

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
YAPI DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

K	D.
MERKEZ NO	TEKNOLOJİ
Dev. No:	10554
Fiatı	100-

TEZ NUMARASI

Genel :
Anabilim dalı :
Program :

SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI KATKI MADDELERİ İLE
AKICI KIVAMDA BETON ÜRETİMİ

Murat ALEMDAĞ

Yönetici : Doç.Dr. Tayfun CİMİLLİ

Trabzon
Ağustos, 1985

ÖNSÖZ

Bu çalışmada süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin akıcı kıvamda beton üretiminde kullanımı ve bu betonlarda işlenebilme kaybı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar Karadeniz Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Yapı ve Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın her aşamasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen yönetici Hocam Sayın Doç.Dr. Tayfun CİMİLLİ'ye kıymetli fikirlerinden yararlandığım Hocam Sayın Doç.Dr. Erbil ÖZTEKİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma oluşturulurken her aşamadaki kişisel görüşmelerimizde bilgi ve yardımlarını esirgemeyen araştırma görevlisi arkadaşlarıma, Fen Bilimleri Enstitüsü öğrenci bürosu görevlilerine, çalışmalarım da emeği geçen tüm laboratuvar personeline, özellikle çimento deneylerinin yapılmasında büyük yardımlarını gördüğüm Temel İZKİ'ye, tezin daktilo edilmesinde özenle yardımda bulunan Temel TOSUN'a teşekkür ederim.

Trabzon, Ağustos, 1985

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	
1. GİRİŞ	1
2. YAYIN TARAMASI	2
2.1. BETONUN ÖZELLİKLERİ	2
2.1.1. Betonun Tanımı	2
2.1.1.1. Sıkılama Derecesi ile İlgili Faktörler	2
2.1.1.2. Su ile İlgili Faktörler	3
2.1.1.3. Beton Dayanımı Üzerinde Etkili Olan Agregayla İlgili Faktörler	4
2.1.1.4. Çimentoyla İlgili Faktörler	4
2.1.1.5. Akışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Etkisi	5
2.2. AKIŞKANLAŞTIRICI KATKI MADDELERİ	5
2.3. AKICI BETONLAR	9
2.4. AKICI BETONLARDA ZAMANA BAĞLI AKICILIK KAYBI	11
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	14
3.1. AMAÇ VE KAPSAM	14
3.2. KULLANILAN MALZEMELER	14
3.2.1. Katkı Maddeleri	14
3.2.2. Agregalar	20
3.2.3. Çimentolar	20
3.3. DENEY ALETLERİ	22
3.3.1. Çimento Deneylerinde Kullanılan Aletler	22
3.3.2. Beton Deneylerinde Kullanılan Aletler	23
3.3.3. Deney ve Saklama Ortamlarını Koşullandıran Aletler	24
3.4. ÇİMENTO DENEYLERİ	25
3.4.1. İncelik Deneyi	25
3.4.2. Normal Kıvam için Su Miktarı Tayini	25
3.4.3. Priz Deneyleri	25
3.4.4. Hidratasyon Sıcaklığı Deneyleri	25
3.4.5. Mukavemet Deneyleri	25
3.5. BETON ÜRETİMİ VE NUMUNELERİN HAZIRLANMASI	27
3.5.1. Beton Üretimi	27

3.5.2. Numunelerin Hazırlanması	28
3.5.3. Beton Türleri	28
3.6. TAZE BETONDA İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ	28
3.6.1. Çökme Deneyi	28
3.6.2. Sarsma Tablası Deneyi	28
3.7. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ	29
3.7.1. Basınç Deneyi	29
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELEME	30
4.1. Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların Hidratasyon Sıcaklıklarına Etkisi	30
4.2. Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların Priz Sürelerine Etkisi	31
4.3. Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların Farklı Yaşlardaki Mukavemetlerine Etkisi	34
4.4. Katkısız Betonlarda Başlangıç Kıvamının Zamana Bağlı Kıvam Kaybına ve Katkılı Betonların Kıvamına Etkisi	36
4.5. Akıcı Kıvamlı Betonlarda Kıvam Kaybı	36
4.6. Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Akıcı Kıvamlı Betonların Mukavemetine Etkisi	40
4.7. Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Su İndirgeme Etkisi	40
4.8. Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Mukavemet Kazanma Hızına Etkisi	42
5. SONUÇLAR	43
6. KAYNAKLAR	45
7. TABLOLAR	47
8. ŞEKİLLER	57

ÖZET

Bu çalışmada, beton üretiminde kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin, pozolanik çimentoların, priz süreleri, hidratasyon sıcaklıkları ve değişik yaşlardaki mukavemetleriyle, traslı çimentoyla üretilmiş betonların işlenebilirliklerine, mukavemetlerine ve özellikle işlenebilirlik kayıplarına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Katkı maddesi olarak, melamin ve naftalin formaldehit kökenli iki süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Çalışmada, süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri, bunların kullanımı, bunlarla üretilen betonlar ve betonların işlenebilme kayıplarına etkiyen faktörler hakkında bir yayın taraması yapılmış, daha sonra deney programı hazırlanmış ve uygulanmıştır.

Çimento deneyleri 11 adet farklı fabrika ürünü çimento üzerinde yapılan priz süreleri, hidratasyon sıcaklığı ve mukavemet deneylerinden oluşmaktadır. Bu katkı maddelerinin genelde prizi geciktirdiği, hidratasyon sıcaklığına pek etkmediği, naftalin kökenli katkının harca hava sürükleyerek mukavemeti azalttığı, diğer katkıların mukavemete olumlu veya olumsuz fazla bir etki yapmadığı sonucuna varılmıştır.

Beton deneyleri, katkısız (kontrol) ve katkılı betonlar üzerinde işlenebilme kaybının izlenmesi ve beton mukavemetlerinin saptanması biçimindedir. Bu amaçla plastik (7-8 cm çökme) ve akıcı (çökme ≥ 20 cm) kıvamlı, çimento dozajı 300, 350, 400 ve 500 kg/m³ olan betonlar üretilmiştir. Bazı deneylerde iki farklı granülometride agrega kullanılmıştır. Deneylerde elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- Bir betonun ayrışmadan akıcı hale getirilebilmesi için, beton ince tane bakımından zengin ve katkı öncesi çökme en az 7.5 cm olmalıdır.
- Zamana bağlı, çökme kaybı çimento dozajından etkilenmektedir. Etkilenme biçimi katkı kullanılıp kullanılmamasına bağlıdır. Bu durumda betonda belirli bir süre sonunda işlenebilirliğin ne olacağı katkı olup olmadığına, katkı türüne ve çimento dozajına bağlıdır.

- Çimento dozajı yüksek (500 kg/m^3) olan katkılı betonlarda çökme kaybı daha yavaş seyretmektedir. Çimento dozajının düşük (300 kg/m^3) olması halinde betonun işlenebilirliği 1-1.5 saat içinde katkı öncesi değerine inmektedir.
- Katkısız betonların davranışı bunun tersidir. Su miktarı artırılarak akıcı hale getirilmiş bu betonlarda, çökme kaybı yüksek dozajlarda daha hızlı gelişmektedir.
- Her iki tür katkı maddesi de, akıcı betonların mukavemetlerinde, katkı öncesi hali temsil eden plastik kıvamlı betonların mukavemetlerine oranla, %10-20 mertebesinde bir azalma meydana getirmiştir.

1. GİRİŞ

Beton katkı maddeleri, genel bir tanımla betonun niteliklerinde istenilen yönde değişiklik sağlamak için betona, üretim sırasında, su, agrega ve çimento dışında, küçük miktarlarda katılan kimyasal maddeler olup son yıllarda yurt dışında olduğu gibi yurdumuzda da beton üretiminde uygulama alanları bulmaktadır. Kullanımı özellikle son on yıldır yaygınlaşan süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleriyle betonlarda %25-30 'a varan miktarlarda su indirilmesi yapılabilmekte ve böylelikle 28 günlük mukavemetler %60 mertebesinde artırılmaktadır.

Diğer yandan, betonların işlenebilirlikleri su miktarı değiştirilmeden süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile artırılmakta ve bu katkılar akıcı beton diye tanımlanan, çökmesi 20 cm 'in üstünde olan betonların üretiminde de kullanılmaktadırlar. Ancak bu katkılarla sağlanan işlenebilirlik artışları kısa sürede (30-60 dak) kaybolmakta ve beton başlangıç kıvamına dönmektedir. Bu çalışmada incelenen konulardan biri, Trabzon çimento fabrikası ürünü traslı çimento (TÇ325) ile üretilen akıcı kıvamlı betonlarda çökme kaybıdır. Çökme kaybının çimentonun hidrasyonu ve prizi ile ilgili olabileceği düşüncesiyle süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin bu özellikleri nasıl etkilediği, bu katkılarının çimento mukavemetine etkisi Türkiye'de üretilen çeşitli çimentolar üzerinde yapılan deneylerle araştırılmıştır.

Çalışma esas olarak iki bölüme ayrılmıştır. Birinci bölüm çimentolar, ikinci bölüm ise betonlar üzerinde yapılan çalışmalarını kapsamaktadır. Tesin sunuluşunda bu bölümlendirmeye uyulmaya çalışılmıştır. Ancak zaman zaman bölümler arasında girişimler de olmaktadır.

2. YAYIN TARAMASI

2.1. BETONUN ÖZELLİKLERİ

2.1.1. Betonun Tanımı

Beton; çakıl veya kırmataş, kum, çimento ve suyun uygun miktarlardaki karışımları ile oluşturulan bir yapı malzemesidir.

Çakıl veya kırmataş, betonun iskeletini oluşturur ve betona etkiyen kuvvetlere karşı koyar. Kum, iri agrega daneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompasitesini artırır. Çimento; kum ve iri agrega danelerini birbirine bağlar ve artakalan boşlukları doldurur. Doluluk oranının yani kompasitenin artması betonun dayanımını önemli ölçüde artırır. Boşluklar, genellikle iri agrega ve çimento hamuru arasında oluşur ve bu durum ikisi arasındaki ade-rans kuvvetini önemli ölçüde azaltarak sonuçta beton dayanımının da düşmesine neden olur.

Bu nedenle kompasitenin yüksek olması, yani boşlukların az olması beton mukavemeti için gerekli bir koşuldur. Buna ek olarak kompasitenin yüksek olduğu betonlar kimyasal etkilere, atmosfer etkisine daha dayanıklıdır.

Beton dayanımını etkileyen faktörler kısaca şöyle sıralanabilir.

1. Sıkılama derecesiyle ilgili faktörler
2. Su ile ilgili faktörler
3. Agregayla ilgili faktörler
4. Çimentoyla ilgili faktörler
5. Katkı maddeleri

2.1.1.1. Sıkılama Derecesi ile İlgili Faktörler

Betonun sıkılama derecesi sıkılama kullanılan yöntemlerin yanı sıra, kalıp özelliklerine ve betonun bileşimine bağlıdır. Burada esas sınırlayıcı faktör, kalıp boyutları, donatının sıklığı gibi kalıp özellikleri olmaktadır. Kullanılan agreganın maximum dane çapı, betonun kıvamı, bu özelliklere göre seçilecek ve uygun sıkı-

lama yöntemleri kullanılacak olursa beton kolaylıkla sıkılanabilir. Bu durumda betondaki boşluk miktarı beton bileşimine bağlı olacaktır. Eğer; kıvam ve maximum dane çapı kalıp için uygun olarak seçilmezse, bileşim nedeniyle oluşan boşluklardan çok daha fazlası oluşabilir ve dolayısıyla mukavemet önemli ölçüde azalabilir.

2.1.1.2. Su ile İlgili Faktörler

Beton üretiminde kullanılan suyun şu fonksiyonları vardır.

- a) Bağlayıcı maddenin hidratasyonunu sağlar.
- b) Agregatanelerini ıslatarak betonun işlenebilirliğini artırır.

Beton üretiminde kullanılan suyun niteliği, beton mukavemetini etkileyen önemli bir faktör olmakla birlikte, mukavemet üzerinde esas etki yapan faktör su miktarıdır. Betona katılan suyun ancak yarısı veya daha da azı çimento tarafından hidratasyon sonucu tutulmakta, geriye kalan su zamanla buharlaşmaktadır. Buharlaşan suyun geride bıraktığı boşluklar mukavemeti azalttığı gibi su kaybı hacimsel hareketlere de neden olmaktadır. Betona çimentonun hidratasyonu için gerekenden çok daha fazla su konmasının nedeni, istenen kıvamı tutturmadır. Eğer bu kıvam; katkı maddeleri kullanılarak elde edilebiliyorsa su miktarı azaltılarak mukavemet artırılabilir.

Su miktarının mukavemete etkisi genellikle su/çimento oranı (E/C) veya çimento/su oranı (C/E) ile açıklanır.

$$\text{Mukavemet} = a \left(\frac{C}{E} - b \right)$$

şeklindeki basit denklem bu ilişkiyi gerçeğe oldukça yakın bir biçimde temsil etmektedir. Denklemden görüldüğü gibi C/E arttıkça veya E/C azaldıkça mukavemet artmaktadır. a ve b birer katsayı olup kullanılan malzemelerin özelliklerine, beton bileşimine v.s. bağlıdır.

Su miktarı, dayanım ile işlenebilme üzerinde birbirine zıt etkiler yaratır. Su miktarının fazla olması işlenebilmeyi artırır, mukavemeti azaltır. Su miktarının çok az olması işlenebilmenin kötü olmasına neden olur. Bu durumda beton kuru kıvamdadır ve iyi sıkılanması halinde fazla boşluklu olacaktır. Bu da işin başlangıcında kompakte ve dolayısıyla dayanımın düşük olacağını gösterir.

2.1.1.3. Beton Dayanımı Üzerinde Etkili Olan Agregayla İlgili Faktörler

Bu faktörlerin başında agregaya granülometrisi gelir. Bir agregaya yığınınındaki ve dolayısıyla bununla yapılacak betondaki boşluk miktarı agregaya granülometrisiyle değişir. En yüksek kompasiteyi verecek granülometrilere araştırmalar sonucu saptanacak standartlarla belirtilmiştir. Bu nedenle beton üretiminde kullanılacak agregaya karışımının granülometri eğrisi standartlarla verilen sınırlar içinde kalmalıdır. Bununla birlikte granülometri eğrisi üst sınıra yaklaştıkça karışımdaki ince agreganın miktarı artar. Bu ise beton için gerekli su miktarını artırır. Buna bağlı olarak dayanım azalır. Aynı nedenlerle karışımın granülometri eğrisi alt sınıra yaklaştıkça dayanımında artması beklenmelidir. Ancak iri tane miktarı arttığı zaman betonun işlenebilmesi zorlaşır ve bu da sıkılama yetersizliği nedeniyle boşluk miktarını artırabilir.

Agreganın biçimi ve yüzey dokusunda mukavemet üzerinde etkilidir. Pürüzlü taneler, örneğin kırmataş, düzgün yüzeye sahip tanelere göre neğin çakıla oranla çimentoyla daha iyi aderans yaparak mukavemeti artmasına neden olur. Buna karşılık kırmataş köşeli tanelerden oluştuğu için bununla üretilen betonun sıkılanması daha zordur. Bu da boşluk miktarını artırabilir.

2.1.1.4. Çimentoyla İlgili Faktörler

Mukavemet üzerinde etkili olan çimentoyla ilgili belli başlı iki faktör vardır: Çimento cinsi ve betondaki çimento miktarı.

Yüksek mukavemetli çimentoyla elde edilen betonun mukavemeti yüksek olur. Betondaki çimento miktarı arttıkça beton mukavemeti artar.

Bununla birlikte gerek yüksek mukavemetli çimentolarla beton üretilmesi ve gerek beton bileşiminde fazla miktarda çimento kullanılması durumlarında mukavemeti azaltıcı etki yapan bazı olaylar da meydana gelebilir. Örneğin; hidrasyon ısısının yükselmesi, rötrenin artması gibi. Bu nedenle betondaki çimento miktarı aşırı artırılamayacağı gibi yüksek mukavemetli çimentolarda dikkatli kullanılmalıdır.

Çimento miktarının minimum değeri çimento hamurunun agrega içindeki bütün boşlukları doldurmasını sağlayacak kadar olmalıdır. Agrega karışımındaki ince tanelerin miktarı fazla ise çimento dozajı büyük olmalıdır. Agregadaki büyük dane boyutu arttıkça boşluk miktarı azalmaktadır. Buna bağlı olarak agrega boyutu arttıkça çimento dozajı azalacaktır.

2.1.1.5. Akışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Etkisi

Beton kıvamı, betonun işlenebilirliği ve dolayısıyla mukavemeti bakımından önemli bir özelliştir. Beton kıvamı beton bileşimiyle ayarlanabilirdi genellikle sadece su miktarıyla ayarlanmaktadır. Su miktarının artırılması betonu daha akıcı hale getirmekle birlikte, mukavemetin azalmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan su miktarının azaltılması mukavemeti artırdığı halde, çok katı betonların kalıba yerleştirilmesi ve sıkılanması zor veya imkansız olabilmektedir. Belirli bir mukavemet ve kıvamın birlikte sağlanması istendiği için pratikte betondaki su miktarı çok dar sınırlar arasında değiştirilmektedir. Bu nedenle belirli bir noktadan sonra mukavemet kaybetmeden betonu daha akışkan kılmak için, su miktarı artırılmamakta, onun yerine akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Benzer şekilde belirli bir noktadan sonra mukavemet artırımı için su miktarı azaltılırken katılaştıran beton kıvamı aynı katkı maddeleri kullanılarak eski haline getirilebilmektedir.

2.2. AKIŞKANLAŞTIRICI KATKI MADDELERİ

Beton katkı maddeleri genel bir ifadeyle "Betona üretim sırasında; su, agrega ve çimento dışında, çimento miktarına bağlı olarak küçük miktarlarda, betonun niteliklerinde istenilen yönde değişiklik sağlamak için katılan kimyasal maddeler" olarak tanımlanabilir. Günümüzde katkı maddeleriyle betonun akışkanlığını artırmak, sertleşmesini geciktirmek veya çabuklaştırmak, geçirimsizliğini temin etmek, tozlanma ve çiçeklenmesini önlemek, dayanımını artırmak donu dayanıklılığını artırmak olanaklıdır.

Betonun işlenebilirliğini artırmak amacıyla kullanılan katkı maddelerine "Beton Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri" adı verilir. Bu tür maddeler çimento danelerinin beton iç yapısına iyice yayılmasını ve fazla miktarda suyun çimento ile mümkün olduğu kadar çabuk bağ kurmasını sağlar. Bu konuda özellikle Linyosülfonat ve alümin esaslı bazı prepotlar çok başarılı sonuçlar vermektedir⁽⁹⁾.

Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri üç amaç için kullanılmaktadır.

1. Dayanımı değiştirmeden işlenebilmeyi artırmak:

Bu durumda su miktarı değiştirilmeden betonun işlenebilirliği akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile artırılır. Akışkan beton kalıba daha kolay ve çabuk yerleştiğinden iş ve makina gücünden tasarruf sağlanır. Su miktarında eskiye oranla bir artış olmadığından mukavemet değişmez. Aksine beton daha kolay ve iyi sıkılanabileceğinden biraz daha sağlam olur.

2. İşlenebilirliği değiştirmeden dayanımı artırmak:

Basınç dayanımında artış sağlamanın bir yolu E/C oranını azaltmaktır. Fakat bu yolla üretilen betonların kıvamı daha kuru olmak ve iyi sıkılanmamaktadır. İyi sıkılanmayan betonda boşlukların fazla hacim oluşturacağı dolayısıyla kompositeyi azaltacağı gerçeği dikkate alınırsa dayanımda azalma görülecektir. E/C oranının düşürülmesi sonucu azalan işlenebilirlik, katkı maddeleri ile düzeltilerek beton eski kıvamına kuvuşturulabilir.

3. İşlenebilirliği ve mukavemeti değiştirmeden çimento miktarını azaltmak:

E/C oranı sabit tutularak hem su hemde çimento miktarı azaltılacak olursa E/C oranı değişmediğinden mukavemet azalmaz, bu durumda çimentodan tasarruf edilmiş olur.

Su miktarının azaltılması beton işlenebilirliğini azalttığı için, kaybolan işlenebilirlik özelliği katkı maddeleri kullanılarak dengelenebilir. Bu uygulamayla her ne kadar beton dayanımını düşürmeden çimentodan tasarruf sağlanabilmekteysi de, betonun kimyasal etkilere, don etkisine dayanıklılığı azalabilmektedir.

O nedenle akışkanlaştırıcı katkı maddeleri daha çok diğer iki amaçla yani;

- Normal kıvamdaki betonun yerleşemeyeceği ve iyi sıkılanama-

yacağı kadar sık donatılı betonarme elemanlarda kullanılmak üzere nispeten akışkan bir beton üretmek için,

- Akışkan daha küçük E/C oranına sahip, yani dayanımı yüksek, buna karşılık iyi sıkılanabilecek kadar plastik kıvamda beton elde edebilmek için kullanılırlar.

Betonu daha akışkan hale getirmek için kullanılan katkı maddeleri, kimyasal yapılarına göre genellikle şöyle sınıflandırılırlar

- Linyosülfonatlar
- Hidroksikarboksilik asitler
- Hidroksile olmuş polimerler
- Formaldehit naftalin sülfonat tuzları
- Formaldehit melamin sülfonat tuzları

Linyosülfonatlar, ahşaptan kağıt üretilmesi sırasında elde edilen bir yan üründür. Bunların bileşimlerinde bir miktar şeker bulunabildiğinden aynı zamanda betonun prizini geciktirici bir etkide yaparlar. Bu etkilerin istenmediği hallerde katkı maddesine bir miktar kalsiyumklorür veya kalsiyum formet gibi priz hızlandırıcılar katılarak bu etki dengelenir.

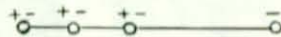
Hidroksikarboksilik asitler OH ve COOH ile sodyumun oluşturduğu tuzlardır.

Hidroksile olmuş polimerlerin kökeni polisakkaritlerdir. Bunlar mısır nişastasının hidrolizi ile elde edilir.

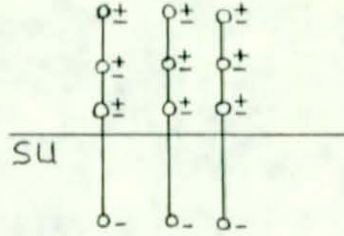
Naftalin ve melamin formaldehid sülfonat tuzları betonu olağanüstü akışkan hale getirme yeteneğine sahiptir. O nedenle bu katkı maddelerine "SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICILAR" adı verilir.

Akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin sağladıkları bu etki Kreijger ⁽²⁾ adlı araştırmacı tarafından şöyle açıklanmaktadır.

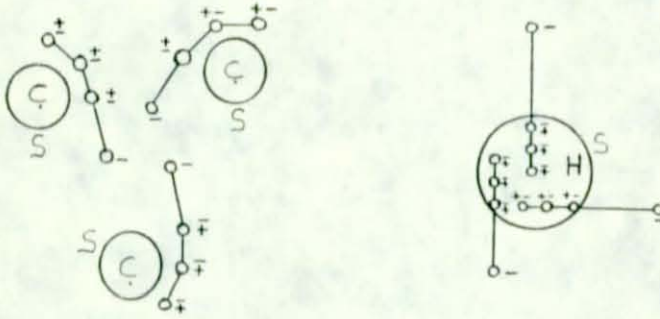
Katkı maddesi üzerinde elektrik yüklü noktalar bulunan bir cisim gibi düşünülebilir.



Bu cismin (-) yüklü kuyruğu su tutucu, (+,-) yüklü gövdesi su itici olacağından bunların su içindeki dizilişi şöyle olacaktır



Bu cismin (-) yüklü kuyruğu su tutucu, (+,-) yüklü gövdesi su itici olduğundan, bu maddenin çimento hamuruna katılması halinde gövde çimento daneciklerine, hava kabarcıklarına yapışacak kuyruk ise su moleküllerini etrafına toplayacaktır.



Ç: Çimento daneciği
H: Hava kabarcığı
S: Su

Çimento daneleri üzerinde böyle elektrik yüklü cisimler bulunması nedeniyle birbirlerini itecekler ve böylece danelerin birbirlerine yapışması önlenemez, çimento daneleri arasında hap solmuş su açığa çıkacak, çimento danecikleri de daha kolaylıkla hareket edebileceklerdir. Bunun sonucunda çimento hamurunun akışkanlığı artmış olacaktır.

Katkı maddelerinin beton bileşimine gereğinden fazla katıldıkları zaman betona zararlı etkileri olabilir. Bunlar rötremede kendini gösterir. Prizi çabuklaştırmak için betonun yoğurma suyuna ilave edilerek kullanılan bazı katkı maddelerinin rötreyi artırdıkları söylenmektedir⁽⁹⁾. Bundan dolayı bu maddeleri kullanmadan önce bunların rötreyi ne miktarda artırdığı ve oluşan rötrenin ne gibi zararlar yapabileceği incelenmelidir.

Su azaltıcı veya priz geciktirici katkı maddelerinin, bütün hallerde görülmeyen fakat birçok hallerde sünmeyi artırıcı etki yaptıkları söylenmektedir⁽⁹⁾. Eğer bir yapıda sünme sorunları önemli ise, kullanılması düşünülen herhangi bir katkı maddesinin, bu açıdan da kontrol edilmesi gerekir.

2.3. AKICI BETONLAR

Akıcı beton denildiğinde daha çok konduğu kap içine bir mekanik etki olmaksızın sadece kendi ağırlığıyla yerleşebilen beton anlaşılmaktadır. Ancak böyle bir tanım çok kaba olacağından, akışkanlığın bilinen işlenebilirlik deneyleri ile de tanımlanmasına çalışılmıştır. Genellikle kabul edilen sınır değerler şöyledir:

Çökme konisi deneyinde (TS2871) çökme miktarı en az 18 cm.

Sarsma tablası deneyinde (DIN 1048) yayılma çapı en az 50 cm.

Sıkıştırma faktörü deneyinde (TS 2872) faktör en az 0.96

Ve-be deneyi tabiatı icabı bu tür betonlar için uygun değildir.

Bilinen bu deneylere ek olarak vizkometrelerle ölçüm ve tanımlar yapıldığı da görülmektedir⁽³⁾.

Böyle bir beton kavramı sadece su miktarı artırılarak elde edilecek olursa, daha önce anlatılan nedenlerle mukavemet önemli ölçüde azalacaktır, hatta beton ayrışacağından bu betonu kullanmak mümkün olmayacaktır. Her ne kadar bu sakıncalar çimento dozajının da su ile birlikte artırılması, agrega:çimento oranının azaltılması yoluyla bir dereceye kadar giderilebilirse de bu defa yüksek dozaj getireceği sakıncalarla karşılaşılır. O nedenle akıcı betonların üretiminde akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanımı bir bakıma kaçınılmaz olmaktadır.

Burada belirtildiği derecede yüksek akışkanlığın elde edilebilmesi, kullanılan katkı türü, beton bileşimi gibi bir takım özelliklere bağlıdır. Bu konuda süperakışkanlaştırıcılar, normal akışkanlaştırıcı katkı maddelerine oranla daha etkili olmaktadır.

Bu tür katkı maddeleriyle sağlanan akıcılık etkisi kalıcı değildir. Akıcılık, katkı maddesinin katıldığı anda en yüksek değerde olup zamanla azalmakta ve genellikle 1-2 saat içinde beton eski kıvamına dönmektedir. İşlenebilirlik kaybı denilen bu husus uygulamada özellikle betonun uzun mesafelere taşındığı durumlarda bazı sorunlar yaratmaktadır. O nedenle her iş için işlenebilirlik kaybını beton dökümüne başlamadan önce yapılacak deneylerle izlenmesi istenmektedir.

Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için katkı maddelerinin beton kullanılmadan hemen önce katılması tavsiye edilebilir. Hidratasyon başladıktan yarım saat veya bir saat sonra katılacak katkının aynı etkiyi gösterip göstermeyeceği de bir başka sorudur. Katkı katma

gecikmesi diye bilinen bu hususunda her iş yeri için, yapılacak deneylerle saptanması tavsiye edilmektedir.

Önerilen bir diğer yöntem katkı maddesinin beton üretilirken katılması, beton kullanılıncaya kadar işlenebilirliğinde önemli bir azalma meydana gelirse, kullanılmadan hemen önce tekrar katkı katılmasıdır. Katkı dozu tekrarı diye bilinen bu yöntemde de betondaki katkı miktarı arttığından bazı sakıncalar bulunabilir. Her farklı durum için bunun da araştırılması uygun olacaktır.

Diğer taraftan süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin yaratacağı akışkanlık etkisinin beton bileşiminden bağımsız olmadığı ve aşağıdaki özelliklere bağlı olduğu söylenmektedir⁽⁴⁾.

1. Betonun katkı katılmadan önceki işlenebilirliği,
2. Bileşimdeki kum miktarı,
3. Bileşimdeki ince malzeme miktarı (çimento dahil 300 μ dan küçük daneler)
4. Çimento türü.

Buna göre bir betonun süperakışkanlaştırıcı katkılarla akıcı hale getirilebilmesi için; katkı öncesi kıvamı plastik (minimum çökme 7,5 cm çökme) olmalı, en büyük dane çapının 20-30 mm olduğu betonlarda çimento ve 300 μ dan küçük tane miktarı 400-450 kg/m³ den az olmamalı, çimento dozajı 300 kg/m³ dolayında tutulacaksa agregada içinde 1 mm den küçük tane miktarı %30 dolayında bulunmalıdır. Bütün bu kurallar normal bir beton bileşiminden daha farklı bir bileşim gerektiğini göstermektedir. Agregalarda 300 μ dan küçük dane miktarı genellikle ve özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde çok az olduğundan ister istemez çimento dozajının yüksek tutulması gerekecektir⁽⁸⁾.

Çimento cinsinin süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri üzerine nasıl bir etki yapacağı kesin olarak bilinmemektedir. Yapılan çalışmaların büyük bir kısmı portland çimentosu üzerinedir. Bazı araştırmacılar çimentonun ana bileşenlerinden C₃A(3CaOAl₂O₃) nın etkili olabileceğinden söz etmektedirler⁽⁶⁾.

Bütün bu hususlar göz önüne alındığında süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanılmasının çimento türü, beton bileşimi ve diğer koşullara göre farklı sonuçlar verebileceği anlaşılmaktadır.

Süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri nispeten pahalı maddelerdir. Bunlar kullanılarak üretilen akıcı betonlar normal betonlara göre daha pahalıdır. Ancak akıcı kıvamın getireceği bazı

kolaylıklar bunların kullanımını ekonomik hale getirebilmektedir. Akıcı betonların kullanım alanları şöyle sıralanabilir:

- Vibratörün kolay ulaşamayacağı karmaşık kalıplara veya çok sık donatılı kalıplara beton dökülmesi: Bu durumda beton vibrasyon gerektirmeden kolayca yerleşir. Akıcı beton kullanılmaması halinde donatının yeniden düzenlenmesi veya kalıpta vibratörün girebilmesi için bazı değişiklikler yapmak gerekir ki, bu durum masrafı artırır.

- Geniş alanların betonlanması: Akıcı beton belirli bir noktaya dökülecek olursa kolayca ve ayrışmadan yayılır. Bunu yerleştirmek, sıkıştırmak, üst yüzeyini mastarlamak gerekmediğinden işçilikten ekonomi yapılır. Ayrıca çok hızlı beton dökülerek zamandan kazanılır.

- Pompayla beton dökülmesi: Akıcı beton pompalanmaya uygundur. Pompalama yöntemiyle saatte 40 m^3 beton dökmenin ve betonu 35 m yüksekliğe ulaştırmanın mümkün olduğu söylenmektedir⁽⁶⁾. Bu kolaylıklar bir önceki maddede sıralananlarla birlikte düşünülürse işçilikten ve zamandan önemli miktarda tasarruf yapılabileceği anlaşılır.

- Tremi yöntemiyle su altında beton dökülmesi: Tremi yöntemiyle beton dökülmesinde betonun yatay yönde hareket etmesi istenmez. Plastik kıvamlı betonun döküldüğü noktadan yayılabileceği mesafe çok sınırlıdır. O nedenle yan yana çok sayıda borudan aynı anda beton dökülmesi gerekir. Akıcı beton su altında 5-6 m çapında bir alana kolaylıkla yayıldığından beton dökmek için gerekli boru sayısında önemli bir azalma olur. Bu ise masrafları azaltır.

2.4. AKICI BETONLARDA ZAMANA BAĞLI AKICILIK KAYBI

Betonlarda işlenebilirlik, üretimden hemen sonra en yüksek değerdedir. Zamanla işlenebilirlikte hızlı bir azalma görülür ve beton gittikçe akıcılığını, plastikliğini kaybeder.

Bu durum süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılarak üretilen betonlarda da aynıdır. Ancak burada çok yüksek bir akışkanlık derecesi arzu edildiğinden, bunda meydana gelen bir miktar azalma bile sonucu etkileyebilmektedir. Zamana bağlı işlenebilirlik kaybına tümüyle engel olunmasa bile, hiç değilse yavaş hızda

gerçekleşmesi için bir süre gerekmesi arzu edilir. İşlenebilirlik kaybı biçimi şu faktörlerden etkilenebilmektedir.

1. Katkı maddesi türü ve miktarı
2. Katkının betona katılma zamanı
3. Betonun sıcaklığı
4. Ortamın sıcaklığı ve nemi
5. Karıştırma özellikleri (karıştırıcı tipi karıştırma hızı ve büresi gibi)
6. Çimento tipi ve dozajı
7. Betonun katkı katılmadan önceki bazı özellikleri (kıvam v.b.)

Süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri M ve N türü (sülfone edilmiş; melamin formaldehid, naftalin formaldehid) diye ikiye ayrılacak olursa işlenebilirlik kaybının M türü katkılarda daha hızlı olduğu söylenmektedir. Katkı dozajının bu özellik üzerinde pek etkili olmadığı tahmin edilmektedir⁽⁵⁾.

Katkının betona katılma zamanının işlenebilirlik kaybına etkisi katkıyla sağlanan akışkanlaştırıcılık etkisine bağlıdır. Genelde katkı katmada meydana gelen gecikme, o katkıyla sağlanan akışkanlaştırıcı etkiyi azaltmakta, dolayısıyla işlenebilirlik kaybı daha düşük bir işlenebilirlik değerinden başlamaktadır.

Betonun ve ortamın sıcaklığı ve ortamın nemi betondaki suyun buharlaşma hızı yoluyla etkili olmaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışmada 32°C de görülen işlenebilirlik kaybının 22°C den daha düşük sıcaklıklarda görülene oranla çok daha hızlı olduğu söylenmektedir⁽⁷⁾.

Katkı maddeleriyle sağlanan yüksek akışkanlığın korunmasında karıştırma özelliklerinin önemli derecede etkili olduğu söylenmekteyse de bu konuda yapılmış kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Araştırmalarda kullanılan çimentolar genellikle Portland tipi çimentolardır. Bunlar arasında yapılan karşılaştırmalarda yüksek mukavemetli çimentolarla normal çimentolar arasında işlenebilirlik kaybı bakımından önemli bir fark görülmediği söylenmektedir⁽⁷⁾. Portland çimentosuna, ek olarak uçucu külün ince malzeme olarak kullanıldığı betonlarda akıcılık kaybı hakkında bilgi elde edilememiştir.

Bununla birlikte çimentodaki C_3A miktarının ve çimentonun inceliğinin bu konuda etkili olma ihtimali bulunduğu anlaşılmaktadır⁽¹⁾.

Betondaki çimento dozajı önemli bir faktör olarak belirlemektedir. Çimento karışımındaki ince tane miktarını artırarak işlenebilirliğe katkıda bulunduğu gibi, katkı maddesi miktarı da çimento dozajının yüzdesi olarak belirlenmektedir. Doğal olarak yüksek dozajlı betonlarda katkının etkisi de fazla olmaktadır. Bu tür betonlarda işlenebilirlik kaybı daha hızlı gerçekleşmektedir⁽⁵⁾.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. AMAÇ ve KAPSAM

Süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri; doğrudan çimento üzerinde etki yaparak betonu akışkan hale getirmektedir. Doğal olarak bu katkı maddelerinin betonu akışkanlaştırıcı etkisi; çimento özelliklerine ve dolayısıyla çimento cinsine bağlıdır. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin Portland çimentolarıyla üretilen betonlarda kullanımı konusunda bir bilgi birikimi olduğu halde, traslı çimentolar için bilgi birikimi aynı düzeyde değildir.

Bu çalışmada ana amaç süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin traslı çimentoyla üretilen betonlarda karşılaşılabilecek bazı durumların araştırılmasıdır. Cevap aranan sorulardan bazıları şöyledir:

- Her beton bu maddelerin katılmasıyla akıcı hale gelir mi?
- Akıcı beton üretmek için beton bileşimi nasıl olmalıdır.
- Akıcı betonlarda işlenebilirlik kaybı nasıl gelişmektedir. Bu özellik çimento dozajına ve katkı maddesi cinsine göre bir farklılık göstermekte midir?
- Bu betonlarda mukavemet gelişimi nasıl olmaktadır?
- Su-çimento-mukavemet ilişkisi bu betonlar için nasıldır?

Bu katkı maddelerinin akışkanlaştırıcı etkisi çimento cinsinden etkilenebileceği gibi, çimentonun priz süresi ve mukavemet gibi bazı özellikleri de bu katkı maddelerinden etkilenebilir. Bu nedenle bu özellikler ile katkı maddeleri arasındaki ilişkinin araştırılması da, amaçlanan çalışmalar arasındadır.

Deney programları sayfa 15-19 daki gibi planlanmıştır.

