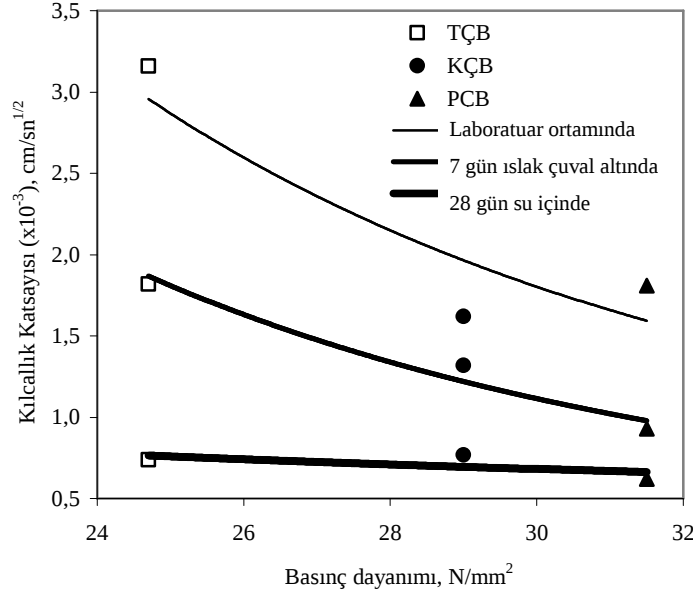




Şekil 4.26 B serisi betonlarda basınç dayanımı kılcal geçirimlilik katsayısı ilişkisi

Bu şekillerin incelenmesinden görüldüğü üzere kılcal geçirimlilik özellikle puzolanlı çimentolarla üretilen betonlarda su küründen belirgin bir biçimde etkilenmektedir. Bu tür betonlarda su kürü uzun tutulmalıdır. 28 gün su kürü uygulanmış betonun kılcallık katsayısı mineral katkı kullanımından etkilenmemektedir. İnceliği ve puzolanik aktivitesi yüksek olan mikrofiller malzemeler üretilen betonun basınç dayanımı artmaktadır. İri taneli olanlar ise betonun özellikle ilk yaşlardaki dayanımlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Silis dumanı gibi ince taneli ve puzolanik aktivitesi yüksek mikrofiller malzemeler agrega matrisi ara yüzeyinde ve matriste bulunan boşlukları doldurduğundan betonun kılcal geçirimliliğini azaltmaktadır. 28. günde ilk 7 gün su kürü uygulanmış veya hiç su kürü uygulanmamış düşük dayanımlı betonlarda kılcal su geçirimliliği daha fazladır [12].

4.8 KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON TEKNOLOJİSİ

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) teknolojisinde öncü ülke Japonya'dır. KYB geleneksel olarak pratikte vibrasyonla yerleştirilen betonunun kullanıldığı yerlerde uygulanır. Bu betonlar yüksek performanslı betonlar için uygun olduğu gibi aşağıdaki uygulamalarda da tercih edilmektedir: i) sık donatılı yerlerde, ii) şehir merkezlerinde, gece beton dökümlerinde ve vibratör kullanımının mümkün olmadığı durumlarda, iii) zor ve ulaşılmaz kalıplarda [13, 14].

KYB, çelik tel donatılı olabileceği gibi karma çelik tel ve polipropilen lif biçiminde de uygulama söz konusu olabilir. Bu betonlar, geleneksel betonarme inşaat uygulamalarında kullanılabileceği gibi prefabrike elemanların üretiminde ve özellikle zemin betonlarında kullanılabilir.

Kendiliğinden yerleşen taze beton için başlıca gereksinimler aşağıdaki gibi sıralanabilir: a) ayrışmaya karşı direnç, b) agrega tanelerinin kemerlenmesi olmaksızın dar kesitlerden ve donatılar arasından geçme yeteneği, c) reoloji, d) işlenebilirlik, e) filler malzeme, ve f) viskoziteyi düzenleyen katkıları [13].

