanın kırılma tokluğu en fazla, dolayısıyla çatlama riski en az olan %40 oranında metal agregası içeren karışımlarda sağlanabileceğini ileri sürmektedirler.

3. POLİMER BETONU

3.1. Tanım ve Önemi

Polimer monomer denen çok sayıda organik molekülün polimerizasyon adı verilen kimyasal bir reaksiyon sonunda bir zincir yapı oluşturmasıyla meydana gelmektedir. Polimerler termoplastik ve termoset olarak iki temel guruba ayrılmaktadırlar. Termoplastikler paralel doğrusal zincir yapısına sahiptirler ve ısıtma-soğutma çevrimleriyle yumuşama-sertleşme dönüşümleri yaparlar. Termosetler ise rastgele düzenlenmiş ve birbirleriyle bağlar kurmuş zincirlerden oluşmakta ve polimerizasyon işlemi ile sertleştikten sonra ısıtma ile yumuşamazlar.

Kimyasal aktivitesi olmayan polimerler normal betondan daha yüksek basınç ve çekme dayanımlarına sahiptirler. Ancak, elastisite modülleri daha düşük, sünme deformasyonları daha yüksektir. Dolayısıyla betonun zayıf olan çekme dayanımı polimerik malzemelerin kullanımıyla iyileştirilebilir. Bu amaçla üç grup polimer betonu tanımlanmıştır [4,5,15].

- **Polimer beton:** Bağlayıcı olarak sadece polimer kullanılır.
- **Lateks ile modifiye edilmiş beton:** Karışım suyunun bir kısmı yerine lateks polimer emülsiyonu kullanılır.
- **Polimer emdirilmiş beton:** Sertleşmiş betonun boşluklarına polimer emdirilir.

Polimer beton ve lateks modifiye beton 1950'li yıllardan itibaren bilinirken, polimer emdirilmiş betonun 1970'lerden itibaren ticari kullanım imkanı bulmasıyla polimerlerin betonda kullanımı yaygınlık kazanmaya başlamıştır [16,17]. Polimer betonlarda sadece birkaç saat içinde çok yüksek (140 MPa) basınç dayanımlarına ulaşırlarken, lateks modifiye betonlar ise eski betona mükemmel aderans özellikleriyle bilinirler. Polimer emdirilmiş betonlar üstün geçirimsizlikleri sayesinde yüksek dayanıklılığa sahip betonlar oluştururlar [4]. Polimer betonlar ve polimer emdirilmiş betonlar yüksek malzeme maliyetleri ve teknolojik zorlukları nedeniyle daha az kullanılırken, lateks modifiye betonlar sıklıkla kullanılmaktadır. Normal betona kıyasla lateks modifiye betonlar 2-3 kat, polimer emdirilmiş betonlar 3-6 kat ve polimer betonlar ise 8-20 kat daha maliyetlidirler [18].

3.2. Polimer Beton

Polimer betonu uygun granülometride bir agregası karışımının bir tür monomer ile karıştırılıp ortam sıcaklığında polimerize edilmesiyle oluşmaktadır. Karışıma katılan bir sertleştirici polimer zincirleri arasında çapraz bağ oluşturulmasını, katalizör ise polimerizasyonun etkin ve hızlı olmasını sağlamaktadır. Ayrıca bazen kullanılan silan birleştirme ajanları ise polimer ile agregası taneleri arasındaki aderansı kuvvetlendirip, kompozitin daya-

Çizelge 2. Polimer betonların özelliklerinin değişim aralıkları [4].

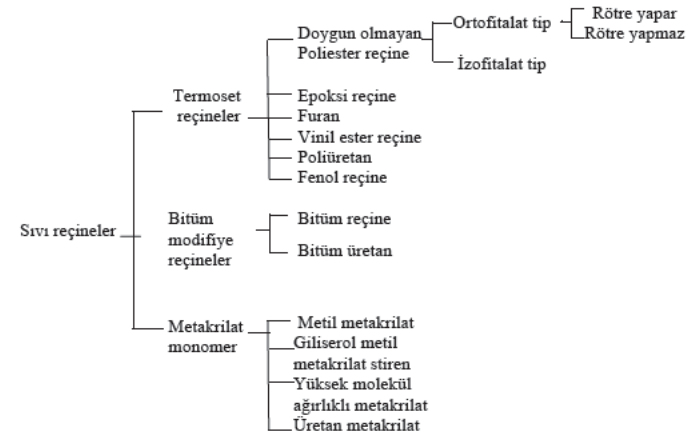
Bağlayıcı	Birim Ağırlık (kg/dm ³)	Su emme (%)	Dayanımlar (MPa)			Elastik Modülü (GPa)	Poisson oranı	Termal genişleme katsayısı (10 ⁻⁶ °C)
			Basınç	Çekme	Eğilme			
Polimetil metakrilat	2,0-2,4	0,05-0,60	70-210	9-11	30-35	35-40	0,22-0,33	10-19
Poliester	2,0-2,4	0,30-1,0	50-150	8-25	15-45	20-40	0,16-0,30	10-30
Epoksi	2,0-2,4	0,02-1,0	50-150	8-25	15-50	20-40	0,30	10-35
Furan	1,6-1,7	0,20	48-64	7-8	-	-	-	38-61
Portland çimento betonu	1,9-2,5	5-8	15-35	1,5-3,5	2-8	20-30	0,15-0,20	10-12

nımını arttırmaktadır. Bazen karışımın işlenebilmesini arttırmak için silis unu gibi ince madde katılabilmektedir. Polimer betonu portland çimentosu ve su içermez. Polimer içeriği ise agrega boyutuna bağlı olarak, genellikle toplam ağırlığın %5-15'i arasındadır [19]. Polimer betonu normal betona benzer şekilde kalıba vibrasyon uygulanarak yerleştirilmektedir.

Kullanılacak polimerin miktarını en aza indirebilmek için agrega karışım oranlarının ve granülometrisinin maksimum doluluğu sağlayacak şekilde ayarlanması gereklidir. Ohama [20] maksimum agrega tane boyutu 19 mm olan iki farklı iri agrega ile beş farklı ince agregayı maksimum doluluğu sağlayacak şekilde Fuller parabolüne uyumlu bir granülometride karıştırarak agrega taneleri arasındaki %20-25 oranındaki boşluğu bir kısım doymun olmayan polimer reçine ve bir kısım ince kırmataş unu karışımı ile doldurmayı amaçlamıştır. Ohama [20] çalışmasında polimer betona iki farklı sıcaklıkta (20°C ve 50-70°C) kür uygulamış ve yüksek sıcaklıkta kürlenmiş betonda beş saatte 140 MPa, normal sıcaklıkta kürlenmiş betonda ise yedi günde 105 MPa basınç dayanımı elde etmiştir. Genelde polimer betonlarda sonradan bozulmayı engellemek için agreganın kuru olması gerekmektedir. Ancak, epoksi reçinelerin kullanılması durumunda agreganın rutubeti sorun yaratmaktadır [5]. Polimer betonda bağlayıcı olarak poliester reçine kullanımı düşük maliyeti açısından cazip olurken, stiren monomer ve benzoil peroksit katalist ile amin ön polimer içeren metilmetakrilat karışımlar son zamanlarda daha çok kullanılmaktadırlar [5,16]. Şekil 1 polimer beton ve harçlarda kullanılan sıvı reçinelerin sınıflandırmasını göstermektedir [17].

Polimer beton yüksek erken dayanım ve elastisite modülüne sahip olması ve kimyasal dayanıklılığının iyi olması nedeniyle çoğunlukla endüstriyel betonlarda, döşeme kaplamalarında ve onarım işlerinde kullanılmaktadır. Yapısal beton uygulamalarında yoğun kullanımını engelleyen unsur ise ısı özellikleri ile sünme deformasyonunun uygun olmamasıdır [16].

Çeşitli polimer betonların normal portland çimentosu ile karşılaştırılmalı özellikleri ve uygulama alanları Çizelge 2 ve 3'de verilmektedir. Polimer betonların mekanik özellikleri ve deformasyon davranışları kullanılan polimer tipine ve miktarına göre değişmektedir (Şekil 2). Metilmetakrilat ile üretilen polimer betonlar neredeyse tümüyle doğrusal gerilme-deformasyon diyagramına sahip olup, oldukça gevrek bir davranış göstermekte ve yüksek dayanımlara ulaşmaktadır. Ancak, butilakrilat ilavesiyle kompozitin daha sünek bir davranış gösterdiği anlaşılmaktadır.