3.2. KULLANILAN MALZEMELER

3.2.1. Katkı Maddeleri

Çalışmada iki tür süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

ÇİMENTO	Elek Analizi	Normal Kıvam	Priz	Hidratasyon Sıcaklığı	Eğilme Dayanımı 3 er numune (1,3,7,28 gün)	Basınç Dayanımı 6 şar numune (1,3,7,28 gün)
TÇ325-TRABZON	Ç	K	K.M.N	K.M.N	K.M.N	K.M.N
ÇÇ 325 İSKENDERUN	"	"	"	"	"	"
ÇÇ 325 BOLU	"	"	"	"	"	"
KPÇ 325 YUNUS	"	"	"	"	"	"
KPÇ 325 NUH	"	"	"	"	"	"
KPÇ 325 BASTAŞ	"	"	"	"	"	"
KPÇ 325 AK	"	"	"	"	"	"
KPÇ 325 ASLAN	"	"	"	"	"	"
KPÇ 325 ANKARA	"	"	"	"	"	"
KPÇ 325 ÜNYE	"	"	"	"	"	"
KPÇ 325 BARTIN	"	"	"	"	"	"
PÇ 400 AFYON	"	"	"	"	2 şer numune 28 gün	4 er numune 28 gün
TOPLAM	11	11	33	33	402	804
Ç: çimento üzerinde K: katkısız M: melment katkılı N: sikament katkılı						

A serisi deneyleri: Çimento deneyleri

DENEY PROGRAMI

BETON TÜRLERİ					İŞLENEBİLME KAYBI	MUKAVEMET DENEYLERİ
Beton Kodu	Dozaj	Agrega	Katkı	Kıvam (cm çökme)	Çökme ve sarsma tablası deneyi	Numune ve basınç deneyi sayısı
K300S1	300	A1	K	2.5	İstenen kıvam sağlandıktan sonra her 15 dakikada bir, Her kıvam için ortalama 8 defa olmak üzere 5x8 = 40 deney	İşlenebilme kaybı deneylerinin başında, ortasında (45 dak) ve sonunda olmak üzere her beton- dan 3 er adet toplam 5x3x3=45 numune hazırlanması ve bunların 28 günlük basınç deneyleri
K300S2				5.0		
K300S3				7.5		
K300S4				10.0		
K300S5				12.5		
M300S1	300	A1	M	Yukarıdaki çökme- lere katkı katıl- dıktan sonra al- dıkları değerler	"	"
M300S2						
M300S3						
M300S4						
M300S5						
N300S1	300	A1	N	"	"	"
N300S2						
N300S3						
N300S4						
N300S5						
TOPLAM		15 Beton üretimi			120 Çökme ve sarsma tablası deneyleri	135 Beton numunesi
A1 : %50 Dişlikum %50 kırmataş karışım agregası K: katkısız M: melment katkılı N: Sikament katkılı						

B Serisi Deneyleri

Başlangıç kıvamının katkıların akışkanlaştırıcılığına, betonların işlenebilme kaybına ve mukavemetine etkisi
DENEY PLANI

BETON TÜRLERİ					İŞLENEBİLME KAYBI	MUKAVEMET DENEYLERİ
Beton Kodu	Dozaj	Agrega	Katkı	Kıvam (cm çökme)	Çökme ve sarsma tablası deneyi	Numune ve basınç deneyi sayısı
K300P	300	A2	K	7.5	Her 15 dakikada bir çökme ve sarsma tablası deneyleri. Her dozaj için; ortalama 100 dakikalık süre içinde 8 deney olmak üzere toplam 8x4 = 32 deney	İşlenebilme kaybı deneylerinin başında ve sonunda 3'er numune alındı. Her dozaj için; 3 numune 7 günde, 3 numune 28 günde kırılmak üzere toplam; 6x4 = 24 numune
K350P	350					
K400P	400					
K500P	500					
M300A	300	A2	M	7.5 cm lik betona katkı katıldığında elde edilen akıcı kıvam	"	"
M350A	350					
M400A	400					
M500A	500					
N300A	300	A2	N	"	"	"
N350A	350					
N400A	400					
N500A	500					
TOPLAM		12 Beton üretimi			96 Çökme ve sarsma tablası deneyleri	72 Beton numunesi
A2 : %60 dişlikum %40 kırmataş karışım agregası K: katkısız M: melment katkılı N: sikament katkılı						

C Serisi Deneyleri

Katkıların akışkanlaştırıcılık etkisi, akıcı betonların işlenebilirlik kaybı ve mukavemeti
DENEY PLANI

BETON TÜRLERİ					İŞLENEBİLME KAYBI	MUKAVEMET DENEYLERİ
Beton Kodu	Dozaj	Agrega	Katkı	Kıvam (cm çökme)	Çökme ve sarsma tablası deneyi	Numune ve Basınç deneyi sayısı
K300A	300	A2	K	20	Her 15 dakikada bir çökme ve sarsma tablası deneyi. Ortalama 100 dakikalık süre içinde 8 deney	İşlenebilme kaybı deneylerinin başında ve sonunda 3'er numune alındı, 3 numune 7 günde, 3 numune 28 günde kırılmak üzere toplam 6 numune
K350A	350	A2	K	20	"	"
K400A	400	A2	K	20	"	"
K450A	450	A2	K	20	"	"
TOPLAM		4 Beton üretimi			24 Çökme ve sarsma tablası deneyleri	24 beton numunesi
A2: %60 dişlikum %40 kırmataş karışım agregası K: katkısız						

D serisi Deneyleri

Katkı kullanılmadan üretilen Akıcı Betonların işlenebilirlik kaybı ve mukavemeti

DENEY PLANI

BETON TÜRLERİ					İŞLENEBİLME KAYBI	MUKAVEMET DENEYLERİ
Beton Kodu	Dozaj	Agrega	Katkı	Kıvam (cm çökme)	Çökme ve sarsma tablası deneyleri	Numune ve basınç deneyi sayısı
M300P	300	A2	M	7.5	Her katkı için: Kıvam tayini deneyi olarak 1 deney olmak üzere toplam 2 deney	Her katkı için: Kıvam tayininden sonra 6 numune alındı. 3 numune 7 günde 3 numune 28 günde kırılmak üzere toplam 6x2=12 numune
N300P			N			
M350P	350	A2	M	"	"	"
N350P			N			
M400P	400	A2	M	"	Her iki katkı için: Her 15 dakikada bir çökme ve sarsma tablası deneyleri. Ortalama 100 dakikalık süre içinde 8 deney olmak üzere toplam 2x8=16 deney	Her katkı için: İşlenebilme deneyleri başında ve sonunda 3'er numune alındı. 3 numune 7, 3 numune 28 günde kırılmak üzere toplam 2x6=12 numune
N400P			N			
M500P	500	A2	M	"	Her katkı için: Kıvam tayini deneyi olarak 1 deney olmak üzere toplam 2 deney	Her katkı için: 300 ve 350 dozajlardaki işlem yapılarak toplam 6x2 = 12 numune
N500P			N			
TOPLAM		8 Beton üretimi			22 Çökme ve sarsma tablası deneyleri	48 beton numunesi
A2: %60 dişlikum %40 kırmataş karışım agregası M: melment katkılı N: sikament katkılı						

E Serisi Deneyleri

Katkıların su indirgeme etkisi ve katkılı plastik betonlarda işlenebilme kaybı ve mukavemeti:

DENEY PLANI

M Türü Katkı Maddesi: Sulfone edilmiş melamin formaldehit bileşimlidir. Beyaz renkli olup toz halindedir. Tavsiye edilen miktarı çimento ağırlığının %03 'ü kadardır. Yurt dışından sağlanan bu katkı HOECHST firmasınınca üretilmekte olup ticari adı MELMENT F10 'dur.

N Türü Katkı Maddesi: Sulfone edilmiş naftalin formaldehit bileşimlidir. Kahverengi sıvı halindedir. Tavsiye edilen miktarı çimento ağırlığının %08 kadardır. Türkiye'de SİKA firması tarafından üretilmekte olup ticari adı SİKAMENT 'dir.

3.2.2. Agregalar

Agrega olarak kırılmış dere çakılı (Değirmendere, Trabzon) ve dişli kum (kırma kum) kullanılmıştır. Laboratuvara elenmiş ve yıkanmış olarak teslim edilen agregada enbüyük tane çapı 30 mm dir. Kırmataş ve dişli kumun granülometrisi ve bazı fiziksel özellikleri laboratuvarında Tablo-1 de gösterildiği gibi saptanmıştır. Bu iki agregaya eşit miktarda kullanılarak hazırlanan karışımın granülometrisi yuvarlak delikli elek sisteminde beton agregası olarak ideal bölgeye (D-E eğimleri arası) düşüyorsa da, süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanıldığı betonlarda ince tane miktarının fazla olmasının daha iyi sonuç verdiği anlaşıldığından çalışmanın büyük bir bölümünde %60 dişli kum ve %40 kırmataş olarak karışım agregası kullanılmıştır. Her iki karışım agregasının granülometrileri Tablo-1 de gösterildiği gibidir.

Norm kum: Çimentolar üzerindeki mukavemet deneylerinde TS819 'a uygun standart kum kullanılmıştır. Kum, Kırklareli, Pınarhisar Çimento Fabrikasından sağlanmış olup özellikleri Tablo-2 de verilmektedir.

3.2.3. Çimentolar

Çalışmalarda kullanılan çimento tipleri aşağıda verilmektedir

Beton deneylerinde : Traslı Çimento (TÇ325) Trabzon
 Çimento " : Traslı Çimento (TÇ325) Trabzon
 Curuflu Çimento (CÇ325) Bolu
 Curuflu Çimento (CÇ325) İskenderun

Katkılı Portland Çimentosu (KPÇ325)	BASTAŞ
"	"
"	"
"	"
"	"
"	"
"	"
"	"
"	"
"	"
"	"
Portland Çimentosu (PÇ400)	AFYON

Bu çimentoların ilgili fabrikalarca verilen özellikleri Tablo-3 da gösterildiği gibidir.

3.3. DENEY ALETLERİ

3.3.1. Çimento Deneylerinde Kullanılan Aletler

1. Otomatik Terazî: Sartorius marka, 3000 gr kapasiteli, 1 g hassasiyetli,

2. Etüv: Heraus marka, ölçüm aralığı 0-300°C, 10°C ölçüm hassasiyetli,

3. Çimento Eleklere ve Elek Sarsıcısı: 75 ve 200 µ'luk kare delikli, tel örgü elekler ve bu eleklere uygun Fritsch marka frekans ayarlanabilir sarsıcı,

4. Vicat Sondası: Normal Kıvamın tayini için TS24 'e uygun Vicat Aleti ve silindirik sonda,

5. Otomatik Priz Ölçme Aleti: Priz başlama ve bitme sürelerinin TS24 'e uygun olarak tespit edilmesinde kullanılan kaydedicili otomatik RMU marka alet. Alet priz deneyini önceden belirlenen 5.10 veya 15 dakikalık sürelerde tekrarlamakta ve iğnenin batma miktarını grafik kağıdı üzerine çizerek işaretlemektedir. Şekil-1

6. Hidratasyon Sıcaklığı Ölçme Sistemi: Sistem izole edilmiş bir numune kabı, çimento hamuru numunesinin sıcaklığı ile ortamın sıcaklığını ölçen iki adet termokupl elektronik 0°C referansları ve bir kaydediciden oluşmaktadır. Bunların bağlantı şeması Şekil-2 de gösterildiği gibidir.

İzole edilmiş numune kabı Şekil-2 de şematik olarak gösterildiği gibi içiçe yerleştirilmiş iki adet stropor kutudan oluşmaktadır. İçteki kutuda bulunan yaklaşık 100 cm³ hacminde yağlanmış plastik hazneye sıcaklığı izlenecek çimento hamuru doldurulduktan sonra kutu kapatılmakta, kapaktaki bir delikten termokupl sondası çimento hamuruna batırılmaktadır. Kutu bu vaziyette dış kutu içine yerleştirilmekte ve dış kutunun da kapağı kapatılarak emniyete alınmaktadır.

Çimento hamurunun sıcaklığını ölçmede omega marka model 68301E Kromel Constantan tipi, ortam sıcaklığı ölçülmesinde omega marka Kromel Constantan tipi termokupllar ve bunların 0°C referans olarak omega marka model MCJ electronic ice point sıfırlayıcılar kullanılmıştır.

Kaydedici Linear Instruments Corp marka model 395 Chart Recorder tip olup sadece bir doğrultuda birbirine paralel hareket

edebilen üç kalem ile bu doğrultuya dik doğrultuda ve bir yönde hareket edebilen grafik kağıdı yardımıyla kayıt yapmaktadır. Aletin herbir kalemini ayar ve kontrol etmek amacıyla ayrı amplifikatörleri ve kumanda düğmeleri bulunmaktadır.

7. Harç Karıştırıcı: Dayanım deneyleri için TS24 'e uygun harç karıştırıcı, Tonitechnik model 1551 . Sistem karıştırıcı ve programlayıcı ünitelerden oluşmaktadır. Programlama ünitesi karıştırıcısının standartta belirtilen sürelerde ve hızlarda çalışmasını, kumun otomatik olarak karıştırma kabına boşalmasını sağlamaktadır.

8. Sarsma Tablası ve Kalıplar: Dayanım deneyleri için TS24 'e uygun 4x4x16 cm lik harç numuneler üretmek üzere üçer numunelik kalıplar.

Bu kalıpların TS24 'e uygun biçimde sıkılanabilmesi için sarsma aleti Tonitechnik marka, model 7611 tipi.

9. Eğilme Deneyi Aleti: Çimentoların eğilmede çekme mukavemetinin saptanması için TS24 'e uygun Toni-Technik marka, model 2705 yükleme aleti. Gösterge hem kırılmaya neden olan yükü (hassasiyet 2 kg) hem de eğilme mukavemetini (hassasiyeti 1 kg/cm²) vermektedir. Şekil-3.

10. Basınç Deney Aleti: 10 ton kapasiteli Losenhausenwerk marka universal deney aleti. Basınç deneyleri için kullanılan skalalar 0-10 ton hassasiyet 50 kg.

0-5 ton " 20 kg.

Şekil-4.

3.3.2. Beton Deneylerinde Kullanılan Aletler

1. Etüv: Çimento deneylerinde adı geçen etüv.

2. Otomatik Terazı: Çimento deneylerinde adı geçen terazi.

3. Hassas Terazı: Sartorius marka, 160 gr kapasiteli 0.001 gr hassasiyetli

4. Agreg a Eleklere ve Elek Sarsıcısı: 0,2, 1, 3, 7, 15, 30 mm lik yuvarlak delikli elekler ve elek sarsıcısı olarak vibratörlü masa (madde-8).

5. Betoniyer: 60 lt kapasiteli NACE marka betoniyer, karıştırıcı hızı 25 dev/dak.

6. Çökme Deney Aleti: Çökme hunisi metodu ile taze beton kıvam deneyi için TS2871/Aralık 1977 'ye uygun çökme hunisi şişleme çubuğu ve mala

7. Sarsma Tablası Deney Aleti: DIN 1048 'e uygun deney aleti (Şekil-5) üzerinde deneyin yapıldığı, saçla kapalı bir tahta platform ile bunun bir kenarından mesnetlerle tutturulduğu taban tablasından oluşmaktadır. Her iki tabla da 70x70 cm boyutlarında olup yaklaşık 4 cm kalınlığındadır. Üst tablayı örten 2 mm kalınlığındaki saçın yüzeyi platform merkezinden geçen ve birbirini merkezde dik kesen iki çizgi ile dört parçaya ayrılmıştır. Yüzeyde bu merkeze göre 20 cm çaplı daire işaretlenmiştir. Üst tabla bir kenarından taban tablasına bağlı olduğundan ancak karşı kenarı havaya kaldırılabilir. Bu kenarın kalkma miktarı da 4 cm ile sınırlandırılmıştır. Üst tablanın kaldırılabilmesi için bu kenarda bir tutamak bulunmaktadır. Deneyde kullanılan diğer yardımcı araçlar 4.35 lt kapasiteli; alt çapı 20 cm, üst çapı 13 cm, yüksekliği 20 cm olan ve 2 mm lik saçtan yapılmış bulunan bir kesik koni kalıp ile 4x4 cm kesitinde 40 cm uzunluğunda ahşaptan yapılmış sıkılama tokmağıdır. Deneyin yapılışı ileride anlatılacaktır.

8. Kalıplar: 15 cl lik küp kalıplar.

9. Sarsma Masası: 1.0x1.0 m boyutlarında 2800 frekansında Losenhausenwerk marka sarsma tablası

10. Yükleme Sistemleri:

a) Universal Deney Aleti: Losenhausenwerk marka UHP 60 tipi olup 60 ton kapasitelidir. Yük ölçme sistemi pandüüllü dinamometrelidir. Numunelerin yerleştirildiği alt başlık hareketli diğer üst başlık ise sabittir. Aletin yükleme hızı, başlangıçta ve deney sırasında ayarlanabilmektedir. Basınç deneyleri için kullanılan skalalar:

0-30 ton,	hassasiyet	50 kgf
0-60 ton	"	100 "

b) Hidrolik Pres : Losenhausenwerk marka WP-300 tipi olup 300 ton kapasiteli, 2 ton hassasiyetlidir. Numunelerin yerleştirildiği alt başlık hareketli, üst başlık sabittir. Aletin basıncı by-pas vanasıyla, yükleme hızı kumanda koluyla ayarlanabilmektedir.

11. Baskül : Baster marka 150 kg kapasiteli, 50 gr hassasiyetlidir.

3.3.3. Deney ve Saklama Ortamlarını Koşullandıran Aletler

1. Çimento odasındaki hava sıcaklığını $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle koruyabilen bir klima sistemi.

2. Beton kür havuzunun su sıcaklığını $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle koruyabilen bir ısıtma, kontrol ve sirkülasyon sistemi.

3.4. ÇİMENTO DENEYLERİ

3.4.1. İncelik Deneyi

Çimentoların inceliklerinin tayini elek analizi yoluyla 3.3.1-madde 2 de adı geçen elek sistemiyle (Şekil-6) TS24 'e uygun olarak yapılmıştır. TS24 de adı geçen 90 μ 'luk elek yerine laboratuvarında mevcut olan 75 μ 'luk elek kullanılmıştır.

3.4.2. Normal Kıvam için Su Miktarı Tayini

Normal kıvam için su miktarı tayini 3.3.1-madde 4 de anlatılan vicat sondası (Şekil-7) kullanılarak ve TS24 'e uygun olarak yapılmıştır.

3.4.3. Priz Deneyleri

Priz deneyleri 3.3.1-madde 5 de adı geçen alet (Şekil-1) kullanılarak, deney TS24 'e uygun yapılmıştır. 3.3.1-madde 5 'de adı geçen alet, priz deneyini önceden belirlenen 10 dakikalık sürede tekrarlayarak tamamlamıştır. Çimento ve suyun 3.3.1-madde 7 'de adı geçen karıştırıcıda birbirine değdiği andan alete yerleştirilmesine kadar geçen süre deney sonunda dikkate alınmıştır.

3.4.4. Hidratasyon Sıcaklığı Deneyleri

Deney için gerekli sistem 3.3.1-madde 6 'da belirtilmiştir.

Deneyden önce sistem ayrıntılı olarak incelenir ve gerekli kalibrasyon ve düzenlemeler yapılır. Su ve çimento, karıştırıcı içerisinde karıştırılmaya başlandığı anda kaydadıcı sistemin süre eksenindeki hareket başlatılır (deneyde 1 cm/saat'lık hız kullanıldı). Hazırlanan çimento hamuru yaklaşık 100 cm³ hacmindeki plastik hazneye yerleştirilir. Hazne sarsılarak çimento hamuru içerisinde oluşan hava kabarcıklarının minimuma inmesi sağlanır. Plastik hazne stropor kutuda kendine ayrılan yere yerleştirilir

ve kapaktaki delikten geçirilen termokupl sondası çimento hamuruna batırılır. Sonra dış kutu kapağı kapatılır, sistemin emniyeti sağlanmış olur.

Sıcaklık kaybı çimentoyla suyun birbirine değdiği anda başlamakta ve yaklaşık 22 saat sürmektedir. Çimento hamurunun hazırlanması 4-5 dakika aldığından hamurun sıcaklığının ölçülmesi bu kadarlık bir gecikmeyle gerçekleşmektedir.

3.4.5. Mukavemet Deneyleri

Çimentoların basınç ve eğilme mukavemetlerinin saptanması için TS24 'e göre numune üretilip mekanik deneyleri yapılmıştır. 1, 3, 7, 28 günlük numunelerin dayanımları saptanmıştır.

a) EĞİLME DENEYLERİ: Eğilme deneyleri 3.3.1-madde 9 da adı geçen alette yapılmıştır. 4x4x16 cm boyutlarındaki prizmatik numuneler su havuzundan çıkarılarak yüzeyleri kurulanmış ve tartılmışlardır. Numuneler 10 cm açıklıklı iki silindirik mesnet üzerine oturtularak mesnetler ortasından numune genişliğince çizgisel bir yük uygulanmıştır. Yükün uygulama hızı 5±1 kgf/sn dir. Numunenin kırılmasına neden olan yüke karşılık gelen eğilme dayanımı alet yükleme kolu üzerindeki cetvelden kgf/cm^2 cinsinden okunmuş ve ifade edilmiştir. Her üretimde 3 adet numunenin eğilme dayanımı ölçülmüştür.

b) BASINÇ DENEYLERİ: Basınç deneyleri 3.3.1- madde 10 da adı geçen deney aletinde yapılmıştır.

Basınç deneyleri eğilme deneyleri sonunda iki parçaya ayrılan yarım prizmalar üzerinde yapılmıştır. Yarım prizmalar 40x40 mm boyutlarında 10 mm kalınlığındaki metalden iki levha arasına konularak deney aletinin alt başlığının merkezine yerleştirilmiştir. Alet 15 $\text{kgf/cm}^2/\text{sn}$ lik yükleme hızıyla yüklenerken numuneler kırılmış ve kırılma yükü ölçülerek basınç mukavemeti kgf/cm^2 cinsinden ifade edilmiştir. Eğilme deneyinde kullanılan 3 numuneden elde edilen 6 adet numune üzerinde basınç deneyi yapılarak 6 dayanım değeri elde etmek mümkün olmuştur.

3.5. BETON ÜRETİMİ VE NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

3.5.1. Beton Üretimi

Çalışmalarda; farklı dozajlarda değişik türden betonlar üretilmiştir. Üretimden önce betoniyerin içi suya ilave edilen bir miktar çimentoyla birlikte ıslatılmış ve baş aşağı çevrilerek fazla karışımın betoniyerden süzülmesi sağlanmıştır. Tartılarak hazırlanan kırmataş ve dişlikum betoniye yerleştirilmiş sonra doyma suyu ilave edilmiş ve betoniye bir müddet çalıştırılmıştır. Çimento ile birlikte bir miktar su ilave edilip agrega danelerinin çimento ile iyice sarılması sağlanmıştır. Ancak toplam su miktarı oldukça düşük olup E/C= 0.4 dolayındadır.

Üretimin bundan sonraki aşamaları istenen farklı amaçlar doğrultusunda farklı biçimde gelişmiştir.

A- 300 kg/m³ çimento dozajlı betonlarda 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, ve 12.5 cm çökme yaratan su miktarının saptanması amacıyla su miktarı başlangıçta katılan minimum miktardan başlanarak yavaş yavaş artırılmış ve betonun çökmesi her su ilavesi sonrasında yapılan çökme deneyi ile izlenmiştir.

B- (A) da elde edilen su miktarları kullanılarak üretilen farklı çökme değerlerine sahip betonlara katkı katılarak katkılı betonlar üretilmiştir.

C- 300, 350, 400 ve 500 kg/m³ çimento dozajlı betonlarda 7.5 cm çökme yaratan su miktarının saptanması amacıyla su miktarı (A) da anlatıldığı biçimde yavaş yavaş artırılmıştır.

D- (C) de elde edilen su miktarları kullanılarak üretilen farklı dozajlı, 7.5 cm çökmeli betonlara katkı katılarak katkılı betonlar üretilmiştir.

E- Katkılı betonlarda 20 cm çökme verecek su miktarının saptanması amacıyla başlangıçta minimum su ile üretilen betona katkı katılmış ve su miktarı (A) da anlatıldığı biçimde yavaş yavaş artırılmıştır.

F- Katkılı betonlarda 7.5 cm çökme verecek su miktarının saptanması amacıyla başlangıçta minimum su ile üretilen betona katkı katılmış ve su miktarı (A) da anlatıldığı biçimde yavaş yavaş artırılmıştır.

İstenen amaca uygun olarak A, B, C, D, E ve F üretim yollarından biri izlendikten sonra elde edilen betonlar üzerinde işlenebilirlik deneyleri yapılmış, bu deneyler deney programına uygun olarak 15 dakikalık aralıklarla tekrarlanmış betondan numuneler dökülmüştür.

3.5.2. Numunelerin Hazırlanması

İstenen amaca uygun olarak üretilen betonlardan üretimin çeşitli aşamalarında her seferinde 3 adet 15x15x15 cm lik küp numune alınmıştır. 3.5.3 de anlatıldığı şekilde kodlanan numuneler ilk 24 saat 23 ± 2 °C sıcaklığındaki beton kür odasında saklanmıştır, daha sonra kalıptan çıkarılarak tartılmışlar ve deney anına kadar kalmaları üzere 20 ± 2 °C sıcaklığındaki su havuzuna konmuşlardır.

3.5.3. Beton Türleri

Deneylerde programlandığı gibi (3.1 'e bakınız) 39 adet beton bileşimi kullanılmıştır. Bu betonların gerçek bileşimleri ve bazı temel özellikleri tablo-9,10 verilmektedir.

3.6. TAZE BETONDA İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ

3.6.1. Çökme Deneyi

Deney, 3.3.2. madde 6 da adı geçen deney aleti kullanılarak TS 2871 'e uygun olarak yapılmıştır.

3.6.2. Sarsma Tablası Deneyi

Deney öncesi tabla konik kalıp ve tokmak ıslatılıp süzdürülür. Kalıp, dengeleme kolları yardımıyla düzgün bir yüzeye sağlam bir biçimde oturtulur. Kesik koni tablanın yüzündeki dairenin üzerine raslayacak şekilde yerleştirilir. Taze beton, hacimce eşit iki kademe kalıba doldurulur ve her kademe yavaş darbelerle 10 kez tokmaklanarak sıkıştırılır. Üst yüz malayla düzeltildikten yarım dakika sonra kalıp düşey olarak çekilir. Kalıptaki beton kıvamına

bağlı olarak bazen Őeklini korur, bazen de bir miktar yayılır. Bundan sonra hareket edebilen kenarından tutularak 4 cm kaldırılır ve buradan serbest dűŐmeye bırakılır, bu iŐlem eŐit aralıklarla 15 kez tekrarlandıktan sonra tablaya yayılan betonun yayılma çapı tabla üzerine çizilerek iŐaretlenmiŐ birbirine dik doğrultular boyunca ölçülür. Bu iki değerin ortalaması yayılma çapı olarak alınır.

3.7. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ

3.7.1. Basınç Deneyi

Basınç deneyleri; 3.3.2 madde 10 da adları geçen yükleme sistemlerinde yapılmıştır.

Deneyde kullanılan 15x15x15 cm lik küp numuneler su havuzundan çıkarıldıktan sonra yüzeyleri kurulanmış ve tartılmıŐtır. Numuneler alet baŐlıklarının hareketi doğrultusunda tam ortaya gelecek Şekilde yerleŐtirilmiŐler, sabit ve uygun bir yükleme hızıyla (1.5-2.5 kgf/cm²/sn) kırılmıŐlardır. Numunelerin basınç dayanımları kırılma yüklerinden hesaplanarak kgf/cm² cinsinden verilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELEME

4.1. Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların Hidratasyon Sıcaklıklarına Etkisi

Çeşitli çimentoların 3.3.1 de anlatıldığı biçimde saptanan hidratasyon sıcaklıkları Tablo-4 de verilmektedir. Deneyde kullanılan düzen tam olarak ne izotermal kalorimetre ne de kondiksiyon kalorimetre koşullarını sağlamaktadır. Sistemden yavaş da olsa ısı kayıplarının bulunması, sıcaklığın belli bir değer üzerinde yükselmesini zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte amaç bir sıcaklık karşılaştırması yapmak olduğundan, sonuçlar kullanılabilir niteliktedir.

Tablo-4 den görüldüğü gibi 20°C normal kıvamda çimento hamurunun hidratasyon sırasında ulaştığı en yüksek sıcaklık değerleri 30°C ile 60°C arasında değişmektedir. Çimentolar arasında görülen bu farklılığın çeşitli nedenleri olabilir. Bunların başında çimentoların kimyasal bileşimi ve inceliği gelmektedir. C₃A, C₃S gibi bileşenlerin hızlı hidratasyon yaparak sıcaklığın yükselmesine neden olduğu bilinmekteyse de, sonuçların bu açıdan irdelenmesi yapılamamaktadır. Çünkü katkılı çimentolarda potansiyel arabileşen miktarlarının Bogue denklemleri aracılığıyla tahmini mümkün olmamaktadır. Çimentoların birçoğu için de, klinker analizi sonuçları ile katkı oranı miktarları elde edilememiştir.

Hidratasyon sıcaklığının inceliğe bağlı olarak değişimi Şekil-8 a da gösterilmiştir. İncelik 75 µ luk elek üzerinde kalan yüzde olarak ifade edilmiştir. Buradan bu iki özellik arasında $y = -2.765x + 69.248$ biçiminde doğrusal bir ilişki bulunduğu incelik arttıkça sıcaklığında arttığı görülmektedir. A-A doğrusunun hesabında + ile işaretli noktalar değerlendirme dışı tutulmuştur. Tüm noktaların değerlendirmeye katılması halinde B-B doğrusu elde edilmektedir. Ancak bu durumda dağılım çok fazla olmaktadır. A-A genel doğrusundan uzağa düştükleri için ayıklanan noktalar, Ankara ve Bolu fabrikalarının üretimi KPÇ325, CÇ325 çimentolarıdır. Bunların genelde farklılık göstermelerinin nedeni bunların bileşimindeki farklılıklar olabilir. Ancak çimentoların bileşimlerinin ayrıntılı incelenmesi yukarıda açıklanan nedenlerle mümkün olmamıştır.

Benzer ilişkiler M türü ve N türü katkılı çimento hamurları için de çıkarılmış olup Şekil-8 b ve Şekil-8 c de gösterilmiştir. A-A doğruları ayıklanmış, B-B doğruları da ayıklanmış sonuçlardan elde edilmiştir. Buradan görüleceği gibi, katkıların mevcudiyeti incelikle hidrasyon sıcaklığı arasındaki genel ilişkiyi değiştir memektedir. N tipi katkı belirli bir inceliğe karşı gelen hidrasyon sıcaklıklarında da önemli bir değişiklik yaratmamaktadır. Buna karşılık M türü katkılı çimento hamurlarının hidrasyon sıcaklıklarında, 5-10°C ye varan artışlar gözlenmektedir. Bu husus Şekil-9 dan da görülebilir. Şekillerde katkısız çimento hamurun hidrasyon sıcaklığı yatay eksende, katkılı çimento hamurun hidrasyon sıcaklığı ise düşey eksende gösterilmektedir (Şekil-9). N katkılı çimento hamurları için noktalar eşitlik doğrusu etrafında dağılır iken, M katkılı çimento hamurları için noktaların büyük bir kısmı eşitlik doğrusunun üstünde yer almaktadır.

Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin hidrasyon sıcaklığını artırması bunların yüzey aktif maddeler olmalarıyla açıklanabilir. Bu katkı maddeleri akışkanlık etkisini çimento tanelerinin yüzeyine tutunup onları su içinde dağıtarak sağlamaktadır. Bunun sonucunda eskisine oranla daha geniş bir çimento yüzeyinde hidrasyon başladığından sıcaklığın da yükselmiş olması ihtimal dahilindedir. Bu etkinin sadece M türü katkıda görülüp, N türü katkıda görülmemesi hatta bu tür katkı kullanılması halinde sıcaklıklarda bir miktar düşme olması ilginç olmakla birlikte sonuçlarda görülen dağılım ve çimento anabileşenlerinin miktarlarının belirlenememesi bu konuda daha fazla bir yorum yapmaya imkan tanımamaktadır.

Bu konuda yapılan bir çalışmada⁽⁴⁾ katkı maddelerinin hidrasyon sıcaklıkları üzerinde etkili olmadığı sonucuna varılmaktadır.

4.2. Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların Priz Sürelerine Etkisi

Çeşitli çimentoların priz başlama ve sona erme süreleri ile katkı maddelerinin bu sürelerde meydana getirdiği değişiklikler Tablo-5 de priz süreleriyle verilmektedir. Ayrıca bu sonuçlar Şekil-10 da grafik olarak da gösterilmiştir.

Katkı maddesi kullanılmayan çimento hamurlarında priz başlama süreleri; 1 saat 45 dakika ile, 3 saat 45 dakika arasında, priz sona erme süreleri ise, 3 saat 10 dakika ile, 8 saat 5 dakika arasında değişmektedir. M ve N tipi katkı maddelerinin kullanılması halinde bu sürelerde iki saate varan artışlar meydana gelmektedir. Şekil-11 ve 12 de yatay eksende katkı katılmamış çimento hamurunun priz süreleri, düşey eksende ise katkı katılmış çimento hamurlarında oluşan priz süreleri işaretlenmiştir. Her iki katkı türü için hem priz başlama süreleri grafiğinde, hemde priz sonu süreleri grafiğinde noktalar bir iki istisna dışında eşitlik çizgisinin üstünde yer almaktadır. Katkılı ve katkısız çimento hamurlarının priz başlama süreleri arasındaki ilişkiyi gösteren doğruların eğimi 1 den büyüktür (Şekil-11 a). Diğer bir deyişle, katkıların priz geciktirme etkisi, çimentonun katkı katılmamış haldeki priz sürelerine bağlıdır. Priz başlama süresi uzun olan çimentolarda katkı kullanımı sonucu meydana gelen gecikme daha fazla olmaktadır. Bu etki M tipi katkılı çimento hamurlarında N tipi katkılı çimento hamurlarında olduğu kadar belirgin değildir. Benzer bir ilişkinin priz sonu süreleri için de bulunduğu söylenebilir (Şekil-12 a,b). Ancak geciktirme etkisi priz başlama sürelerinde olduğu kadar fazla değildir.

Çimentoların katkı katılmamış haldeki priz başlama (T_{OB}) ve priz sona erme (T_{OS}) süreleri ile, M ve N katkılı haldeki priz başlama (T_{MB} , T_{NB}) ve priz sona erme (T_{MS} , T_{NS}) süreleri arasındaki lineer ilişkiler şöyle bulunmuştur. Süreler dakika cinsindedir.

	Korelasyon katsayısı
$T_{MB} = 1.416 T_{OB} - 33.214$	0.85
$T_{MS} = 1.126 T_{OS} + 3.628$	0.89
$T_{NB} = 1.108 T_{OB} + 36.356$	0.80
$T_{NS} = 0.868 T_{OS} + 113.220$	0.84

Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin priz geciktirici etkisi başka araştırmacılar tarafından da saptanmıştır⁽⁴⁾. Gecikme etkisinin N tipi katkıları için M tipi katkılara oranla daha fazla olduğu söylenmektedir ki bu da burada elde edilen sonuçları doğrulamaktadır. Ayrıca aynı kaynakta geciktirme etkisinin katkı dozajıyla arttığı belirtilmektedir ki bu da yapılan bu çalışmada doğrulanmıştır. Trabzon-TÇ325 çimentosu için %03 oranında melment katkısı

priz başlama süresinde 150 dakikalık gecikme yaratırken, katkı oranının %09 'a çıkmasıyla gecikme süresi 320 dakikaya yükselmektedir.

Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin priz geciktirici etkisinin kimyasal bir etkiden çok fiziksel bir etki olduğu da düşünülebilir. Şöyleki priz süreleri çimento hamurunun belirli kıvamları yoluyla tanımlanmaktadır. Çimento hamurunun kıvamını değiştiren bu katkı maddelerinin kullanılması halinde kıvam yoluyla priz sürelerinde meydana gelecek bir gecikme kimyasal reaksiyonların yavaşladığının bir işareti olarak görülmeyebilir. Bu nedenle priz sürelerinin kıvama bağlı olmayan bir yöntemle de saptanmasına çalışılmıştır. Bu amaçla hidratasyon sıcaklığının zamanla gelişimini gösteren sıcaklık değişim eğrileri incelenmiştir. Bu eğrilerin ana hatları şematik olarak Şekil-13 a da gösterildiği gibidir.

Çimento hamurunun hazırlanmasından hemen sonra sıcaklık birkaç derece artmakta (OA), bundan sonra yaklaşık 2-4 saatlik bir sürede (AB) sıcaklık artışı olmamaktadır. Daha sonra sıcaklık hızla artarak bir maksimuma çıkmaktadır. Katkisız çimentolar üzerinde yapılar karşılaştırmalı ölçmelerde priz başlaması ve sona ermesinin şekilde C ve D ile gösterilen noktalara rastladığı anlaşılmıştır. Bu nedenle katkılı çimento hamurlarından elde edilen sıcaklık-zaman eğrilerinin B-E bölgesinde meydana gelecek bir öteleme bu katkı maddelerinin kimyasal reaksiyonları yavaşlattığı biçiminde yorumlanabilir. Katkisız ve katkılı çimento hamurları için yapılan karşılaştırmalar da gerçekten böyle bir öteleme olduğu görülmüştür.

Örnek olarak Ünye KPÇ çimentosu seçilmiş ve buna ait eğriler Şekil-13 b de gösterilmiştir. Buradan, katkı kullanılması halinde maksimum hidratasyon sıcaklığında bir artma olduğu, ayrıca eğrilerin B-E bölgelerinin bir miktar ötelendiği görülmektedir.

Diğer bir örnek Trabzon TÇ için verilmektedir (Şekil-13 c). Burada M türü katkı tavsiye edilen ve bunun üç katı olmak üzere iki farklı dozda kullanılmıştır. Eğrinin katkı maddesinden dolayı ötelenmesi yüksek dozda açıkça görülmektedir.