4.8.1 Ayrışmaya Karşı Direnç

Taze haldeki KYB'nun, karıştırma, taşıma ve yerleştirme süreçlerinde agrega ve çimento hamurunun birbirinden ayrılmasına ve diğer bir deyişle ayrışmalarına karşı konulan dirençtir.

4.8.2 Reoloji

Reolojik kavramlar, KYB'nun geliştirilmesi ve taze haldeki davranışının daha iyi anlaşılması için kullanılmaktadır. Reolojik incelemeler kayma gerilmesi ile kayma hızı arasındaki bağıntının elde edilmesine dayanmaktadır. Elde edilen bu ilişkiden de kayma eşiği ve plastik viskozite bulunmaktadır. Reolojik ölçümler için reometreler ve viskozimetreler kullanılmaktadır. Reolojik ölçümler genel olarak araştırma ve geliştirme aşamalarına yöneliktir, ancak bazı karışım tasarım prosedürleri için de kullanılmaktadır.

4.8.3 İşlenebilirlik

Taze betonun uygulamadaki davranışına yönelik olarak akma ve deformasyon yeteneğini tanımlayan bir özellik işlenebilirlik olarak bilinir. En yaygın işlenebilirlik deneyi olan çökme (slump) KYB'lar için yetersizdir. Bu nedenle KYB'lar için U-kutusu, V-kutusu ve L-kutusu gibi yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin amacı KYB'nun doldurma yeteneğini, ayrışmaya karşı direncini ve geçme yeteneğini yansıtmaktır.

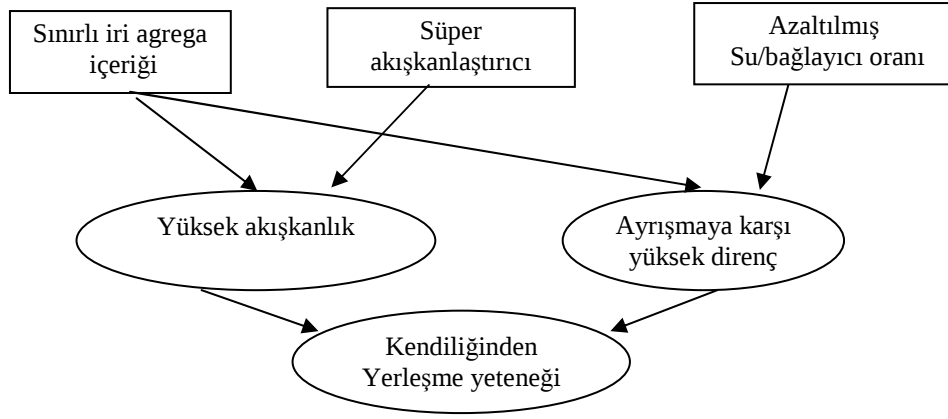
4.8.4 Filler Malzeme

Toz malzemenin tanımı standard eleklerin boyutlarındaki farklılıklara bağlı olarak ülkeden ülkeye değişmektedir. Filler malzeme için Avrupa'da genel olarak kullanılan maksimum tane boyutları 0,075 mm ve 0,125 mm'dir, Japonya'da ise en büyük boyut 0,090 mm'dir. KYB için su/(toz malzeme) oranı da kullanılmaktadır.

4.8.5 Viskozite Katkıları

KYB'nun ayrışmaya karşı direncini geliştirmek için viskoziteyi düzenleyen bir katkı kullanılmaktadır. Viskoziteyi düzenleyen katkıları bazen hammaddelerdeki değişimlerin etkisini azaltmak için de kullanılırlar. Bu katkıları su-altı beton işlerinde kullanılan katkıları benzerdir. Hem viskoziteyi düzenleyen hem de süperakışkanlaştırıcılık sağlayan bileşik etkiye sahip katkıları da vardır.

