

YÜKSEK DAYANIMLI BETON ÜRETİMİ İÇİN
ÇİMENTO-SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI SEÇİMİ

Murat SOYLU
Doç.Dr.
Aslan Çimento A.Ş.
Darıca, Türkiye

Christophe LEVY
Araştırma Mühendisi
Lafarge Coppee Recherche
Le Teil, Fransa

ÖZET

Yüksek veya çok yüksek dayanımlı betonun bileşimi belirlenirken karşılaşılan en hassas sorunlardan biri çimento - süper akışkanlaştırıcı ikilisinin seçimidir. Bu seçim gerek optimal düzeyde su indirgenmesi gerekse betonun erken katılaşmasının önlenmesi ve arzu edilen işlenebilme düzeyinin zaman içinde korunması bakımından önem taşımaktadır.

Çimento - kimyasal katkı uyumsuzluğu konusunda yaşanmış bazı örnekler verildikten sonra, Kanada ve Fransa'da kullanılan çimento hamuru (çimento + mineral katkı + su + kimyasal katkı) yönteminden söz edilecek, bu yöntemin Lafarge Coppee Araştırma Merkezinde geliştirilen değişik biçimi tanıtılarak iki uygulama çalışması sunulacaktır.

Birinci çalışma Fransa'da bölgesel olarak yüksek dayanımlı beton üretimine en uygun formülasyonun elde edilmesine ilişkindir.

İkinci çalışma çeşitli çimentolarla üç ayrı süper akışkanlaştırıcının uyumlarının belirlenmesi üzerinedir.

1. GİRİŞ - KİMYASAL KATKI - ÇİMENTO UYUMSUZLUĞU OLDUKÇA YAYGIN BİR SORUNDUR

Beton karışımlarında kullanılan kimyasal katkıların ortaya çıkması ve şantiyelerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlaması betonun kalitesini yükseltmiş çeşitliliğini arttırmıştır. Ancak bu, hızlı katılaşma, ani priz, hızla işlenebilirlik kaybı, segragasyon gibi bazı sorunları da beraberinde getirmiştir.

Lafarge Coppee Araştırma Merkezi çimento - kimyasal katkı uyumsuzluğu üzerinde değişik karışımların incelendiği çok sayıda araştırma yapmıştır.

1.1. Ligno Sülfonat Bazlı Su İndirgeyiciler

1984' de Brittany (Fransa) de önemli bir yol şantiyesinde betonda akmâ ve döküm zorlukları yaşandığı bildirilmişti. Yapılan araştırmada, kullanılan çimentonun ve kimyasal katkının Fransız standartlarına uygun olduğu ancak birbirleriyle karıştırıldığında betonun ani katılaşmasına yol açtığı saptandı. Sorun üzerinde çalışan araştırmacılar, lignosülfonat moleküllerinin kalsiyum sülfat yüzeyinde seçici olarak söğrulmesi sonucunda çözünürlük hızının etkilendiğini ve bunun sonucu olarak sülfat iyonlarının (SO_4^{2-}) konsantrasyonunun azaldığını ileri sürdüler [1].

Eğer $CaSO_4/CaSO_4 \cdot 2H_2O$ oranı gerekenden biraz yüksekse, etrengit oluşturan sülfat yetersizliği, C_3A (tri kalsiyum alüminat) hidrotasyonunun başlamasına ve beton karışımının sertleşmesine neden olabilir.

Dodson ve Hayden [2], kalsiyum ligno sülfatlı su indirgeyicilerin kullanılması halinde, çimentoda bulunan kalsiyum sülfatların kimyasal yapılarının önemli bir rol oynadığını ve karboksil asit tuzları ve karbonhidrat bazlı katkılarında benzeri sorunlara yol açabildiğini gösterdiler.

Lafarge Coppee Araştırma Merkezinde R.Ranc aynı özgül yüzey ve SO_3 değerine sahip üç değişik çimentoya % 0,6 oranında akışkanlaştırıcı katarak sülfat yapısının reolojik davranış üzerindeki etkisini inceledi [3,4].