Katkısız haldeyken priz başlama süreleri aynı olan üç çimentonun (Yunus-KPÇ325, Nuh-KPÇ325, Aslan-KPÇ325) katkılı haldeki priz başlama süreleri arasında birbuçuk saate varan farklılıklar olması ve prizin tümünde gecikmesi ancak bunların bileşimleri ve inceliklerindeki farka bağlanabilir. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimento bileşimindeki C_3A' ya etkiyerek prizi gecik-

tirdiği şekilde bir görüş bulunmaktadır⁽⁷⁾. C_3A ile ilişkili olarak bileşimdeki jips miktarıda bir etken olabilir. Ancak bu çalışma kapsamı içinde incelenen pozolan katkılı çimentoların ana bileşenlerinin saptanması mümkün olmadığından bu hususlar araştırılmamıştır. Bu çimentolarda kalıntı ve serbest kireç miktarlarının da katkı maddesi-çimento etkileşimine beklenmedik biçimlerde etkimesi de mümkündür⁽¹⁰⁾.

Sonuç olarak süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin incelenen pozolan katkılı çimentolarda priz sürelerini geciktirdiği, gecikme miktarının çimentodan çimentoya büyük farklılıklar gösterdiği geciktirme etkisinin, geç priz yapan çimentolarda daha fazla olduğu ve katkı miktarıyla birlikte arttığı söylenebilir.

4.3. Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların Farklı Yaşlardaki Mukavemetlerine Etkisi

Katkısız çimento harçlarının 1, 3, 7 ve 28 günlük standart eğilme ve basınç mukavemetleri, Tablo-6 da verilmektedir. Bu harçların su-çimento ve kum-çimento oranları değişmeden katkı katılmasıyla üretilen harçlara benzer mukavemetleride, aynı tabloda gösterilmiştir. Bu değerlerden yararlanılarak hazırlanan Şekil-21 de yatay eksen katkısız, düşey eksen katkılı harçların mukavemetlerini göstermektedir. M türü katkıya ait diyagramlarda (Şekil- 14-21) noktalar genelde eşitlik çizgisinin üstünde kalmaktadır. Bu da bu tür katkının mukavemette bir iyileştirme sağladığı anlamına gelir. N türü katkıya ait diyagramlarda (Şekil- 14-21) noktalar eşitlik çizgisinin civarında veya altında yer aldığından, bu tür katkının mukavemette bir azalmaya neden olduğu söylenebilir. Her iki katkı türü ve çeşitli mukavemet türleri için lineer regresyon doğruları çıkartılmıştır. Bu ilişkilerden yararlanılarak M türü katkının basınç mukavemetini yaklaşık olarak 1 ve 3 günlük numunelerde %30, 7 günlük numunelerde %8 oranında artırdığı 28 günlük mukavemetlerde bir farklılık yaratmadığı söylenebilir. Çekme mukavemetlerindeki artış ise yaklaşık olarak 1 ve 3 günlük mukavemetlerde %15, 7 günlük numunelerde %5 dolayında olup, 28 günlük mukavemetlerde kayda değer bir artış olmamıştır.

N türü katkının mukavemet üzerindeki etkisi de numune yaşıyla birlikte bir azalma göstermektedir. Bu katkı 1 ve 3 günlük basınç mukavemetinde önemli bir artış sağlamamakta, 7 günlük mukavemetlerde yaklaşık %7, 28 günlük mukavemetlerde ise %15 dolayında bir azalmaya neden olmaktadır. Çekme mukavemetinde 1 günlük numunelerde %7 lik artış görülürken, 3 günlük numunelerde bu artış yok olmakta, 7 günlük numunelerde yaklaşık %10, 28 günlük numunelerde %11 lik bir azalma olmaktadır.

Gerek M ve gerek N tipi harçlar plastik kıvamlı olduğundan bu tür harç numuneler arasında yerleştirme ve sıkılamadan doğan bir fark olduğu söylenemez.

N katkısının mukavemet üzerindeki olumsuz etkisi bu katkının hava sürüklenme ve köpüklenme özelliğiyle açıklanabilir. Üretim sırasında bu katkıyla hazırlanan harçların köpüklü olduğu saptanmıştır. Hava sürüklenmesi sonucu kompasitenin düşmesi mukavemet üzerinde etkili olabilmektedir. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin köpük oluşturma özelliği üzerine bir araştırmada N türü katkıların kalıcı köpük oluşturduğu, bu köpüğün kolay kolay giderilemediği, buna karşılık M tipi katkıların hem daha az köpük yaptığı hemde bu köpüğün kalıcı olmadığı söylenmektedir⁽¹¹⁾. Bu nedenle N türü katkıların hava sürüklenme yoluyla boşluklar oluşturması ve mukavemeti düşürmesi mümkündür. Kırılan numunelerin kırılma kesitlerinin incelenmesinde de gözenekli yapı kolayca görülmektedir.

Her iki katkı da muhtemelen çimento tanelerinin daha iyi dağılmasını sağlamak daha çok çimentonun daha kısa sürede su ile reaksiyona girmesini sağlamakta ve erken yaşlardaki mukavemeti artırmaktadır. Ancak N türü katkıların hava sürüklenmesi sonucu mukavemette meydana gelen azalma, mukavemette yukarıda açıklanan biçimde gerçekleşen artışı dengelemektedir. Katkıların hidrasyon üzerindeki olumlu etkisi hidrasyon ilerledikçe azalacağından 28 günlük mukavemetlere yansımamaktadır. Buna karşılık N türü katkıların oluşturduğu gözenekli yapı kalıcı olduğundan, katkının hidrasyon üzerine olan olumlu etkisi zamanla azaldıkça, gözenekli yapının olumsuz etkisi daha belirgin hale gelmektedir.

Sonuç olarak M türü katkıların çimentoların erken yaşlardaki mukavemetlerinde bir artış sağlamakta, 28 günlük mukavemetlerde bir fark yaratmamaktadır. N türü katkıların ise muhtemelen hava sürüklediği için genelde mukavemeti azaltmaktadır. Bu katkıların bir köpük giderici eşliğindeki davranışı araştırılmaya değer bir husustur.

4.4. KATKISIZ BETONLARDA BAŞLANGIÇ KIVAMININ ZAMANA BAĞLI KIVAM KAYBINA VE KATKILI BETONLARIN KIVAMINA ETKİSİ

A₁ agrega karışımıyla üretilmiş 300 dozlu ve çökme değeri 2.5, 5, 7.5, 10 ve 12.5 olan beş farklı kıvamdaki katkısız betonun zamana bağlı kıvam kaybı Şekil 22-26 da K eğrisiyle gösterilmiştir. Bu betonlarda katkı kullanılmadan su miktarı istenen kıvam tutturulacak biçimde ayarlanmıştır. Bu betonlarda çökme kaybının neredeyse hemen başladığı görülmektedir. Kuru kıvamlı betonlarda çökme değerinin çok düşük olması (2.5 cm), kıvam kaybının anlamlı bir biçimde izlenmesini zorlaştırmaktaysa da, kıvam kaybının geciktiğine dair bir belirti yoktur. Çökme kaybının hemen başlaması ileride belirtildiği gibi agrega granülometrisinden kaynaklanmış olabilir. Bu durumda granülometri kıvam kaybının geciktirilmesinde önemli bir faktör olarak belirlemektedir. Granülometrinin işlenebilirliğe etkisi bilinmektedir. Ancak işlenebilirlik kaybına yani kıvam kaybına nasıl etkilediği konusu o kadar açık değildir. Akla gelen bir ihtimal ince taneli agreganın yüzeyinin fazla olması dolayısıyla betondaki suyu daha uzun süre tutması olabilir.

Aynı şekillerde bu betonlara katkı katılarak elde edilen betonlardaki kıvam kaybı M ve N eğrileriyle gösterilmektedir. Katkı maddeleri ile ulaşılan çökme değerlerinin, katkı öncesi çökme değerleriyle yakından ilişkili olduğu buradan görülmektedir. 2.5 cm çökme li katkısız betona M veya N türü katkı katılması halinde çökme değeri ancak 5 cm çıkarken bu değer 5, 7.5, 10 ve 12.5 cm çökmeli katkısız betonlarda M türü katıklar için sırasıyla 15, 21, 21, 21, N türü katıklar için sırasıyla 8, 20, 20, 21 olmaktadır. Görüldüğü gibi betonlarda katkı öncesi 7.5 cm lik çökme bulunması, akıcı kıvam beton üretimi için gereklidir. 7.5 cm lik kritik çökme değeri yaygın olarak benimsenmiştir^(7,13).

4.5. AKICI KIVAMLI BETONLARDA KIVAM KAYBI

Çalışma kapsamında üretilen çeşitli betonlarda izlenen zamana bağlı kıvam kaybı değerleri Tablo-8 de verilmektedir ve ayrıca Şekil.27-30 da grafik olarak gösterilmektedir.

Şekil-27 de 300 dozlu betonlarda zamana bağlı kıvam kaybı gösterilmektedir. Şekil iki kıvamdan oluşmakta ve kıvam kaybı hem çok

me hemde yayılma çapı değerleri cinsinden izlenmektedir. Şekildeki K_p eğrisi katkı kullanılmadan üretilmiş plastik kıvamlı betonlarda kıvam kaybını göstermektedir. Aynı betona su katılarak, M türü katkı katılarak ve N türü katkı katılarak elde edilen akıcı kıvamlı betonlara ait eğriler ise sırasıyla; K_A , M_A , ve N_A ile işaretlenmiştir. Aynı işaretleme Şekil-28,29 ve 30 da da kullanılmaktadır.

Şekil.27-30 da akıcı kıvamlı betonlarda kıvam kaybının plastik kıvamlılara oranla daha hızlı olduğu görülmektedir. Plastik kıvamlı betonlarda 90 dakika içinde 2-3 cm lik bir çökme kaybı görülürken, akıcı kıvamlı betonlarda bu değer 5-9 cm olabilmektedir.

300, 350 ve 400 çimento dozajlı akıcı betonların çökme değerlerinde ilk yarım saatte, hatta bir saate yaklaşan sürelerde pek bir farklılık olmamakta, çökme kaybı bundan sonra hızlanmaktadır. 400 çimento dozajından daha yukarı dozajlı betonlarda çökme kaybı daha erken başlamaktadır.

Şekil-32 de akıcı kıvamlı katkısız çeşitli betonlarda 30, 60 ve 90 inci dakikalardaki çökme değerleri, başlangıç çökmesinin oranı olarak gösterilmektedir. Buradan da görüldüğü gibi 300 dozlu betonlarda ilk bir saatte çökme değerlerinde %10 dolayında azalma olurken, bunu izleyen yarım saatte bu oran %30 'a çıkmaktadır. Buna karşılık 500 dozlu betonlarda çökme kaybının büyük kısmı ilk yarım saatte meydana gelmekte (%30), bunu izleyen bir saatte çökme kaybı (%15) dolayında kalmaktadır. Birbuçuk saat sonraki çökme kaybı 300 dozlu betonlarda %30, 500 dozlu betonlarda %45 dolayında olmaktadır.

Buradan çıkarılacak sonuç:

- Belirli bir andaki çökme kaybının çimento dozajıyla arttığı
- Düşük dozajlı betonlarda çökme kaybının başlangıçta yavaş geliştiği sonra hızlandığı,
- Yüksek dozajlı betonlarda çökme kaybının başlangıçta hızlı geliştiği, sonra yavaşladığıdır.

Şekil-32 deki diyagramın benzeri M ve N katkılı akıcı kıvamlı betonlar için Şekil-33 ve 34 de gösterilmektedir. Katkılı betonlarda ilk yarım saat içinde kıvam kaybı M türü katkılı betonlarda %5 ve N türü katkılı betonlarda %10 dolayındadır. İlginç bir sonuç bunun çimento dozajından etkilenmesidir. 300 dozlu betonlarda bir saat ve birbuçuk saat sonundaki çökme kaybı M türü katkılarda sırasıyla %55 ve %75 iken, N türü katkılarda sırasıyla %50 ve %70 dir.

Diğer uçta 500 dozlu betonlarda bir ve birbuçuk saat sonundaki çökme kaybı M türü katkılılarda %15 ve %30, N türü katkılılarda %25 ve %35 dolayındadır. Buradan şu sonuçlar çıkarılabilir:

- Belirli bir andaki çökme kaybı çimento dozajı arttıkça azalmaktadır.
- Çökme kaybının büyük kısmı yarım ile bir saat arasında meydana gelmektedir.
- İlk yarım saatten sonra belirli bir andaki çökme kaybı, çimento dozajı arttıkça azalmaktadır.
- M türü katkılı betonlarda görülen çökme kaybı N türü katkılılara oranla daha fazladır.
- Katkılı betonlarda görülen çökme kaybı katkısızlara oranla genelde daha fazladır. Ancak yüksek çimento dozlarında katkılı betonların çökme kaybı, katkısızlarınkinin altına düşmektedir.

Görüldüğü gibi, karma suyu artırılarak akıcı hale getirilmiş betonlarla, katkı maddesi katılarak akıcı hale getirilmiş betonların çökme kayıpları birbirlerine ters biçimde seyretmektedir. Katkılı betonların gerçekte plastik kıvamlı oldukları düşünülerek plastik kıvamlı betonlarda çökme kaybının gelişmesi incelenecek olursa, bunların davranış biçiminin katkılılarınkine çok yakın olduğu görülecektir.

Katkılı betonların katkı öncesi halini temsil eden plastik kıvamlı betonların çökme kaybı Şekil-27-30 da K_p eğrileriyle gösterilmektedir.

Şekil.35,36,37 ve 38 de, 300,350,400 ve 500 dozlu plastik kıvamlı betonların zamana bağlı kıvam kaybı gösterilmektedir. Tüm betonlarda ilk yarım saatte çökme kaybı olmamaktadır. Çökme kaybı düşük dozajlı betonlarda daha hızlı gelişmektedir ki bu husus akıcı kıvamlı betonlarda da görülmektedir.

90 dakika sonunda çökmedeki azalma 300 dozlu betonlarda 4 cm ye varırken, 500 dozlu betonlarda 1 cm dolayında kalmaktadır. Başlangıçtaki çökmenin 7-8 cm olduğu düşünülürse düşük dozajlı betonlarda çökme kaybının yalnız daha hızlı olduğu değil, daha fazla da olduğu görülecektir. Çimento dozajının bu etkisi Şekil-31 den de görülebilmektedir. Burada çökme, mutlak değerler olarak değil, başlangıç çökmesinin yüzdesi olarak verilmektedir. 500 dozlu betonlar

da çökme kaybı 90 dakika sonunda %20 dolayında iken, 300 dozlu betonlar aynı sürede %60 dolayında çökme kaybına uğramaktadır. Çökme kaybının büyük bir kısmı yarım saat ile bir saat arasında meydana gelmektedir.

Buradan katkı katılarak akışkan hale getirilmiş betonlarda zamana bağlı çökme kaybının ana hatlarıyla katkı öncesi plastik kıvamlı betonda görülen çökme kaybına benzediği söylenebilir. Katkı miktarı sadece çökme değerini ve dolayısıyla çökme kaybı değerlerini artırmaktadır.

Betonlarda çökme kaybının gelişme biçiminin beton bileşimine giren su miktarından büyük ölçüde etkilendiğini söylemek pek yanlış olmayacaktır.

Şekil-39 da farklı granülometriye sahip agregalarla (A₁ ve A₂) üretilmiş, 300 dozlu ve akıcı kıvamlı betonların zamana bağlı kıvam kaybı görülmektedir. A₂ agregaya karışımındaki ince tane miktarı daha fazladır. İnce tane miktarındaki bu fazlalık başlangıç çökmesine yansımamaktadır. Çünkü betonlardaki su miktarı bu çökmeler eşit olacak biçimde ayarlanmaktadır. Ancak A₂ agregasıyla üretilen betonların kıvamlarını daha uzun süre korudukları, kıvam kaybının daha geç başladığı ve daha yavaş geliştiği şekilden anlaşılmaktadır. A₂ agregasıyla üretilen betonlarda yarım saat sonundaki çökme kaybı 1-2 cm olmakta, çökme kaybı 45 dakikadan sonra hızalanmaktadır. Buna karşılık A₁ agregasıyla üretilen betonda çökme kaybı hemen başlamakta ve sabit sayılabilecek bir hızla devam etmektedir. 90 dakika sonundaki çökme kaybı A₂ agregalı betonlar için 6 cm, A₁ agregalı betonda 11 cm dolayındadır.

Bu durum katkılı betonlarda da gözlenmektedir (Şekil-40 a,b) Ayrıca katkılı betonlarda çökme kaybı, katkısız betonlardakinden daha hızlı ve dolayısıyla fazladır. 90 dakika sonunda çökme kaybı katkılı betonlarda 15-18 cm olabilmektedir. Bu değer katkısız betonlar için elde edilen 5-10 cm lik çökme kaybıyla karşılaştırıldığında, katkılı betonların daha hızlı kıvam kaybettiği görülecektir. Buna göre:

- İnce agregaya miktarı daha fazla olan betonlarda işlenebilme kaybının daha geç başladığı ve daha yavaş geliştiği,

- Bu durum katkılı betonlarda da görüldüğü, ancak bu tür betonlarda işlenebilme kaybının daha hızlı geliştiği söylenebilir.

4.6. SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI KATKI MADDELERİNİN AKICI KIVAMLI BETONLARIN MUKAVEMETİNE ETKİSİ

Şekil-41 de, plastik kıvamlı betonların mukavemetleriyle, bunlara katkı katılarak elde edilen akıcı kıvamlı betonların mukavemetleri arasındaki ilişki görülmektedir. Şekildeki noktalar genelde eşitlik çizgisinin altında kalmakta, bu noktalardan geçirilen doğru da incelenen mukavemet aralığında ($50-300 \text{ kgf/cm}^2$) yine eşitlik doğrusunun altından gitmektedir. Bunun anlamı, katkılı betonların mukavemetlerinin, kendileriyle aynı bileşime sahip ancak katkısız betonlara oranla biraz daha düşük olduğudur. Mukavemetteki azalma her iki katkıda da görülmekle beraber, M türü katkı için daha azdır. Azalma miktarı 28 günlük mukavemetlerde $7-8 \text{ kgf/cm}^2$, 7 günlük mukavemetlerde $10-12 \text{ kgf/cm}^2$ dolayındadır. Çimento deneylerinde, N türü katkılarla üretilen harçların mukavemetinde düşme gözlenmiş ve bu, katkının hava sürüklenme etkisiyle açıklanmıştı. Bu etki burada da geçerli olabilir. Benzer bir etkinin M türü katkıları için de söz konusu olma ihtimali vardır. Ancak söylendiğine göre, M türü katkıların sürüklediği hava kararlı değildir ve zamanla azalmaktadır. Malzeme miktarlarının oldukça az olduğu harç deneylerinde, karıştırma yönteminin de etkisiyle sürüklenen havanın kolayca yok olması mümkündür. Buna karşılık beton üretiminde kullanılan malzeme miktarları, yani oluşan beton kütlesi, havanın bu kadar çabuk kaçmasına izin vermediği gibi, karıştırma yöntemi de hava sürüklemeye daha yatkındır. Bu nedenle M türü katkılı betonlarda da hava sürüklenme etkisi görülebilir. Betonlardaki hava miktarı deneysel olarak saptanmadığından veya sertleşmiş beton kesitleri üzerinde boşluk alanı ölçülmediğinden bu konuda daha kesin bir şey söylenememektedir. Ancak mukavemet kaybı 28 günlük betonlarda $100-300 \text{ kgf/cm}^2$ aralığında ortalama 10 kgf/cm^2 mertebesinde-dir.

4.7. SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI KATKI MADDELERİNİN SU İNDİRGEME ETKİSİ

Akıcı kıvamlı betonların mukavemeti üzerindeki esas faktör, betonun katkı öncesi bileşimidir. Katkı etkisiyle akıcı hale gelebilmeleri için bu betonların 7-8 cm çökmeye sahip olması gerekmektedir.

tedir ki, böyle bir sabit çökme değerinde beton bileşimine giren su miktarının da tüm betonlar için hemen hemen aynı olması demektir.

Bu durumda E/C oranı daha çok çimento miktarıyla ayarlanacağından, beton mukavemeti de çimento dozajına bağlı olarak değişecektir. Şekil-42 de katkılı betonlarda mukavemetle çimento dozajı arasındaki ilişkinin beklendiği gibi olduğu görülmektedir. Çimento dozajı 300 ile 525 kg/m³ arasında değişirken, 7 günlük mukavemetler 50-160 kgf/cm², 28 günlük mukavemetler 100-273 kgf/cm² arasında değerler almaktadır. Aynı şekilde akıcı kıvamlı betonların katkı kullanılmadan, sadece su miktarı artırılarak elde edilmesi halinde durumun ne olocağı da görülmektedir. K doğrusu olarak işaretlenen bu ilişkiye göre mukavemet yine çimento dozajına bağlı kalmakta, ancak su miktarının artırılmış olması nedeniyle 7 günlük mukavemetlerde ortalama 20 kgf/cm², 28 günlük mukavemetlerde ise yaklaşık %20 bir azalma meydana gelmektedir.

Katkı maddelerinin su indirgeme etkisi akıcı kıvamlı betonlardan çok plastik kıvamlı betonlar için incelenmiş bir konudur. Burada da bu etkinin mertebesinin akıcı ve plastik kıvamlı betonlarda farklı düzeylerde olup olmadığı da araştırılmıştır. Şekil-42 nin bir benzeri Şekil-43 olarak verilmektedir. Bu diyagramların Şekil-42 dekinden farklı betonların plastik kıvamlı oluşudur. M, N ile işaretli ilişki, katkı kullanılarak üretilmiş plastik kıvamlı betonları, K ile işaretli ilişki ise sadece su kullanılarak üretilmiş betonları temsil etmektedir. Buradan da beton mukavemetlerinin çimento dozajı 300 den 525 kg/m³ 'e çıkarken sürekli arttığı (7 günlük; 70 ile 215 kgf/cm², 28 günlük 125 ile 390 kgf/cm²), su indirgeme etkisi nedeniyle katkılı betonların mukavemetlerinin, katkısızlara oranla 7 günlüklerde ortalama %10, 28 günlüklerde ortalama %20 daha fazla olduğu görülmektedir.

Katkı maddelerinin su indirgeme etkisi ve bunun sonucunda sağlanan mukavemet artışı Şekil-44 ve 45 de de görülebilir. Burada akıcı ve plastik kıvamlı katkılı ve katkısız betonların mukavemetleri karşılaştırılmaktadır. Katkılı betonların mukavemetlerinin eşitlik çizgisinin üstünde olduğu burada da görülmektedir. Böylece sağlanan mukavemet artışı yukarıda verilen düzeydedir.

4.8. SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI KATKI MADDELERİNİN MUKAVEMET KAZANMA HIZINA ETKİSİ

Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin mukavemet kazanma hızına etkileri Tablo-10 daki 7 ve 28 günlük mukavemetlerle yorumlanabilir.

Plastik kıvamda; 300, 350, 400 ve 500 çimento dozajlarındaki katkısız betonların 7 günlük mukavemetleri, 28 günlük mukavemetlerin ortalama olarak %62 si, aynı kıvamda, aynı çimento dozajlarındaki betonlara katkı maddesi katılarak akıcı kıvama getirilen betonların 7 günlük mukavemetleri, 28 günlük mukavemetlerin %58 'i olarak gerçekleşmiştir. Yine plastik kıvamda ve belirtilen dozajlarda katkısız betonların 7 günlük mukavemeti, 28 günlük mukavemetlerin ortalama %62 'si, aynı kıvamın belirtilen dozajlarda katkıyla sağlandığı, su indirgenmiş betonlarda %57 'si olarak gerçekleşirken, akıcı kıvamda belirtilen dozajlarda katkısız üretilen betonların 7 günlük mukavemeti, 28 günlük mukavemetlerin %57 'si, aynı kıvamın belirtilen dozajlarda katkıyla sağlandığı su indirgenmiş betonlarda %58 'i olarak gerçekleşmiştir. Belirtilen çimento dozajlarında aynı kıvamda üretilen betonların mukavemet kazanma hızları arasında yorumlanabilecek anlamlı bir fark oluşmadığından yukarıda verilen değerlerin herbiri, değişik dozlu beton türü için ortalama olarak verilmiştir. Bu sonuçlara göre en büyük olan %5 mertebesindeki etkinin deneysel ölçüm hassasiyeti sınırları içinde kaldığı, buna dayalı olarak da, katkıların mukavemet kazanma hızına etkilerinin anlamlı olmadığı söylenebilir. Her iki katkının etkileri ayrıca incelendiğinde aralarında anlamlı bir fark olmadığı görülür.

Bu çalışmada, süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin değişik amaçlarla kullanıldıkları betonlarda, betonların mukavemet kazanma hızlarına anlamlı sayılabilecek etkilerinin olmadığı anlaşılmıştır.

5. SONUÇLAR

1. Melamin ve naftalin formaldehit kökenli süperakışkanlaştırıcılar, pozolan katkılı çimentoların priz sürelerini geciktirmektedir.
2. Melamin formaldehit kökenli katkı, hidrasyon sıcaklıklarında bir miktar artışa neden olmasıyla birlikte, her iki katkının da çimentoların hidrasyon sıcaklıklarında anlamlı sayılabilecek bir artış yaratmadığı söylenebilmektedir.
3. Melamin formaldehit kökenli süperakışkanlaştırıcı, çimento harçlarında (1,3,7 gün) basınç ve eğilme mukavemetlerini artırmakta, 28 gün mukavemetlerinde etkili olmamakta, naftalin formaldehit kökenli süperakışkanlaştırıcı ise, muhtemelen hava sü-rüklediği için genelde mukavemetleri azaltmaktadır.
4. 300 çimento dozajında %50 dişlikum, %50 kırmataş kullanılarak üretilen, kıvamları farklı (katkı öncesi kıvam) katkısız betonlarla, bu betonlara katkı katılarak üretilen betonların işlene-bilme kayıpları ilk yarım saatten sonra başlamakta, ikinci ve üçüncü yarım saat aralığında sabit hızla azalarak gittikçe ya-vaşlamaktadır. Bu betonlarda, katkı öncesi 7.5 cm veya daha fazla çökme bulunması halinde, katkı ilavesiyle akıcı kıvamda beton üretmek mümkün olmaktadır.
5. Karma suyu artırılarak akıcı hale getirilmiş betonların belirli bir andaki çökme kaybı, çimento dozajıyla artmakta, düşük do-zajlı (300 kg/m^3) betonlarda çökme kaybı başlangıçta yavaş ge-lişerek sonra hızlanmakta, yüksek dozajlı (500 kg/m^3) betonlarda çökme kaybı başlangıçta hızlı gelişmekte sonra yavaşlamaktadır.
6. Katkı maddesi katılarak akıcı hale getirilmiş betonların belirli bir andaki çökme kaybı, çimento dozajı arttıkça azalmakta, çökme kaybının büyük bir kısmı yarım ile bir saat arasında meydana gelmekte; melamin formaldehit kökenli katkının kullanıldığı be-tonlardaki çökme kaybı, naftalin formaldehit kökenli katkının kullanıldığı betonlardan daha fazla olmaktadır. Akıcı kıvamdaki katkılı betonların katkı katılmamış halini temsil eden ve plas-tik kıvamda üretilen betonların işlenebilirlik kayıplarının ç-

mento dozajına bağlı olarak zamanla gelişmesi, akıcı kıvamdaki katkılı betonların davranışlarıyla benzerdir.

7. 300 çimento dozajında, akıcı kıvamda %60 dişlikum, %40 kırmatas kullanılarak üretilen betonların işlenebilme kaybı, aynı kıvamda, %50 dişlikum, %50 kırmatas kullanılarak üretilen betonlara nazaran daha geç başlamakta ve yavaş yürümekte, katkılı betonlarda da aynı durum görülmekte, fakat işlenebilme kaybı daha hızlı gelişmektedir.
8. İşlenebilirliklerin katkılarla artırıldığı akıcı betonlarda, mukavemet katkı türünden etkilenmektedir. Melamin formaldehit kökenli katkının mukavemeti azalma etkisi az olmakta (28 günde ortalama 10 kgf/cm²), naftalin formaldehit kökenli katkı muhtemelen hava sürüklediği için mukavemetleri azaltmaktadır. Su indirgenmiş betonlarda ise melamin formaldehit kökenli katkının etkisi daha fazla olmakla birlikte, katkılar, su ile üretilmiş akıcı betonlara oranla mukavemetleri 7 günlüklerde %10, 28 günlüklerde %20 mertebesinde artırmaktadır. Her iki katkının, betonların mukavemet kazanma hızına etkileri olmamaktadır.

6. KAYNAKLAR

KAYNAKLAR

1. NEVILLE, A.M., "Properties of Concrete", Pitman Publishing London, 1975, sh(223).
2. KREIJGER, P.C., "Action of Air Entraining Agents and Water Reducing Agents and Differences Between Them", International Symposium on Admixtures for Mortar and Concrete, Brüssels, 30 August-1 September, 1967.
3. BANFILL, P.F.G., "Workability of Flowing Concrete", Magazine of Concrete Research, Vol.32, No:110, March 1980, sh(17-27).
4. CEMENT ADMIXTURES ASSOCIATION, CEMENT and CONCRETE ASSOCIATION "Superplasticizing Admixtures in Concrete", Report of a Joint Working Party, Slough, ENGLAND 1976.
5. PERENCHIO, W.F., "Water Reduction Slump Loss and Entrained WHITING, D.A., Superplasticizers , "SUPERPLASTICIZERS in KANTRO, D.L., CONCRETE, Proceedings of a International Symposium, Vol.I, Ottawa, Canada, 29-32 May 1978
6. BLAKEY, H., "Superplasticizers", TDN 5418, Cement and Concrete Association, 1973, 3.
7. MAILVAGANAM, N.P., "Slump Loss in Flowing Concrete", 5. ile aynı kaynak, Vol. II.
8. CİMİLLİ, T., "Effect of Dust Content on Some Properties of Concrete", Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No.30, p.199-201, Paris, 1980
9. DOĞAN, A., "Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Yüksek Dayanımlı Beton Üretimi", Kişisel çalışma Raporu, K.Ü. Trabzon, Mart, 1983.
10. AKMAN, M.S., "Priz Geciktirici Katkıların Bazı Türk Çimentoları UYAN, M. Üzerine Etkileri", TBTA VI. Bilim Kongresi, İZMİR, 1977, sh(65-79).
11. GRUTZECK, M., "Air Entrainment in Mortars and Concrete: The Effect of Superplasticizer/Salt Combinations", CEMENT and CONCRETE RESEARCH, Vol.14, U.S.A. March 1984, pp(297-299).

12. MALZEME SEMİNERLERİ "İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi" 1982.
13. HEWLETT, P.C., "The Concept of Superplasticised Concrete"
5. ile aynı kaynak. Vol. I
14. ALEMDAĞ, M., "Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Akıcı
Kıvamda Beton Üretimi", Bitirme Ödevi, K.Ü. Trabzon
Temmuz 1983.
15. TS24, "Çimentoların Fiziksel Muayene Metodları"
16. TS2871, Aralık 1977, "Taze Beton Kıvam Deneyi (çökme hunisi
metodu ile)"
17. TS2872, Aralık 1977, "Taze Beton Kıvam Deneyi (çökme hunisi
metodu ile)"

7. TABLULAR

TABLOLAR

- Tablo-1 : Agrega özellikleri
- Tablo-2 : Norm kum granülometrisi
- Tablo-3 : Çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri
- Tablo-4 : Çimento deneylerinin toplu sonuçları
- Tablo-5 : Çimento priz deneyleri sonuçları
- Tablo-6 : Çimento mukavemet deneyleri sonuçları
- Tablo-7 : Farklı başlangıç kıvamlı betonların işlenebilirlik kayıpları
- Tablo-8 : Farklı çimento dozajlı betonların işlenebilirlik kayıpları
- Tablo-9 : Farklı başlangıç kıvamlı betonların deney sonuçları
- Tablo-10 : Farklı çimento dozajlı betonların deney sonuçları

Elek çapı		% GEÇEN			
		Kırmataş	Dişlikum	A1	A2
GRANÜLOMETRİ	30 mm	100	100	100	100
	15 mm	29	100	64.5	71.6
	7 mm	5	95	50	59
	3 mm	2	71	36.5	43.4
	1 mm	1	29	15	17.8
	0.2 mm	0.5	3	1.75	2.0
İNCELİK MODÜLÜ		4.63	2.02	3.33	3.06
ÖZGÜL AĞIRLIK (kg/lt) D.Y.K		2.63	2.57	2.60	2.59
SU YÜZDESİ	Doğal su	1.1	1.5	1.30	1.34
	D.Y.K	1.8	3.5	2.65	2.82

A1 : %50 k.taş %50 D.kum

A2 : %40 K.taş %60 D.kum

Tablo- 1

Agrega özellikleri

Elek delik açıklığı (mm kare)	Elek üzerinde kalan(%)
0.08	98±2
0.16	88±2
0.50	67±5
1.00	33±5
1.60	5±5
2.00	0

Tablo- 2

Norm kum granülometrisi

Ç İ M E N T O		TRABZON	İSKENDERUN	BOLU	YUNUS	NUH	BASTAŞ	AK	ASLAN	ANKARA	ÜNYE	BARTIN	AFYON
Ç İ M E N T O T İ P İ		TÇ325	CÇ325	CÇ325	KPÇ325	KPÇ325	KPÇ325	KPÇ325	KPÇ325	KPÇ325	KPÇ325	KPÇ325	PC400
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	Blaine özgül yüzeyi (cm ² /gr)	3945	2981	2751	3892	3730	4062	3862	3264	3122	3861		3812
	200 luk elekte kalan (%)	0.26	0.12	0.22	0.20	0.20	0.04	0.23	0.83	0.25	0.23	0.15	0.17
	75 luk elekte kalan (%)	12.18	10.17	12.71	10.76	9.55	5.82	12.22	12.48	15.61	9.72	4.76	2.71
	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3.05	3.02	3.09	3.0	3.0	3.02	3.03	2.96	3.09	3.05	2.98	3.04
	Normal kıvam suyu (%)	26.5	27	25	30.5	34	27	30	25.5	24.5	25.5		29.5
	Priz başlangıcı (saat:dak.)	3:15	2:40	2:20	2:05	2:25	2:10	2:40	3:55	2:15	3:00	3:00	2:50
	Priz sonu (saat:dak.)	5:05	4:20	3:35	5:00	6:30	3:20	5:30	6:00	3:25	4:50	4:00	4:45
KİMYASAL BİLEŞİM (%)	SiO ₂	10.08	25.16	22.54	15.29	15.93	19.19	19.39	16.64	19.70	19.41	24.46	19.09
	Çözünmeyen kalıntı	19.04	0.74	0.64	13.13	11.31	6.25	5.28	12.63	4.72	6.90		1.01
	Al ₂ O ₃	7.64	9.41	6.98	8.50	7.48	6.29	5.30	7.11	5.37	5.50	9.69	4.60
	Fe ₂ O ₃	4.36	2.24	2.60	2.68	2.72	3.36	3.6	2.44	3.28	4.08	2.59	3.28
	CaO	49.27	52.84	61.4	51.05	54.98	57.83	58.37	54.26	59.03	57.3	54.62	63.19
	MgO	1.40	4.46	1.40	2.81	1.28	1.53	1.53	1.02	1.51	0.77	3.08	1.79
	SO ₃	1.81	1.95	1.75	3.01	2.99	2.0	2.62	2.72	2.03	2.88	2.60	2.76
	Kızdırma kaybı	3.83	0.45	1.32	2.26	2.65	2.42	3.5	2.59	2.68	2.26		2.67
	Ölçülemeyen	2.22	2.75	1.37	1.27	0.66	1.13	0.41	0.59	1.68	0.9		1.61
	Serbest CaO	0.35	0.35	0.21	0.21	1.19	1.33	0.77	0.35	0.84	0.28	0.62	1.33

Tablo- 3

Çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Çimento Türü	Katkı	Priz süreleri (saat:dak)		Hidratasyon Sıcaklığı (°C)		28 gün Mukavemetler (kgf/cm ²)	
		Başlama	Son	Başlangıç	Max	Eğilme (3 deę.or)	Basınç (6 deę.or)
TRABZON TÇ 325	K	2:50	5:15	20	38.5	64	332
	M	2:30	5:10	19	40.0	66	346
	N	3:10	5:40	22.5	42.5	56	280
İSKENDERUN CÇ 325	K	2:35	4:50	20	49	61	349
	M	4:15	6:40	20	48	61	332
	N	3:50	6:35	21	47	53	293
BOLU CÇ 325	K	2:20	5:00	23	45	60	396
	M	2:50	5:30	23	49.5	60	345
	N	3:40	6:30	23	40	49	236
YUNUS KPÇ 325	K	3:45	7:25	21	41.5	59	276
	M	4:05	7:50	23	47	58	255
	N	4:20	8:05	20.5	40	50	218
ANKARA KPÇ 325	K	1:50	3:10	20	48	59	327
	M	1:50	3:15	20	53	57	339
	N	2:35	4:15	22	50	49	267
AK KPÇ 325	K	3:10	5:00	21	38	66	356
	M	4:10	7:05	21	37	71	332
	N	4:30	7:40	21	37	60	302
NUH KPÇ 325	K	3:40	6:40	21	38	76	441
	M	5:20	8:00	20	36	74	441
	N	5:50	8:40	20.5	39	64	384
ÜNYE KPÇ 325	K	3:25	6:25	20	36	61	324
	M	4:20	8:00	21	40.5	70	357
	N	4:30	7:50	21	39	61	295
ASLAN KPÇ 325	K	3:45	8:05	20	30	65	322
	M	4:35	9:00	20	30	64	322
	N	3:50	8:20	20	30	58	259
BARTIN KPÇ 325	K	2:15	5:15	20	45	63	361
	M	3:00	5:30	20	54	67	360
	N	2:55	5:25	20	60	60	293
BASTAŞ KPÇ 325	K	2:05	5:00	20	54	52	328
	M	1:50	4:35	20	57	49	228
	N	2:35	5:40	20	52	47	284