Şekil 4.27'de gösterildiği gibi KYB için sınırlı iri agrega, azaltılmış su / bağlayıcı oranı gereklidir. Karışımında genellikle hem süperakışkanlık sağlayan hem de viskoziteyi düzenleyen bir katkı yüksek akışkanlık sağlamakta ve ayrışmaya karşı direnç elde edilmektedir.



Şekil 4.27 Kendiliğinden yerleşen bir beton için gereksinimler

Kendiliğinden yerleşen betonların üstünlükleri:

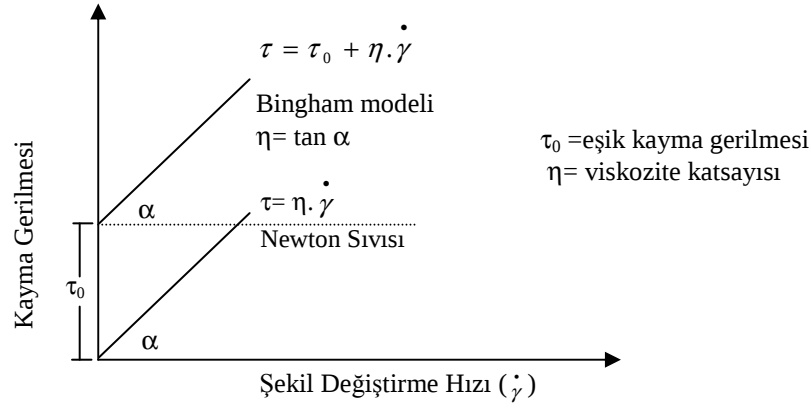
- Akıcı kıvam,
- Yüksek kohezyon,
- Kolay işlenebilme,
- Ayrışmadan kararlılığını koruyabilme yeteneği,
- Kendiliğinden yerleşme,
- Kolay pompalanma,
- Kıvam kaybına uğramaksızın yeterli yerleştirme süresine sahip olma,
- Karmaşık kalıp tasarımına uygun beton.

Kendiliğinden yerleşen beton inşaat hızında artış sağlar ve işçiliğin azalmasına katkıda bulunur. Böylece inşaat sırasında verimlilik artar ve ekonomik bir çözüm elde edilmiş olur [13].

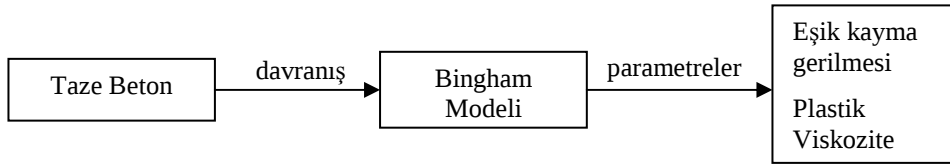
4.8.6 Kendiliğinden Yerleşen Taze Beton Özellikleri

4.8.6.1 Taze betonun reolojisi

Döküm ve yerleşmesi sırasında kendiliğinden yerleşen taze betonun performansına etki eden en temel özellik KYB'nun reolojisidir. Reolojik incelemeler KYB'nun gelişiminde daima merkez konumu oluşturur. Akışkan harç fazındaki iri agrega veya akışkan çimento hamuru fazındaki kum taneleri ayrılmadan homojen dağılımlarını sürdürmelidir. Bu bakımdan reolojik davranışın agrega tanelerinin boyutuna, türüne ve içeriğine bağlı olarak değerlendirilmesi doğaldır. Taze betonun reolojik davranışı, kayma eşiği ve plastik viskozite katsayısını içeren Bingham Modeli ile belirlenir (Şekil 4.28 ve 4.29). En genel halde taze beton için davranışı gösteren model ve modelin parametreleri Şekil 4.28'de verilmektedir [13].