Elde edilen sonuçlar Tablo I'de gösterilmiştir.

Tablo I

Çimentoda Sulfat	Optimum	Aşırı Anhidrit	Aşırı Hemihidrat
Akışkanlaştırıcı-sız reoloji	iyi	iyi	kötü fos priz
Akışkanlaştırıcı-lı reoloji	iyi	kötü ani katılaşma	daha iyi

Görüldüğü gibi harcın reolojik davranışı, çözeltideki sülfat iyonlarının miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Sülfat konsantrasyonu çimentoya ve kullanılan katkının türüne bağlıdır. Kalsiyum sülfatların yapısal niteliği ve miktarı ne aşırı doygunluğa ne de sülfat yetmezliğine neden olmalıdır.

1.2. Süper Akışkanlaştırıcılar

1.2.1. Yeni Ürünler, Yeni Sorunlar

1970'li yıllarda betonun akışkanlığını geliştirmek veya su/çimento oranını önemli ölçüde azaltmak amacıyla beton endüstrisi diğer katkı maddelerine yöneldi. Süper akışkanlaştırıcılar, yüksek dozlarda zararlı yan etkilere (prizin aşırı gecikmesi, çok fazla miktarda havanın sıkışıp kalması v.b) neden olan lignosülfonatlara kıyasla daha rahat kullanılabilmektedir [5]. Süper akışkanlaştırıcılar sayesinde yüksek dayanımlı beton (50 - 130 MPa) üretilebilmektedir. Bugün Fransa'da Lafarge'ın yaklaşık 70 hazır beton tesisinde akışkan yüksek dayanımlı beton üretilmektedir. Ancak kötü (uyumsuz) süper akışkanlaştırıcı/çimento seçimi bazı hallerde katılaşmaya veya hızla işlenebilirliğin bozulmasına yol açabilmektedir.

1.2.2. Fransa'da Bir Köprü İçin Yüksek Dayanımlı Beton

1989'da bir köprü kemeri için dökülen basınç dayanımı 16 x 32 cm silindir örneklerde ortalama 81 MPa olan betonlarda akış sorunu ortaya çıktı. İki ayrı katkı kullanımı (naftalin - melamin karışımı süper akışkanlaştırıcı ve glukonat geciktirici) bir saatlik süre içinde teorik

olarak 20 cm slump verecek şekilde ayarlanmış, ancak beklenen sonuç elde edilememiştir. Araştırma Merkezimizde yapılan çalışma sonucu yeni bir süper akışkanlaştırıcı/geciktirici (melamin - sulfonat formaldehit ve fosfat) ikilisi önerildi ve oldukça başarılı oldu. Daha sonra sadece melamin ve fosfatla aynı başarı gerçekleştirildi.

1.2.3. Toulouse (Fransa) İçin Yüksek Dayanımlı Beton

Toulouse'da bulunan Lafarge'a ait bir hazır beton tesisinde 1989 yazında yüksek dayanımlı beton üretilirken slump kaybı (erken katılaşma) sorunuyla karşılaşıldı. Başlangıçta slump 20 cm iken beş dakika sonra trans-mikserde slump 8 cm'ye düşüyordu. Karışım içinde sulfonatlı naftalin, melamin ve aşırı derecede anhidrit içeren yüksek dayanımlı çimento bulunmaktaydı. Bu sorun, içinde normal kalsiyum sülfat bulunan bir çimento kullanılarak giderildi.

2. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmada, değişik süper akışkanlaştırıcıların, çimento üzerindeki etkisini karşılaştırabilmek amacıyla basit ve kullanışlı bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Yöntemin amacı, süper akışkanlaştırıcı - çimento uyumsuzluğunu (veya uyumluluğunu) zamanında tesbit edebilmek ve en uygun süper akışkanlaştırıcının en uygun dozda seçilebilmesini sağlamaktır.

Bu yöntem "Fransa ve Kanada" da kullanılan hamur (su + kimyasal katkı + çimento ve diğer ince fraksiyon) yönteminden yola çıkılarak geliştirilmiştir.