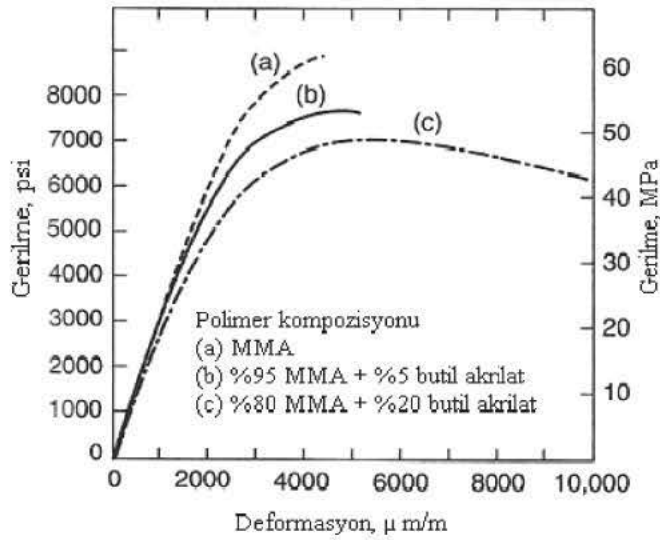


Şekil 1. Polimer betonda kullanılan sıvı reçinelerin sınıflandırması [16].

3.3. Lateks Modifiye Beton

Lateks çok küçük (kolloidal) boyutlu polimer parçacıklarının içindeki emülsiyondur. Lateks modifiye betonlar kullanılan malzemeler ve üretim tekniği açısından normal beton ile aynı olup tek fark lateksin karıştırma sırasında betona katkı olarak ilave edilmesidir. Günümüzde en çok kullanılan lateksler stirenbutadiyen ve poliakrilat kopolimer bazlı elastomer kauçuk polimerlerdir. Şekil 3'de lateks modifiye betonlar için kullanılan polimerlerin genel sınıflandırması görülmektedir [17].

Portland çimentosu betonlarının lateks ile modifikasyonu portland çimentosunun hidratasyonu ile lateksin polimer film oluşturması mekanizmalarının sıralı olarak gelişmesiyle oluşmaktadır. Sonuçta C-S-H ve polimer film komatrişi oluşmakta ve agrega fazını sarmaktadır (Şekil 4). Lateks taze beton karışımına ilave edildiğinde, öncelikle polimer taneleri çimento hamuru fazında uniform olarak dağılır ve daha sonra karışımındaki su hidratasyon ve özellikle buharlaşma yoluyla azaldıkça polimer taneleri hidrate çimento taneleri üzerine çökelmeye başlarlar ve en sonunda çökelen bu tanecikler birleşerek kalsiyum silikat hidrate elemanları üzerinde ince bir polimer film meydana getirirler. Bu mekanizmanın sağlıklı gelişmesi için suyun ortamdan uzaklaşması esas olduğundan lateks modifiye betonlarda kısa (1-2 gün) bir nemli kürün ardından betonun tamamen kurumasına imkan tanınmalıdır.

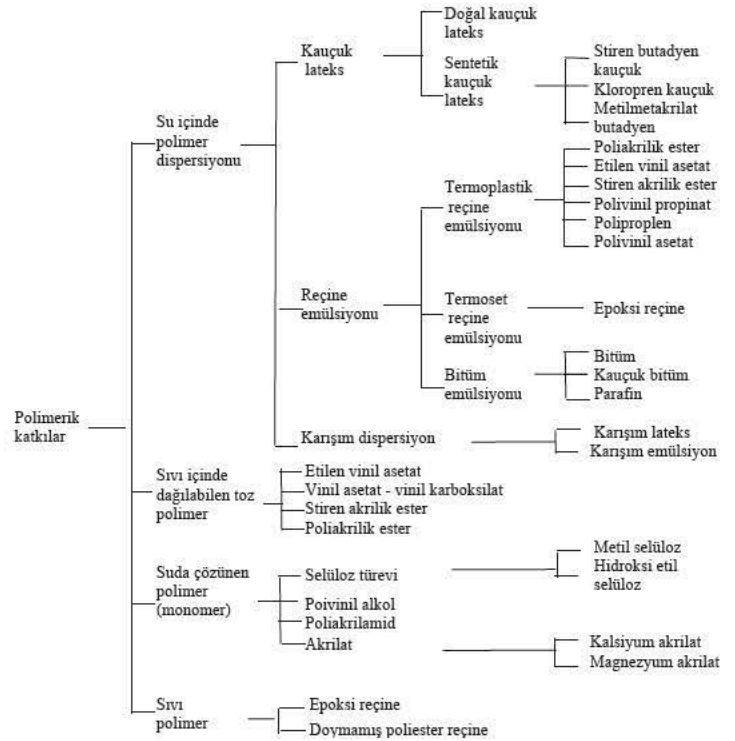


Şekil 2 Polimer betonların gerilme-deformasyon davranışları [5].

Polimer film aynı zamanda kapiler boşlukların yüzeylerinde ve agrega-çimento hamuru arayüzeyinde de oluşmakta ve böylece sertleşmiş betonda arayüzeyde bağ güçlenmekte ve suyun kapiler boşluk sistemi içindeki hareketi kısıtlanmaktadır. Ayrıca, güçlü polimer film tabakası matris içinde mikroçatlak oluşumu riskini azaltmaktadır. Morin ve diğerleri [21] agrega yüzeyini önceden lateks ile kaplayıp, daha düşük polimer-çimento oranında agrega-hamur arayüzeyini iyileştirmeyi amaçlamışlar ve mikroçatlak mekanizmasını iyileştirecek, tokluğu oldukça arttırmışlar, ancak dayanım ve elastiklik modülünde azalma gözlemişlerdir (Şekil 5).

Çizelge 3. Polimer beton ürünlerinin genel özellikleri ve uygulama alanları [4].

Bağlayıcı tipi	Genel özellikleri	Uygulama alanları
Polimetil metakrilat	Düşük su emme; yüksek donma çözülme dayanıklılığı; düşük rötre; yüksek kimyasal dayanıklılık	Bina yüzeylerinin kaplanması; merdiven basamakları
Poliester	Güçlü aderans; yüksek donma çözülme dayanıklılığı; yüksek kimyasal dayanıklılık; yüksek rötre	Panel eleman; yer kaplaması; boru; merdiven; prefabrik uygulamalar
Epoksi	Düşük su emme; güçlü aderans; düşük rötre; yüksek kimyasal dayanıklılık; yüksek yorulma dayanımı	Endüstriyel zemin kaplamaları; karayollarında kaymaya dayanıklı kaplama; dış duvar sıvası
Furan polimer	Yüksek kimyasal dayanıklılık; polar organik sıvılara yüksek dayanıklılık	Yüksek sıcaklığa dayanıklı tuğla döşeme ve kaplamalarda bağlayıcı

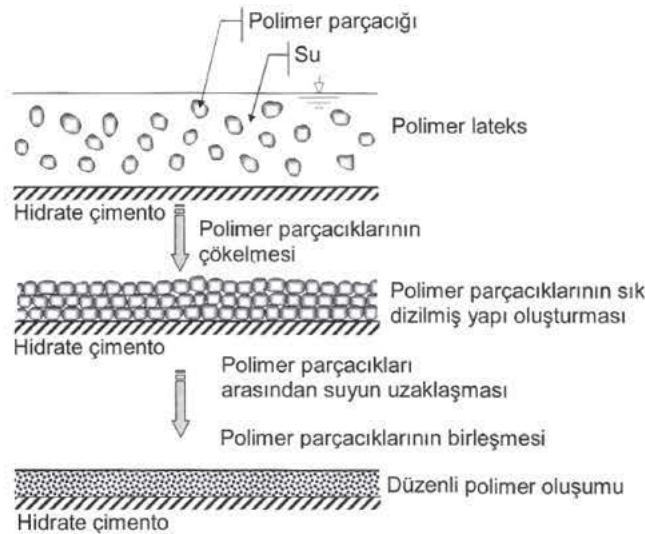


Şekil 3. Lateks modifiye betonlar için polimerik maddelerin sınıflandırması [16].