K: katkısız M: melment katkılı N: sikament katkılı

Tablo-4

Çimento deneylerinin toplu sonuçları

ÇİMENTO	TÜR	Priz başlangıcı (dak)	Fark (dak)	Priz sonu (dak)
TRABZON TÇ 325	K	170	145	315
	M	150	160	310
	N	190	150	340
İSKENDERUN CÇ 325	K	155	135	290
	M	255	145	400
	N	230	165	395
BOLU CÇ 325	K	140	160	300
	M	170	160	330
	N	220	170	390
YUNUS KPÇ 325	K	225	220	445
	M	245	225	470
	N	260	225	485
ANKARA KPÇ 325	K	110	80	190
	M	110	85	195
	N	155	100	255
AK KPÇ 325	K	190	110	300
	M	250	175	425
	N	270	190	460
NUH KPÇ 325	K	220	180	400
	M	320	160	480
	N	350	170	520
ÜNYE KPÇ 325	K	205	180	385
	M	260	220	480
	N	270	200	470
ASLAN KPÇ 325	K	225	260	485
	M	275	265	540
	N	230	270	500
BARTIN KPÇ 325	K	135	180	315
	M	180	150	330
	N	175	150	325
BASTAŞ KPÇ 325	K	125	175	300
	M	110	165	275
	N	155	185	340
K: Katkısız M: melment katkılı N:sikament katkılı				

Tablo- 5

Çimento priz deneyleri sonuçları

ÇİMENTO TÜRÜ	KATKI	EĞİLME MUKAVEMETİ (3 değer ort.) kg/cm ²				BASINÇ MUKAVEMETİ (6 değer ort.) kg/cm ²			
		1 GÜN	3 GÜN	7 GÜN	28 GÜN	1 GÜN	3 GÜN	7 GÜN	28 GÜN
TRABZON TÇ 325	K	14	38	48	64	38	95	221	332
	M	17	42	53	66	38	159	253	346
	N	13	35	45	56	34	126	200	280
İSKENDERUN CÇ 325	K	13	30	43	63	58	111	171	349
	M	20	33	42	61	76	143	186	332
	N	17	31	37	53	64	137	191	293
BOLU CÇ 325	K	11	29	42	60	33	108	199	396
	M	12	31	41	60	36	97	194	345
	N	14	28	32	49	49	111	149	236
YUNUS KPÇ 325	K	17	31	42	59	50	70	187	276
	M	19	32	42	58	61	77	172	255
	N	14	27	36	50	45	64	160	218
ANKARA KPÇ 325	K	15	31	41	59	49	118	204	327
	M	17	37	43	57	54	139	167	339
	N	13	29	36	49	46	103	142	267
AK KPÇ 325	K	11	35	45	66	39	128	185	356
	M	16	37	49	74	46	147	216	332
	N	10	37	42	60	31	123	201	302
NUH KPÇ 325	K	14	45	58	76	42	182	303	441
	M	17	46	55	74	45	218	297	441
	N	13	43	53	64	38	184	270	384
ÜNYE KPÇ 325	K	10	26	49	61	31	69	245	324
	M	12	38	55	70	44	150	308	357
	N	17	29	49	61	56	97	259	295
ASLAN KPÇ 325	K	7	22	36	65	22	52	152	322
	M	8	29	43	64	27	53	199	322
	N	7	23	35	58	22	38	158	259
BARTIN KPÇ 325	K	18	34	51	63	51	155	230	361
	M	29	43	51	67	86	200	252	360
	N	25	38	43	60	78	154	228	293
BASTAŞ KPÇ 325	K	19	36	45	52	69	154	217	328
	M	22	38	45	49	78	167	242	328
	N	21	33	42	47	71	147	195	284
AFYON PÇ 400	K				73				418
	M				69				415
	N				62				353

K: katkısız

M: melment katkılı

N: sikament katkılı

Tablo- 6

Çimento mukavemet deneyleri sonuçları

TÜR	KATKI	Başlangıç		15 dak		30 dak		45 dak		60 dak		75 dak		90 dak		105 dak	
		Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)
K300S1	K	2.5	35	2	34	2	33	1	32	1	32	1	32	1	32		
K300S2		4.5	36	4.5	35	3	34	2.5	34	2.5	33	1.5	32	1	32		
K300S3		7	40	7	40	6.5	40	5.5	36	4.5	35.5	4	34	3.5	34	3	33
K300S4		11	44	10	43	5.5	40	5	39	4.5	38	4.5	36	4.5	35		
K300S5		13	52	13	48	9	43	7	42	4.5	41	4.5	39	2.5	37	2.5	37
M300S1	M	5	42	4.5	42	2.5	36	2.5	36	1	34	1	33				
M300S2		15	48	10	42	6	38	4	35	3	34	1.5	32	1.5	32	1.5	31
M300S3		21	52	19.5	49	13	44	8.5	40	7.5	39	5	35	4.5	35	4	34
M300S4		21.5	52	20	49	14	45	10	40	9	39	5.5	36	4.5	35	4.5	35
M300S5		21	54	16.5	52	14.5	49	11.5	44	6.5	41	2	39.5	1.5	38.5		
N300S1	N	5	39	3.5	38	2	35	1.5	34	1.5	33	1	33	1	33		
N300S2		8	40	7	38	5	36	4	36	3	34	3	33	2	31		
N300S3		20	52	18	52	16	48	15	47	13	42	11	39	5.5	36		
N300S4		20.5	52	16	48	9	44	7	42	5	38	5	38	5	38		
N300S5		21	52	18	50	14	48	12	45	7	41	3.5	38	3	37		

Tablo- 7

Farklı başlangıç kıvamlı betonların işlenebilirlik kayıpları

TÜR	KATKI	Başlangıç		15 dak.		30 dak.		45 dak.		60 dak.		75 dak.		90 dak.		105 dak.	
		Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)	Çökme (cm)	Y.çapı (cm)
K300P K350P K400P K500P	K	7.5 7.5 8 8	41.5 40 42 41	7.5 7.5 8 8	41 39.5 41 41	7.5 7 7.5 8	41 38 40 38	7 6.5 6.5 7	38 37 33 37	5 5.5 6 7	36 36 38 38	4 5 5.5 6.5	35 34.5 37 37	3 4 5 6	34 34 37 37	3	34
M300A M350A M400A M500A	M	20 22 21 22	53 58 53 56	20 22 21 22	52 56 51 53	18 22 19 21	50 53 49 50	13 19.5 16 21	45 48 48 50	9 15.5 10 18	42 46 44 48	6.5 11.5 8 17	40 42 40 44	5.5 9 8 15	38 40 39 43	7.5	39
N300A N350A N400A N500A	N	20.5 22 22 24	54 58 55 57	20.5 21 22 22	53 55 53 53	20 20 20 20	51 52 51 50	19 20 18 19	48 51 47 49	11 17 14 16	41 46 45 46	9 11 13 15	40 42 44 45	6.5 7 11 14	38 40 42 43	5 7	37 39
K300A K350A K400A K500A	K	21 22 21 20	56 55 53 51	21 22 20 18	53 54 52 48	20 21 20 15	52 52 51 46	20 21 19 15	50 51 49 45	19 19 15 14	49 48 46 45	17 15 15 13	48 47 45 43	15 13 12.5 12	47 45 43 41		
M300P M350P M400 M500P	M	7.5 7.5 7.5 8	44 40 41 36	7.5	40	7	40	6	38	5	36	4.5	35				
N300P N350P N400P N500P	N	7.5 7.5 7.5 8	42 40 40 37	7.5	40	6.5	38	5.5	36	4.5	34	3.5	32				

Tablo- 8

Farklı çimento dozajlı betonların işlenebilirlik kayıpları

TÜR	KATKI	DOZAJ (kg/m ³)	E/C	A/C	Taze Birim Ağırlık(kg/lt)	Çökme (cm)	Yayıllma Çapı (cm)	Dayanım (kg/cm ²)
K300S1	K	312	0.60	6.0	2.370	2.5	35	152
K300S2		311	0.62	6.0	2.370	4.5	36	161
K300S3		305	0.65	6.0	2.335	7.0	40	142
K300S4		308	0.69	6.0	2.370	11	44	140
K300S5		308	0.70	6.0	2.370	13	52	104
M300S1	M	312	0.60	6.0	2.370	5.0	38	164
M300S2		310	0.61	6.0	2.361	15	48	176
M300S3		310	0.65	6.0	2.370	21	52	151
M300S4		306	0.69	6.0	2.356	21.5	52	143
M300S5		310	0.70	6.0	2.385	21	54	127
N300S1	N	312	0.60	6.0	2.370	5.0	39	139
N300S2		308	0.62	6.0	2.346	8.0	40	155
N300S3		308	0.65	6.0	2.359	20	52	132
N300S4		304	0.69	6.0	2.388	20.5	52	134
N300S5		304	0.70	6.0	2.341	21.0	52	109
A1: %50 kırmataş, %50 dişlikum karışım agregası kullanıldı								

Tablo- 9

Farklı başlangıç kıvamlı betonların deney sonuçları

TÜR	KATKI	Dozaj (kg/m ³)	E/C	A/C	Taze birim Ağırlık(kg/lt)	Çökme (cm)	Yayıma Çapı (cm)	Dayanım 7 gün	(kg/cm ²) 28 gün
K300P	K	299	0.68	6.0	2.286	7.5	41.5	61	107
K350P		350	0.60	5.0	2.311	7.5	40.0	90	139
K400P		419	0.52	4.0	2.311	8.0	42.0	122	198
K500P		517	0.45	3.0	2.301	8.0	41.0	188	295
M300A	M	302	0.68	6.0	2.311	20.0	53.0	64	105
M350A		348	0.60	5.0	2.299	22.0	58.0	80	121
M400A		421	0.52	4.0	2.326	21.0	53.0	118	211
M500A		526	0.45	3.0	2.340	22.0	56.0	163	291
N300A	N	299	0.68	6.0	2.284	20.5	54.0	46	91
N350A		349	0.60	5.0	2.306	22.0	58.0	73	122
N400A		421	0.52	4.0	2.326	22.0	55.0	115	193
N500A		521	0.45	3.0	2.320	24.0	57.0	161	273
K300A	K	296	0.77	6.0	2.299	21.0	56.0	37	73
K350A		344	0.69	5.0	2.301	22.0	55.0	53	102
K400A		416	0.56	4.0	2.311	21.0	53.0	91	149
K500A		517	0.50	3.0	2.328	20.0	51.0	141	219
M300P	M	304	0.62	6.0	2.316	7.5	44.0	72	124
M350P		353	0.53	5.0	2.302	7.5	40.0	98	187
M400P		424	0.45	4.0	2.311	7.5	41.0	162	257
M500P		531	0.37	3.0	2.319	8.0	36.0	225	408
N300P	N	302	0.62	6.0	2.299	7.5	42.0	67	124
N350P		353	0.52	5.0	2.301	7.5	40.0	102	172
N400P		423	0.45	4.0	2.304	7.5	40.0	159	262
N500P		529	0.38	3.0	2.319	8.0	37.0	205	372
A2 : %60 dişlikum, %40 kırmataş karışım agregası kullanıldı									

Tablo- 10

Farklı çimento dozajlı betonların deney sonuçları

8. ŞEKİLLER

ŞEKİLLER

- Şekil-1 : Otomatik priz ölçme aleti
 Şekil-2 : Hidratasyon sıcaklığı ölçme sistemi
 Şekil-3 : Eğilme deneyi aleti
 Şekil-4 : Basınç deneyi aleti
 Şekil-5 : Sarsma tablası deneyi aleti
 Şekil-6 : İncelik deneyi için elek sistemi
 Şekil-7 : Vicat sondası

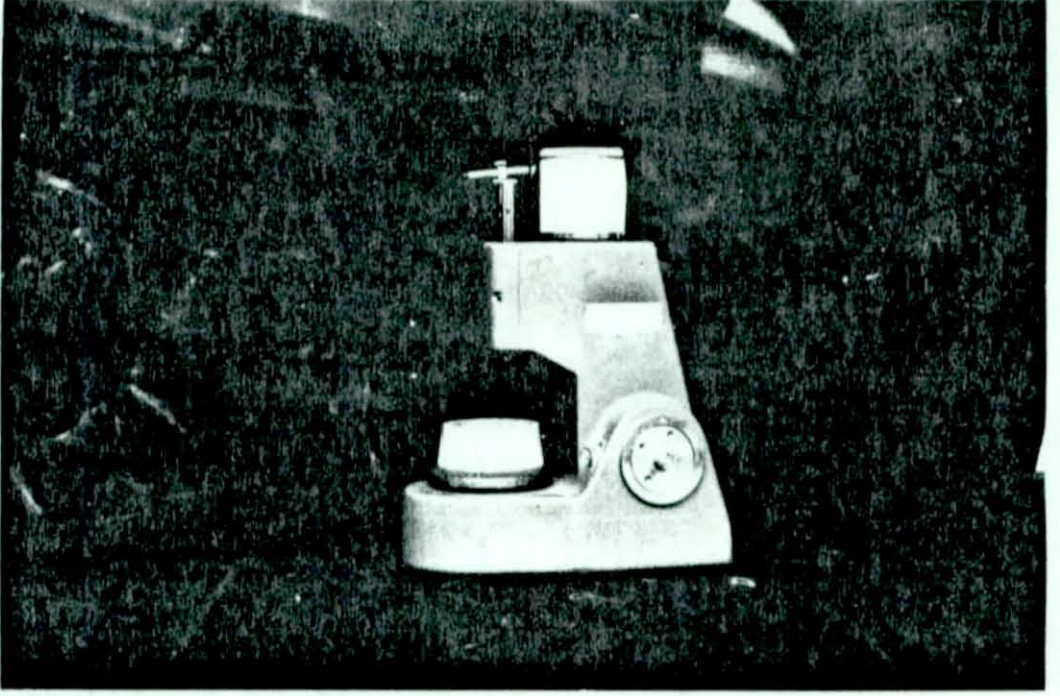
Şekillerin bazılarında çimento isimleri aşağıdaki biçimde kısaltılarak kullanılmıştır:

- TRA : Trabzon TÇ325
 İSK : İskenderun CÇ325
 BOL : Bolu CÇ 325
 YUN : Yunus KPÇ325
 ANK : Ankara KPÇ325
 AK : Ak KPÇ325
 NUH : Nuh KPÇ325
 ÜNY : Ünye KPÇ325
 ASL : Aslan KPÇ325
 BAR : Bartın KPÇ325
 BAŞ : Baştaş KPÇ325

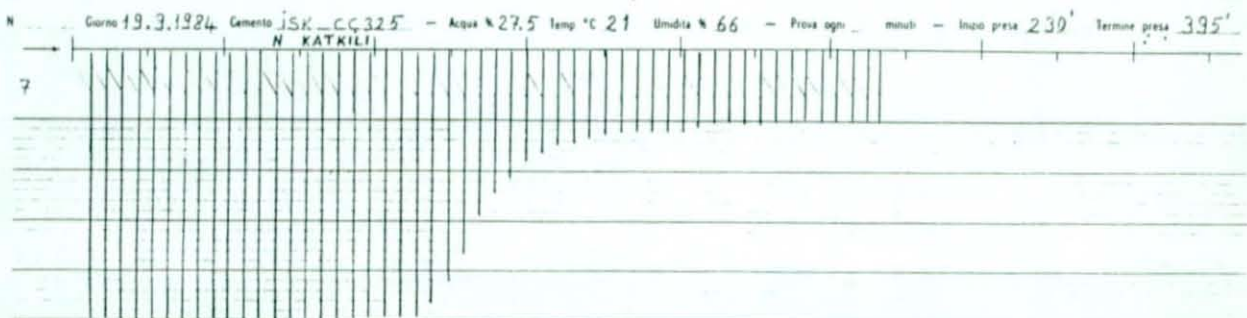
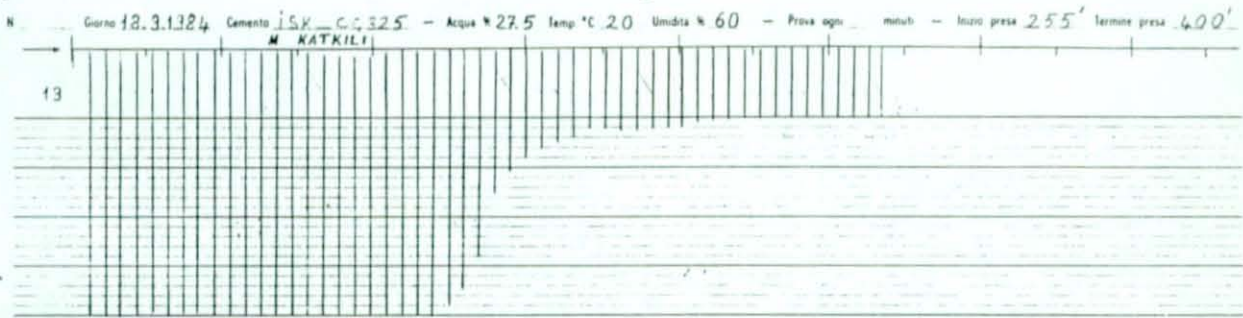
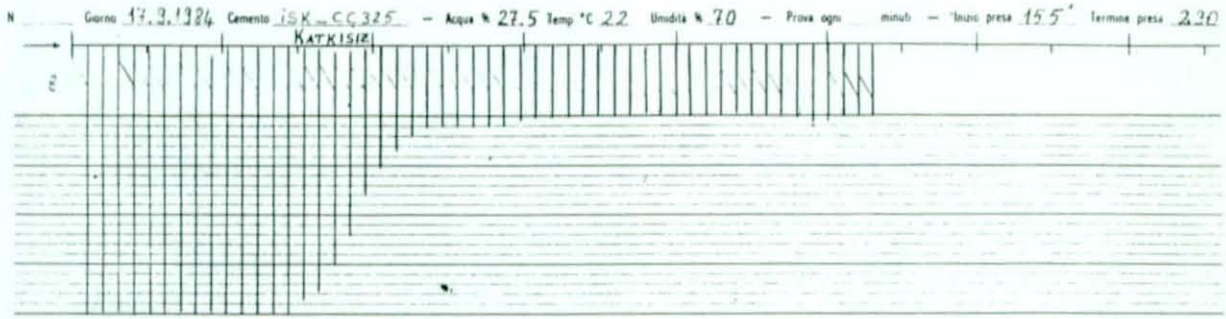
- Şekil-8 : Çimento inceliği-Hidratasyon sıcaklığı ilişkisi
 Şekil-9 : Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimentoların hidratasyon sıcaklığına etkisi
 Şekil-10: Çimento priz süreleri
 Şekil-11: Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimentoların priz başlama süresine etkisi
 Şekil-12: Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimentoların priz sonu süresine etkisi
 Şekil-13: Hidratasyon sıcaklığının zamanla gelişimi
 Şekil-14: Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimentoların 1 günlük eğilme mukavemetine etkisi
 Şekil-15: Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimentoların 3 günlük eğilme mukavemetine etkisi
 Şekil-16: Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimentoların 7 günlük eğilme mukavemetine etkisi
 Şekil-17: Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimentoların 28 günlük eğilme mukavemetine etkisi

- Şekil-18 : Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimentoların 1 günlük basınç mukavemetine etkisi
- Şekil-19 : Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimentoların 3 günlük basınç mukavemetine etkisi
- Şekil-20 : Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimentoların 7 günlük basınç mukavemetine etkisi
- Şekil-21 : Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin çimentoların 28 günlük basınç mukavemetine etkisi
- Şekil-22 : Katkisız haldeki çökmesi 2.5 cm olan 300 çimento dozaj katkisız ve katkılı betonlarda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-23 : Katkisız haldeki çökmesi 5 cm olan 300 çimento dozajlı katkisız ve katkılı betonlarda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-24 : Katkisız haldeki çökmesi 7.5 cm olan 300 çimento dozajlı katkisız ve katkılı betonlarda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-25 : Katkisız haldeki çökmesi 10 cm olan 300 çimento dozajlı katkisız ve katkılı betonlarda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-26 : Katkisız haldeki çökmesi 12.5 cm olan 300 çimento dozajlı katkisız ve katkılı betonlarda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-27 : 300 çimento dozajlı akıcı kıvamlı betonlarda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-28 : 350 çimento dozajlı akıcı kıvamlı betonlarda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-29 : 400 çimento dozajlı akıcı kıvamlı betonlarda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-30 : 500 çimento dozajlı akıcı kıvamlı betonlarda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-31 : Katkisız plastik kıvamlı çeşitli betonlarda çimento dozajına bağlı olarak zamanla oluşan işlenebilirlik kaybı
- Şekil-32 : Katkisız akıcı kıvamlı çeşitli betonlarda çimento dozajına bağlı olarak zamanla oluşan işlenebilirlik kaybı
- Şekil-33 : Katkılı akıcı kıvamlı çeşitli betonlarda çimento dozajına bağlı olarak zamanla oluşan işlenebilirlik kaybı (M katkılı)
- Şekil-34 : Katkılı akıcı kıvamlı çeşitli betonlarda çimento dozajına bağlı olarak zamanla oluşan işlenebilirlik kaybı (N katkılı)
- Şekil-35 : 300 çimento dozajlı katkisız plastik kıvamlı betonda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı

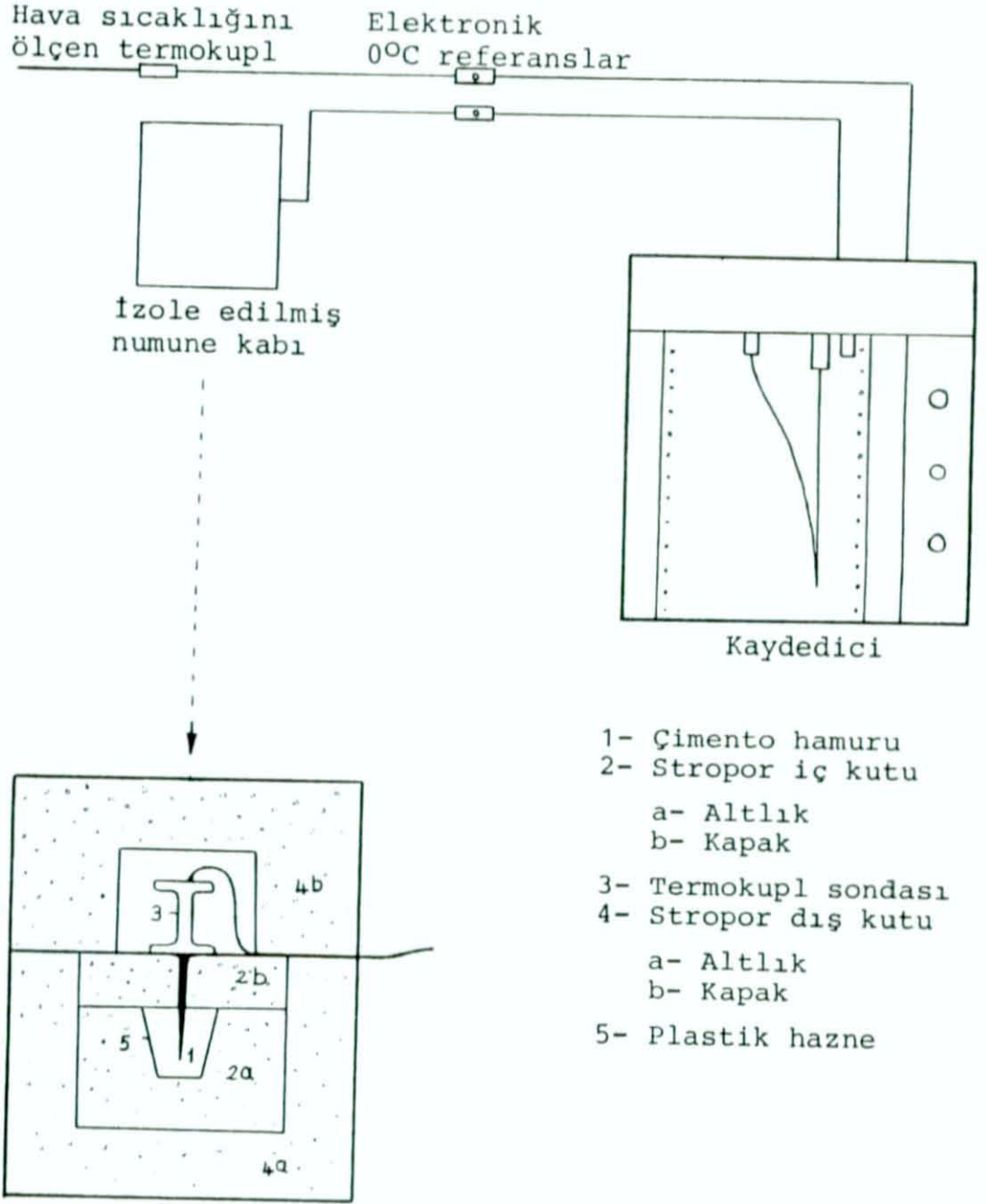
- Şekil-36 : 350 çimento dozajlı katkısız plastik kıvamlı betonda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-37 : 400 çimento dozajlı plastik kıvamlı betonlarda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-38 : 500 çimento dozajlı katkısız plastik kıvamlı betonda zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-39 : Farklı granülometrideki agregalarla 300 çimento dozajında plastik ve akıcı kıvamda katkısız üretilmiş betonların zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-40 : Farklı granülometrideki agregalarla 300 çimento dozajında akıcı kıvamda üretilmiş katkılı betonların zamana bağlı işlenebilirlik kaybı
- Şekil-41 : Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin akıcı kıvamlı betonların mukavemetine etkisi
- Şekil-42 : Akıcı katkılı ve katkısız üretilen betonlarda çimento dozajı mukavemet ilişkisi
- Şekil-43 : Plastik kıvamda katkılı ve katkısız üretilen betonlarda çimento dozajı mukavemet ilişkisi
- Şekil-44 : Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin su indirgeme etkisiyle akıcı kıvamdaki betonlarda sağlanan mukavemet artışı
- Şekil-45 : Süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin su indirgeme etkisiyle plastik kıvamdaki betonlarda sağlanan mukavemet artışı



Şekil:1- Otomatik priz ölçme aleti

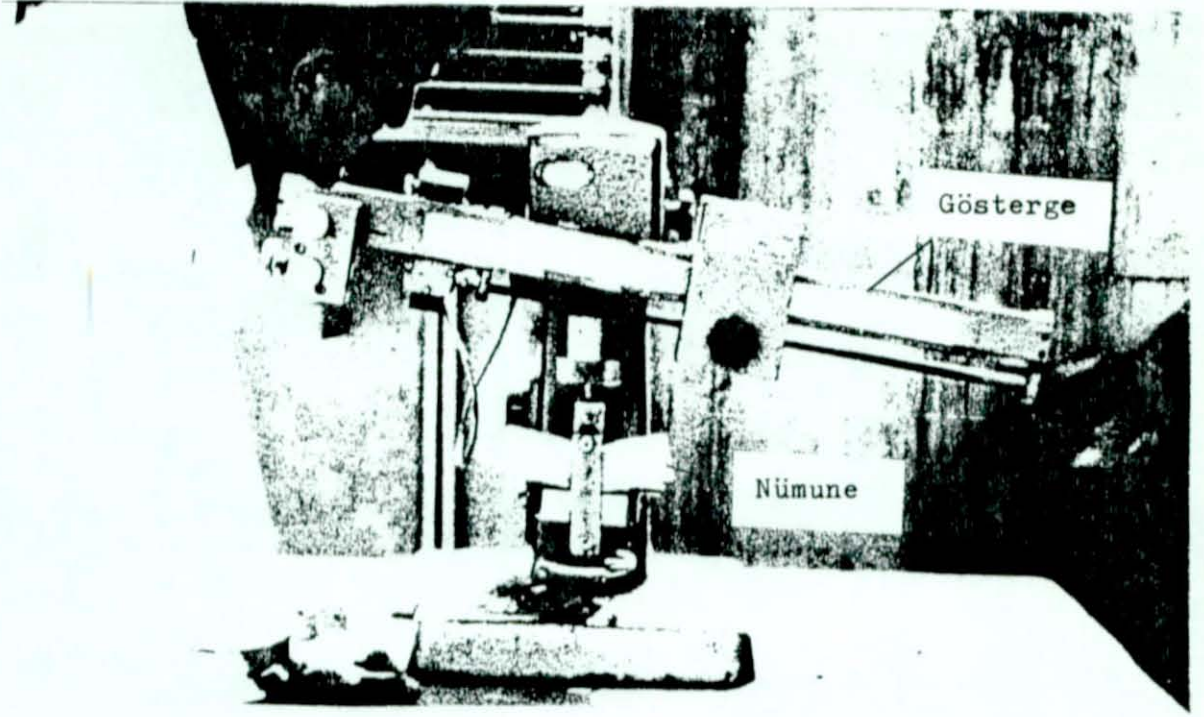


Alette kaydedilen priz sürelerinin bir örneği (İskenderun CC325)

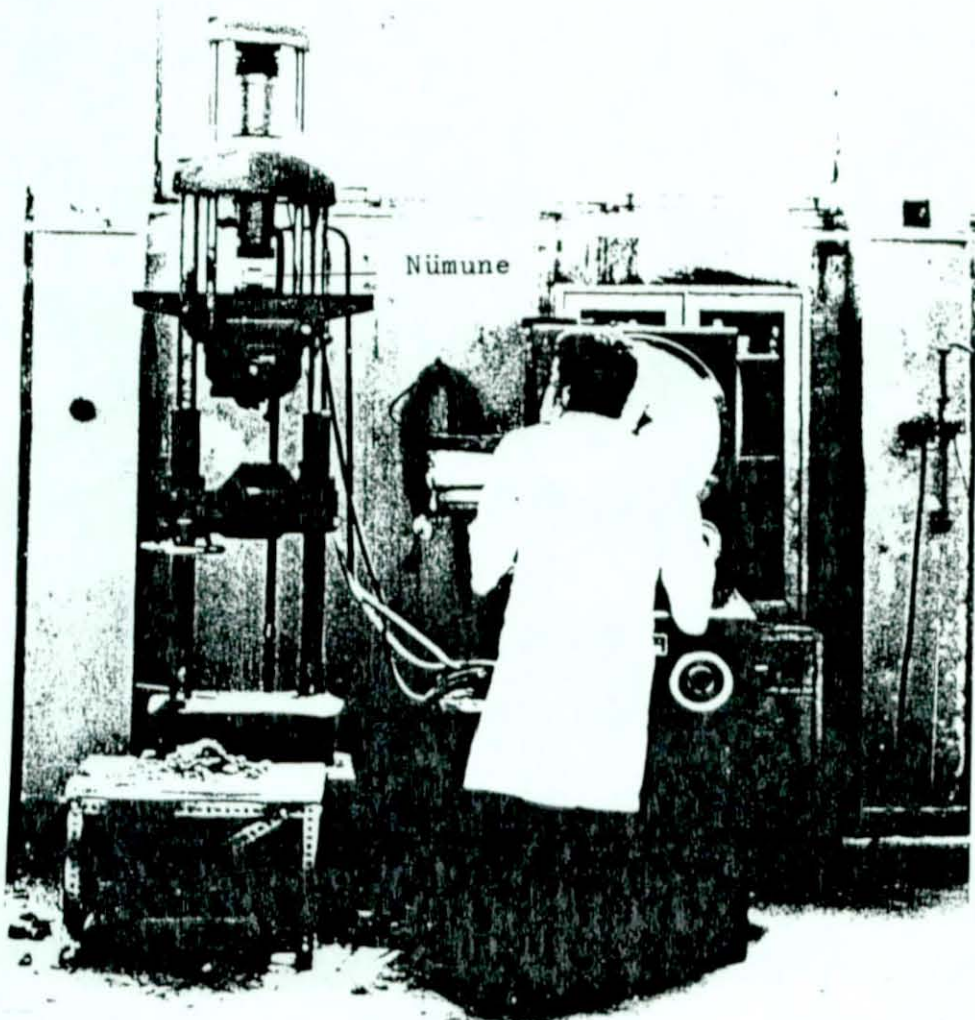


Şekil- 2

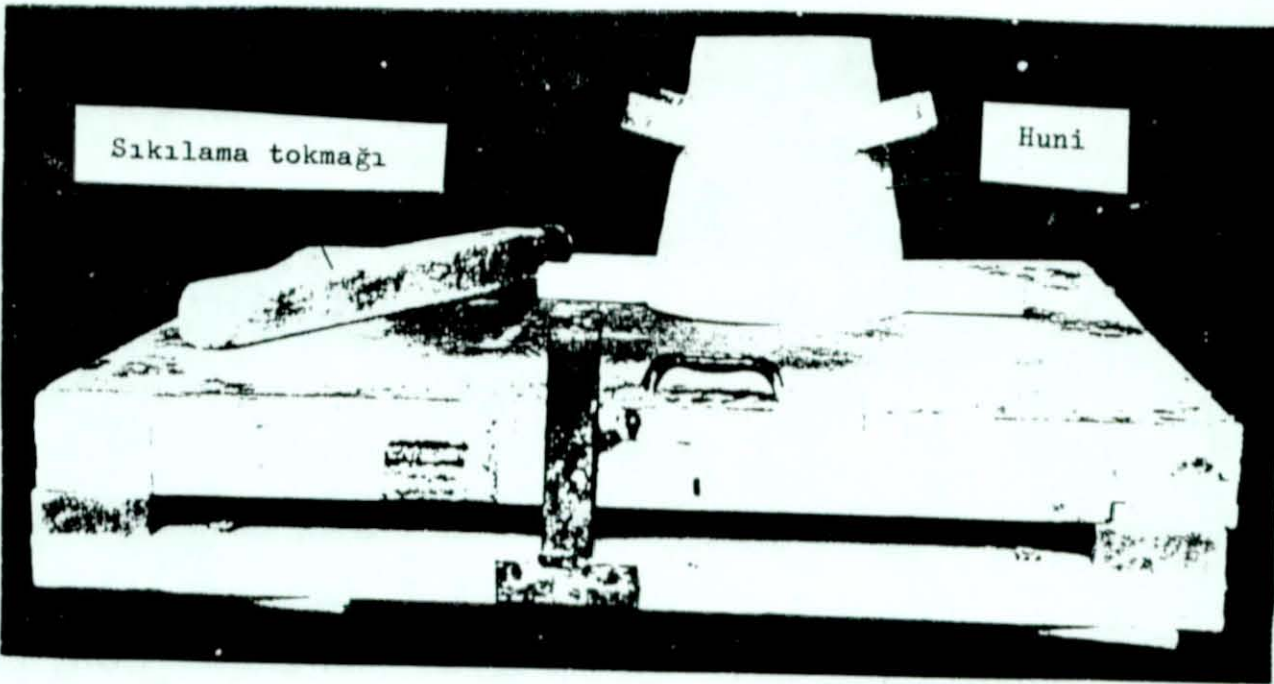
Hidratasyon sıcaklığı ölçme sistemi



Şekil:3- Eğilme deneyi aleti



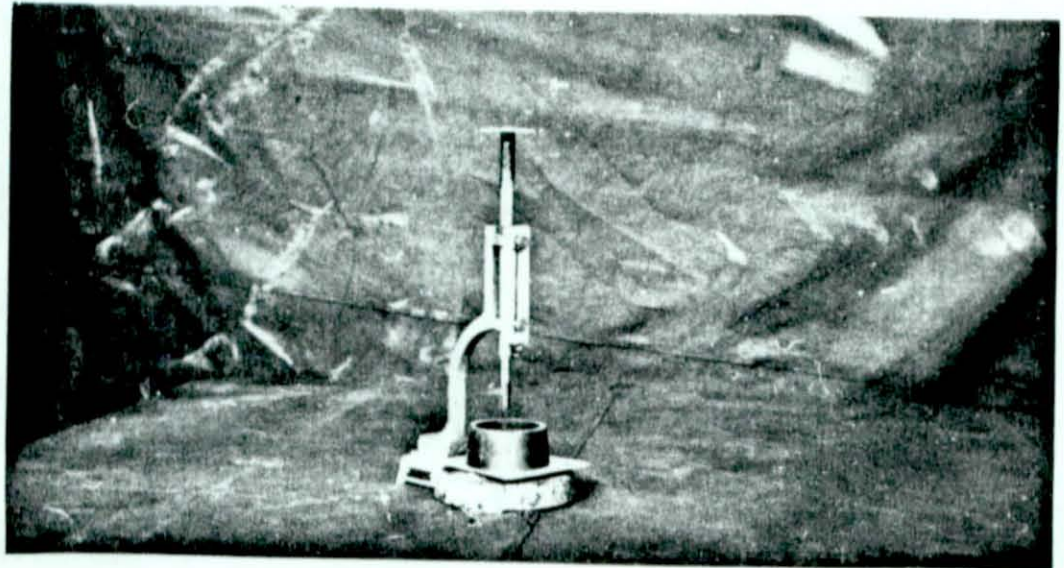
Şekil:4- Basınç deneyi aleti



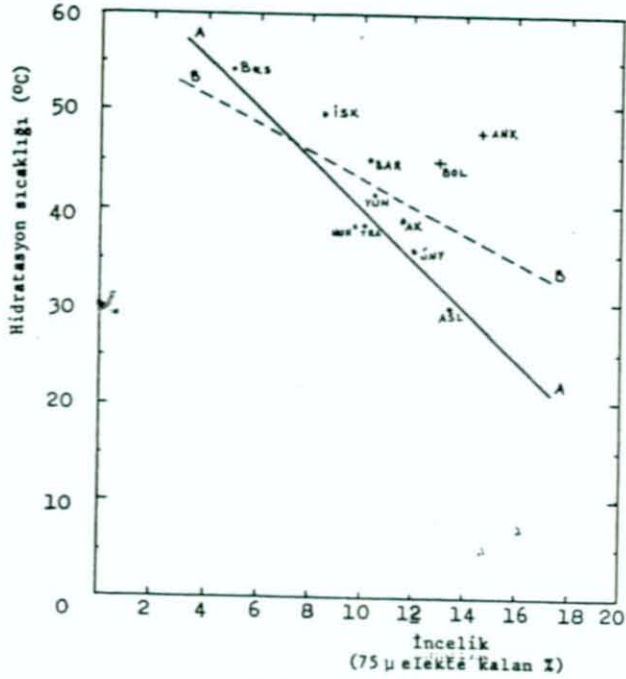
Şekil:5- Sarsma tablası deneyi aleti



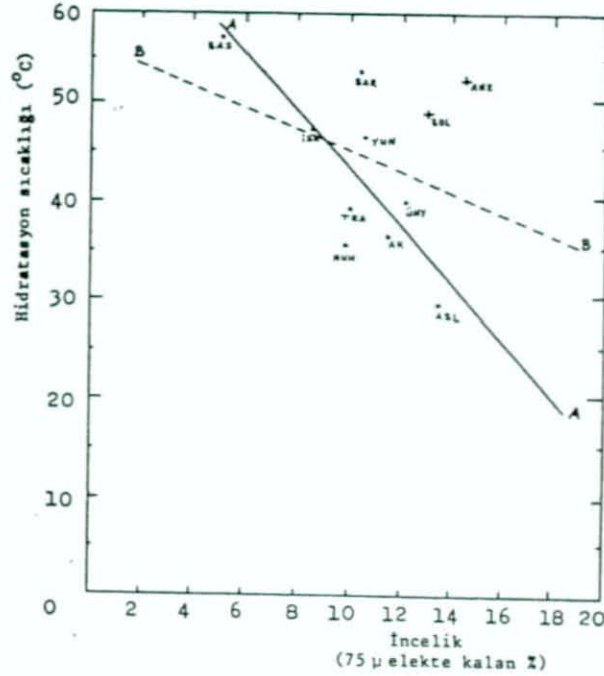
Şekil:6- İncelik deneyi için elek sistemi