3. MEVCUT "HAMUR YÖNTEMLERİ"

3.1. Fransız L.C.P.C. Yöntemi

Fransız Ulusal Karayolları ve Köprüler Laboratuvarı (L.C.P.C.) 1989'da yüksek dayanımlı betonda karışım formülasyonu için yeni bir yöntem geliştirdi : Hamur Yöntemi [6]

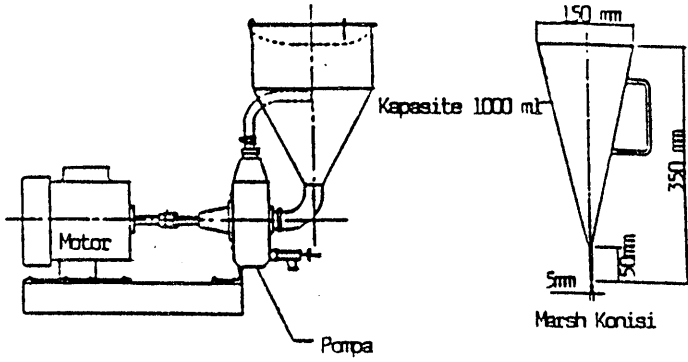
Bölgesel olarak optimize edilmiş bir formülasyonu esas alan bu yöntemle, hamurda (çimento + su + kimyasal katkılar) daha az su, optimal süper akışkanlaştırıcı ve nihayet silika tozu kullanarak aynı işlenebilirliğe sahip daha yüksek dayanımlı beton elde edilmektedir.

Yüksek dayanımlı beton (YDB) karışımı hazırlanmasında laboratuvarın yükünün hafifletilmesi bu yöntemin en önemli özelliğidir. Hamurla çalışmak beton örnekleriyle çalışmaktan çok daha kolaydır. Özellikle karışımı hazırlayan açısından 3-4 çimento ve 5-6 süper akışkanlaştırıcı arasında seçim yapmak söz konusu olduğunda yöntemin sağladığı avantaj kolayca görülebilmektedir.

Yöntem, hamurun bir harç karıştırıcıda karıştırılmasını ve akış süresinin "Marsh" konisinde (çıkış çapı 5 - 15 saniye arasında akış süresi ölçebilecek şekilde seçilmelidir) ölçülmesini öngörmektedir. Bu Fransa'da bugünlerde oldukça yerleşmiş bir yöntem olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

3.2. Kanada Sherbrooke Üniversitesi Yöntemi

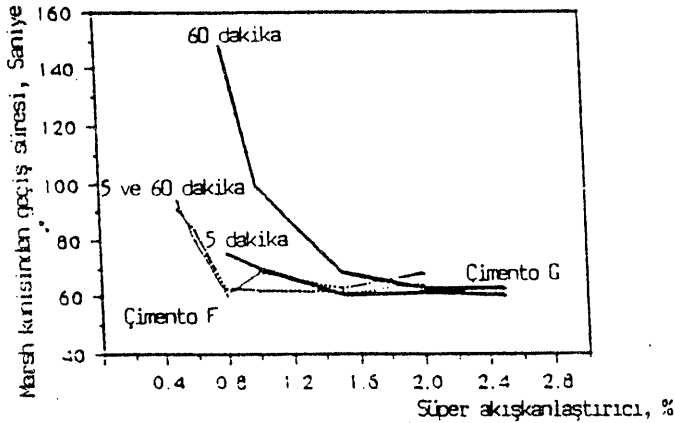
P.C. Aitcin Reopompa adı verilen Şekil 1'de gösterilen bir deney düzeneği geliştirdi. Yöntem hamurun enerjik bir şekilde karıştırılmasını sağlamakta ve su/süper akışkanlaştırıcı gereksinimini saptayarak optimal süper akışkanlaştırıcı miktarının tesbit edilmesine olanak tanımaktadır [7].



Şekil 1 Reopompa

Bir önceki yöntemde olduğu gibi, Reopompa Yöntemi de değişik çimento ve süper akışkanlaştırıcıların hamurun akış süresine olan etkisini, süper akışkanlaştırıcının optimum kullanım düzeyini saptamak için kullanılmaktadır.