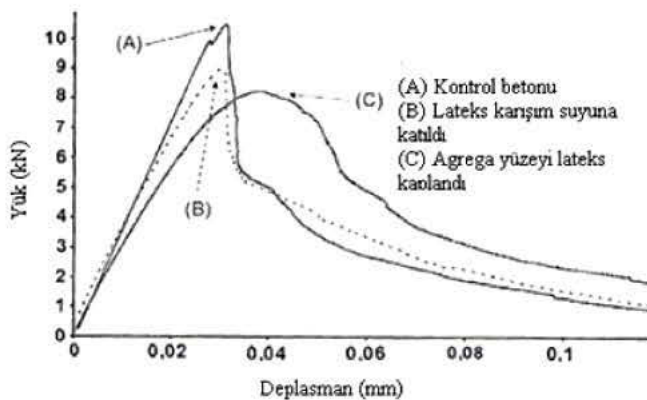
Polimer lateksler suda dağılı çok küçük boyutlu (0,05-0,5 μm) polimer küreciklerden oluşurlar ve monomerin emülsiyon polimerizasyonu ile hazırlanırlar. Lateks modifiye betonlarda kullanılan polimerlerin özellikleri Çizelge 4'de görülmektedir. Lateksler yaklaşık %50 oranında katı içeriğine sahip olup surfaktan denilen ve emülsiyon stabilizasyonunu sağlayan madde içermektedirler [5]. Yüzey aktif ajanların kullanılması betona oldukça yüksek miktarda hava sürüklemekte olduğundan, bu tür betonlara köpük önleyici katkı maddeleri ilave edilmelidir. Lateks katkılı betonlarda kullanılan katı polimer miktarı çimento ağırlığının %10-15'i arasında olduğundan, betona lateks ila-

vesi beton karışım suyunun önemli bir kısmını oluşturmaktadır [16]. Dolayısıyla lateks modifiye betonlar mümkün olan en düşük su miktarı ile üretilirler ve küresel polimer parçacıkları ve sürüklenen hava sayesinde mükemmel akışkanlığa sahip olurlar. Tipik su-çimento oranları 0,40-0,50 ve çimento doza- jı 390-420 kg/m^3 aralığında değişmektedir [5]. Lateks katkılı betonlarda oluşan polimer filmi genelde kimyasal olarak stabil olsa da, bazı durumlarda yüksek pH değerinden kaynaklanan hidroliz olayı bu filmin bozulmasına ve sonuçta aderans dayanınımının kaybolmasına neden olabilir. Bu nedenle daha stabil akrilik formları kullanmak yararlı olacaktır [4].

Şekil 4. Lateks modifiye betonlarda polimer film oluşumu [4].



Şekil 5. Betonda lateksin iki farklı kullanımının yük-deplasman davranışına etkisi [21].

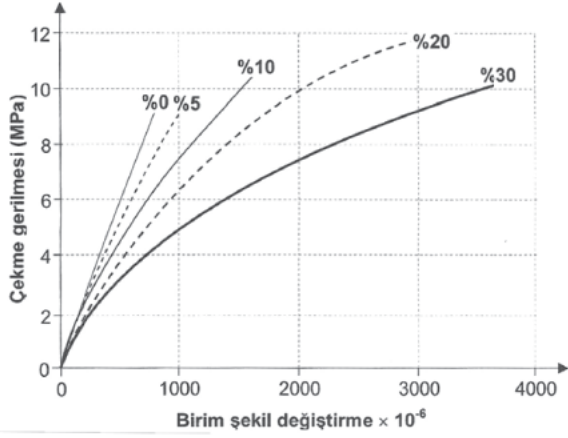


Lateks modifiye betonlarda polimer filmin tam oluşması genellikle kuru kür koşulları altında olur ve betonun basınç dayanımı artar. Stiren butadiyen kauçuk lateks ile modifiye edilmiş polistiren hafif agregalı betonların basınç ve eğilme dayanımları

Çizelge 4. Lateks modifiye betonlarda kullanılan polimerler [4].

Polimer	Tip	Uygulama alanları	Islak dayanım
Vinil asetat	Termoplastik	Aderans sağlayıcı	Düşük
Vinil asetat etilen	Termoplastik	Aderans sağlayıcı	Orta
Stiren butadiyen	Elastomerik	Beton-harç yüzey kaplama, onarım	Orta
Vinilidin klorit	Termoplastik	Alçı sıva, süs	İyi
Akrilik ester	Termoplastik	Kaplama, aderans sağlayıcı	Orta
Epoksi	Termoset	Kaplama	İyi

ıslak-kuru birleşik kür sistemi ile en yüksek değerlerine ulaşmaktadır [22]. Dayanımdaki bağıl artış eğilme ve çekme yükleri altında daha fazla olmaktadır (Çizelge 5). Lateks modifiye betonlarda elastiste modülü daha düşük olmasına rağmen, çekme gerilmeleri altında deformasyon kabiliyeti daha yüksektir (Şekil 6). Polimer filmi çatlak ilerlemesini önlerken, kırılma sırasında daha fazla mikroçatlak oluşması gerilme-deformasyon diyagramlarında doğrusallıktan sapmayı arttırmaktadır [5]. Lateks modifiye betonlarda donatı-beton aderansının da arttığı gözlenmektedir. Eski beton-yeni beton aderansı da çok yüksek olup, kırılma genellikle eski betonda oluşmaktadır [4]. Polimer-çimento oranı mekanik özellikleri etkileyen önemli faktörlerdendir. Chen ve Liu [22] hafif agregalı lateks modifiye betonlarda basınç dayanımının en yüksek değerine %5-10 polimer-çimento oranında ulaştığını gözlemişlerdir.



Şekil 6. Polivinil asetat lateks modifiye betonun gerilme-deformasyon diyagramları [4].

Lateks modifiye betonlar su içinde kaldıklarında mekanik özelliklerinde azalma olmaktadır (Çizelge 6). Polimer filmin suyu absorbe etmesiyle fiziksel bütünlüğü bozulmakta ve beton boşluk suyunun yüksek pH'ının da etkisiyle kimyasal bozuşma oluşmakta ve mekanik özelliklerdeki azalma daha fazla olmaktadır. Lateks modifiye betonların kuruma büzülmesi ve sünme deformasyonu ise normal betona kıyasla daha düşüktür. Polimer filmin varlığı ve düşük su-çimento oranı bunda etkindir.

Çizelge 5. Lateks modifiye harçların^a mekanik özellikleri [4].

Özellik	Normal beton ^b		Stiren butadiyen	Vinil vinilidin klorit	Akrilit	Vinil asetat	Epoksi
	%50 BN	%100 BN					
Basınç dayanımı (MPa)	30	40	35	60	32	25	50
Çekme dayanımı (MPa)	2	4	4,5	6,5	6	5	5
Eğilme dayanımı (MPa)	4	7,5	10	13	13	13	11
Elastik modülü (GPa)	25	-	11	16	-	-	18
Aderans dayanımı (MPa)	0,5-1,5	-	5	>5	>5	>5	-
Darbe dayanımı (mkg)	0,07	0,08	0,22	-	0,25	0,18	-
Aşınma direnci (%)	24	5	2,5	-	1,7	5	-

^aKum/çimento=3, polimer/çimento=0,20, 28 gün %50 BN kuru kür; ^b28 gün kür,

Lateks modifiye betonların özellikle donma-çözülme tekrarlarına dayanıklılıkları çok yüksektir. Polimer film tüm kapiler boşlukların yüzeylerini kapladığı için suyun beton içine girişine engel olmaktadır. Sınırlı mikroçatlak oluşumu da betonda geçirimsizliği arttırmaktadır. Düşük su-çimento oranı dayanıklılığı arttıran diğer bir faktördür. Ayrıca lateks katkısının hava sürüklenme etkisi donma-çözülme tekrarlarına direnci arttırmaktadır. Lateks katkılı betonların aşınma direnci de yüksek olup darbe yüklerinde yüksek dayanım göstermektedir. Lateks modifiye betonların lifler ile takviyesiyle çekme dayanımlarını arttırmak ve çatlama riskini daha da azaltmak mümkün olmaktadır [16,17].

Çizelge 6. Lateks modifiye harçların^a dayanımlarına suyun etkisi [4].

	Dayanımlar (MPa)							
	Basınç		Çekme		Eğilme		Aderans	
	Kuru ^b	Yaş ^c	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş
Kontrol	17	30	1,5	2	4	5	0,3	1
Stiren butadiyen	35	28	4	2,5	10	6,5	>5	2,5
Vinil-vinilidin klorit	60	50	-	-	9	7,5	>5	4,5
Akrilit	40	28	6	3,5	13	7	>5	2,5
Vinil asetat	25	10	5	0,5	13	2	>5	1
Epoksi	50	48	5,5	5	11,5	11	-	-

^aKum/çimento=3, polimer/çimento=0,2; ^b28 gün %50 BN kuru kür; ^c7 gün su içinde kür

Lateks modifiye betonlar eski betona aderansın önemli olduğu durumlarda ideal bir malzemedir. Köprü ve otopark betonlarının üzerine ince lateks modifiye beton kaplama uygulanarak donatıyı korozyondan korumak amaçlanmaktadır. Lateks modifiye betonlar veya harçlar beton yüzeylerinin ve bilhassa endüstriyel döşemelerin onarım işlerinde başarı ile kullanılmaktadır.