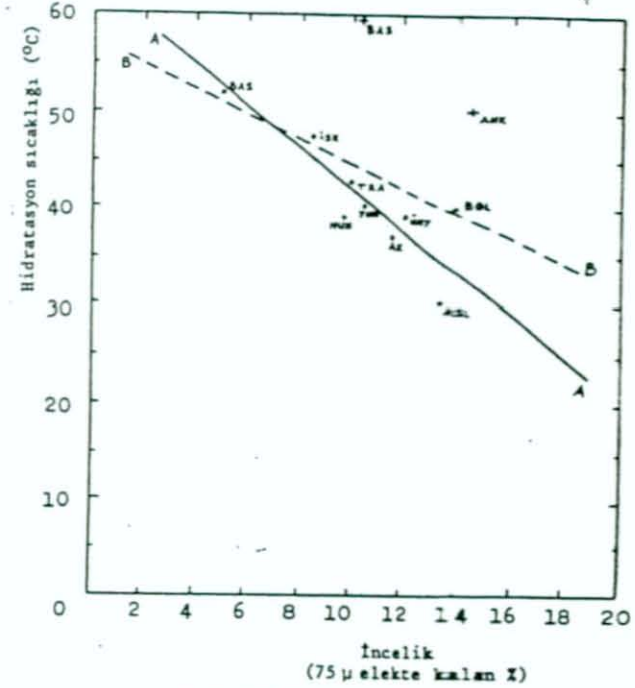
Şekil:7- Vicat sondası



a- Katkısız çimentolarda



b- M türü katkıli çimentolarda

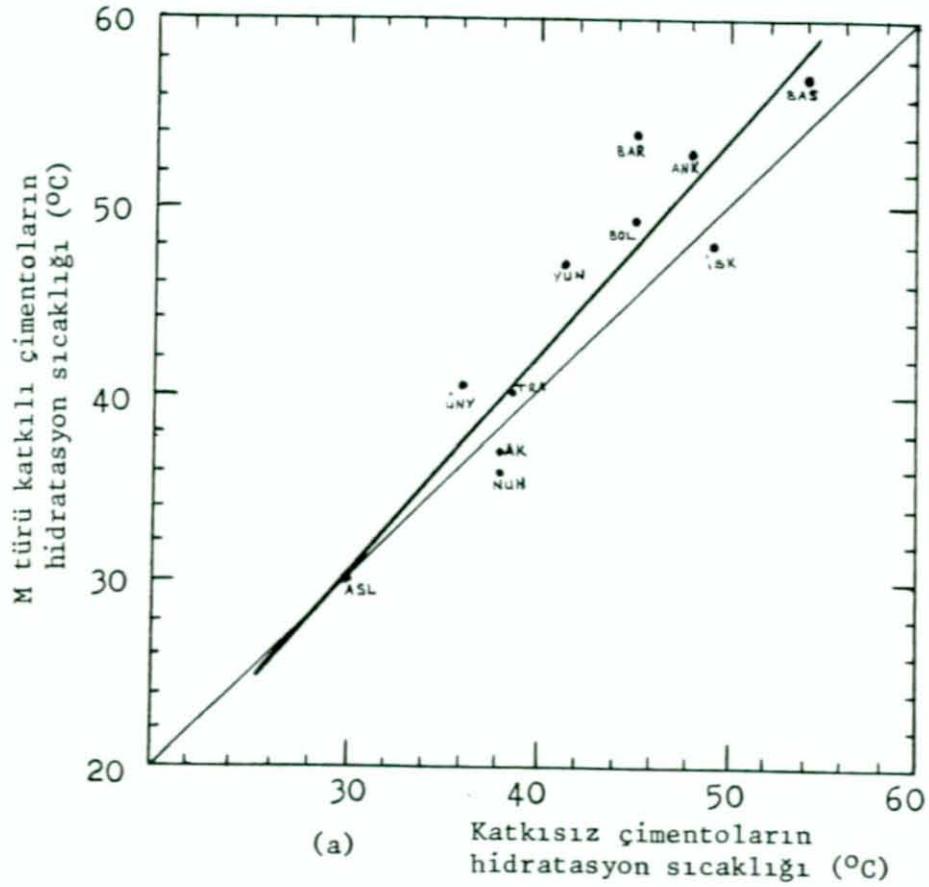


c- N türü katkıli çimentolarda

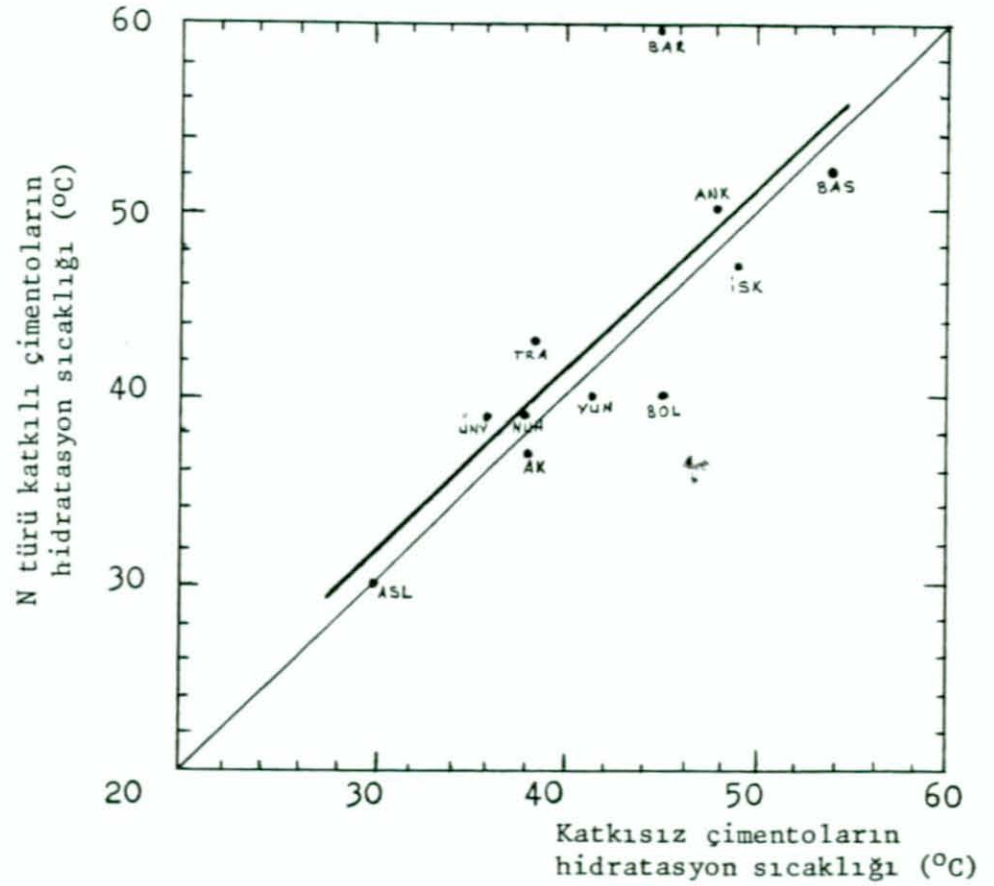
- - - ayıklanmamış
— ayıklanmış

+ ayıklanmış değerler

Şekil:8- Çimento İnceliği - Hidratasyon Sıcaklığı İlişkisi



a- M türü katkının etkisi

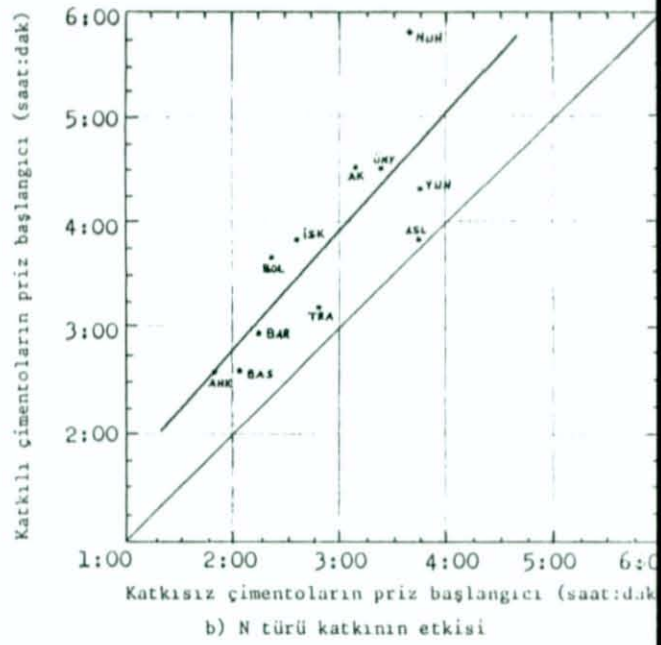
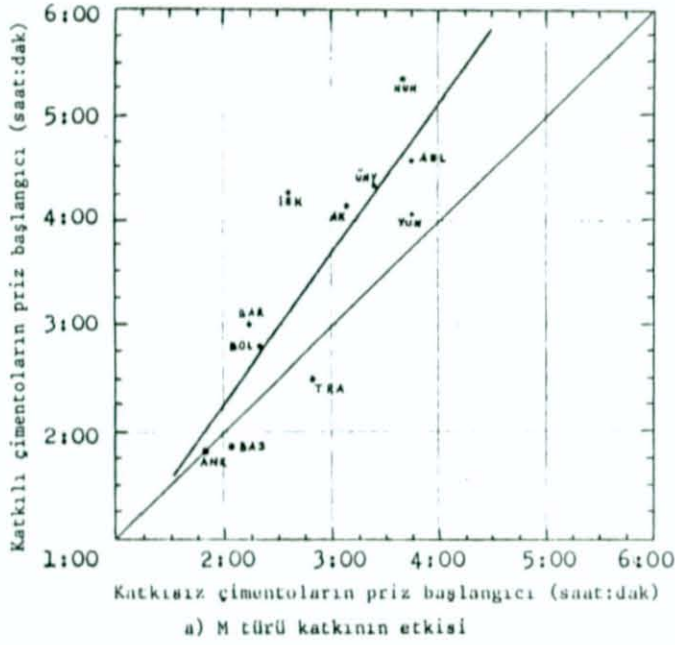


b- N türü katkının etkisi

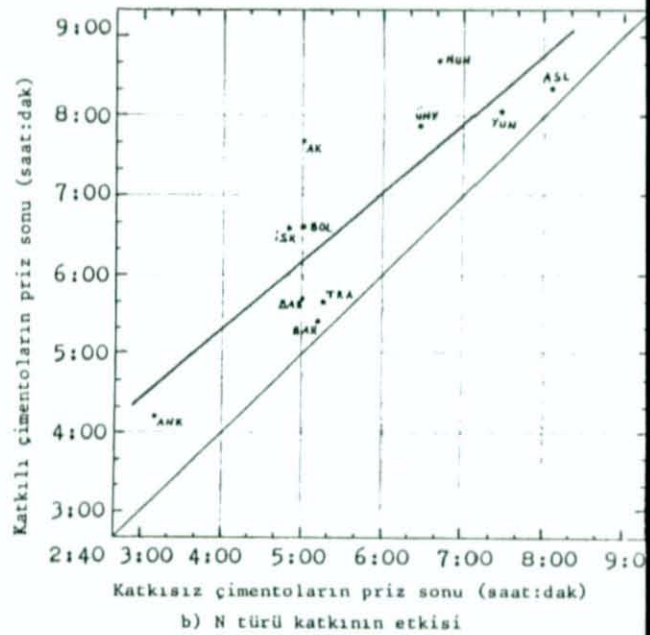
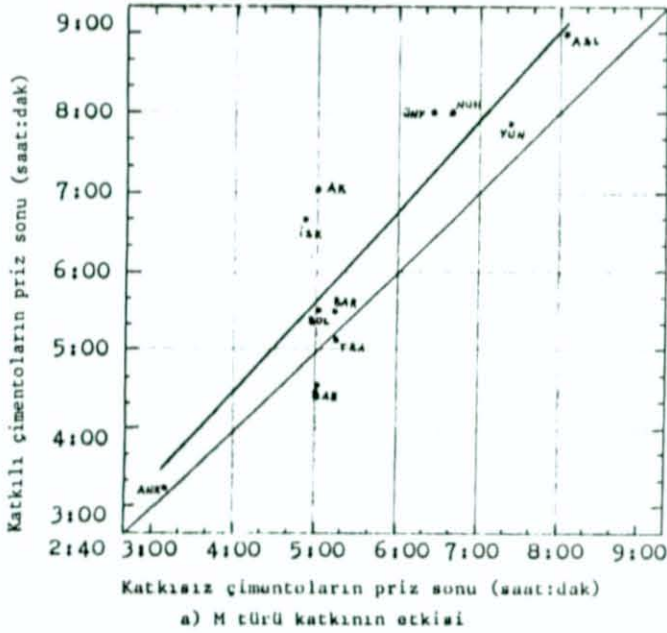
Şekil-9: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların Hidrasyon Sıcaklığına Etkisi

ÇİMENTO	TÜR	PRİZ SÜRELERİ (dakika)									
		60	120	180	240	300	360	420	480	540	
TRABZON TÇ 325	K										
	M										
	N										
İSKENDERUN CÇ 325	K										
	M										
	N										
BOLU CÇ 325	K										
	M										
	N										
YUNUS KPÇ 325	K										
	M										
	N										
ANKARA KPÇ 325	K										
	M										
	N										
AK KPÇ 325	K										
	M										
	N										
NUH KPÇ 325	K										
	M										
	N										
ÜNYE KPÇ 325	K										
	M										
	N										
ASLAN KPÇ 325	K										
	M										
	N										
BARTIN KPÇ 325	K										
	M										
	N										
BASTAŞ KPÇ 325	K										
	M										
	N										

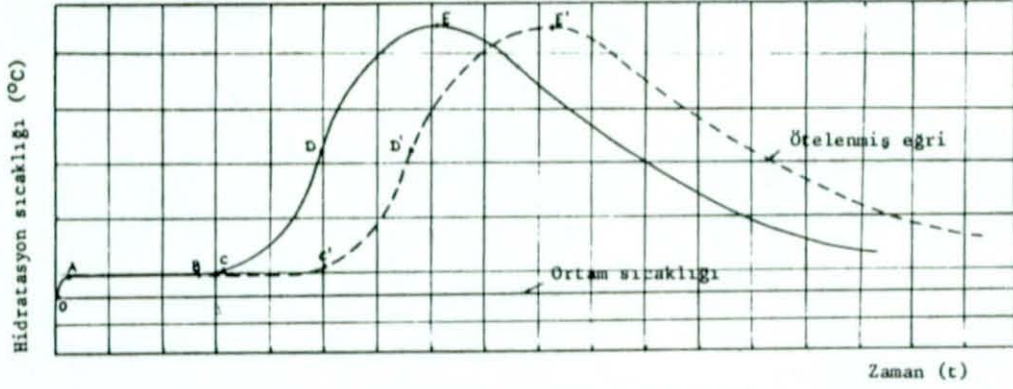
Şekil:10- Çimento priz süreleri



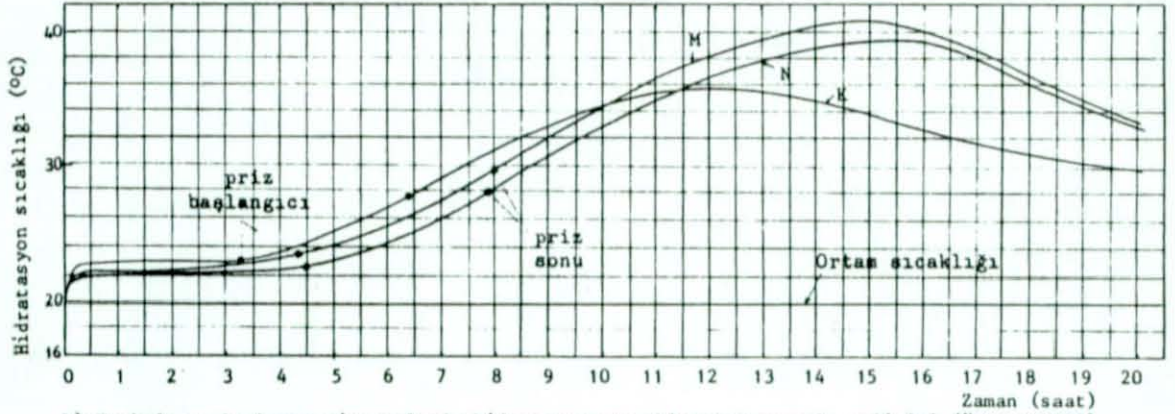
Şekil-11: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların Priz Bağlama Süresine Etkisi



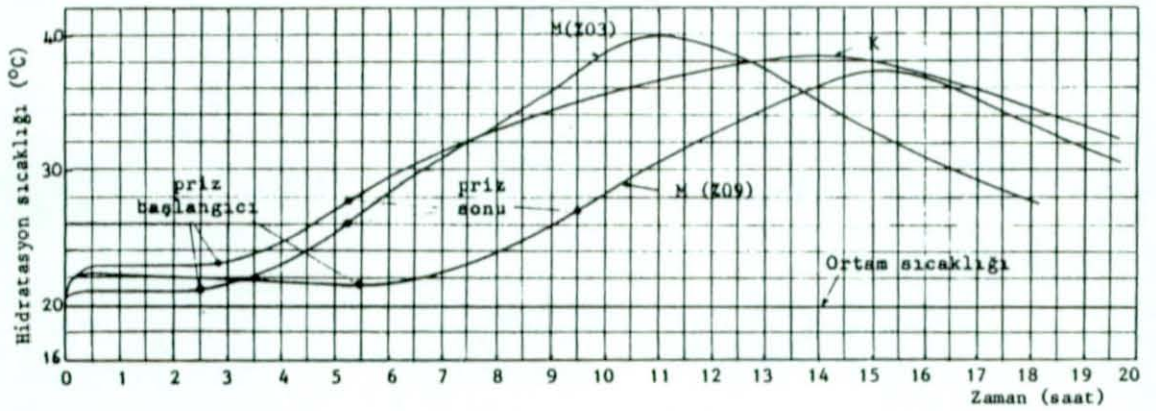
Şekil-12: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların Priz Sonu Süresine Etkisi



a) Hidratasyon sıcaklığının zamanla gelişiminin şematik gösterilişi

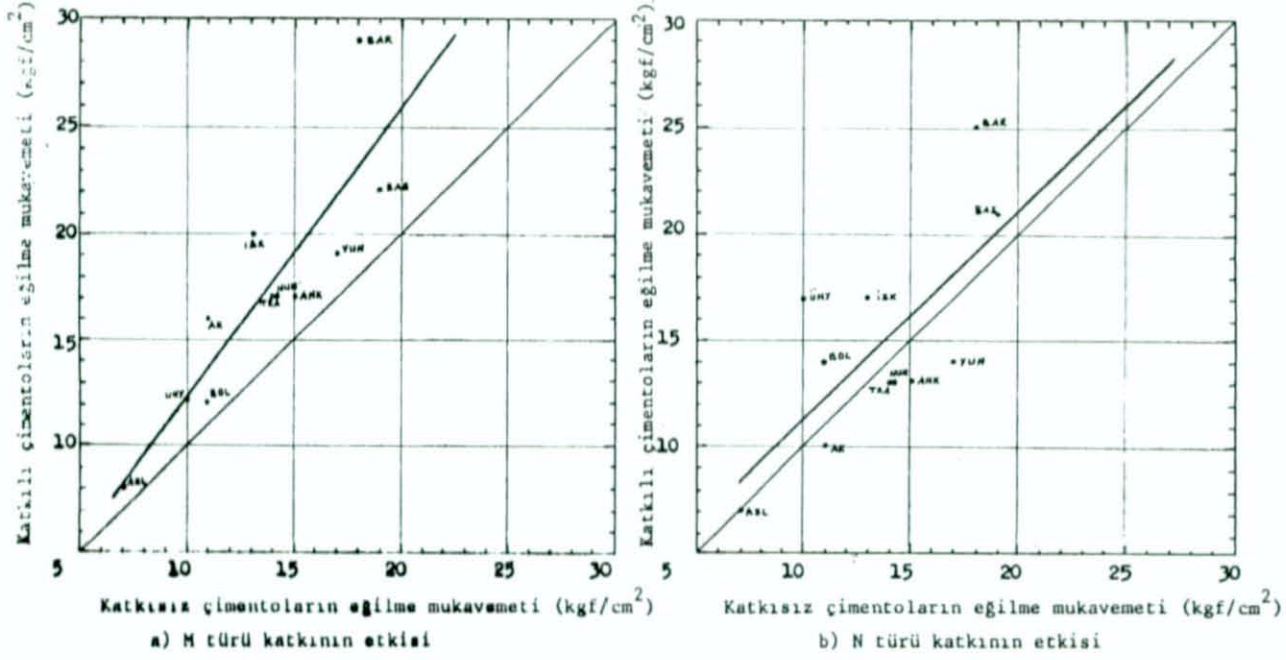


b) Katkılı ve katkısız çimentolarda hidratasyon sıcaklığının zamanla gelişimi (Unye-KPÇ325)

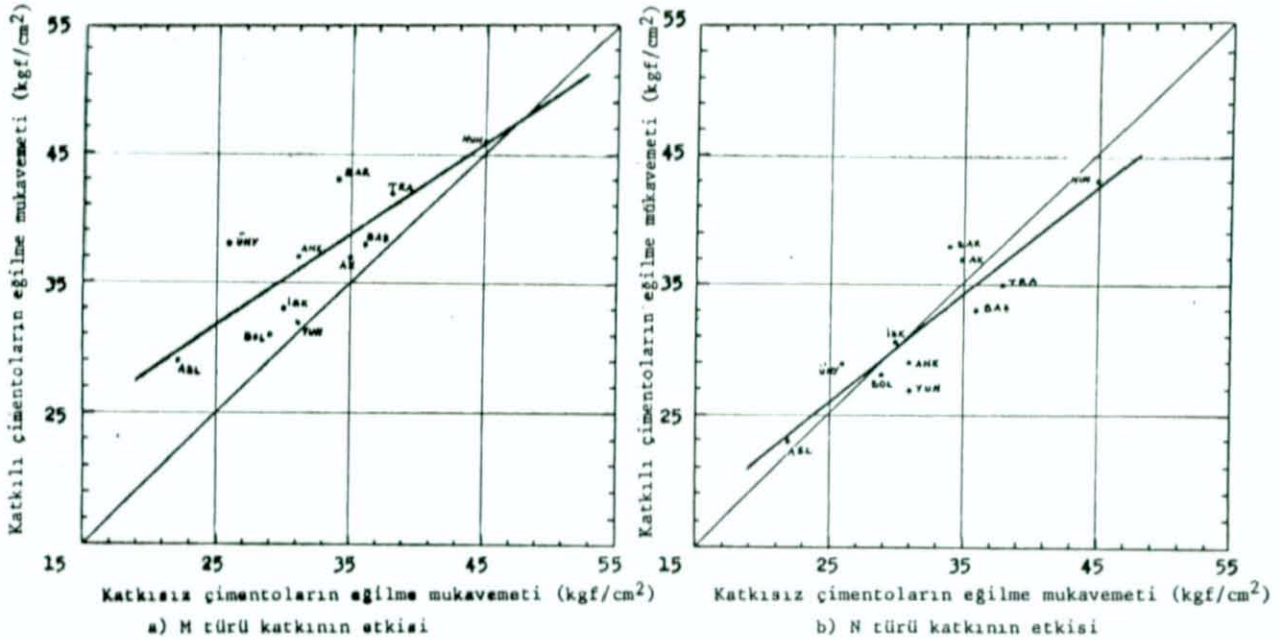


c) M türü katkı dozajının hidratasyon sıcaklığına etkisi (Trabzon-TÇ325)

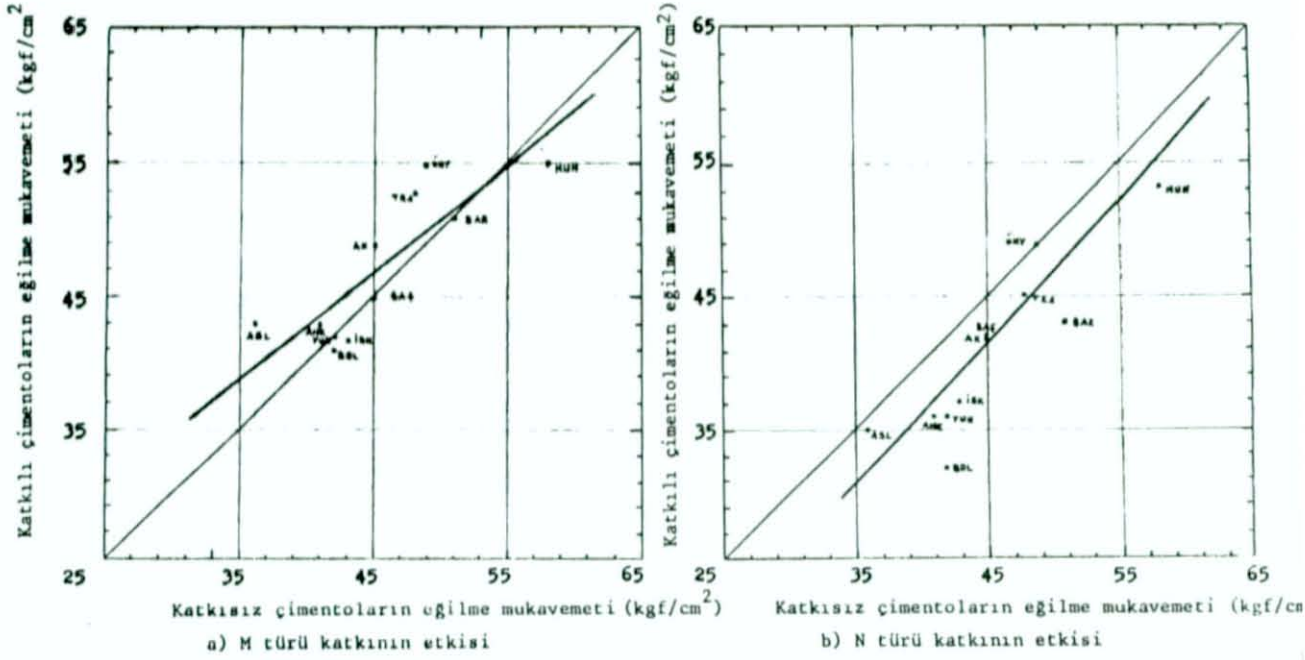
Şekil-13: Çimentolarda Hidratasyon Sıcaklığının Zamanla Gelişimi



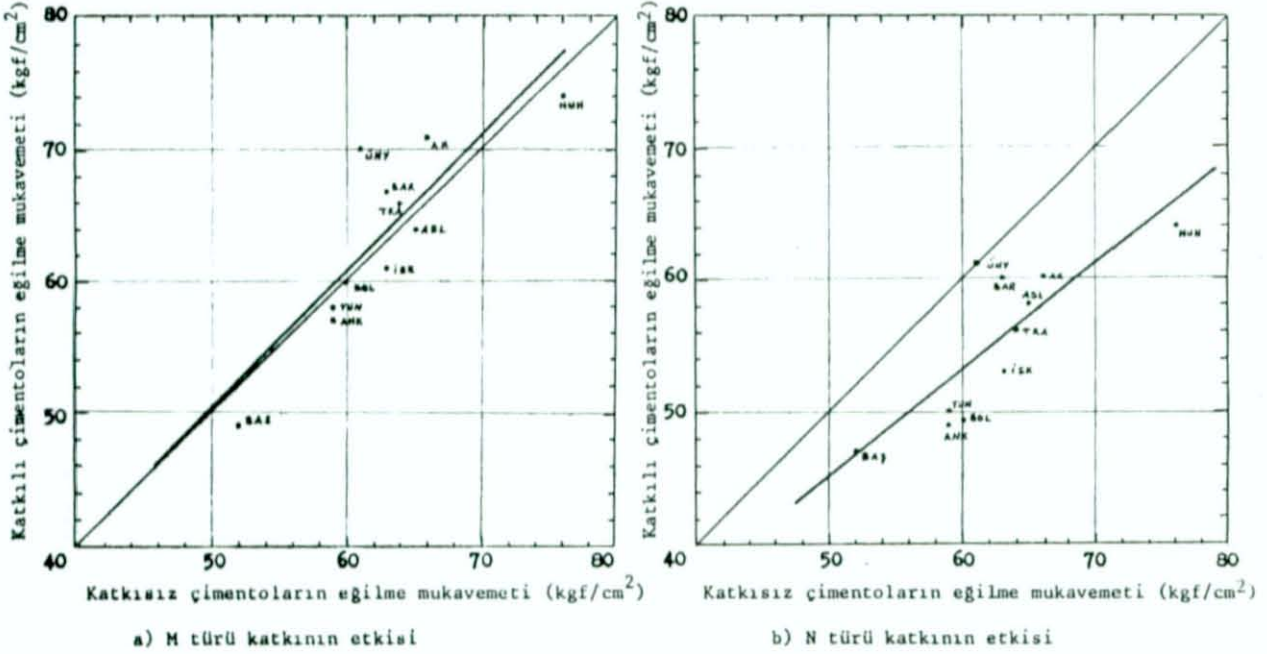
Şekil-14: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların 1 Günlük Eğilme Mukavemetine Etkisi



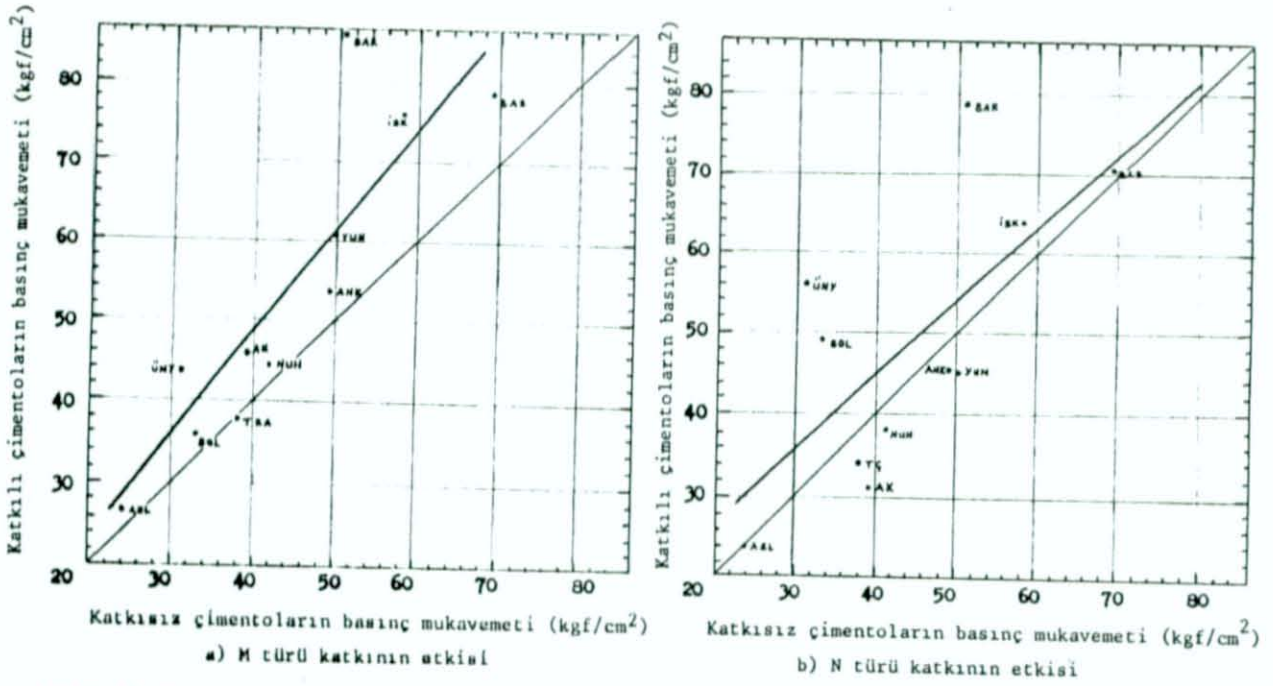
Şekil-15: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların 3 Günlük Eğilme Mukavemetine Etkisi



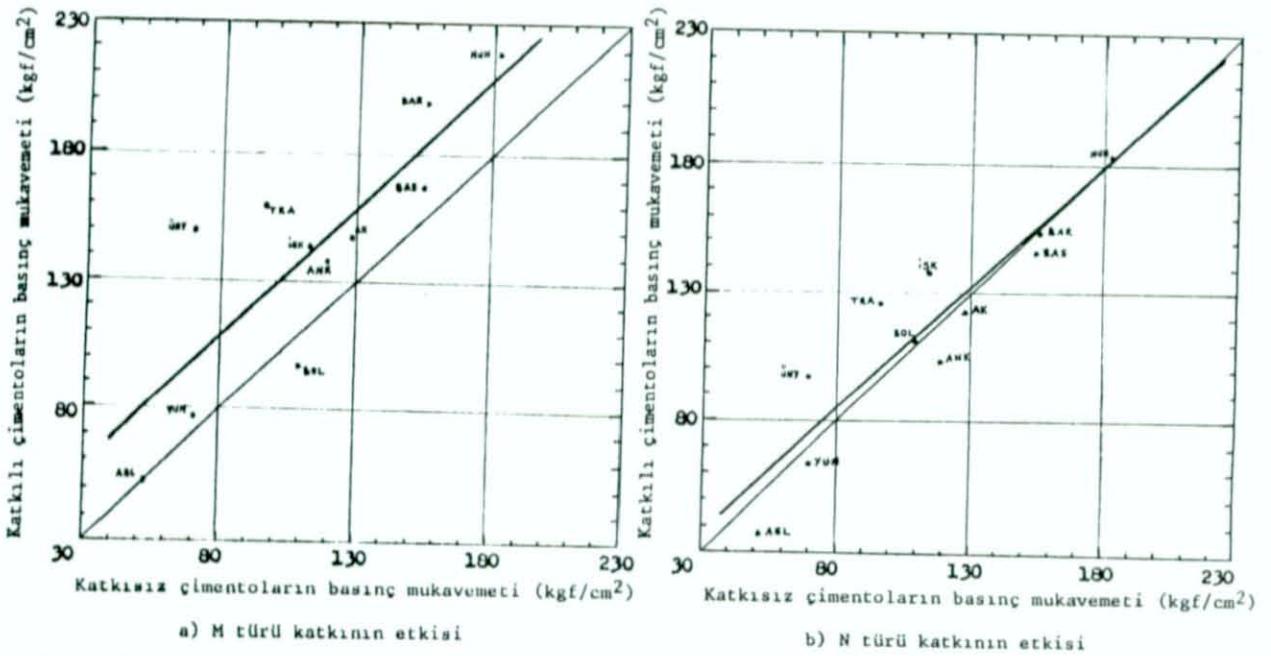
Şekil-16: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların 7 Günlük Eğilme Mukavemetine Etkisi



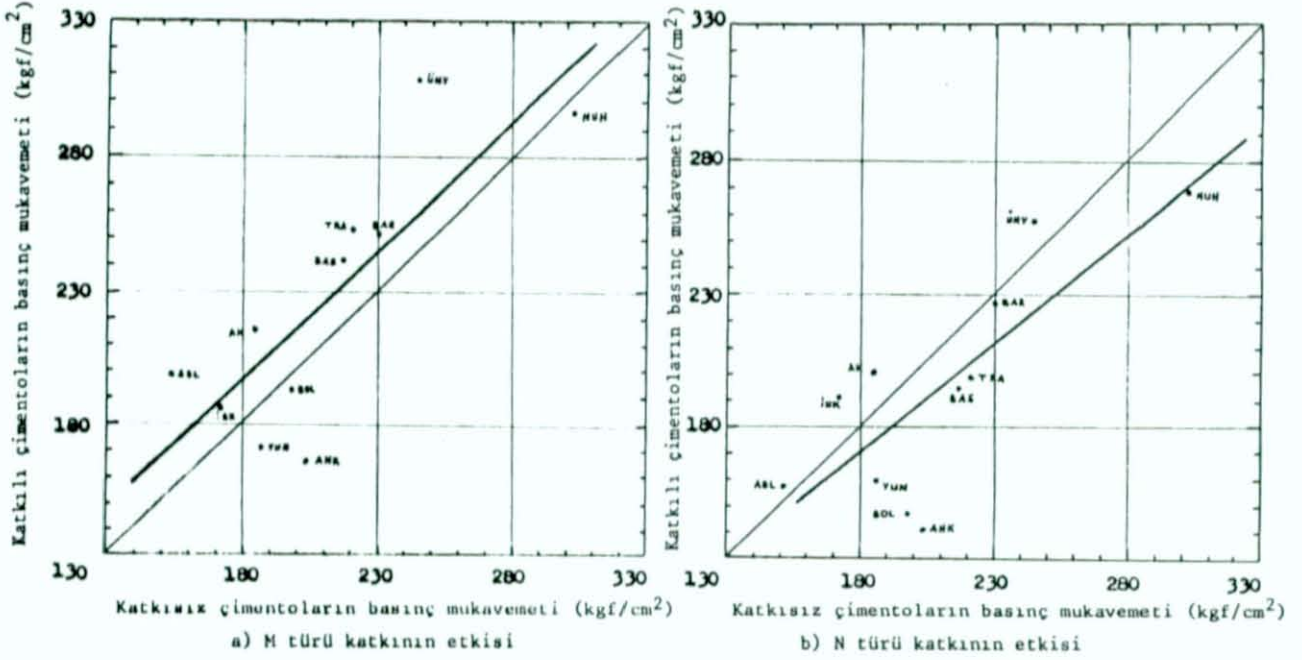
Şekil-17: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların 28 Günlük Eğilme Mukavemetine Etkisi