Aralık 1990'da Sherbrooke Üniversitesinde yapılan Süper Akışkanlaştırıcılar Kongresinde bu yöntemin kullanımıyla ilgili bir örnek sunulmuştu [8]. Bu çalışmada iki değişik çimentonun hamur üzerindeki etkisi araştırılmıştı. Şekil 2'de 5 ve 60 dakika sonuçları görülmektedir.



Şekil 2 F ve G çimento hamurlarının akış özellikleri

Su/çimento oranı 0.25, slump 18-19 cm olacak şekilde naftalin sulfonat bazlı bir süper akışkanlaştırıcı kullanılarak ve F ve G

çimentolarıyla iki beton karışımı hazırlandı.

Yukarıda belirtilen koşulların sağlanması için F çimentosuyla hazırlanan karışımda 12 litre/m³, G ile hazırlananda 17 litre/m³ süper akışkanlaştırıcı kullanıldı.

4. YENİ HAMUR YÖNTEMİ (LAFARGE COPPEE RECHERCHE)

4.1. Mevcut Yöntemlerin Geliştirilme Olasılığı

Yukarıda belirtilen iki yöntem Lafarge Coppee Araştırma Merkezinde geliştirilen "Yeni Hamur Yöntemi" için bir başlangıç noktası oluşturmıştır.

4.1.1. Karıştırma İşlemi

Betonda bulunan agreganın öğütme ve yayma etkisini sağlayabilmek amacıyla hamurun şiddetli bir şekilde karıştırılması gereklidir. Bu amaçla 2800 devir/dakika hızla dönen basit bir yüksek türbülanslı karıştırıcı kullanılmıştır.

4.1.2. Akışkanlık Düzenegi

Fransa'da çıkış çapı 10 mm olan Marsh konisi oldukça yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Çap küçüldükçe akışkanlık süreci uzamakta ve yayılma riski doğmaktadır.

4.1.3. Hamur Bileşimi

Süper akışkanlaştırıcılar kum dahil, her türlü küçük tanecikler üzerinde etkili olmaktadır. Kumun ince tanecikleri üzerinde adsorbe olan süper akışkanlaştırıcı miktarı, doygunluk noktasını, dolayısıyla betonun işlenebilirliğini etkileyebilir. Bu nedenle yeni yöntemde normal hamura (çimento + su + katkılar), kumun ince kısmı ile, 315 mikrondan küçük kırılmış taş taneciklerinin de katılması öngörülmüştür.

4.2. Yeni Hamur Yöntemi Uygulaması

4.2.1. Araştırma Amacı

Lafarge'ın Hazır Beton Bölümü için 8 bölgesel yüksek dayanımlı beton incelenmiştir. Her bölge için bir temsili kum (güneyde kırılmış kireçtaşı, Paris civarında doğal silisli kum) örneği, bölgede üretilen yüksek dayanımlı çimento ve pazarda mevcut 4 tip süper akışkanlaştırıcı seçilmiştir.

Çalışmanın amacı belli bir bölgede en uygun çimento, süper akışkanlaştırıcı seçimini yapabilmek ve süper akışkanlaştırıcı miktarını optimize edebilmektir (1 saat süreyle iyi işlenebilirlik sağlamak).

4.2.2. Deneysel Çalışma

4.2.2.1. Bölgesel yüksek dayanımlı beton (Y.D.B)

20 cm slump veren ve araştırma konusu 4 süper akışkanlaştırıcıdan biri olan Resine.GT (Chryso)nin çimentoya göre ağırlıkça % 1.5 oranında katıldığı beton karışımı referans olarak seçilmiştir (Çimento dozajı 425 kg/m³).

4.2.2.2. Referans hamur

Referans Y.D.B'den çimento, kumun ince kısmı (315 mikron altında), faydalı su (toplam su eksi agreganın absorbladığı su) ve süper akışkanlaştırıcı ayrılarak elde edilen hamurdur.