3.4. Polimer Emdirilmiş Beton

Betonda düşük dayanım ve dayanıklılığın baş sorumlusu olarak boşluklar gösterildiği için bu boşlukların polimer ile doldurulması betonun dayanım ve dayanıklılığını arttıracaktır. Ancak, beton içindeki boşluk sisteminin sürekli ve dolanbaçlı yapısı ve boşlukların tamamen boş olmaması nedeniyle polimer emdirilmiş betonlarda düşük viskoziteli polimer kullanılması gereklidir. Metilmetakrilat ve stiren monomerleri düşük viskoziteleri ve fiyatları nedeniyle bu amaçla sıkça kullanılmaktadır [16,23]. Beton içine emdirilen monomer sonradan polimerize olarak boşlukları tam olarak doldurmaktadır. Polimerizasyon üç yöntemle oluşmaktadır [5]. Ön polimer ve katalizör kullanarak oda sıcaklığında polimerizasyon oluşabilir, ancak süreç çok yavaş olup kontrol imkanı düşüktür. Gama ışınları radyasyonu ile oda sıcaklığında polimerizasyon hızlandırılabilir, ancak sağlık şartları nedeniyle sakıncalı bir yöntemdir. Üçüncü yöntem ise en çok kullanılan yöntem olup, monomer-katalizör karışımı betona emdirilir ve daha sonra polimerizasyon 70-90°C sıcaklıkta buhar veya su küreğinde oluşur.

Betona polimer emdirme teknolojisi oldukça zorlu süreçler içermektedir. Yapıdaki betona polimer emdirme teknikleri geliştirilmiş olsa da, polimer emdirilmiş betonlar çoğunlukla tesislerde prefabrik elemanlar olarak üretilmektedirler. Tipik polimer emdirme işlemi aşağıdaki adımları içermektedir [5]:

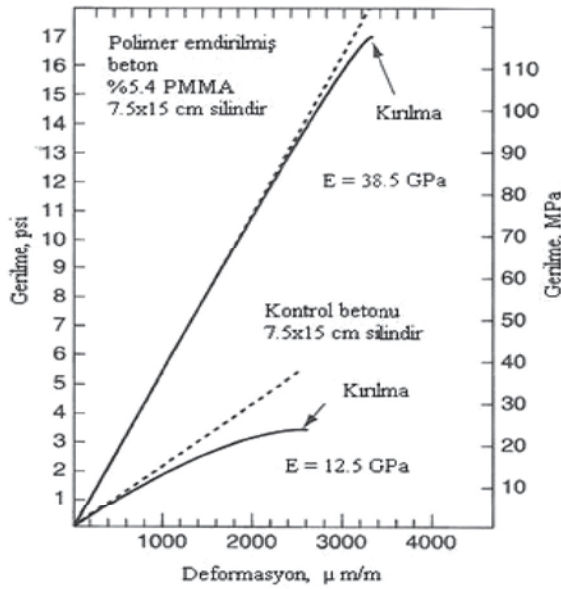
- Normal beton elemanların dökümü: Polimer emdirme işleminden önceki beton özelliklerinin son ürünün kalitesi açısından fazla bir önemi olmadığı için normal beton elemanların üretiminde malzeme ve karışım oranlarının belirlenmesi aşamasında özel bir hassasiyet gösterilmesi gerekliliği yoktur.
- Beton elemanların kür edilmesi: Kalıplar alındıktan sonra 28 gün, hatta bazen 7 gün rutubetli kür uygulanması yeterlidir. Süreci hızlandırmak için bazen ısı işlem uygulanabilir.
- Kurutma: Betonun kapiler boşluklarındaki suyun tamamen boşaltılması için gerekli etkin kurutma şartları (sıcaklık ve süre) beton elemanın boyutlarına bağlıdır. Normalde kullanılan kurutma sıcaklıklarında (105-110°C), 150x300 mm

boyutlu bir silindir numunenin tam kurutulması için 3-7 gün gerekmektedir [5]. Kurutma sıcaklığı 150-175°C'ye yükseltildiğinde tam kurutma için 1-2 gün yeterli olabilmektedir. Beton elemanlar hızlı ve tam polimer emdirmeye maruz bırakılacaksa kurutulmuş elemanlar içerisindeki hava tamamen boşaltılmalıdır. Ancak, dayanıklılığın artırılmasının amaçlandığı durumlarda bu işleme gerek kalmadan kurutulmuş numunenin bir gece polimer emdirme işlemine maruz kalmasıyla yüzeyden itibaren numune kalınlığının yarısı ya da dörtte üçü mesafeye polimer emdirilmesi sağlanabilmektedir.

- Kuru betonun monomere yatırılması: Yapıdaki elemanlarda yüzeyden polimer emdirme yapılırken, prekast elemanlar ise monomer-katalizör karışımına yatırılmaktadır. Beton boşluk sisteminin dolambaçlı yapısından dolayı tam emdirme çoğunlukla başarısızdır. Sople ve diğerleri [24] su-çimento oranı 0,56 olan 10 cm küp beton numuneleri 7 gün suda kür ettikten sonra, 4 gün boyunca 150°C sıcaklıkta kurutulmuşlar ve metilmetakrilat içinde 5 dakikadan 48 saate kadar sürelerde tutmuşlardır. Kırksekiz saat boyunca polimer emdirilen numunelerde polimerizasyondan sonra yapılan incelemelerde yüzeyden 3,5 cm derinliğe kadar penetrasyon olduğu gözlenmiştir. Penetrasyon derinlikleri 100 dak., 4 saat ve 8 saatte, sırasıyla, 2 cm, 2,5 cm ve 3 cm olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla, numunelerdeki boşlukların tam olarak polimer ile doldurulması ancak basınç altında polimer emdirilmesiyle mümkün olacaktır.
- Numunenin korunması: Monomerin buharlaşma yoluyla kaybını önlemek için polimerizasyon süresince numunelerin çelik kaplar içinde ya da alüminyum folyoya sarılarak korunması gerekir. Köprü tabliyelerindeki uygulamalarda yüzey kum ile kaplanır.
- Monomerin polimerizasyonu: Termal-katalitik polimerizasyon tercih edilen yöntemdir. Kür sıcaklığının 70-80°C olduğu durumlarda tam polimerizasyon için gerekli süre birkaç saatten, bir güne kadar değişmektedir. Metilmetakrilat monomeri kullanılan numuneler 70°C sıcaklıkta hava ile 16 saat veya 70°C sıcaklıkta su ile 4 saat kür edildiğinde beton dayanımları arasında fark gözlenmemiştir [24].

Polimer emdirilmiş betonların gerilme-deformasyon diyagramları Şekil 7'de görülmektedir. Mikroçatlakların ve boşlukların polimer ile doldurulması betonu daha kırılğan yapmaktadır. Gerilme-deformasyon diyagramı dayanımın %75'ine kadar doğrusal kalmaktadır. Polimer elastiklik modülü betonunkinin %10'undan fazla olamasa da, polimer emdirilmiş betonların elastiklik modülleri normal betonunkinden %50-100 fazla olmaktadır [16]. Polimer emdirilmiş betonlar su em-

mediği için rötre ve sünme deformasyonları ihmal edilecek boyutlardadır. Birçok çalışma polimer emdirilmiş betonların özelliklerinin önceki betonun özelliklerinden etkilenmediğini göstermiştir. Sopler ve diğerleri [24] basınç dayanımları 20 MPa (S/Ç=0,83), 38 MPa (S/Ç=0,56) ve 59 MPa (S/Ç=0,38) olan betonlarda polimer emdirme sonunda benzer dayanımlar elde etmişlerdir. Diğer taraftan polimer emdirilmiş betonlar önceki betonun 3-4 katına kadar basınç dayanımları ile daha yüksek çekme ve eğilme dayanımları ve çok üstün dayanıklılık özellikleri geliştirirler [16].



Şekil 7. Polimer emdirilmiş betonun gerilme-deformasyon davranışı [5].

Polimer emdirilmiş betonların yapısal uygulamaları sınırlı kalmaktadır [17]. Ancak, üstün aşınma, donma ve kimyasallara dayanıklılık özellikleri nedeniyle çoğunlukla beton köprülerin rehabilitasyonunda kullanılmaktadırlar. Cady ve diğerleri [25] çeşitli kaplama uygulamalarını incelemişler ve sadece metilmetakrilat emdirilmesi ile aderans ve dayanıklılık sorunu olmadığını gözlemişlerdir.