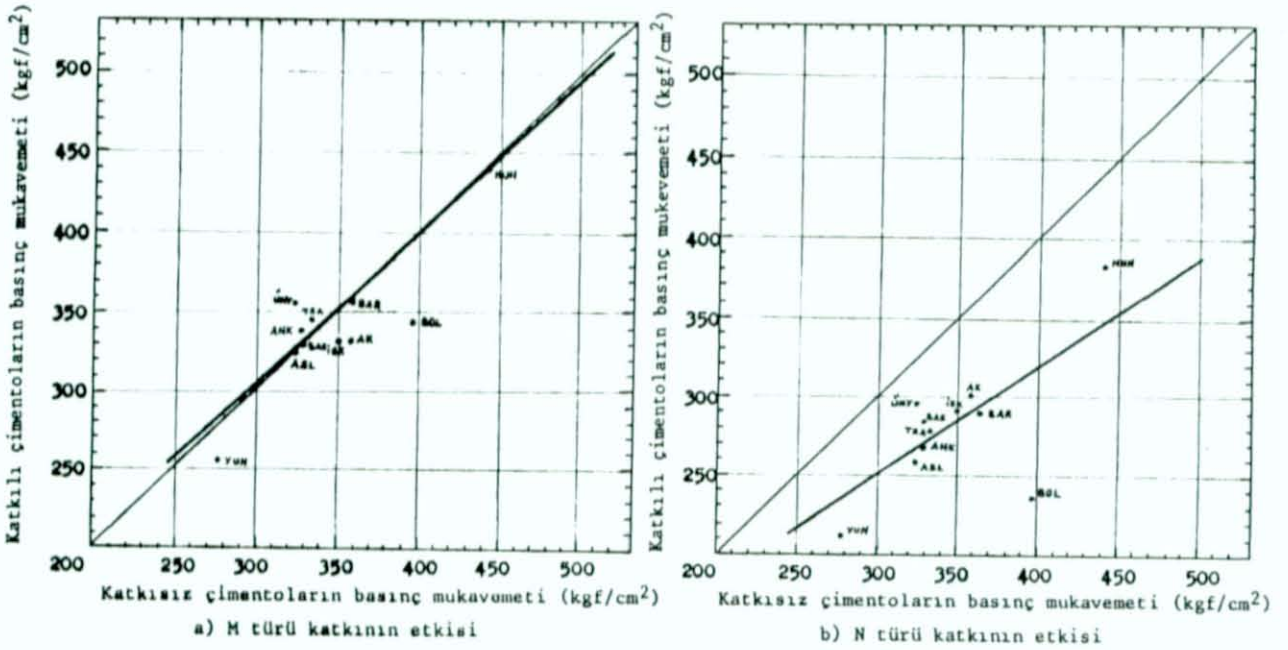
Şekil-18: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların 1 Günlük Basınç Mukavemetine Etkisi



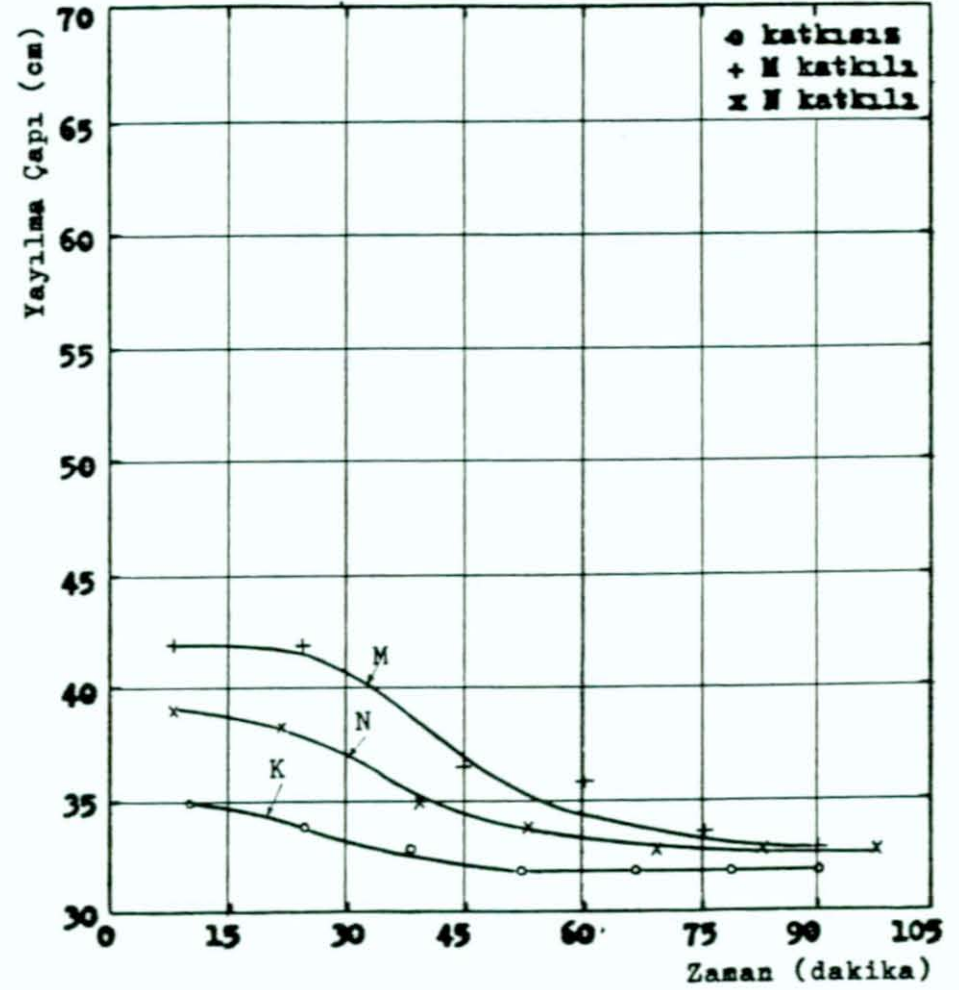
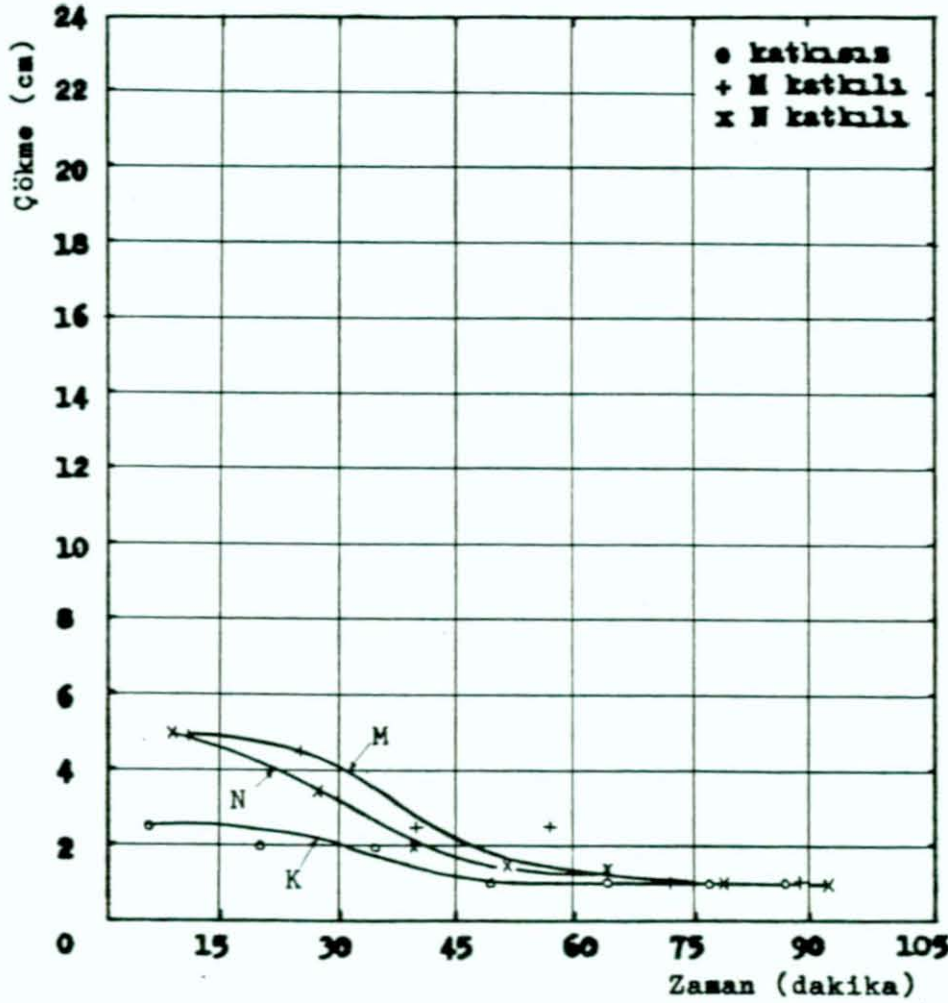
Şekil-19: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların 3 Günlük Basınç Mukavemetine Etkisi



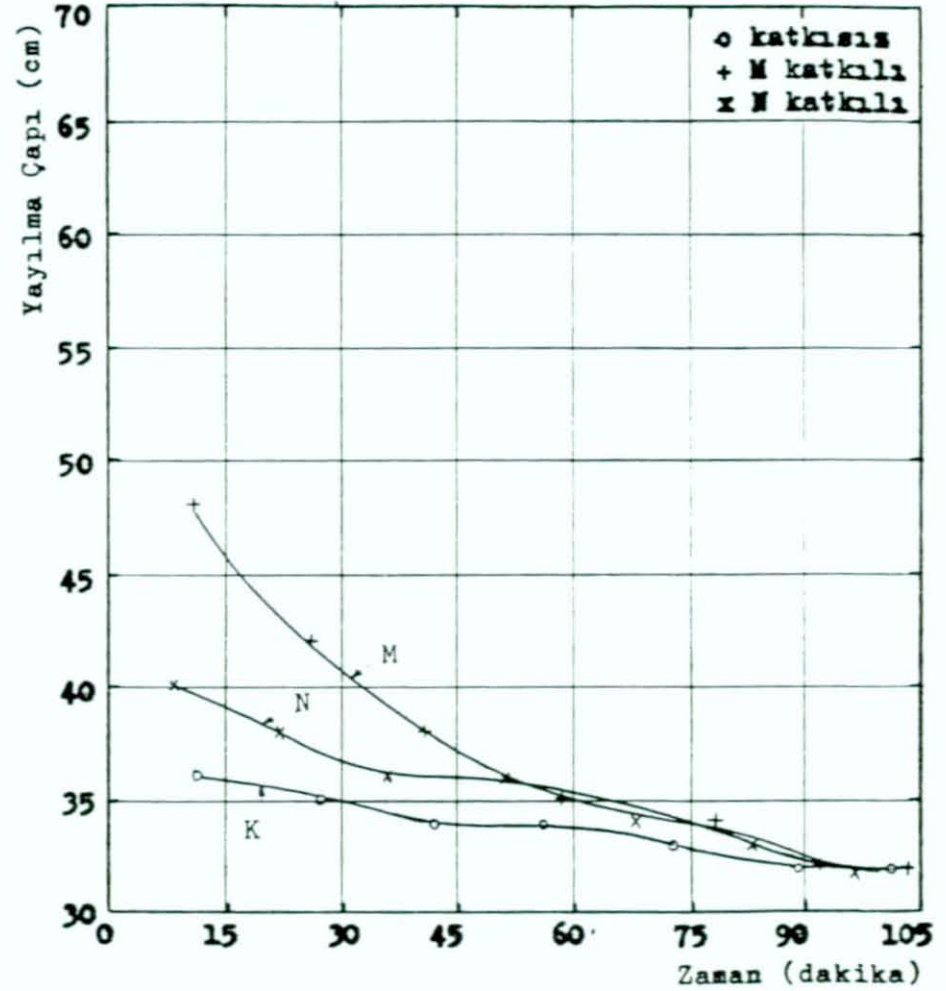
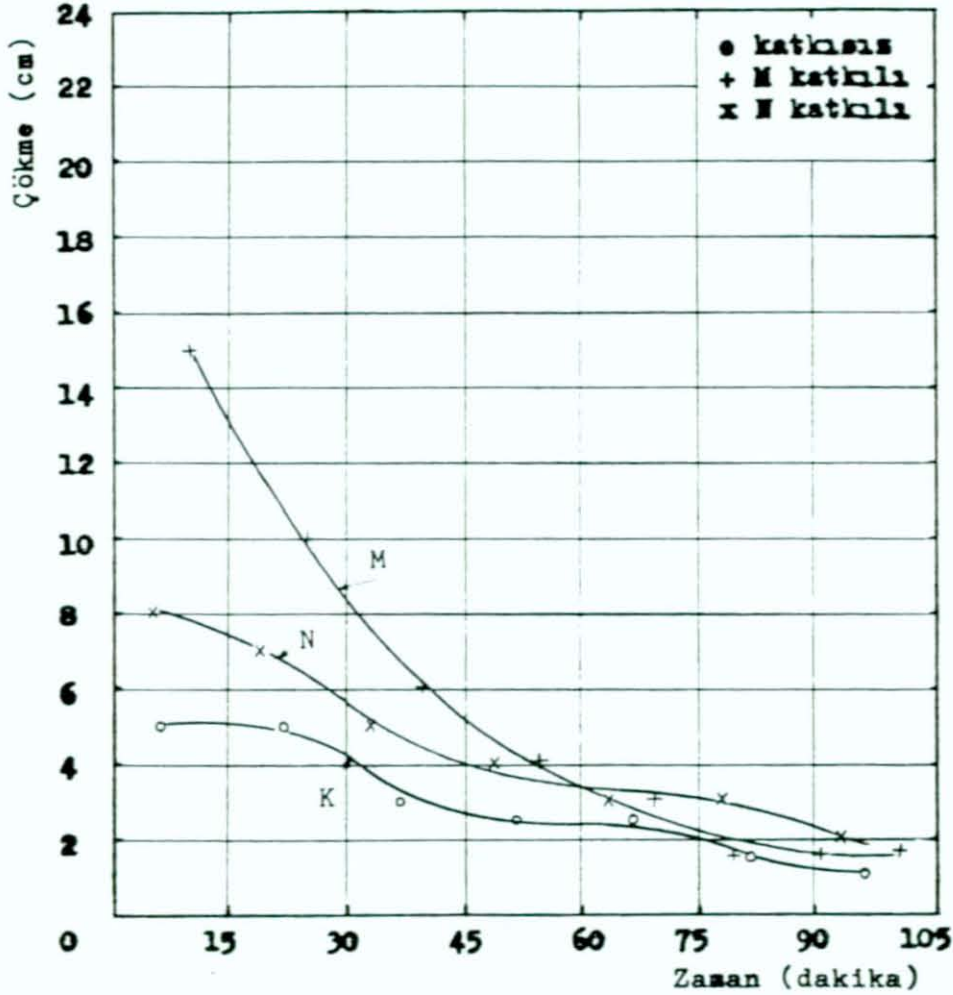
Şekil-20: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların 7 Günlük Basınç Mukavemetine Etkisi



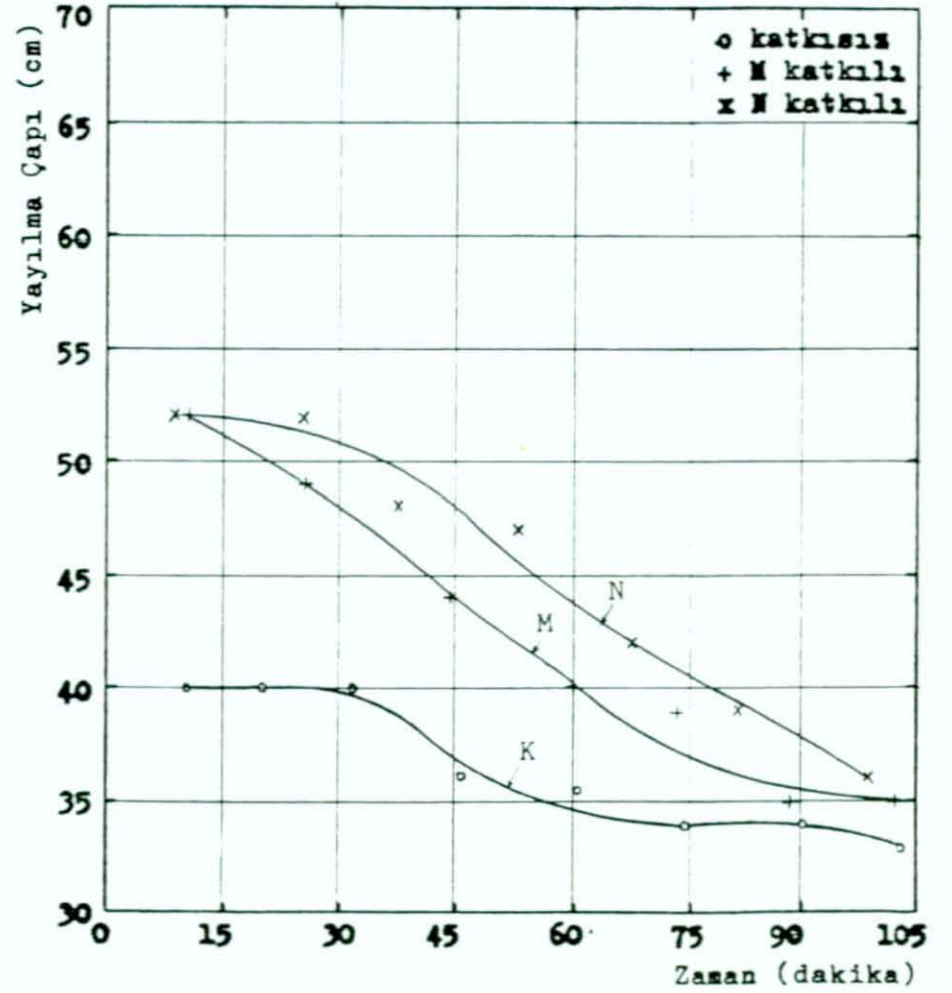
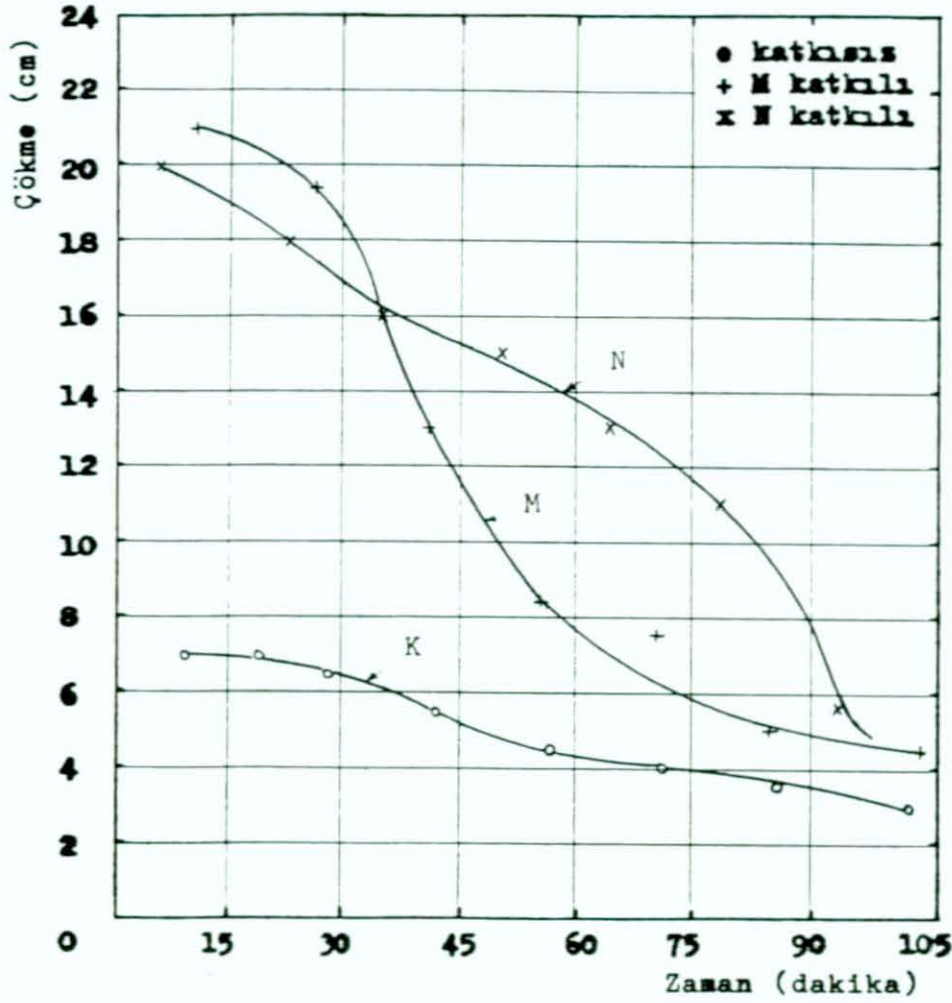
Şekil-21: Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Çimentoların 28 Günlük Basınç Mukavemetine Etkisi



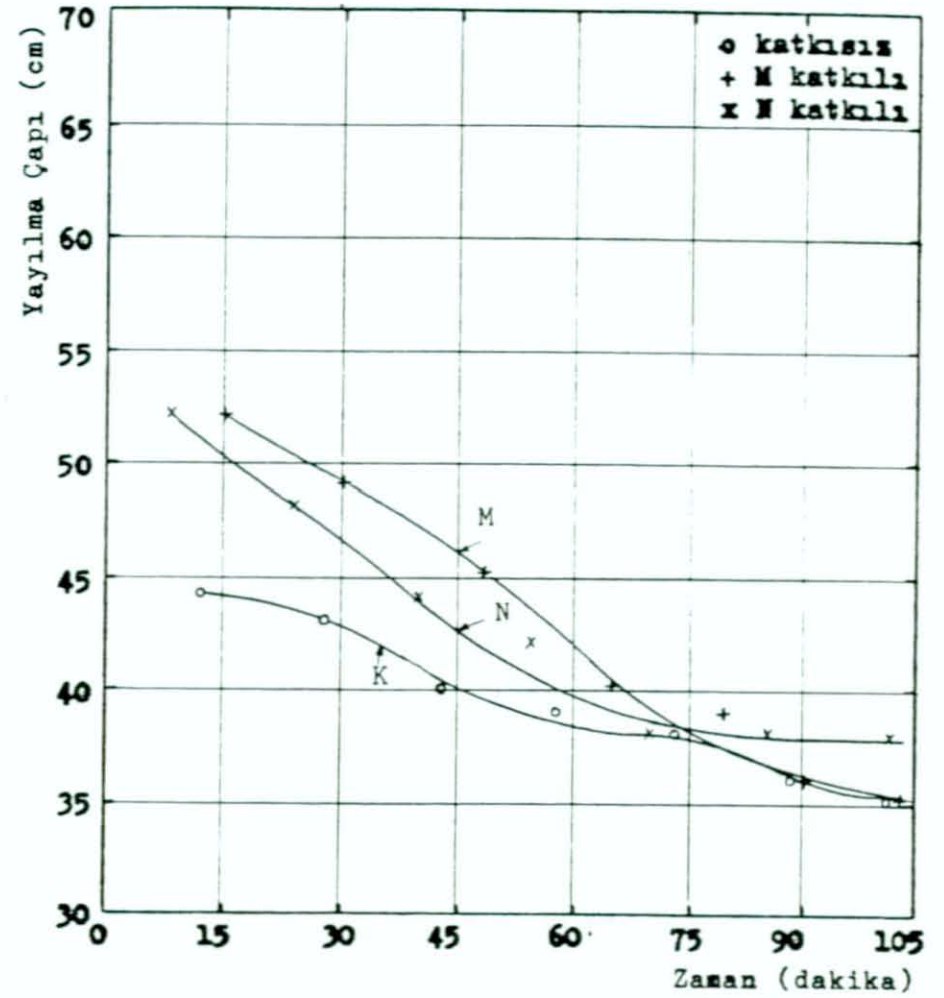
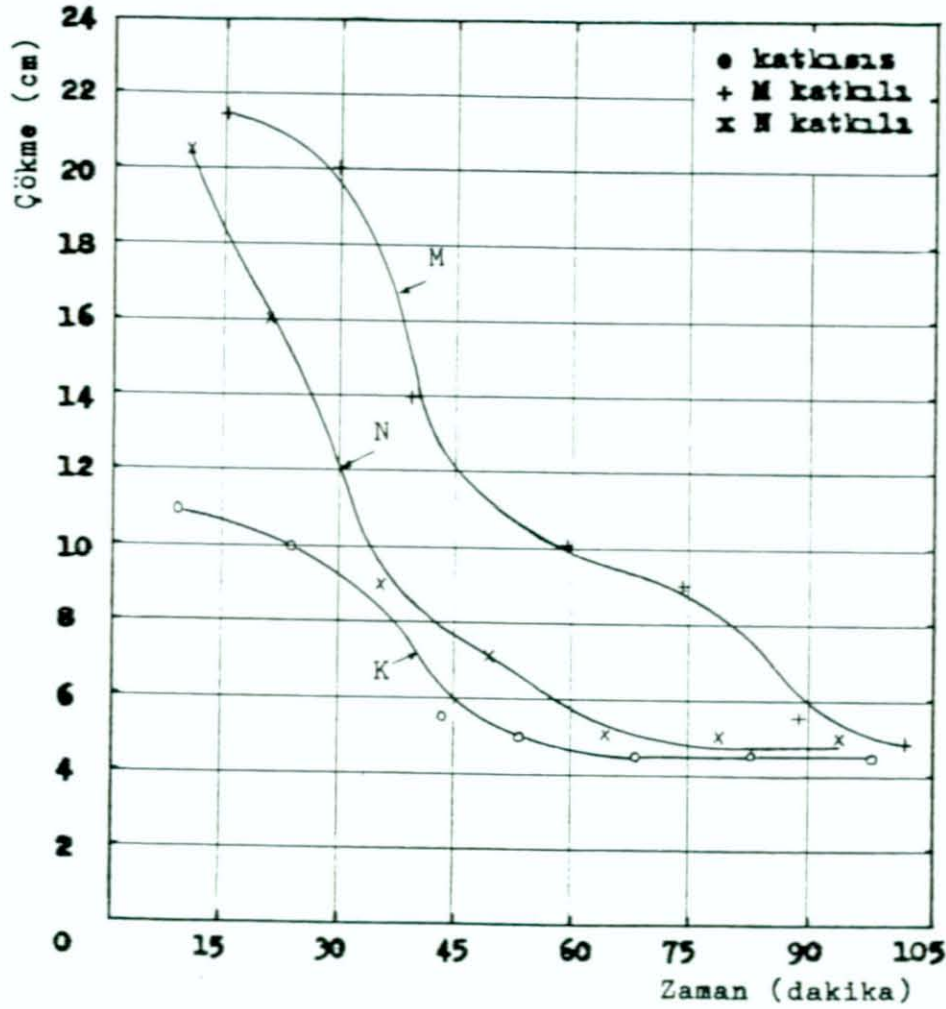
Şekil:22- Katkısız Haldeki Çökmesi 2.5 cm Olan 300 Çimento Dozajlı Katkısız ve Katkılı Betonlarda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



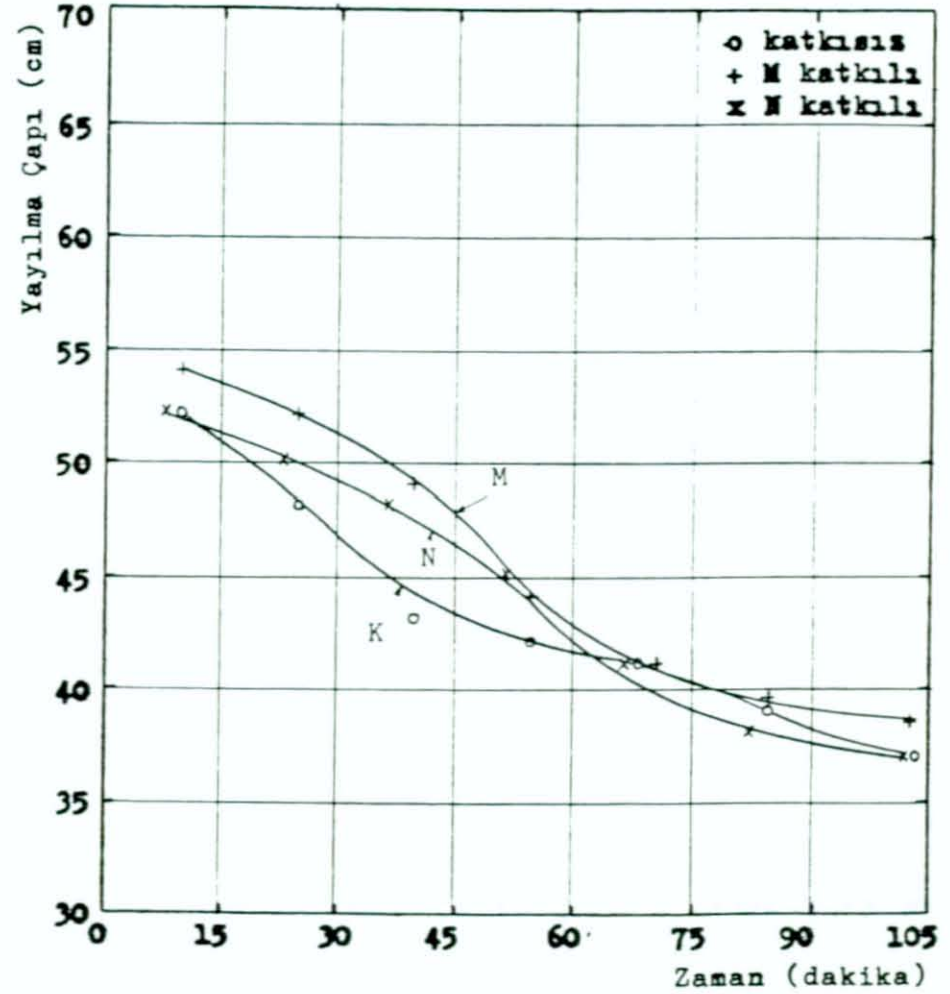
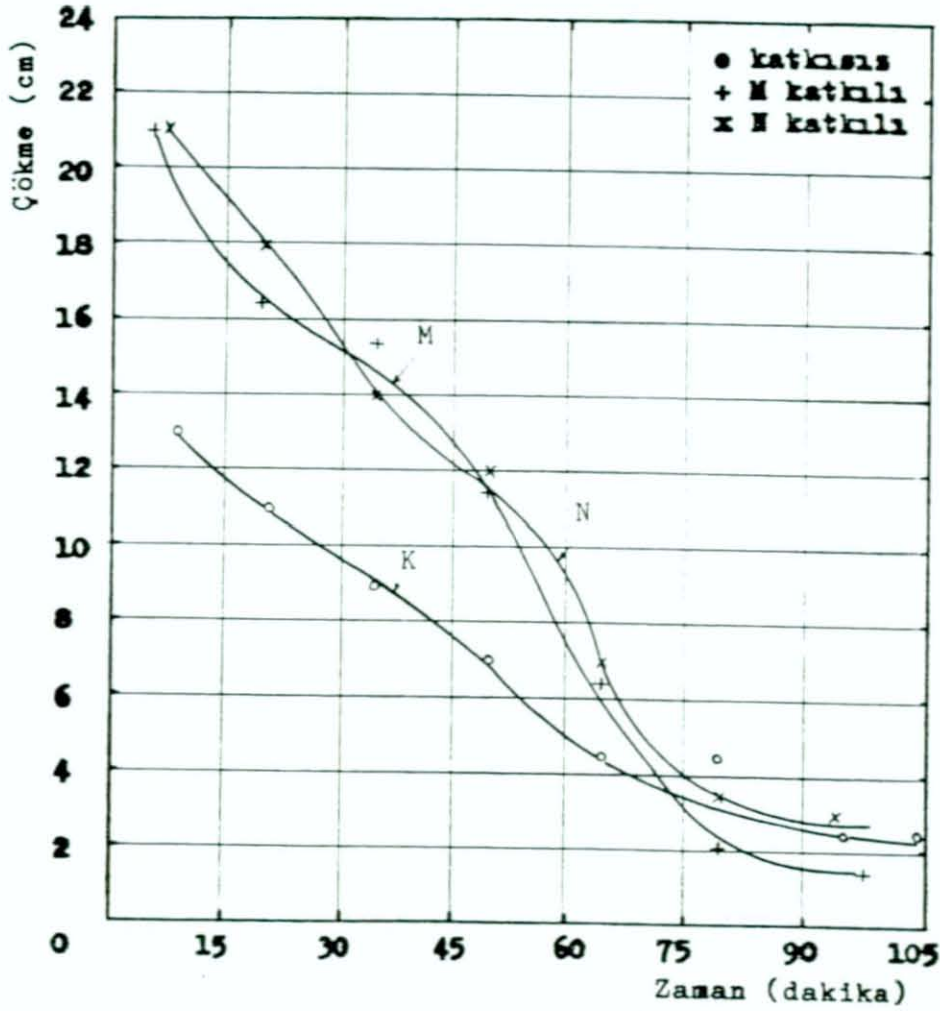
Şekil:23- Katkısız Haldeki Çökmesi 5 cm Olan 300 Çimento Dozajlı Katkısız ve Katkılı Betonlarda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



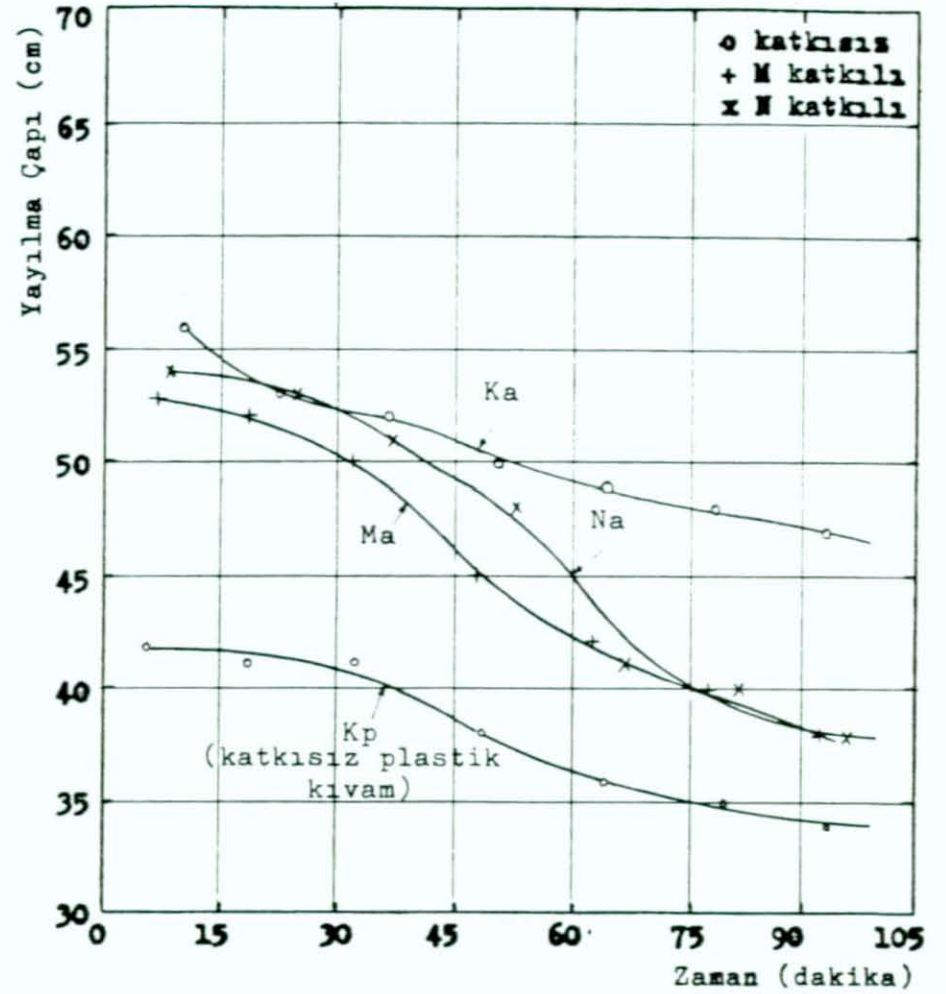
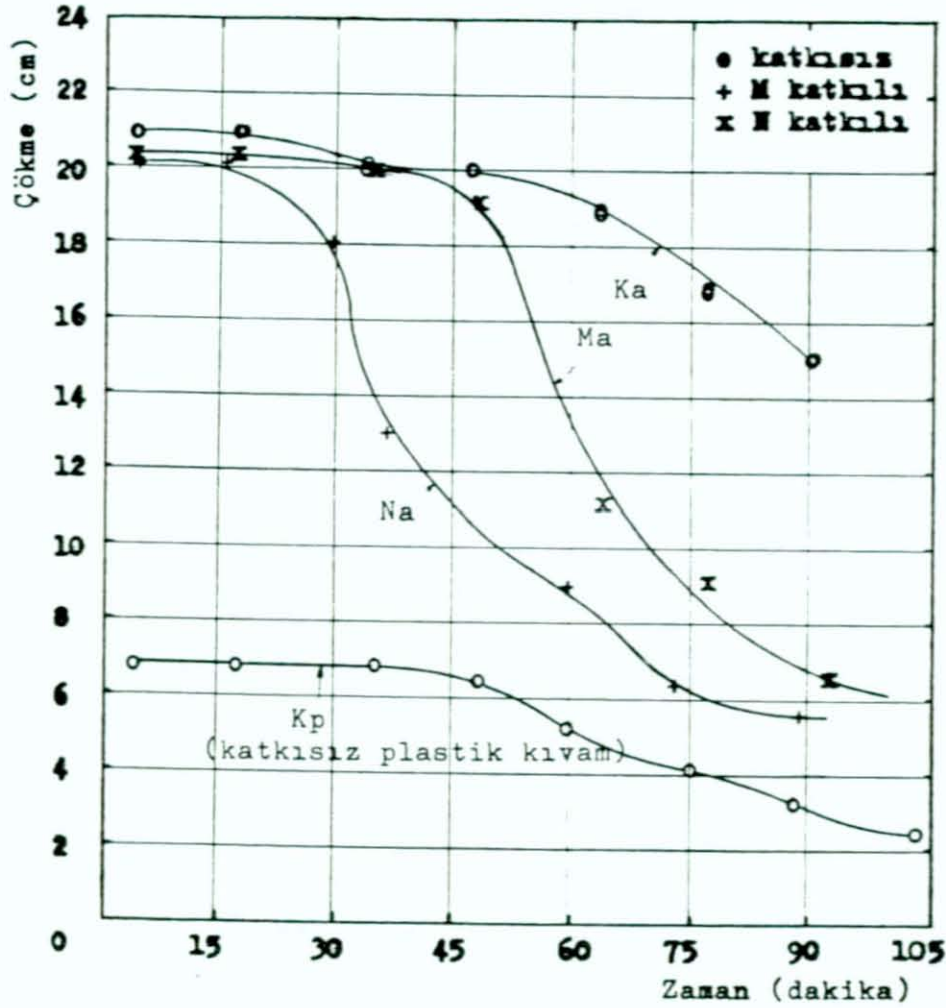
Şekil:24- Katkısız Haldeki Çökmesi 7.5 cm Olan 300 Çimento Dozajlı Katkısız ve Katkılı Betonlarda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