4.2.2.3. Hamurun karıştırılması

Hamur yüksek hızlı bir karıştırıcı ile (2800 devir/dakika) 3 dakika karıştırılır.

4.2.2.4. Akış süresi

Hazırlanan hamurun 1.9 litresi Marsh konigine alınarak 1 litrenin aktığı zaman ölçülür.

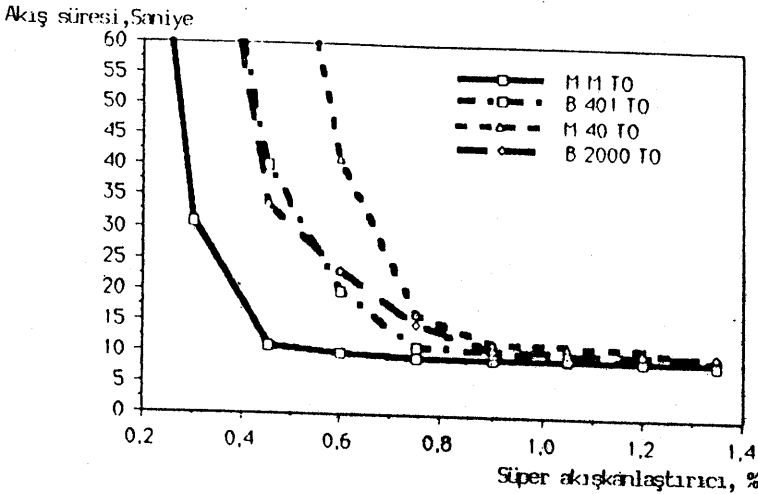
4.2.2.5. Hamurda süper akışkanlaştırıcı dozu

Her süper akışkanlaştırıcı için (1 özel melamin, 1 saf melamin ve iki naftalin-melamin bazlı) akış süresindeki değişim (karıştırmadan hemen sonra ve 1 saat sonra olmak üzere) değişik akışkanlaştırıcı dozlarında ölçülmüştür (Su oranı sabit tutulmuştur).

4.2.2.6. Süper akışkanlaştırıcı ve dozaj seçimi

Akışkanlaştırıcı yüzdesine göre akış süresini veren eğriler bir doyum noktası göstermektedir. Bu noktadan sonra süper akışkanlaştırıcı dozunu arttırmanın betonun işlenebilirliğine herhangi bir olumlu etkisi olmamaktadır (Sabit su miktarında).

Örneğin Paris'te elde edilen Y.D.B'de şekil 3'de görüldüğü gibi dört katkı maddesi için değişik doyum noktası elde edilmiştir. Özel melamin bazlı süper akışkanlaştırıcı en iyi akışkanlığa (en düşük akış süresi) en düşük doyum noktası dozajı ile ulaşabilmektedir (Çimento ağırlığının % 0.75'i oranında katı kimyasal katkı).



Şekil 3 Paris çimentosuyla hamur akış süresi

4.2.2.7. Y.D.B. formülü

Sekiz bölgenin her biri için doyum noktasında, en etkili süper akışkanlaştırıcı dozajı, optimal Y.D.B bileşimini verecektir. 20 cm slump elde etmek için su gereksinimi de azaltılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları şimdi Lafarge'ın incelenen bölgelerinde üretim yapan hazır beton tesislerinde uygulanmaktadır.

4.2.2.8. Yöntem üzerinde denemeler

Toulouse bölgesinde bir örnekte silika tozunun akış süresi üzerindeki etkisi incelendi. Düşük dozajlarda silika tozu içeren hamurun daha az akışkan olduğu gözlemlendi ancak % 0,9 üzerinde kullanılan özel melamin bazlı süper akışkanlaştırıcılarda daha iyi bir akış elde edildiği görüldü. Lyon bölgesinde bir başka örnekte hamur yönteminde kumun niteliğinden kaynaklanan bir reolojik problemle karşılaşıldı. Gözlemler Tablo II'de özetlenmiştir.