Şekil 4.28 Taze beton için Bingham Modeli ve Newton Sıvısının davranışı



Şekil 4.29 Taze betonun davranış modeli ve parametreler

Taze betonun en önemli iki özeliği akıcılık ve kararlılıktır (stabilite). Akıcılık (viskozite), betonun az enerji ile yerine yerleştirilebilmesidir. Kararlılık ise beton karıştırılması ve yerleştirilmesi sırasında ayrıışmadan homojenliğini koruyabilmesi özeliğidir. Taze beton, Bingham cismi varsayılarak kayma eşiğı (τ_0) ve plastik viskozite (η) ile ifade edilebilir. Standard Abrams çökme değeri kayma eşiğınden etkilendiğı ve onunla ters orantılı olduğı, akıcılığın çökme deneyinde etkili olmadığı gözlenmiştir. Çökmeleri aynı olan betonların akıcılıkları eşit olmayabilir. Aynı çökmeye sahip betonlardan plastik viskozitesi küçük olanın daha akışkan bir beton olacağı, kayma eşiğleri ve çökmeleri eşit betonlardan plastik viskozitesi yüksek olanın kararlılığının daha iyi olacağı beklenebilir. Bingham modelindeki kayma eşiğine (τ_0) ve plastik viskoziteye (η) etki eden başlıca mekanizmalar yüzey gerilimine ve tanelerin dağılımına bağılı olarak taneler arasındaki sürtünme ve serbest su içeriğidir. Çimento dahil ince tanelerin dengeli diziliş ve uygun bir süperakışkanlaştırıcı ile KYB'nun özellikleri değiştirilmektedir. Ayrıca, plastik viskoziteyi değiştirmek için viskoziteyi düzenleyen bir katkı da kullanılmaktadır. KYB için hedef reolojik özellikler Newton sıvısına yaklaşarak düşük kayma gerilmesi ve uygun bir plastik viskozite sağlamaktır. Plastik viskozite, kullanılan malzemelere, döküm tekniğine ve elemanın tipine ve şekline bağılıdır [13,14].

4.8.6.2 İşlenebilirlik

KYB'nun işlenebilirliğı, pompanın ucundan çıkan betonun kendi ağırlığı ile boşluksuz biçimde kalıbın şeklini alması ve üniform kaliteyi sağlamasıdır. Taze haldeki kendiliğinden

yerleşmenin daha önce belirtildiği gibi aşağıdaki üç gereksinimi vardır: i) Doldurma etkisi, ii) Ayrışmaya karşı direnç, iii) Dar kesitlerden ve donatılar arasından geçme yeteneği.

4.8.6.2.a Doldurma etkisi

KYB kendi ağırlığı ile kolayca şekil değiştirebilmeli ve istenilen şekli alabilmelidir. Doldurma yeteneğinden anlaşılması gereken hem deformasyon kapasitesi ve hem de akış hızıdır. Deformasyon yeteneği yayılma deneyinde betonun şekil değişiminin sonlanmasından sonra çapın ölçülmesiyle elde edilir. Deformasyonun hızı ise, aynı deneyde betonun belirli bir deformasyona ulaşması için geçen sürenin ölçülmesiyle saptanabilir. İyi bir doldurma yeteneğini elde etmek için, deformasyon yeteneği ile deformasyon hızı arasında denge olmalıdır. Uygun bir doldurma yeteneğine erişmek için, aşağıdaki hususlar gözönünde bulundurulmalıdır:

Çimento hamurunun deformasyon yeteneğinin artırılması için:

- Süperakışkanlaştırıcı katkılar
- Dengelenmiş su/(çimento) oranı

Taneler arası sürtünmeyi azaltmak için:

- Düşük iri agrega hacmi (yüksek çimento içeriği),
- Agregalara ve kullanılan çimentoya bağlı olarak optimum granülometriye sahip toz malzeme.