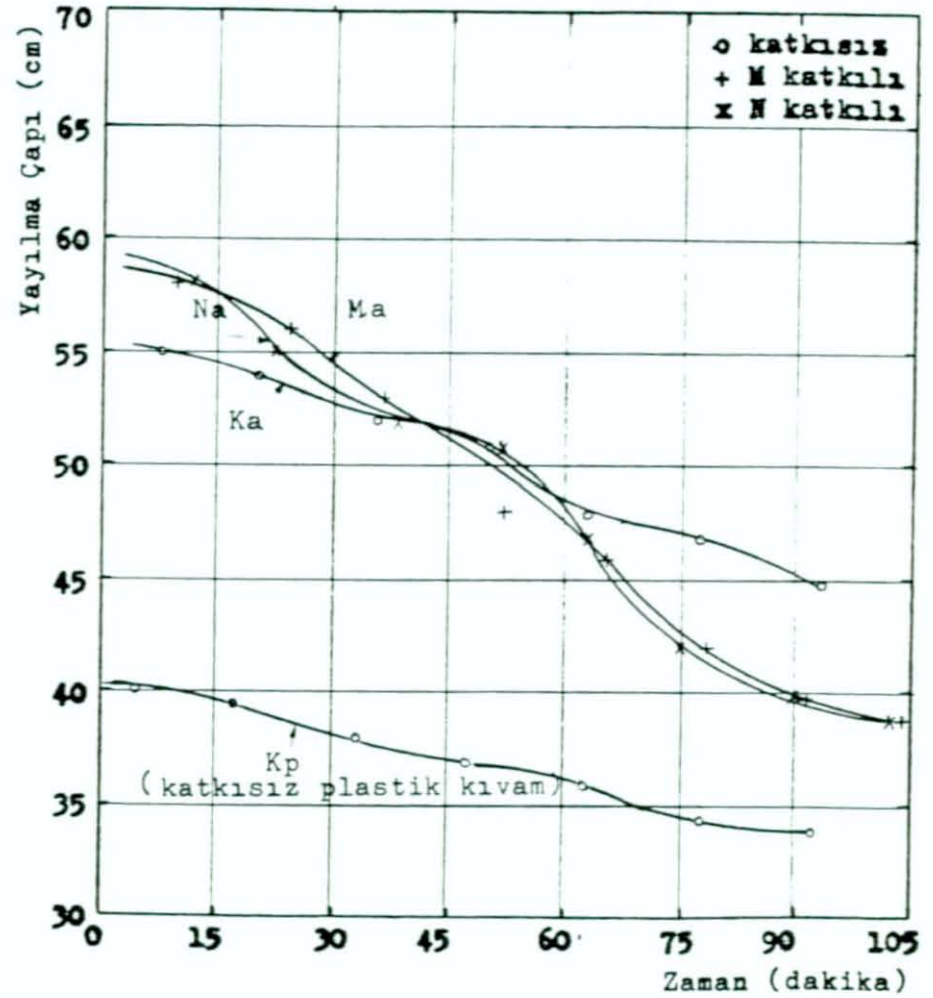
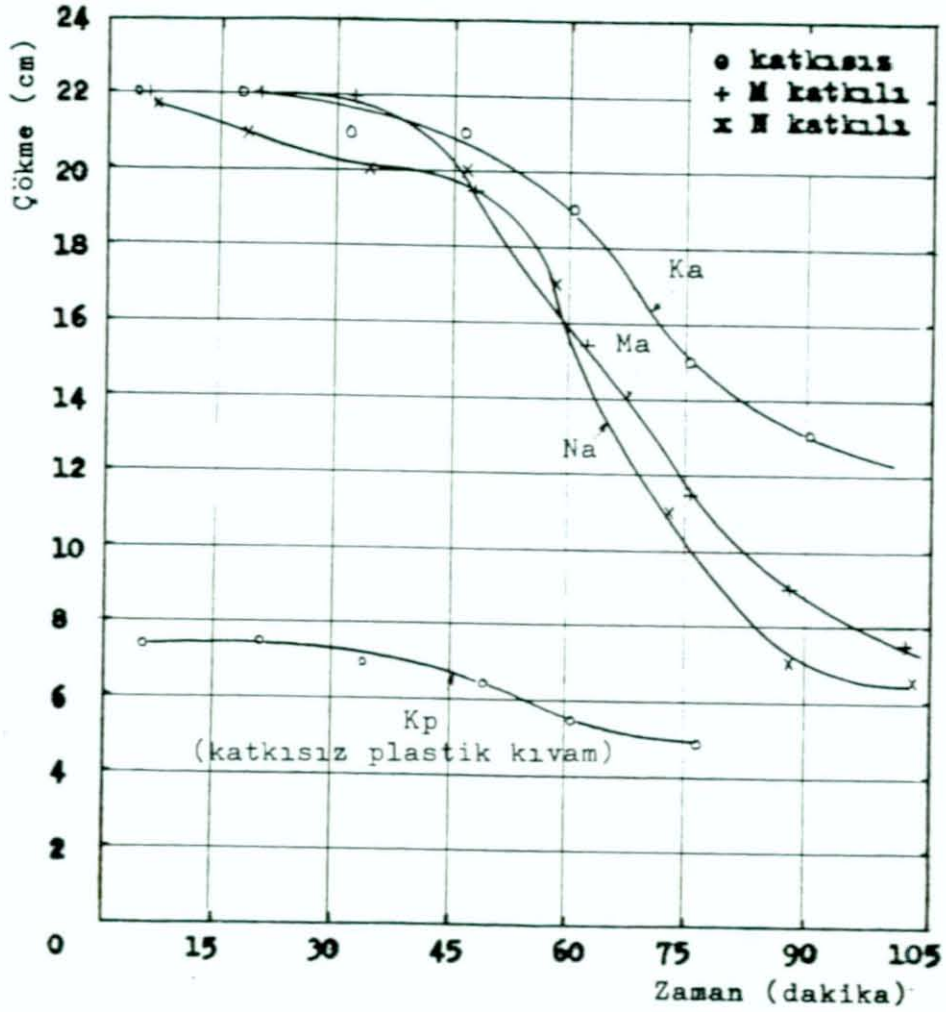
Şekil:25- Katkısız Haldeki Çökmesi 10 cm Olan 300 Çimento Dozajlı Katkısız ve Katkılı Betonlarda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



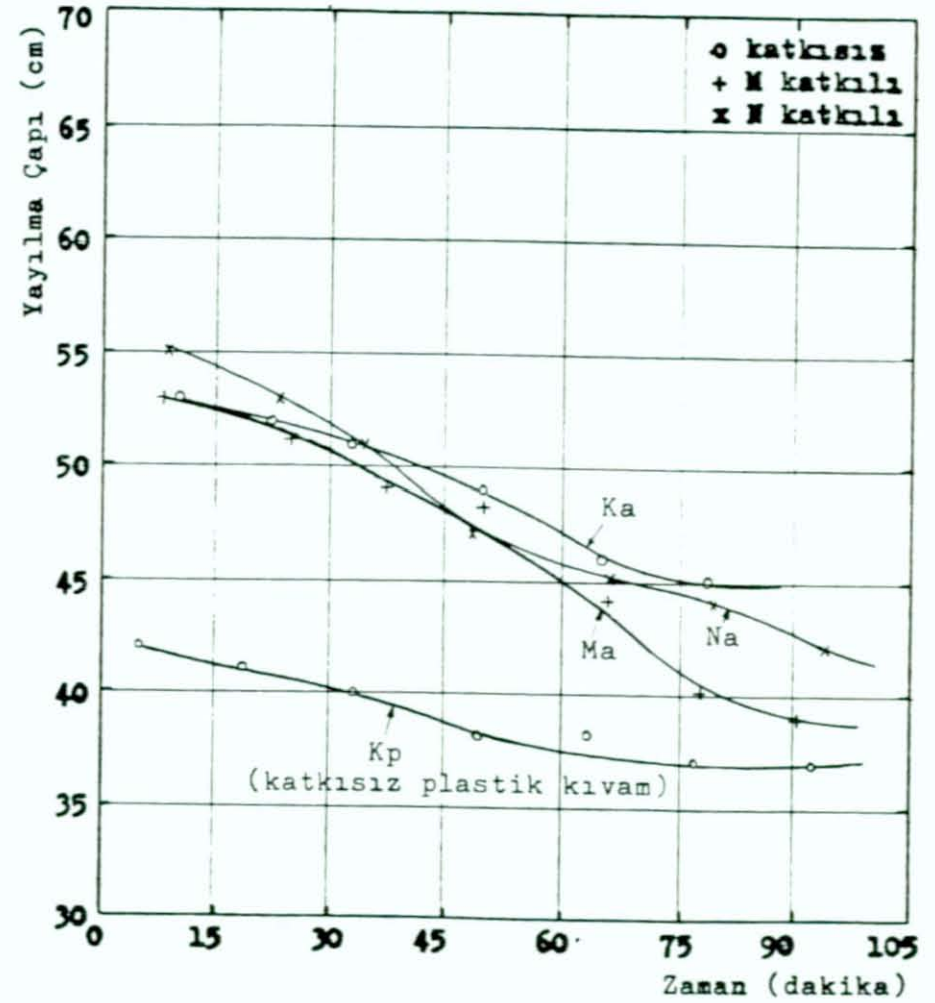
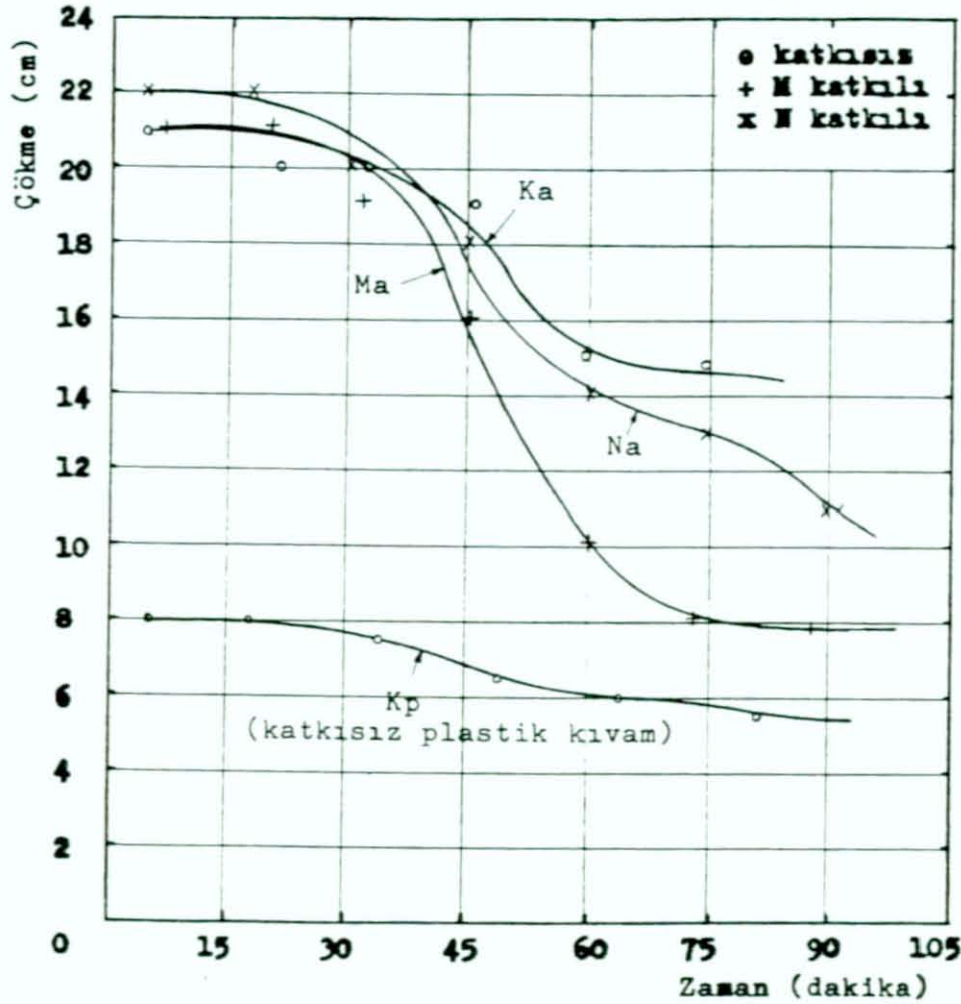
Şekil:26- Katkısız Haldeki Çökmesi 12.5 cm Olan 300 Çimento Dozajlı Katkısız ve Katkılı Betonlarda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



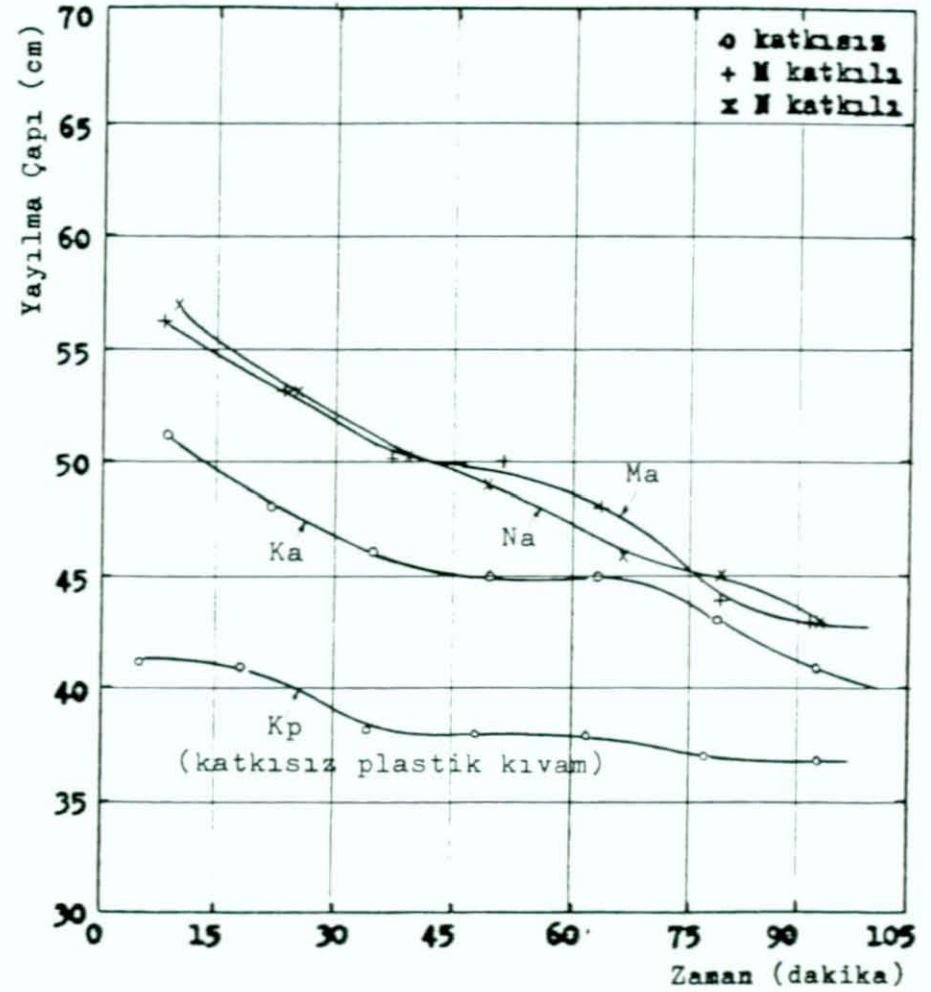
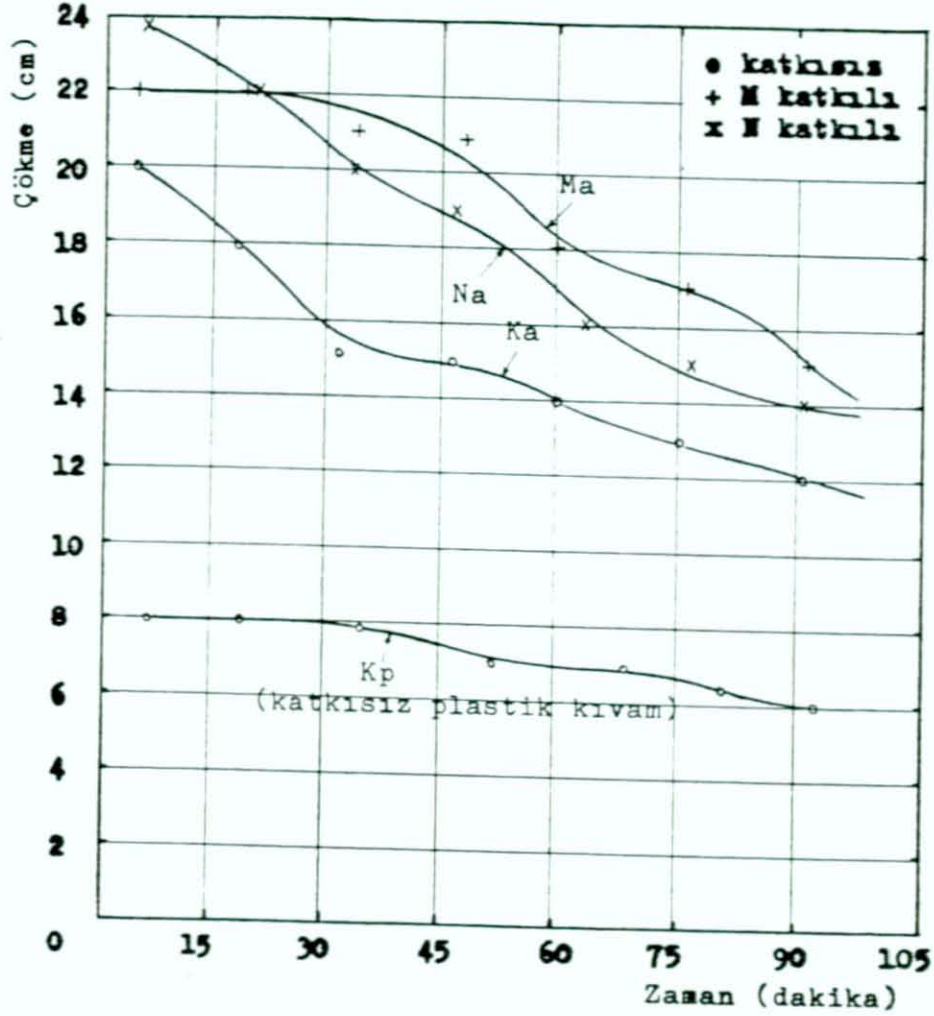
Şekil:27- 300 Çimento Dozajlı Akıcı Kıvamlı Betonlarda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



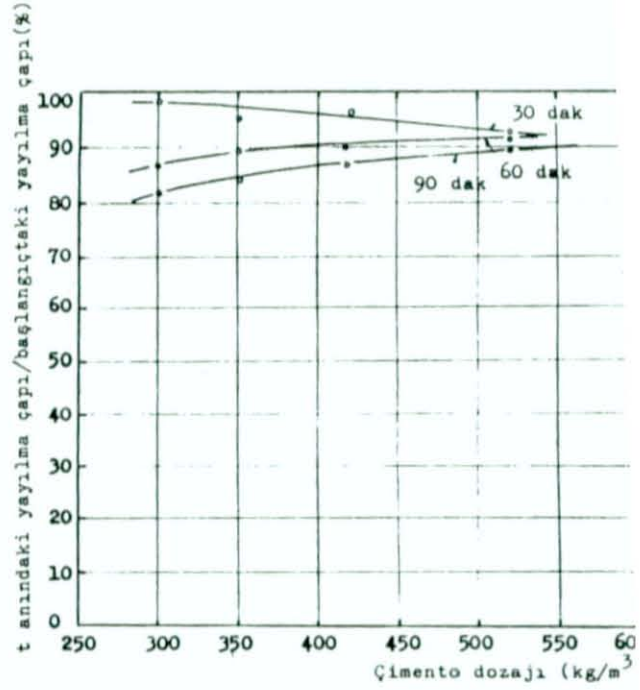
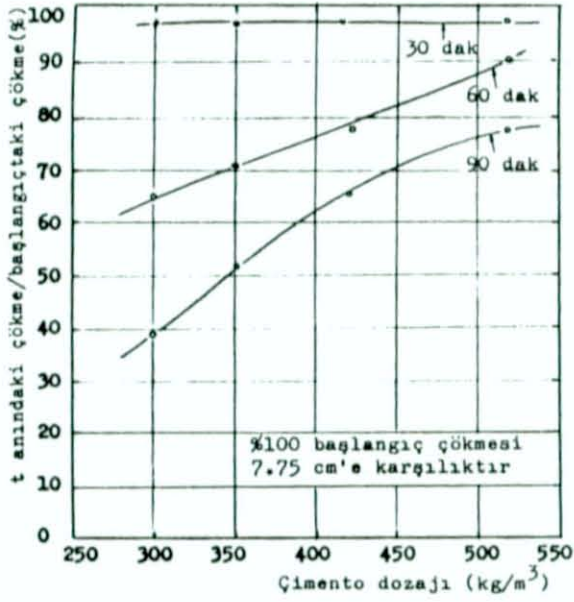
Şekil:28- 350 Çimento Dozajlı Akıcı Kıvamlı Betonlarda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



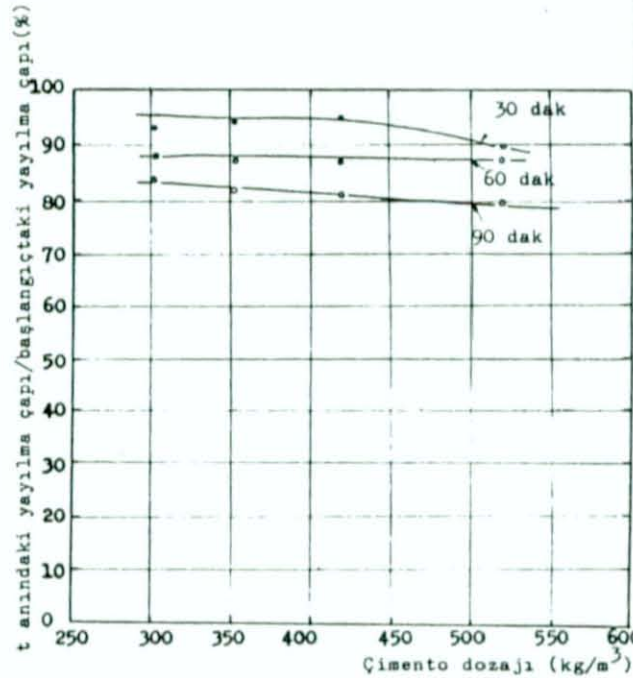
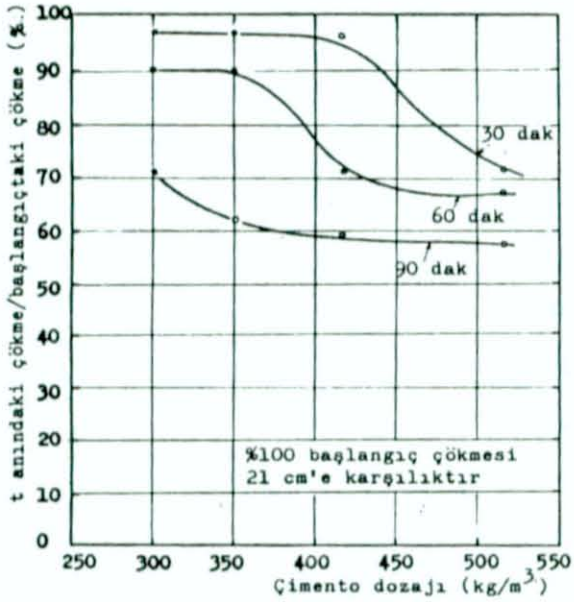
Şekil:29- 400 Çimento Dozajlı Akıcı Kıvamlı Betonlarda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



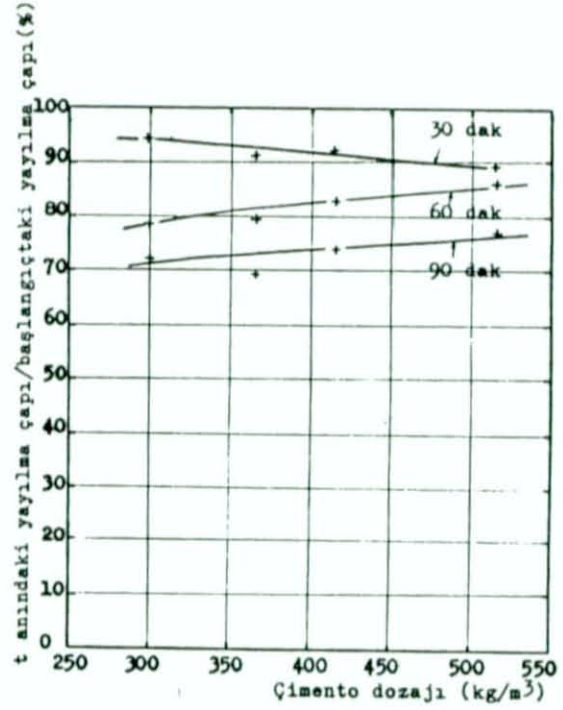
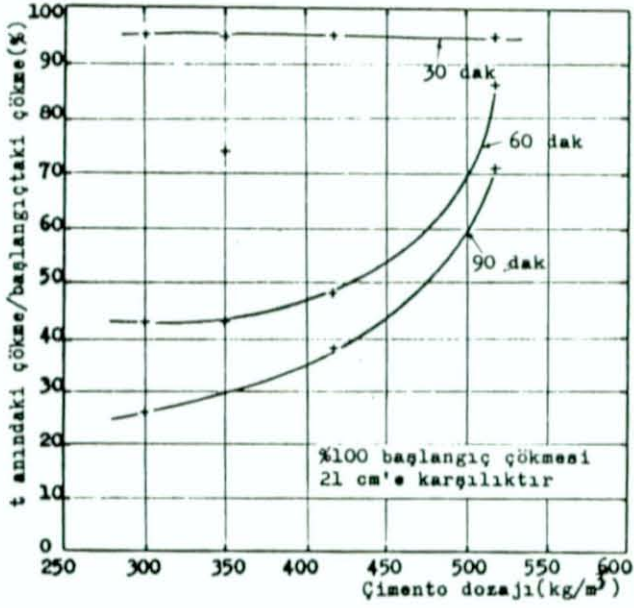
Şekil:30- 500 Çimento Dozajlı Akıcı Kıvamlı Betonlarda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



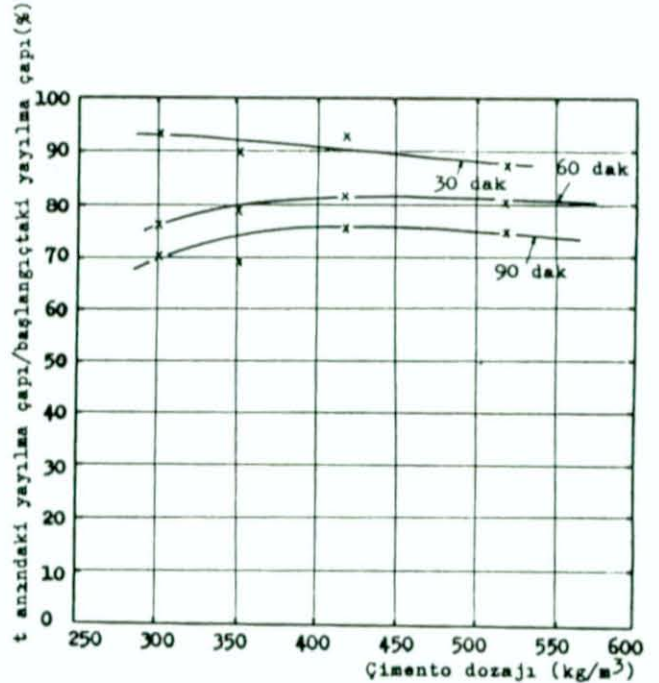
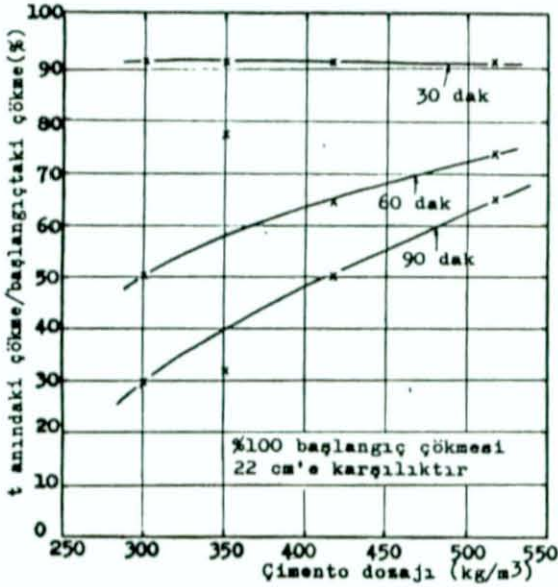
Şekil:31- Katkısız Plastik Kıvamlı Çeşitli Betonlarda Çimento Dozajına Bağlı Olarak Zamanla Oluşan İğlenebilirlik Kaybı



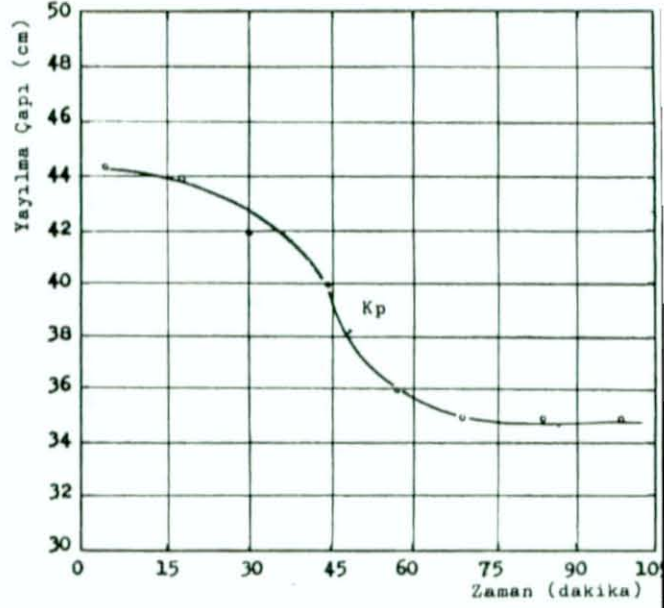
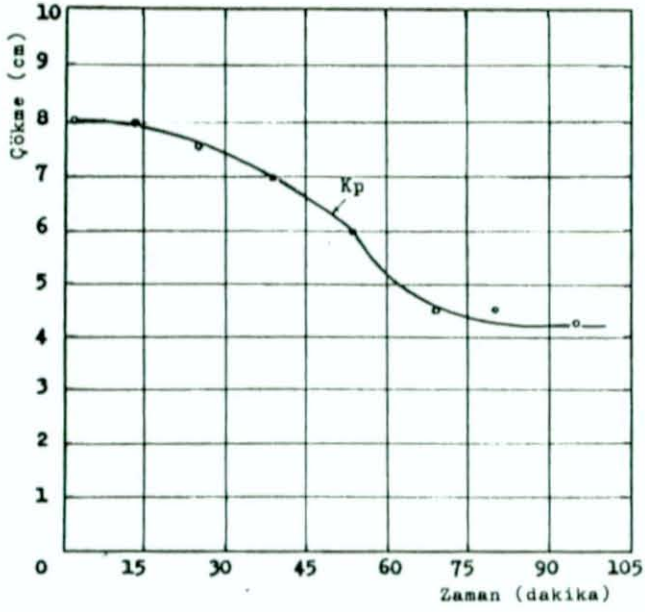
Şekil:32- Katkısız Akıcı Kıvamlı Çeşitli Betonlarda Çimento Dozajına Bağlı Olarak Zamanla Oluşan İğlenebilirlik Kaybı



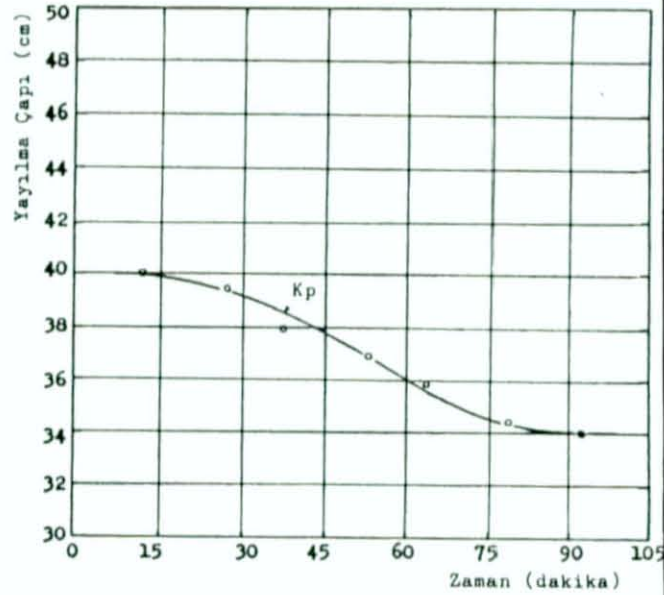
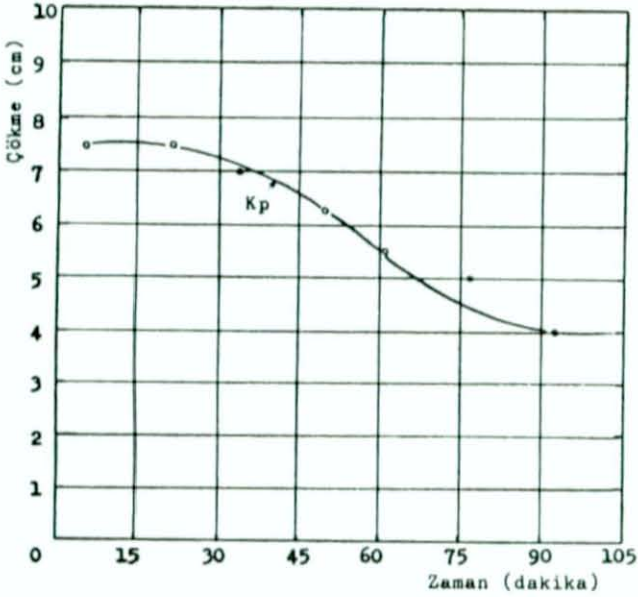
Şekil:33- Katkılı Akıcı Kıvamlı Çeşitli Betonlarda Çimento Dozajına Bağlı Olarak Zamanla Oluşan İşlenebilirlik Kaybı (M katkı)



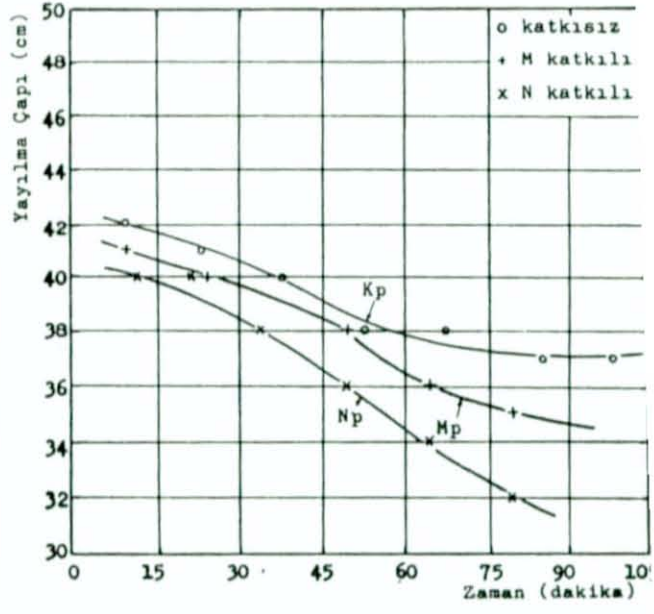
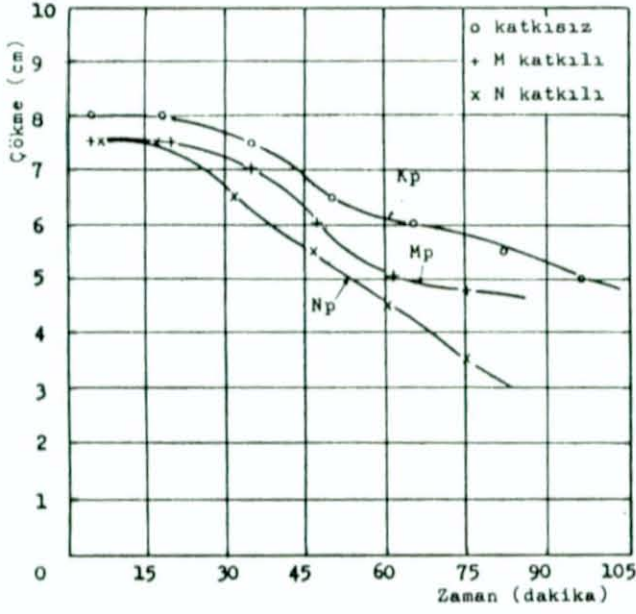
Şekil:34- Katkılı Akıcı Kıvamlı Çeşitli Betonlarda Çimento Dozajına Bağlı Olarak Zamanla Oluşan İşlenebilirlik Kaybı (N katkı)