Tablo II

Kum kaynağı	Betonda İşlenebilirlik	Doygunluk Noktasında Hamurun Akış Süresi	Doygunluk Dozajı
Rhone nehri	1 saat süreyle çok iyi	10 saniye	% 0.6
Allier Nehri (Muskovitli)	ani katılaşma	14.5 saniye	% 0.75

4.3. 3 Değişik Süper Akışkanlaştırıcı ve 18 Çimento Arasında Uyumluluk Çalışması

4.3.1. Hamur Denemelerinin Amacı

Fransa'da Lafarge tarafından üretilen Portland Çimentolarının, Y.D.B. üretme politikası nedeniyle, akışkanlaştırılabilirlik derecelerinin saptanması, ve en uygun süper akışkanlaştırıcı seçimi oldukça önem kazandı. Bu amaçla akış süresi, doyumluk noktası gibi parametrelerle ana çimento özellikleri arasında bazı bağlantılar kurabilmek üzere çalışmalara hız verildi.

4.3.2. Araştırma Yöntemi

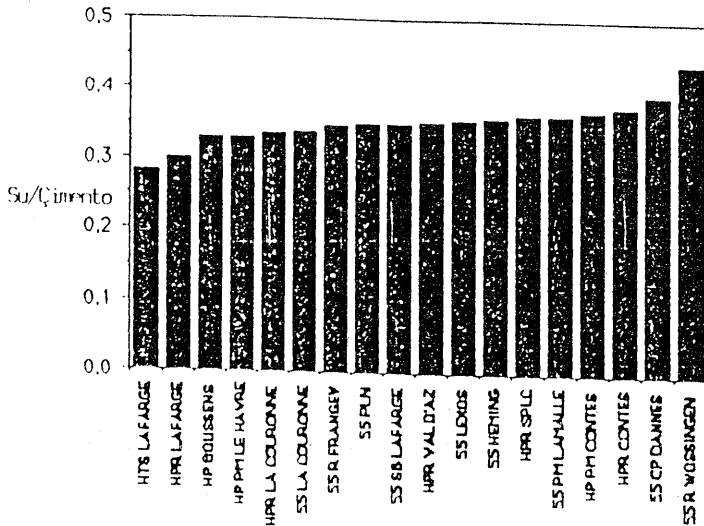
18 çimentonun her biri (17 portland + 1 silika tozu katkılı çimento) ve üç süper akışkanlaştırıcı için aynı doğal silisli kum (0-315 mikron) kullanılarak yeni hamur yöntemi uygulandı. Kullanılan süper akışkanlaştırıcılar :

- Melamin sulfonat formaldehit konsantresi (M)
- Naftalin sulfonat formaldehit konsantresi (N)
- Melamin ve naftalin karışımı (B)

Önce akış süresi 20 + 1 saniye olan ve içinde %1.5 (M) bulunan bir hamur için gereken su tesbit edildi. Daha sonra toplam su miktarı sabit tutularak ancak süper akışkanlaştırıcı miktarı arttırılarak akış süresi ölçüldü. Böylece "M" ile her çimentonun doygunluk noktası tayin edildi. Aynı işlem diğer iki süper akışkanlaştırıcı ile de tekrarlanarak doygunluk noktaları bulundu.

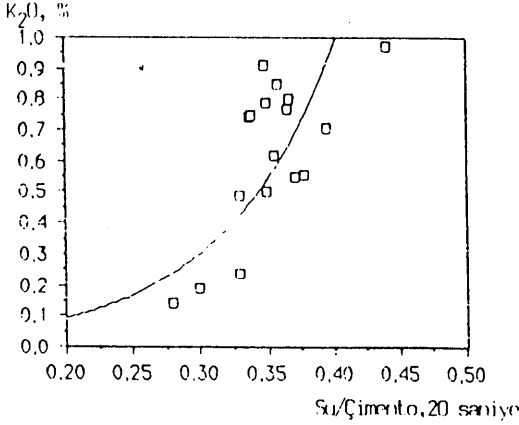
4.3.3. Sonuçlar ve Tartışma

Şekil 4'de gösterildiği gibi % 1.5 melamin bazlı süper akışkanlaştırıcı (M) kullanıldığında 20 saniyelik akış süresi elde etmek için gerekli su miktarı bir çimentodan diğerine oldukça değişkendir.