4. PREPAKT (ÖNCEDEN YERLEŞTİRİLMİŞ AGREGALI) BETON

4.1. Tanımı ve Önemi

Prepakt beton iri agregaların maksimum doluluğu sağlayacak şekilde kalıp içine yerleştirilmesinden sonra oldukça akıcı kıvamda olan çimento hamuru veya harcın kalıbın içine enjekte edilmesi ile üretilen bir beton türüdür. Normal beto-

nun döküm ve sıkıştırma işlemlerinin zor olduğu durumlarda prepakt beton tercih edilebilir. Geometrisi karmaşık olan yapı elemanlarında ve ağır betonun iyi bir şekilde yerleştirilmesinde sorun çıktığında prepakt beton tekniği uygulanabilir. Ayrıca, prepakt beton tamir işlerinde, su tutma yapılarında ve büyük hacimli yapı elemanlarının inşaatlarında başarıyla uygulanabilmektedir [26,27]. Beton içinde belirli yerlere gömülü elemanlar yerleştirilmesi gerektiği durumlarda prepakt beton uygulaması kolaylık sağlamaktadır. Nükleer radyasyona karşı kalkan görevi yapacak betonlarda da ayrışmayı önleyebilmek için ağır iri agregaya ile ince agreganın ayrı ayrı yerleştirildiği prepakt beton uygulaması avantajlı olabilmektedir [5]. Ayrışma riskinin çok az olması nedeniyle prepakt beton su altında beton dökümü uygulamalarında da başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. İri agreganın uniform dağılımı nedeniyle ekspozite agregaya yüzeyli beton uygulamaları için de prepakt betonlar yararlı olabilmektedir. Kütle beton üretiminde prepakt beton uygulamasıyla yerleştirilen borularda döküm öncesi soğuk su dolaştırılmasıyla hidrasyon nedeniyle sıcaklık artması önlenemediği gibi, soğuk havada beton dökümünde benzer uygulamayla borularda önceden sıcak buhar dolaştırılmasıyla donma riski azaltılabilmektedir [5].

4.2. Malzemeler ve Karışım Oranları, Üretimi ve Yerleştirilmesi

Prepakt beton uygulamasında iri agregaya olarak çakıl ya da kırmataş agregaya kullanılmaktadır. Agregaya en büyük tane boyutu, kalıp boyutları ve donatı sıklığının elverdiği ölçüde büyük seçilmesinde yarar vardır. Agregaya çimento hamuru aderansının olumsuz etkilenmemesi için agregalar temiz ve yüzeyleri pürüzlü olmalıdır.

Prepakt betonda iri agregaya hacmi %65-70 civarında olmaktadır. İri agregaları önceden yerleştirilmiş ve aralarındaki boşluklar harç ile doldurulmuş prepakt betonda agregaya karışımı kesikli granülometriye sahip olmalıdır (Çizelge 7). Böylece iri agregaya tanelerinin hem birbirlerine temas eden bir koordinasyonda bulunmaları hem de tanelerin arasında hamur ya da harçla doldurulacak yeterince boşluk oluşması sağlanmış olmaktadır. Agregaların kalıba yerleştirilmesi sırasında mümkünse vibrasyon uygulaması ve enjeksiyon öncesi agregaların ıslatılması önerilir. Yine önceden kalıp içine 2 m aralıklarla yerleştirilmiş olan yaklaşık 3,5 cm çaplı delikli borulardan basınç altında hamur ya da harç kalıp içine pompalanmakta ve harç seviyesi yükseldikçe borular dışarıya çekilmektedir.

Çizelge 7. Prepakt beton için tipik agrega granülometrisi [15].

İri agrega				İnce agrega	
Elek açıklığı (mm)	Yığışimli geçen (%)			Elek açıklığı (mm)	Yığışimli geçen (%)
150	100	-	-	2,36	100
75	67	100	-	1,18	98
38	40	62	97	0,600	72
19	6	4	9	0,300	34
13	1	1	1	0,150	11

İri agrega arasındaki boşluklara enjekte edilecek olan hamur veya harç portland çimentosu, puzolanik malzemeler, süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi ve sırasıyla çok ince filler dolgu ya da kumdan oluşmaktadır. Hamur veya harç fazı enjeksiyon için yeterli akıcılığı sağlamalı ve ayrışmayı önleyecek viskoziteye sahip olmalıdır. Çimento miktarının artırılması yüksek hidrasyon ısılarına neden olabileceği için sakıncalı olacaktır, uçucu kül gibi puzolanik maddelerin ya da taş tozu gibi dolgu maddeleri ile puzolanların çimento ile birlikte kullanılmasıyla bağlayıcı madde miktarının artırılması ve optimum viskozitenin sağlanması uygun olacaktır.

Bir diğer yöntem ise çimento, ince kum ve su karışımının kolloid karıştırıcılarda çok yüksek hızlarda karıştırılması ve çimento tanelerinin pompalama boyunca askıda kaldığı akıcı ve viskoz bir karışımın elde edilmesidir. Genelde çimento dozajları 120-150 kg/m³ değerine kadar inebilmekte ve akıcılığın sağlanması için yüksek su-çimento oranı kullanılması durumunda basınç dayanımları 20 MPa civarında sınırlı kalmaktadır. Ancak, prepakt betonların kullanım amaçları için bu dayanım yeterli olmakta, ayrıca yoğun, geçirimsiz, dayanıklı ve üniform bir beton elde edilmiş olmaktadır.

4.3. Önemli Özellikleri

Prepakt beton normal betona göre daha fazla iri agrega içerdiği için elastiklik modülü daha yüksek, kuruma büzülmesi ise daha düşüktür [27]. Bunun nedeni olarak da iri agreganın miktarının fazla olması ve iri agrega tanelerinin birbirleriyle temas halinde olması gösterilmektedir. Daha az büzülme yapması nedeniyle özellikle tamir işlerinde kullanılmaktadır. Diğer taraftan, hem iri agregaların temas halinde olması hem de enjeksiyon hamuru veya harcının agregalar arasındaki boşlukları tamamıyla doldurması nedeniyle boşluk oranı çok düşük olan prepakt betonun geçirimsizliği de çok düşük olmakta ve dolayısıyla donma-çözülme tekrarlarına dayanıklılığı yüksek olmaktadır.

Özellikle tamir işlerinde eski beton üzerine uygulandığında eski beton ile aderansı oldukça iyi olmaktadır. Kullanılan akıcı hamur ya da harç önceden pürüzlendirilmiş eski beton yüzeyinin boşluklarına etkili bir şekilde nüfuz etmekte ve prepakt betonun oldukça düşük büzülme yapması nedeniyle arayüzde oluşacak gerilmeler minimize edilmekte ve iki beton arasında etkin bir yapışma sağlanmaktadır [27].

5. PÜSKÜRTME BETON

5.1. Tanımı ve Önemi

Bir hortumun ucundan basınçlı hava etkisiyle yüksek bir hızda bir katı yüzeye püskürtülen harç veya betona püskürtme beton, şotkrit veya gunit adı verilir [4,15,28]. Taze karışım çok yüksek püskürtme hızıyla çarptığı yüzeye sıkışarak yapışır ve dik hatta başüstü bir yüzeyde sarkmadan kendini taşır. Püskürtme yoluyla uygulandığı ve genellikle en fazla 100 mm kalınlıkta tabaka oluşturulduğu için kalıp ihtiyacı ve detayı daha azdır ve bu durum yapı maliyetinde ekonomi sağlamaktadır. Püskürtme beton kabuklar veya katlanmış plak çatılar, tünel kaplamaları ve öngerilmeli beton tanklar gibi ince, az donatılı betonarme kesitlerde kullanılır. Özellikle kalıp yapma zorluklarının olduğu yerlerde ve bozulmuş betonların onarımında, kaya veya toprak yarma şevlerinin veya derin kazı yüzeylerinin stabilizasyonunda, çelik elemanların yangına karşı korunmasında veya beton, kagir ve çelik yüzeylerde ince kaplama olarak kullanımı avantaj sağlamaktadır [15].

5.2. Malzemeler, Karışım Oranları ve Yerleştirilmesi

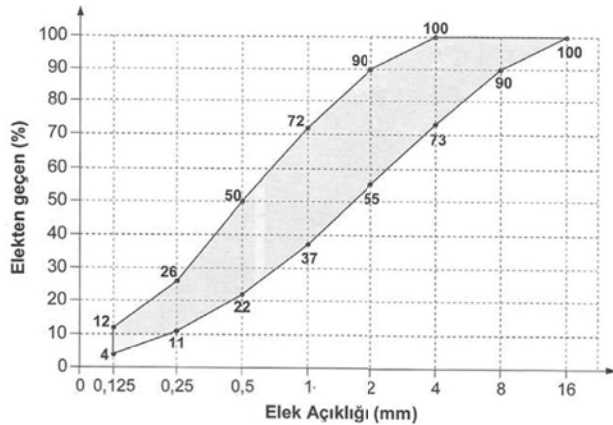
Püskürtme beton üretiminde kullanılan malzemeler normal betonda kullanılanlardan farklı değildir. Portland çimentosu, ince ve iri agrega, su ve ilaveten bazı durumlarda kimyasal ve mineral katkıları ve hatta çelik lifler kullanılmaktadır. Yukarıda belirtilen uygulama alanlarında püskürtme betona konvansiyonel betona karşı avantaj sağlayan yerleştirme yöntemidir. Ancak,

püskürtme beton uygulamalarında sağlanacak kalite düzeyi büyük oranda uygulayıcı yada operatörün bilhassa hortumun püskürtme ucunu kullanımındaki beceri ve deneyimine bağlıdır.