1) Tanelerarası sürtünmenin azaltılması

Betonun iyi deforme olabilmesi için, iri agrega, ince agrega ve toz malzemelerin bütün boyutlarını içeren malzemelerin arasındaki sürtünmenin azaltılması yararlıdır. Agregalar arasındaki sürtünmenin azaltılması için agregaların birbirlerine değmeleri sınırlandırılmalıdır. Bunun için, agrega içeriği azaltılıp çimento hamuru içeriği artırılmalıdır. Toz malzemeler arasındaki sürtünmenin azaltılmasında, çimento hamurundaki su içeriğini artırarak tanelerin arasını açma olası değildir. Süperakışkanlaştırıcılar gibi yüzey aktif katkıları kullanarak ince maddelerin dağıtılması ve mükemmel deformasyon yeteneğine sahip KYB üretimi mümkündür. Aşırı su kullanımı dayanım ve dayanıklılıkta istenmeyen performans düşmesine neden olabilir. Toz malzemelerin şekli, su ve süperakışkanlaştırıcı miktarının belirlenmesinde yönlendirici bir işleve sahiptir. Uçucu kül gibi küre şekilli puzolanların kullanılmasının bu amaç için etkili olduğu düşünülmektedir.

Taneli malzemeler arasındaki sürtünmenin azaltılması, ayrışmaya karşı direncin azalmasına yol açmaktadır. Çimento hamurunun ve bütünüyle betonun deformasyon yeteneğini arttırmadan, çimento hamurunun viskozitesini arttırmak daha etkili olmaktadır.

2) Üstün deformasyon yeteneğine sahip çimento hamuru

Kendiliğinden yerleşmeyi sağlamak için, sadece katı taneler arasındaki sürtünmenin azaltılması yeterli değildir. Çimento hamuru da iyi bir biçimde deforme olabilmelidir. Kolayca akan ve iyi doldurma kapasitesi olan bir KYB elde etmek için, iyi akıcılık (düşük kayma direnci) ve ayrışmaya karşı yüksek direnç (yeterli viskozite) özelliklerinin birlikte

sağlanması gereklidir. Betonun şekil değiştirme yeteneği, çimento hamurunun deformasyon yeteneği ile yakından ilgili olup süperakışkanlaştırıcı kullanımı ile deformasyon yeteneği artırılabilir.

4.8.6.2.b Ayırmaya karşı direnç

Taze betonun ayrışması bileşen malzemelerin dağılımındaki heterojenlikten kaynaklanır. Beton, normal koşullar altında hareket ettiğinde ayrışma eğilimi sergilememesine karşın, donatıların sık olduğu kesitlerden geçerken ayrışabilir. KYB, aşağıdaki ayrışma durumlarını göstermemelidir:

- Terleme,
- Çimento hamuru ve agreganın ayrışması,
- Tıkanmaya yol açan iri agrega ayrışması,
- Hava boşluğu dağılımının homojen olmaması.

Ayırmaya karşın uygun bir direnç sağlamak için aşağıdaki hususlar gözönüne alınmalıdır:

a) Katı malzemelerin ayrışmasının önlenmesi:

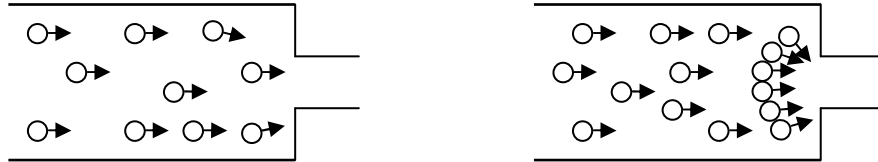
- Sınırlı iri agrega içeriği,
- En büyük agrega boyutunun azaltılması,
- Düşük su/(toz malzeme) oranı,
- Viskoziteyi düzenleyen katkı.

b) Terlemenin (serbest su) azaltılması:

- Düşük su içeriği,
- Düşük su/(toz malzeme) oranı,
- Yüksek yüzey alanlı toz malzemeler,
- Viskoziteyi düzenleyen katkı.