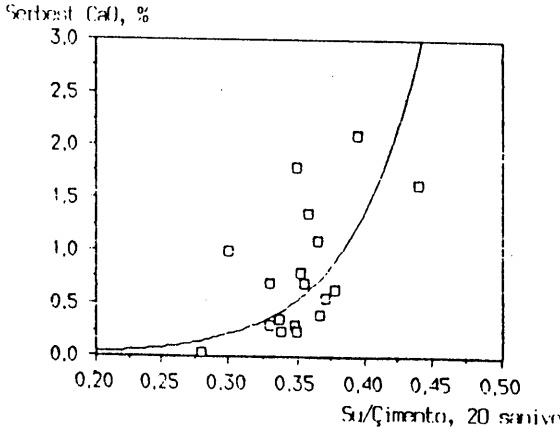


Şekil 4 20 saniyelik akış süresi için su/çimento oranı

18 Çimento örneğinde, su gereksinimi ile çimentonun ana özellikleri arasında çeşitli bağıntılar bulunmuştur. Serbest kireç ve potasyum miktarının önemli olduğu ortaya konmuştur. Bu ilişki Şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir. Bu bileşikler azaldıkça çimento daha kolay akışkanlaştırılabilmektedir.



Şekil 5 Alkali etkisi



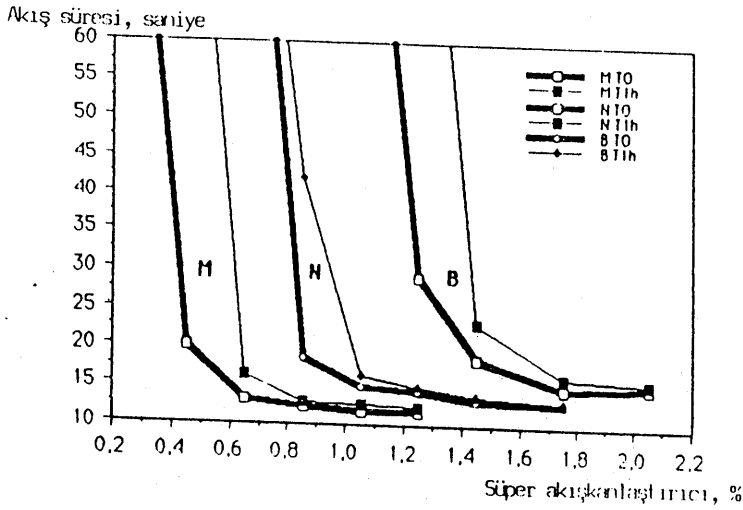
Şekil 6 Serbest CaO etkisi

Serbest kirecin çöktürücü özelliği bu çalışmayla bir kez daha kanıtlanmış olmaktadır. Çimentonun alüminatlı bileşikleriyle akışkanlık arasında önemli bir bağıntı bulunmamıştır.

18 çimento ve 3 süper akışkanlaştırıcının her biri için doygunluk noktası belirlenmiştir. Şantiyelerde ve prefabrikasyon tesislerinde

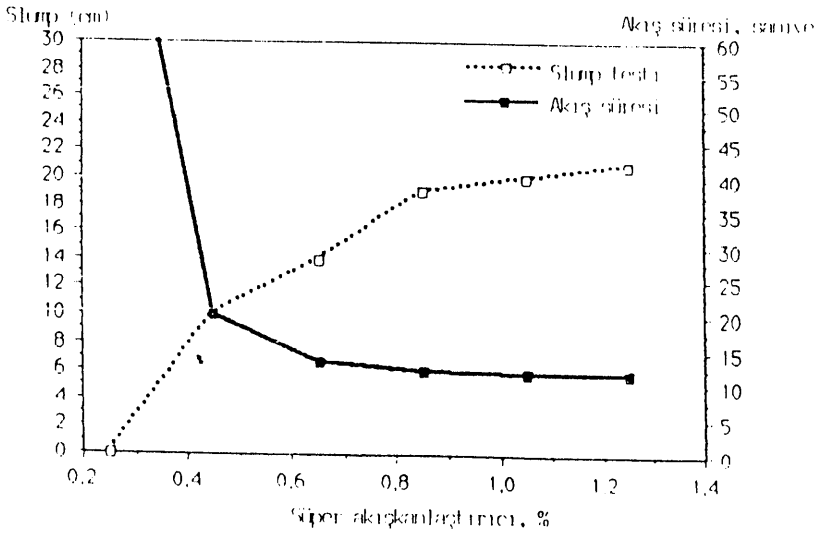
edinilen deneyimlerden bilindiği gibi değişik çimentoların davranışları oldukça değişkenlik göstermektedir (Doygunluk dozajı, doymunluk akış süresi, bir süper akışkanlaştırıcının diğerine tercihi edilmesi v.b.).