Püskürtme esnasında tıkanmaları önlemek ve karışımın iletiliği boruların çaplarının (dolayısıyla püskürtme basıncının) arttırılmasına yol açmamak için kullanılan iri agrega hacmi ve aynı zamanda iri agrega en büyük tane boyutu azaltılmalıdır. Püskürtme işleminin başarılı olabilmesi agrega karışımının granülometrisine de bağlıdır [4]. Şekil 8'de püskürtme beton için uygun granülometri bölgesi gösterilmektedir [28]. Liflerin kullanıldığı püskürtme beton uygulamalarında bazen lif miktarına bağlı olarak püskürtülen yüzeyde kullanılan hasır donatı miktarı azaltılabilmektedir.

Püskürtme beton uygulamalarında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Daha yaygın olarak kullanılan kuru sistemde çimento ve agrega karışımı kuru olarak karıştırılır ve bu karışım boru veya hortum içinde hava basıncı ile hortumun ucuna iletilir. Hortumun ucundaki kuru karışıma burada basınçlı su ilave edilir ve bu şekilde ıslak hale getirilen karışım püskürtme tabancasından yüksek hızla betonlanacak yüzeye püskürtülür. Yaş sistemde ise çimento, agrega ve su önceden karıştırılır. Yaş karışım basınçlı hava veya pompa basıncı ile hortumun içinden püskürtme tabancasına iletilir. Burada yaş karışım basınçlı hava ile yüksek hızda betonlanacak yüzeye püskürtülür.

Her iki sistemin başarıyla uygulanabilmesine rağmen, yaş sistemde karışıma ilave edilen su miktarı ve dolayısıyla betonun kalitesi daha iyi kontrol edilmektedir. Ayrıca, yaş sistemde tozuma daha az olmakta ve dolayısıyla daha sağlıklı çalışma şartları oluşmaktadır. Diğer taraftan kuru sistem boşluklu hafif agregaların kullanıldığı durumlar için daha uygun olup, daha uzun mesafelere püskürtme imkanı verirken, geri tepme oranı ise daha yüksektir. Üzerinde akan su bulunan yüzeylerin betonlanmasında kuru sistem priz hızlandırıcı kullanılmasına uygun olduğu için daha avantajlıdır.



Şekil 8. Püskürtme beton için önerilen agrega tane dağılımı bölgesi [4].

Püskürtme beton uygulamasındaki en önemli sorun püskürtülen beton karışımının yüzeye yada önceden püskürtülen tabakaya yapışmadan geri tepmesi veya püskürtüldüğü anda yapışan betonun daha sonra kendini tutamayıp dökülmesidir. Bu nedenle karışım ne çok ıslak ne de çok kuru olmalıdır. Püskürtme betonda geri tepme miktarı karışım tasarımına (çimento, agregalar, mineral ve kimyasal katkıları, su-çimento oranı ve karışımın yapışma kapasitesi), uygulama tekniğine (iletim ekipmanları, hortum ucundan püskürtme hızı, hortum çapı) ve şantiye şartlarına (uygulayıcı elemanın deneyimi, uygulanan yüzeyin tipi, tabaka kalınlığı, ortam sıcaklığı, vs.) bağlıdır [30,31,32]. Minimum geri tepme ve dökülme için en uygun kıvam önceden belirlenmelidir.

Pfeuffer ve Kusterle [33] kuru sistem püskürtme beton uygulamalarında çok sayıda reolojik ölçüm yaparak iri agreganın püskürtülen tabakanın içine daha iyi gömülmesi için matris fazının iri agregayı saran kısmındaki göreceli viskozitesinin düşük olması gerektiğini ve uygulanan tabakanın sarkmaması için beton karışımının kayma eşiği değerinin mümkün olduğunca yüksek olması gerektiğini göstermişlerdir. Karışımındaki iri agregaların geri tepme olasılıkları daha yüksektir. Genellikle geri tepme oranı ilk tabakalarda ve tavana yapılan püskürtmelerde daha yüksektir. Tavanlarda bu oran %50'ye çıkarken, döşemede %15'ler civarındadır [15]. Geri tepen malzemenin kaybından çok bu malzemenin serbest bir şekilde donatı arkasında kalması, ya da biriktiği yerde üzerine yeni püskürtme uygulanması ve zayıf bağlantı yaratılması sorun olmaktadır. Bu nedenle en doğru işlem geri tepen malzemenin hemen temizlenmesi ve uzaklaştırılmasıdır. Ayrıca döküldüğü tabakanın iri agrega miktarının azalması nedeniyle rötre olasılığı da artacaktır [15]. Lifli püskürtme betonlarda liflerin yüzeyden sekmesi veya dökülmesi oranının karışımın agrega/çimentolu malzeme oranıyla arttığı belirlenmiştir [29]. Püskürtme betonlarda polipropilen liflerin çelik liflere oranla daha az geri tepme yaptığı da gözlenmiştir [34]. Bindiganavile ve Banthia [35] mineral katkıların kuru sistem püskürtme betonda geri tepmeye etkilerini incelemişler, silis dumanının liflerin geri tepmesini önemli oranda azalttığını, silis dumanı ve metakaolinin birlikte kullanımının hem geri tepmeyi azalttığını hem de yeterli tokluk değeri kazandırdığını gözlemişlerdir.

Püskürtme işlemine başlandığında hortumun ucundan homojen bir karışım geldiğine emin oluncaya kadar esas betonlanacak yüzeye püskürtme yapılmamalıdır. Uygulanması gereken kurallar arasında hortum ucunun yüzeye dik mesa-

fesinin 0,5-1 m arasında olması, düşey ve eğimli yüzeylerde püskürtme işlemine yüzeyin alt kısmından başlanması, püskürtme işlemine tabakalar halinde devam edilip üst taraflara ulaşılması gerekmektedir. Püskürtülen yüzeyde hasarlı kısımlar varsa bunların temizlenmesi, genelde yüzeyin toz, kir ve zayıf malzemelerden arındırılması gereklidir. Onarım yapılan betonarme yüzeylerde donatılarda korozyon varsa öncelikle donatıların korozyon ürünlerinden tamamen temizlenmesi uygun olacaktır. Püskürtülen yüzeyde mevcut donatıların arka tarafları en az 20-30 mm açılmalı ve temizlenme yapıldıktan sonra püskürtme işlemi sırasında buraların beton ile tamamen dolması sağlanmalıdır.

Püskürtme beton tabakalar halinde uygulandığı için önceki tabakanın bir miktar priz yapması ve yeterli dayanıma ulaşması beklenmelidir. Priz hızlandırıcı katkı kullanılması bu süreyi kısaltabilir. Tabaka kalınlıkları uygulayıcının deneyimine bağlı olmakla birlikte tavanlarda en fazla 30 mm, düşey elemanlarda ise en fazla 50 mm olmalıdır.

Püskürtme beton karışımlarında en uygun su-çimento oranları 0,35-0,50 arasındadır. Püskürtme harcı uygulamalarında 1:3,5-1:4,5 oranları uygun olup iyi kalite ve granülometride kum kullanılmalıdır. Püskürtme betonlarda en büyük tane boyutu 25 mm olmalı, ancak iri agrega hacmi normal betona kıyasla biraz azaltılmalıdır.

5.3. Önemli Özellikleri

Püskürtme betonun kür edilmesi özellikle önemlidir. Yüzey alanı/hacim oranı yüksek olduğundan hızlı kuruma riski yüksektir. Bu nedenle ACI 506.R-05'de belirtilen kurallar dikkatlice uygulanmalıdır [36]. Püskürtme betonun 5 MPa basınç dayanımına ulaşmaya kadar dondan korunması önerilmekte, eski betona aderansının en az 1 MPa, kaya yüzeylere aderansının ise en az 0,5 MPa olması gerektiği belirtilmektedir [28].

Püskürtme betonun kalite kontrolü için kalınlığı en az 100 mm olan 1000x1000 mm veya 600x600 mm boyutlarında panellere aynı beton karışımının püskürtülmesiyle elde edilen numuneler aynı şartlarda kür edildikten sonra plaka yükleme deneylerine tabi tutulurlar, ya da panellerden çıkarılan 75x125x600 mm prizma numuneler üzerinde eğilme deneyleri yapılır. Aynı zamanda panel numunelerden karot numune çıkarılıp beton basınç dayanım sınıfları belirlenir [28]. Saw ve diğerleri [37] ıslak karışım lifli püskürtme beton panel numunelerden kestikleri karot numuneler üzerinde tek eksenli ve çok eksenli basınç deneyleri yaparak elasto-plastik davranışı izlemişler ve lif miktarı ve oryantasyonunun etkilerini araştırmışlardır. Diğer taraftan püskürtme beton yerinde uygulamalarından karot numune kesilerek kalite kontrolü de yapılmaktadır. Lee ve diğerleri [38] ka-

lıcı tünel püskürtme beton uygulamalarında normal ve yüksek performanslı püskürtme betonların servis ömrü boyunca dayanıklılıklarını incelemişlerdir. Laboratuvar deneylerinin sonuçları her iki püskürtme betonun donma-çözülme tekrarlarına dayanıklılıklarının iyi olduğunu ve karbonatlaşma derinliğinin yüksek performanslı betonda daha az olduğunu göstermiştir.