4.8.6.2.c Geçiş yeteneği

Donatının sık olması durumunda agregalar birbirine yaslanarak “kemerlenme” oluşturur. KYB’daki iri agregaların boyut ve içeriği ile kalıpla donatı arasındaki mesafenin uyumlu olması gerekir. Böyle bir kemerlenme mekanizması, betonun bir delikten aktığı iki boyutlu bir model Şekil 4.30’da görülmektedir.



Şekil 4.30 Agregaların kemerlenme oluşturma mekanizması [13]

Kemerlenme oluşumu, agrega boyutu büyük ve agrega içeriğinin de fazla olması durumunda daha kolay gelişir. Agrega boyutunun küçültülmesi durumunda, kemer oluşumu

yüksek agrega içeriğinde oluşabilir. Bununla birlikte eğer agrega taneleri geçtikleri boşluğun boyutlarına kıyasla çok küçük ise kemer oluşumu gerçekleşmeyebilir.

Yerleşme ve ayrışmaya direnç sergileyen KYB'larda agregaların kemer oluşturmalarını sağlayan etkenler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- En büyük agrega boyutunun çok fazla olması,
- İri agrega içeriğinin aşırı yüksek olması.

Geçme yeteneğinin sağlanması için aşağıdaki noktalar gözönünde bulundurulabilir:

- Düşük su/toz oranı,
- Viskoziteyi düzenleyen katkıların kullanılması.

Uyumlu geçiş açıklığı ve iri agrega özellikleri:

- Düşük iri agrega içeriği,
- En büyük agrega boyutunun azaltılması.

4.9 KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN ÇELİK TEL DONATILI BETONLAR

Geleneksel betonda olduğu gibi, kendiliğinden yerleşen betonda özellikle yüksek dayanımlı olanlarında gevrek kırılma özellikleri sergilenir. Kendiliğinden yerleşen betonlarda da liflerin kullanılması ile betonda süneklik özeliği iyileştirilebilir. Liflerin KYB'de kullanımı üzerine son yıllarda önemli çalışmalar yapılmış ve çelik liflerin KYB'nin tokluk özelliklerine etkisinin diğer bazı lif tiplerine oranla daha fazla olduğu gösterilmiştir. Çelik liflerin KYB'da kullanımının sağlayacağı esas fayda, kesitte kullanılan donatıda azalma sağlayabilme veya mevcut donatıların işlevini dolaylı olarak (çatlak ilerleme mekanizmasını etkileyerek) geliştirebilme potansiyelindedir. KYB'de liflerin kullanımı işlenebilirlikte ve kendiliğinden yayılabilme özelliklerinde yaratabilecekleri düşüşler nedeniyle sınırlıdır. Kullanılacak lif tipi üzerine de yapılmış çalışmalar vardır.

Çelik liflerin KYB'de kullanılabilme potansiyelini aşağıdaki hususlar belirler:

- Lifler KYB teknolojisinde en önemli parametre olan işlenebilirliği ve kendiliğinden yayılabilme özeliğini nasıl etkilemektedir?
- Geleneksel çelik lifli betona göre diğer liflerle üretilen betonlarda tokluk, gevreklik gibi özellikler nasıl değişmektedir?
- Bu yeni lifli çimento esaslı kompozitlerde hangi tasarım kriterleri kullanılacaktır?

Almanya da Karlsruhe Üniversitesinden Haist ve diğ [15], lifli ve liffsiz yüksek performanslı kendiliğinden yerleşen hafif betonların reolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir (Şekil 4.31). Yapılan çalışmada sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneyler, geleneksel hafif betonlara göre kendiliğinden yerleşen hafif betonların elastisite modülü ve basınç dayanımlarının daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca çalışmada çelik lif, polipropilen lif ve cam liflerinin kullanılmasında artan lif dozajına karşılık çökme – yayılma değerlerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Çelik life oranla PP lif ve cam lifi daha az dozajlarda çok fazla yayılma kaybı vermiştir ve böyle bir durum PP lif ve cam lifinin işlenebilirlikteki güçlüğü sergilenmektedir [15].