Örneğin Şekil 7'de Boussens Fabrikasının çimentosuyla üç süper akışkanlaştırıcı arasında temel davranış farklılıkları görülmektedir. Melamin sulfonat formaldehit konsantresi bu çimentoyla en iyi uyumu sağlamıştır. Diğer çimentolarla en iyi sonucu veren melamin-naftalin karışımı ise bu çimentoyla kötü sonuç vermiştir.



Şekil 7. Boussens (CPA HP) çimentosu hamuruyla akış süresi

Yöntem ayrıca aynı su miktarına sahip (hamur suyu + agreganın absorbladığı su) beton numunelerine uygulanmıştır. Şekil 8'de hamur akma süresiyle slump değerleri arasında oldukça iyi bir bağıntı olduğu görülmektedir. Optimal süper akışkanlaştırıcı dozunun melamin bazlı süper akışkanlaştırıcıda % 1 olduğu bulunmuştur.



Şekil 8 Boussens (HP) çimentosu hamuruyla slump

5. SONUÇLAR

Çimento/kimyasal katkı uyumsuzluğu iyi bilinen bir sorundur. Lafarge Coppee ve diğer araştırma kuruluşlarında bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu tür sorunları önlemek ve Y.D.B. elde etmek için en uygun ve optimal dozajda süper akışkanlaştırıcı seçimini olanaklı kılmak için mevcut iki hamur yönteminden yola çıkılarak yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

Bu yeni hamur yöntemi, 3 süper akışkanlaştırıcı ve 18 çimentonun uyumluluğunun gerek teorik olarak incelenmesinde gerekse bölgesel uygulamalarda kullanılmıştır. Çalışma ayrıca çimentoda bulunan serbest kireç ve potasyumun akışkanlık üzerindeki olumsuz etkisini de ortaya çıkarmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Paillere, A.M., Alegre, R., Ranc, R., Buil, M., "Interaction entre les reducteurs-plastifiants et les ciments", Bulletin de Liaison du laboratoire des Ponts et Chaussees No 136, Mars-Avril 1985
2. Dodson, V.H., Hayden, T.D., "Another look at the Portland cement/chemical admixture incompatibility problem" Cement, Concrete, and Aggregates, Vol 11/1, 1989
3. Aitcin, P.C., "Les superplastifiants:des reducteurs d'eau pas comme les autres", Annales I.T.B. T.B., Mars-Avril, 1989
4. Ranc, R., "Interactions entre les plastifiants et les ciments", Ciment, betons, plâtres et chaux no 782, Janvier 1990.
5. Aitcin, P.C. Baalbaki, M., "La compatibilite ciment portland/adjuvant", Conference sur les superplastifiants, Universite de Sherbrooke (Canada), Decembre 1990
6. de Larrard, F., Puch, C., "La methode des coulis", Colloque sur les betons a hautes performances, Paris, Mars 1989.
7. Hanna, E., Luke, K., Perraton, D., Aitcin P.C., "Rheological behavior of portland cement in the presence of superplasticizer", Third CANMET international conference, Ottawa 1989.
8. Baalbaki, M., "La determination du dosage de saturation", Conference sur les superplastifiants, Universite de Sherbrooke (Canada), Decembre 1990.