6. SU ALTINDA DÖKÜLEN BETON

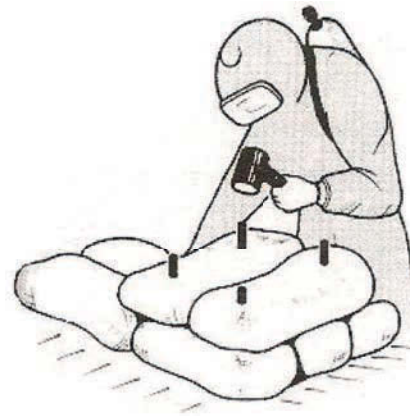
6.1. Tanımı ve Önemi

Su altında beton dökümü tasarımı ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamaları açısından normal betondan farklılık göstermektedir [4,39]. Bilhassa iletim ve yerleştirme açısından özellik ve zorluklar göstermesi nedeniyle teknik olarak kaçınılmaz zorunluluklar olmadıkça doğrudan su altında beton dökümünden sakınılmalıdır. Ancak köprü ayaklarının, liman yapılarının ve bazı açık deniz yapılarının inşaatında ve onarımında ise su altında beton dökümü zorunluluk olmaktadır.

6.2. Malzemeler, Karışım Oranları, Üretimi ve Yerleştirilmesi

6.2.1. Taşıma Yöntemi

Su altında beton dökümünde kullanılan en eski yöntemdir. Beton su altında döküleceği yere çuvalların içinde (Şekil 9) veya altı açılabilen kapalı kovalarla (Şekil 10) taşınmaktadır. Çuvalarla taşımada ayrışma olmaması için taşıma mesafesi, hızı ve içinde taze beton bulunan çuvalın geçirimsizliği önem kazanmaktadır. Su altında beton döküleceği yere indirilen çuvalar dalgıçlar yardımıyla yerine yerleştirilir ve birbirlerine aderans yapacak şekilde bağlanması için uygun şekilde dizilir ve kenetlenir (Şekil 9). Bu şekilde yerleştirilen çuvalardan çok az miktarda sızan çimento hamuru sertleşme sırasında kenetlenmenin ve bütünlüğün sağlanmasında yardımcı olur. Bu yöntem çoğunlukla su altında yapıların küçük boyutlu onarım işlerinde kullanılır [40].



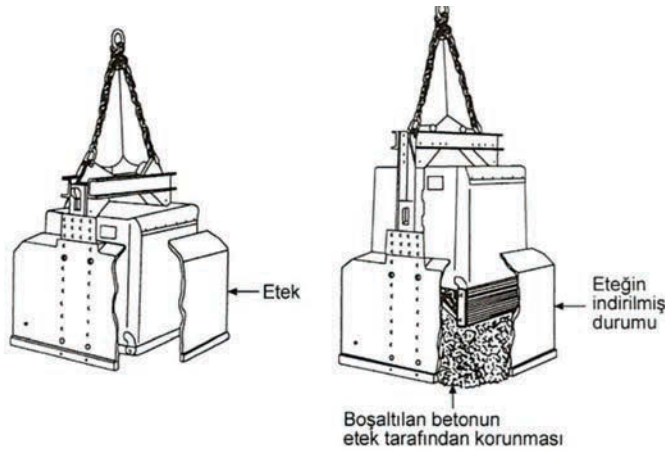
Şekil 9. Su altında beton dökümü (çuval yöntemi) [4].

6.2.2. Sürekli İletim Yöntemi

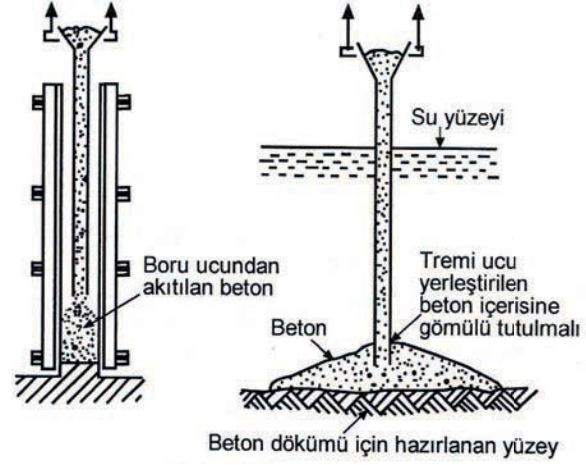
Su altında sürekli iletim yoluyla beton dökümünde kullanılan en yaygın yöntem tremi yöntemidir. Tremi üst ucu huni şeklinde olan bir borudur [6,18,41]. Tremi yöntemiyle su içindeki dar ve derin kalıplar içine ve doğrudan su altı zeminine beton dökümü yapılabilmektedir (Şekil 11). Boş durumdaki tremi su altına dik olarak indirilmekte ve üst ucundaki huni şeklindeki kısımdan taze beton beslenmekte ve boru dolu hale getirilmektedir (Şekil 12). Borunun yukarı çekilmesiyle taze beton yer çekimi etkisiyle borunun alt ucundan akmaktadır. Tremi borusu su altına indirilirken su ile dolmasını önlemek için borunun alt ya da üst ucundan tıpalama işlemi yapılmalıdır. Temel amaç tremi borusunun içinin devamlı taze beton ile dolu tutulması ve hiç bir surette deniz suyunun girmesine olanak tanınmamasıdır. Bu nedenle beton dökümü sırasında tremi borusu beton döküm hızıyla uyumlu bir şekilde yukarı çekilirken alt ucu sürekli dökülen taze beton içinde kalması gerekmektedir.

6.3. Önemli Özellikleri

Tremi betonu boru içinde kolay hareket edecek ve boruyu tıkamayacak kıvamda olmalıdır. Bu amaçla genelde 15-20 cm çökmeli beton kullanılır ve ayrışma olmadan akıcılığı sağlamak amacıyla kum miktarı toplam agreganın %40-50'si oranında olmalıdır. Ayrıca, çimento dozajı da %10 kadar fazla tutulmalı [42], gerektiğinde su azaltıcı kimyasal katkıları ya da mineral katkıları kullanılmalı [18] ve ayrışmayı önlemek için kohezyon artırıcı katkıları katılmalıdır.

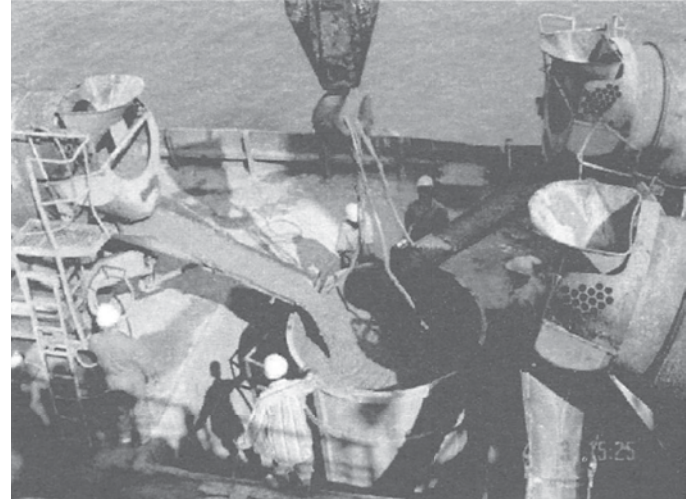


Şekil 10. Su altında kova ile beton dökümü a) kova dolu, b) boşaltma işlemi [39].



Şekil 11. Su altında tremi ile beton dökümü a) dar ve derin kalıplara, b) zemine [39].

Tremi yöntemiyle su altında beton yerleştirilmesinde kullanılacak borunun çapı betonun en büyük agrega tane boyutuna göre belirlenmektedir. En büyük tane boyutu 20 mm olan betonlarda 150 mm çaplı, en büyük tane boyutu 40 mm olan betonlarda ise 200 mm çaplı tremi boruları kullanılması önerilmektedir [18].



Şekil 12. Su altında tremi yöntemi ile beton dökümü [4].

Bazı durumlarda su altında sürekli beton iletiminin sağlanabilmesi için beton pompaları da kullanılmaktadır [4]. Küçük ölçekli dökümlerde ve durgun sularda bu yöntem kullanılabilir. Bu yöntemde de pompa borusu sürekli olarak dökülen taze beton içinde tutulmalıdır. Pompalama hızı ayarlanarak betonun istenen su-çimento oranında kalıba yerleşmesi sağlanabilir. Bu amaçla

taze betonda mineral ve kimyasal katkıları kullanılmalıdır. Betonun viskozitesini arttırıcı tedbirler betonu ayırmaya dirençli hale getirirken, olası priz gecikmelerine karşı çimento dozajı ön deneylerle ayarlanmalıdır. Pompalama yoluyla su altında beton dökümünde betonun yatay hareketi 3-5 m ile sınırlandırılmalıdır.

7. SONUÇLAR

Bazı özel beton tipleri önemi, kullanım amaçları, karışımlarında kullanılan malzemeler ve karışım tasarım oranları ile taze

ve sertleşmiş haldeki mühendislik özellikleri ve inşaat sektöründe uygulama alanları açısından tartışılmıştır. Beton teknolojisi kitaplarındaki teorik ve uygulamalı bilgiler ile bu tip betonlar üzerinde yapılmış araştırmaların bazılarında elde edilen sonuçlar taranmış ve hazır beton sektörünün bilgisine ve kullanımına sunulmuştur. Birçok durumda özel betonların bazı özel amaçlar ve uygulama teknolojileri ve kullanım yöntemleri açısından vazgeçilmez ve/veya normal betona göre daha avantajlı ve ekonomik olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

1. TS EN 206-1, **Beton, Özellik, Performans, İmalat, Uygunluk**, TSE, Ankara, 2002.
2. Topçu, İ.B., "Properties of Heavyweight Concrete Produced with Barite", *Cement and Concrete Research*, No. 33, pp. 815-822, 2003.
3. Polivka, M. And Davis, H.S., **Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials**, ASTM STP 169B, Ch. 26, pp.420-434, 1979.
4. Baradan, B., Yazıcı, H. ve Aydın, S., **Beton**, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 2012.
5. Mehta, P.K. and Monterio, P.J.M., **Concrete, Microstructure, Properties and Materials**, McGraw Hill, 3rd Edition, 2006.
6. Neville, A.M., **Properties of Concrete**, Longman Scientific and Technical, 3rd Edition, 1981.
7. ASTM C637-09, **Standard Specification for Aggregates for Radiation Shielding Concrete**, ASTM International, 2009.
8. ASTM C638-09, **Descriptive Nomenclature of Constituents of Aggregates for Radiation Shielding Concrete**, ASTM International, 2009.
9. Kılınçarslan, S., Akkurt, I., Başyigit, C., "The Effect of Barite Rate on Some Physical and Mechanical Properties of Concrete", *Material Science and Engineering-A*, V.424, pp.83-86, 2006.
10. Alam, M.N., Mahi, M.M.H., Chowdhury, M.I., Kanal, M., Rahman, R., "Attenuation Coefficients of Soils and Some Building Materials in Energy Range 276-1332 keV", *Applied Radiation and Isotopes*, V. 54, pp.973-976, 2001.
11. Akkurt, I., Başyigit, C., Kılınçarslan, S., Mavi, B., "The Shielding of γ -rays by Concretes Produced with Barite", *Progress in Nuclear Energy*, V.46, pp.1-11, 2003.
12. Mostofinejad, D., Reisi, M., Shirami, A., "Mix Design Effective Parameters on γ -ray Attenuation Coefficient and Strength of Normal and Heavyweight Concrete", *Construction and Building Materials*, V.28, pp. 224-229, 2012.
13. Sakr, K., El-Hakim, E., "Effect of High Temperature or Fire on Heavyweight Concrete Properties", *Cement and Concrete Research*, V.35, pp.590-596, 2005.
14. Kan, Y-C., Pei, K-C., Chien, C-L., "Strength and Fracture Toughness of Heavy Concrete with Various Iron Aggregate Inclusions", *Nuclear Engineering and Design*, V.228, pp. 119-127, 2004.
15. Neville, A.M. and Brooks, J.J., **Concrete Technology**, 2nd Edition, Prentice Hall, 2010.
16. Fowler, D.W., "Polymers in Concrete: A Vision for the 21st Century", *Cement and Concrete Composites*, V.21, pp. 449-452, 1999.
17. Ohama, Y., "Recent Progress in Concrete - Polymer Composites", *Advanced Cement Based Materials*, V.5, pp. 31-40, 1997.
18. Mindness, S. And Young, J.F., **Concrete**, Prentice Hall, New Jersey, 1981.
19. Balaga, A., and Beaudoin, J.J., **Polymer Concrete**, Canadian Building Digest, 1995.
20. Ohama, Y., **Polymers in Concrete**, ACI Special Publication, SP-40, American Concrete Institute, 1973.
21. Morin, V., Moevus, M., Dubois-Brugger, I, Gartner, E., "Effect of Polymer Modification of the Paste-Aggregate Interface on the Mechanical Properties of Concretes", *Cement and Concrete Research*, V.41, pp. 459-466, 2011.
22. Chen, B., Liu, J., "Mechanical Properties of Polymer-Modified Concretes Containing Expanded Polystyrene Beads", *Construction and Building Materials*, V.21, pp. 7-11, 2007.
23. ACI Committee 548, **Polymers in Concrete**, SP-89, American Concrete Institute, 1985.
24. Sopler, S., Fiorato, A.E., and Lenschow, R., "A Study of Partially Impregnated Polymerized Concrete Specimens", *Polymers in Concrete*, SP-40, American Concrete Institute, pp. 149-172, 1973.
25. Cady, P.D., Wayers, R.E. and Wilson, D.T., "Durability and Compatibility of Over-lays and Bridge Deck Substrate Treatments", *Concrete International*, V. 6, No. 6, pp. 36-44, 1984.
26. ACI 304.1R-92, **Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications**, ACI Committee 304 Report, ACI Manual of Concrete Practice, 1997.
27. Davis, R.E., **Prepack Method of Concrete Repair**, *ACI Journal*, V. 57, No.2, pp. 155-172, 1960.
28. EFNARC, **European Specification for Sprayed Concrete, Experts for Specialized Construction and Concrete Systems**, 1996.
29. Austin, S.A. and Rubins, P.J., "Material and Fiber Losses with Fiber Reinforced Sprayed Concrete", *Construction and Building Materials*, V. 11, No.5-6, pp. 291-298, 1997.
30. Warner, J., "Understanding Shotcrete-the Fundamentals", *Concrete International*, V.17, pp. 59-64, 1995.
31. Kusterle, W., Eichler, K., "Tests with Rebound Behaviour of Dry-Sprayed Concrete", *Tunnel*, V.5, pp. 43-51, 1997.
32. Armelin, H., Nemkumar, B., "Development of a General Model of Aggregate Rebound for Dry-Mix Shotcrete-Part II", *Rilem Materials and Structures*, V.31, No:207, pp. 195-202, 1998.
33. Pfeuffer, M., Kusterle, W., "Rheology and Rebound Behaviour of Dry-Mix Shotcrete", *Cement and Concrete Research*, V.31, pp. 1619-1625, 2001.
34. Cengiz, O. and Turanlı, L., "Comparative Evaluation of Steel Mesh, Steel Fiber and High Performance Polypropylene Fiber Reinforced Shotcrete in Panel Test", *Cement and Concrete Research*, V. 34, pp. 1357-1364, 2004.
35. Bindiganavile, V., Banthia, N., "Fiber Reinforced Dry-Mix Shotcrete with Metakaolin", *Cement and Concrete Composites*, V.23, pp. 503-514, 2001.
36. ACI Committee 506.R-05, **Guide to Shotcrete**, Part 6, ACI Manual of Concrete Practice, 2007.
37. Saw, H., Villaescusa, E., Windsor, C.R., Thompson, A.G., "Laboratory Testing of Steel Fibre Reinforced Shotcrete", *International Journal of Rock mechanics and Mining Sciences*, V.57, pp. 167-171, 2013.
38. Lee, S., Kim, D., Ryu, J., Lee, S., Kim, J., Kim, H., Choi, M., "An Experimental Study on the Durability of High Performance Shotcrete for Permanent Tunnel Support", *Tunneling and Underground Space Technology*, V.21, p.431, 2006.
39. Erdoğan, T.Y., **Beton**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Geliştirme Vakfı Yayınları, Ankara, 2003.
40. McLeish, A., **Underwater Concreting and Repair**, Editor T.C. Liu., John Wiley, New York, 1994.
41. Troxel, G.E., Davis, H.E. and Kelly, J.W., **Composition and Properties of Concrete**, McGraw Hill, New York, 1968.
42. Taylor, W.H., **Concrete Technology and Practice**, McGraw Hill, Sydney, 1977.