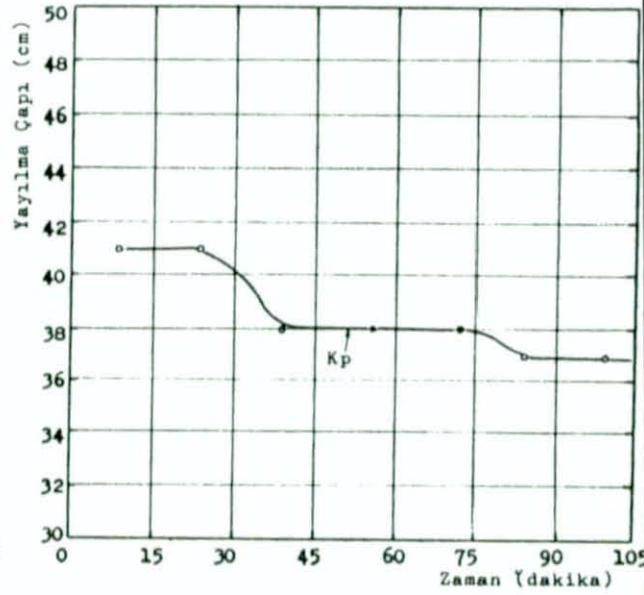
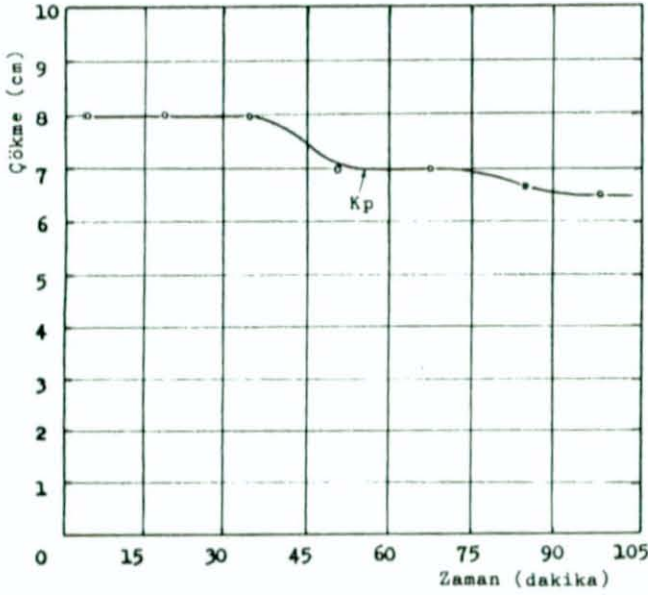
Şekil:35- 300 Çimento Dozajlı Katkısız Plastik Kıvamlı Betonda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



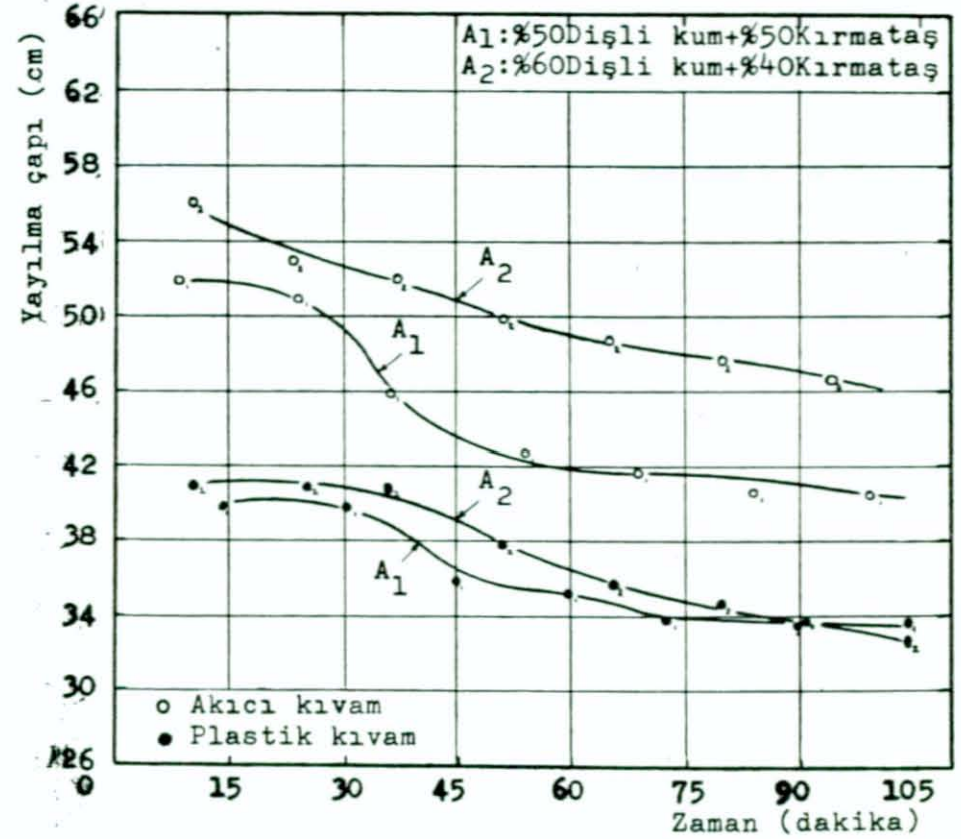
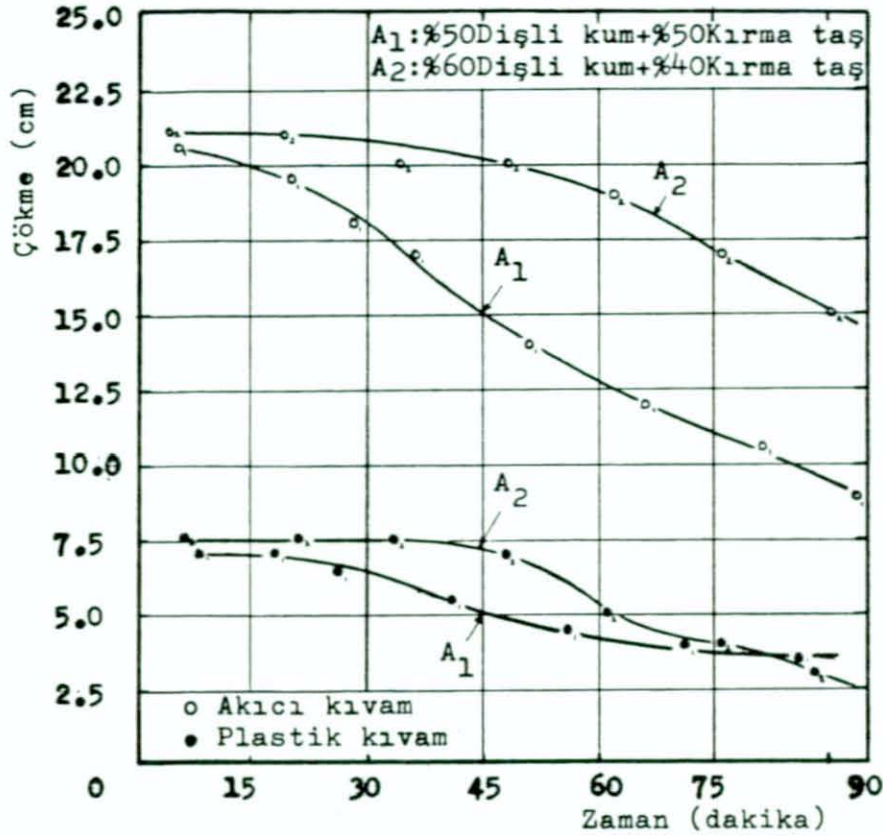
Şekil:36-350 Çimento Dozajlı Katkısız Plastik Kıvamlı Betonda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



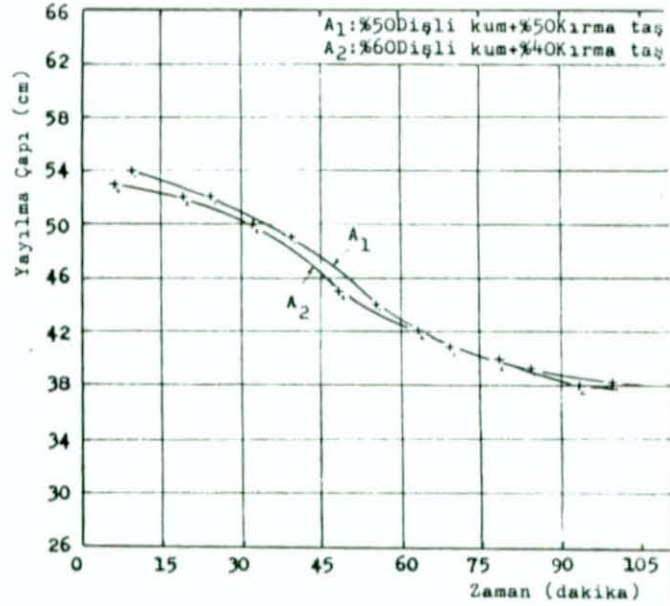
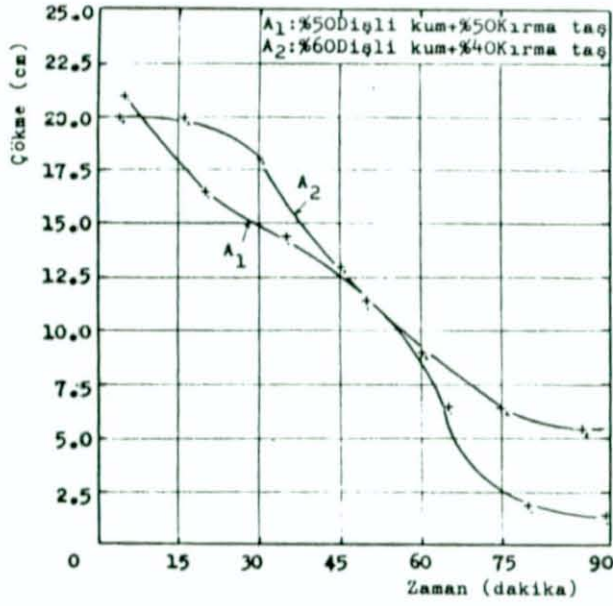
Şekil:37- 400 Çimento Dozajlı Plastik Kıvamlı Betonlarda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



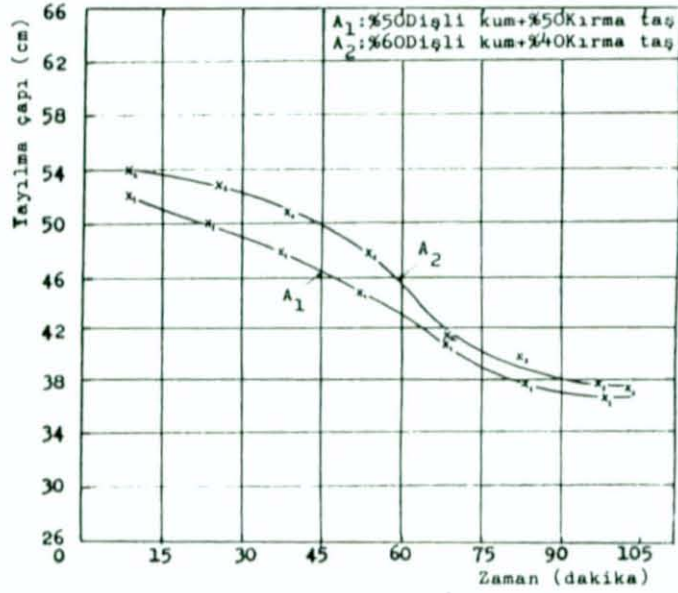
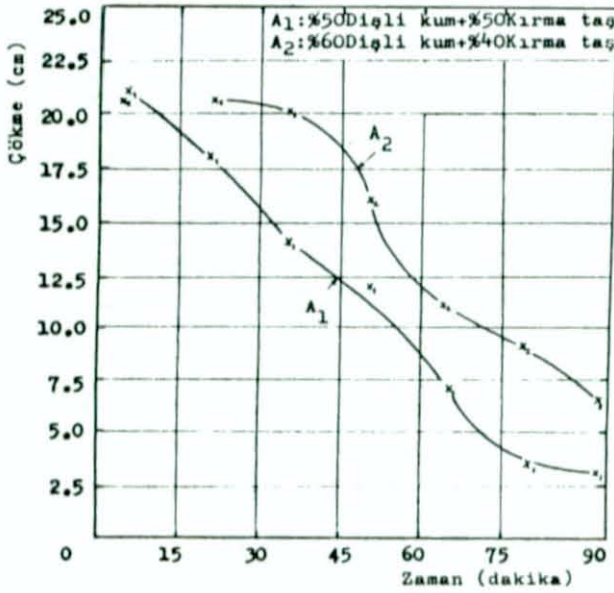
Şekil:38- 500 Çimento Dozajlı Katkısız Plastik Kıvamlı Betonda Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı



Şekil:39- Farklı Granülometrideki Agregalarla 300 Çimento Dozajında Plastik ve Akıcı Kıvamda Katkısız Üretilmiş Betonların Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı

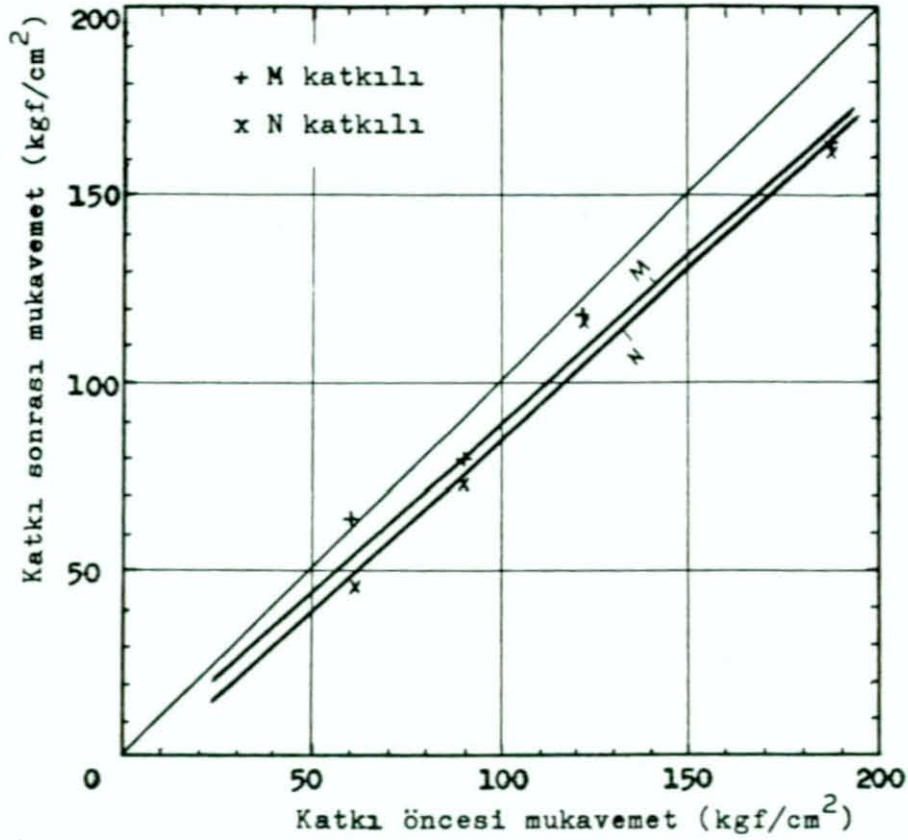


a-) M katkılı

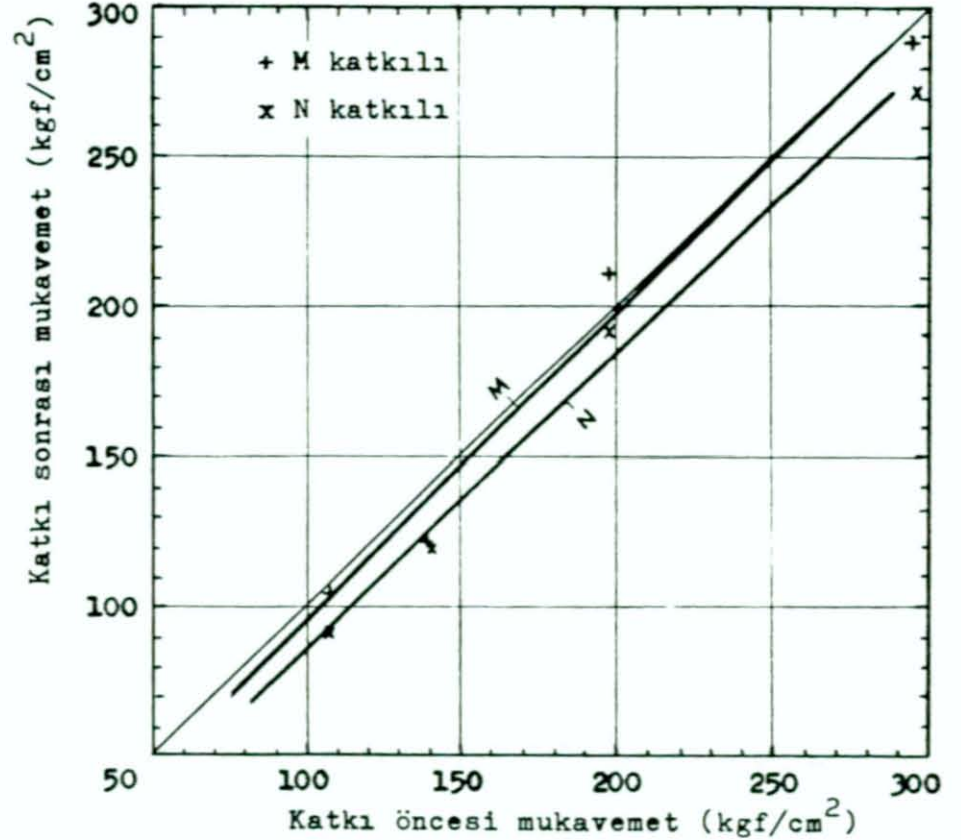


b-) N katkılı

Şekil:40- Farklı Granülometrideki Agregalarla 300 Çimento Dozajında Akıcı Kıvamda Üretilmiş Betonların Zamana Bağlı İşlenebilirlik Kaybı

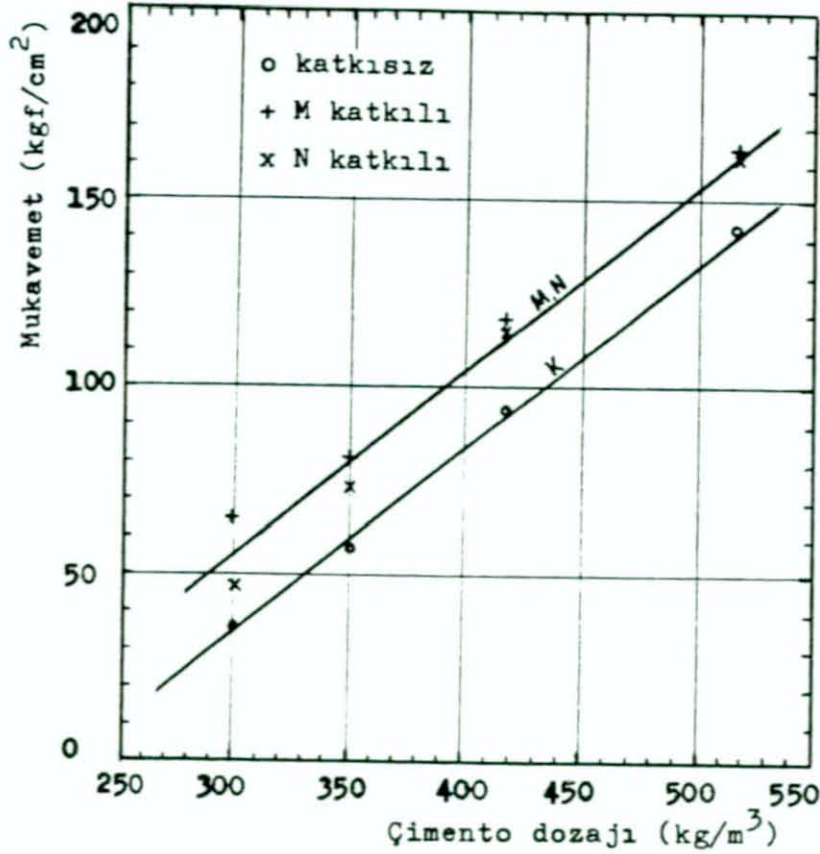


a-) 7 Günlük betonlarda

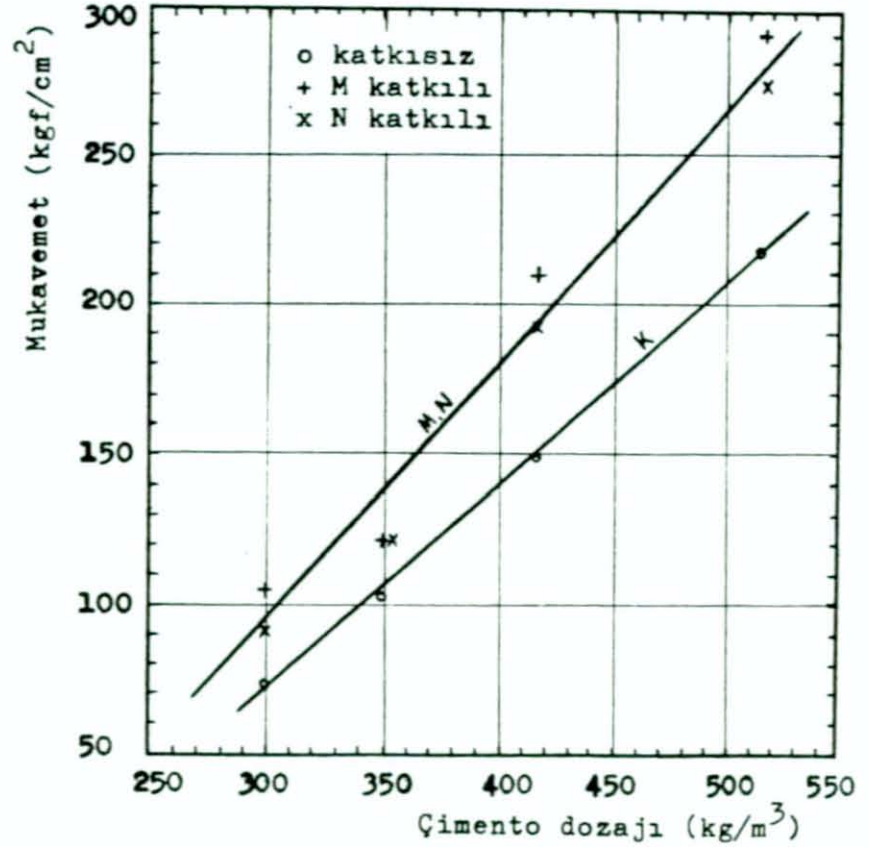


b-) 28 Günlük betonlarda

Şekil:41- Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Akıcı Kıvamlı Betonların Mukavemetine Etkisi

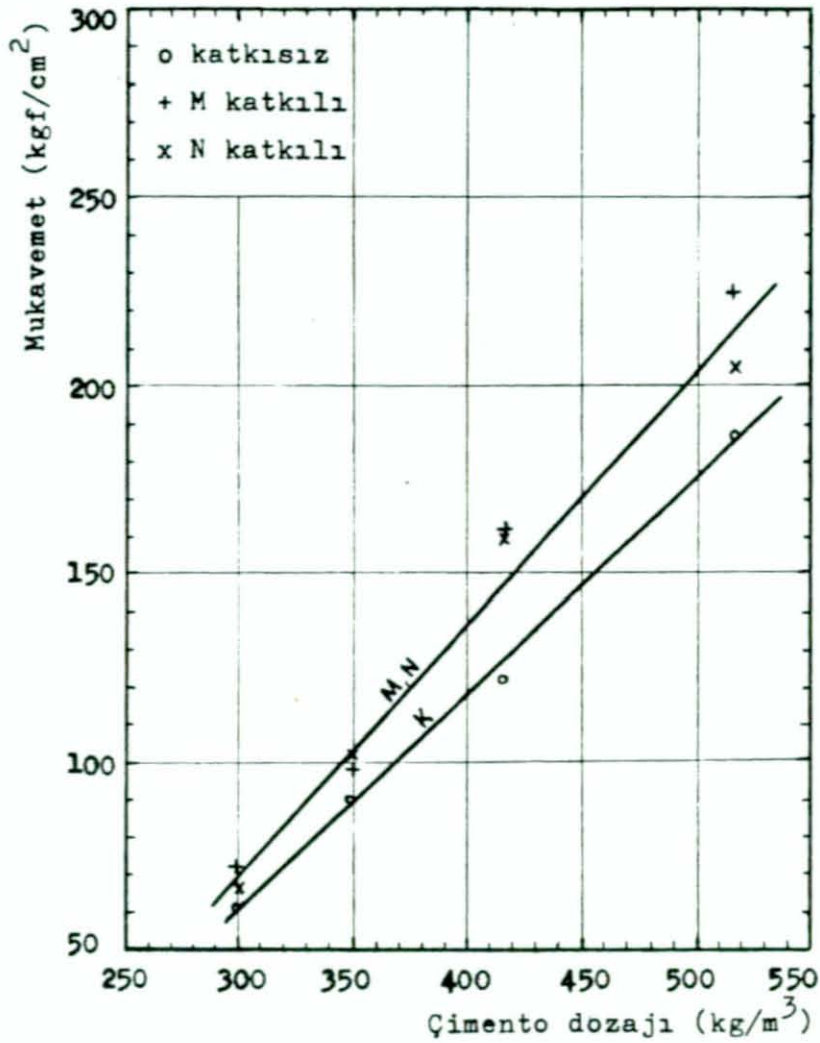


a-) 7 Günlük betonlarda

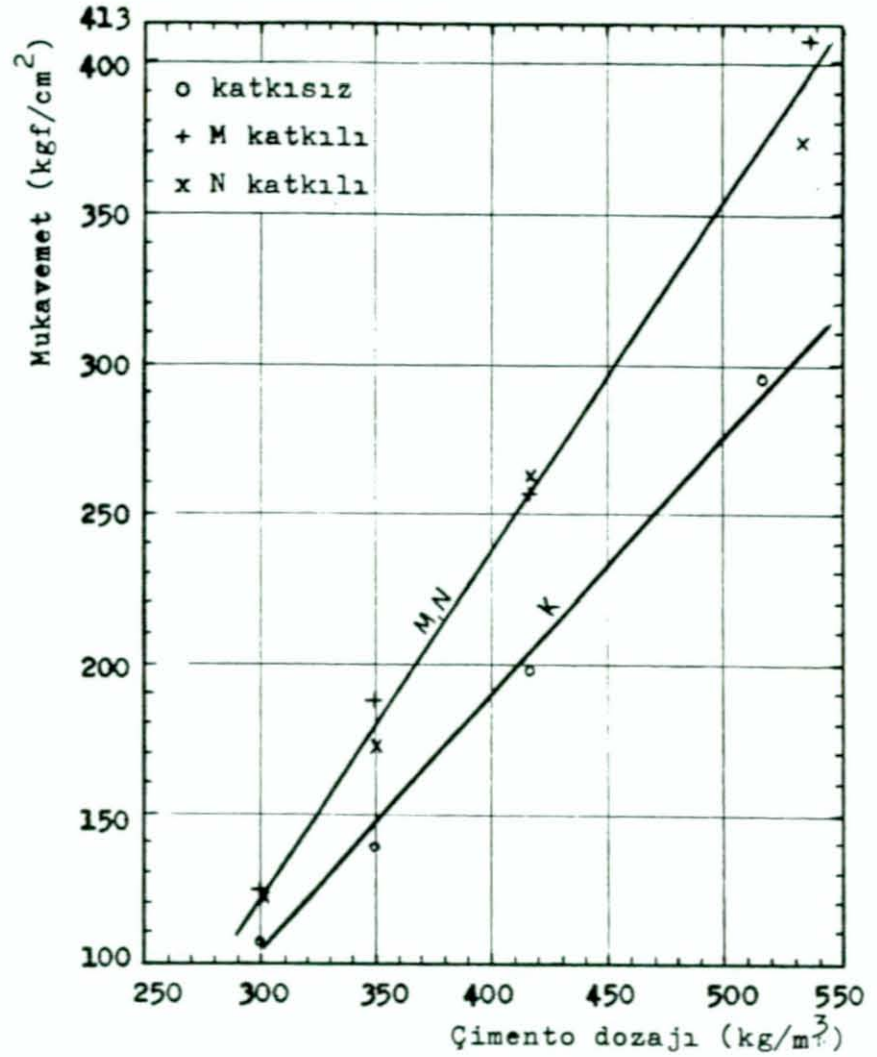


b-) 28 Günlük betonlarda

Şekil:42- Akıcı Kıvamda Katkılı ve Katkısız Üretilen Betonlarda Çimento Dozajı Mukavemet İlişkisi

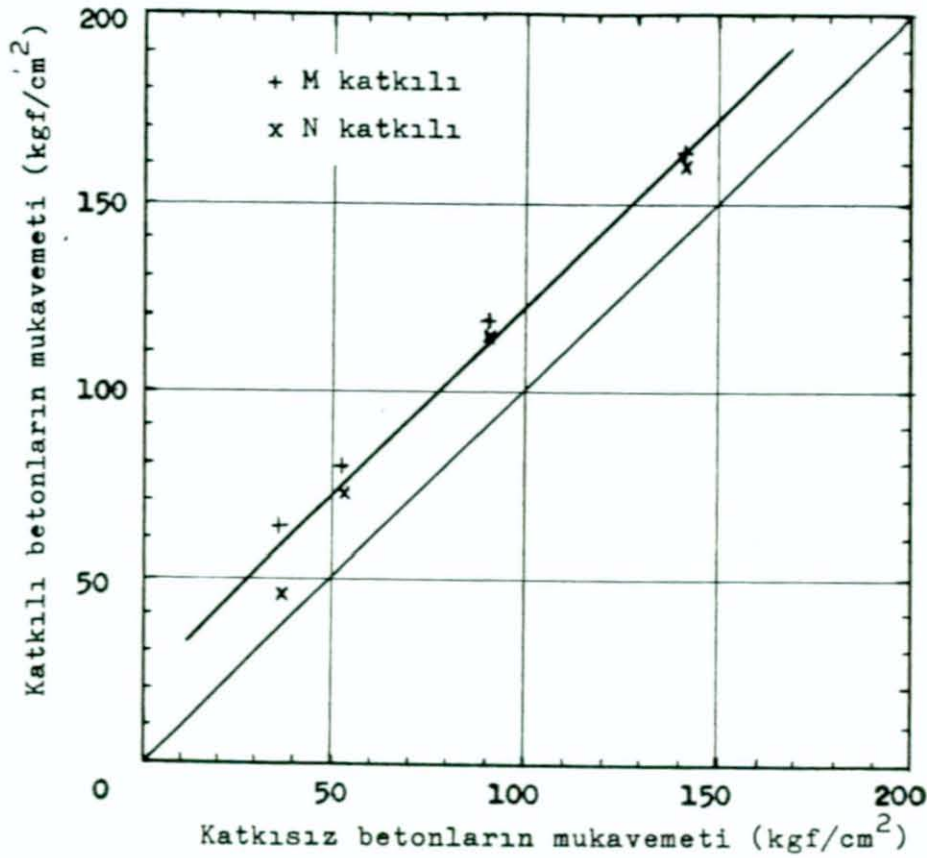


a-) 7 Günlük betonlarda

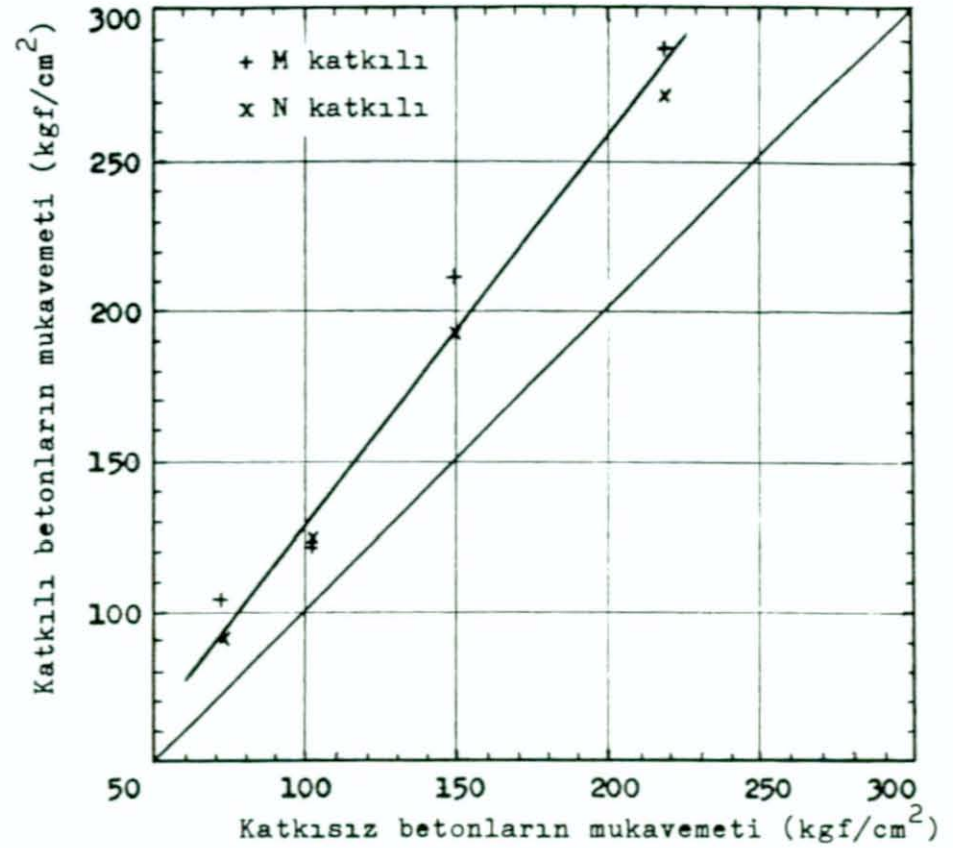


b-) 28 Günlük betonlarda

Şekil:43- Plastik Kıvamda Katkılı ve Katkısız Üretilen Betonlarda Çimento Dozajı Mukavemet İlişkisi

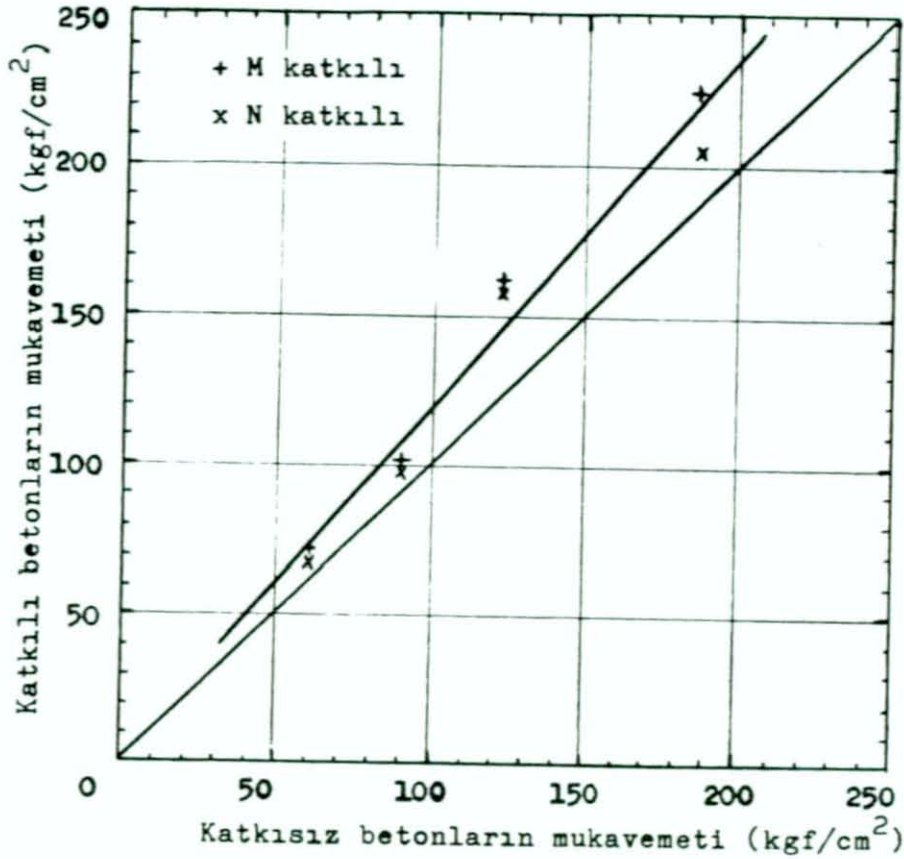


a-) 7 Günlük betonlarda

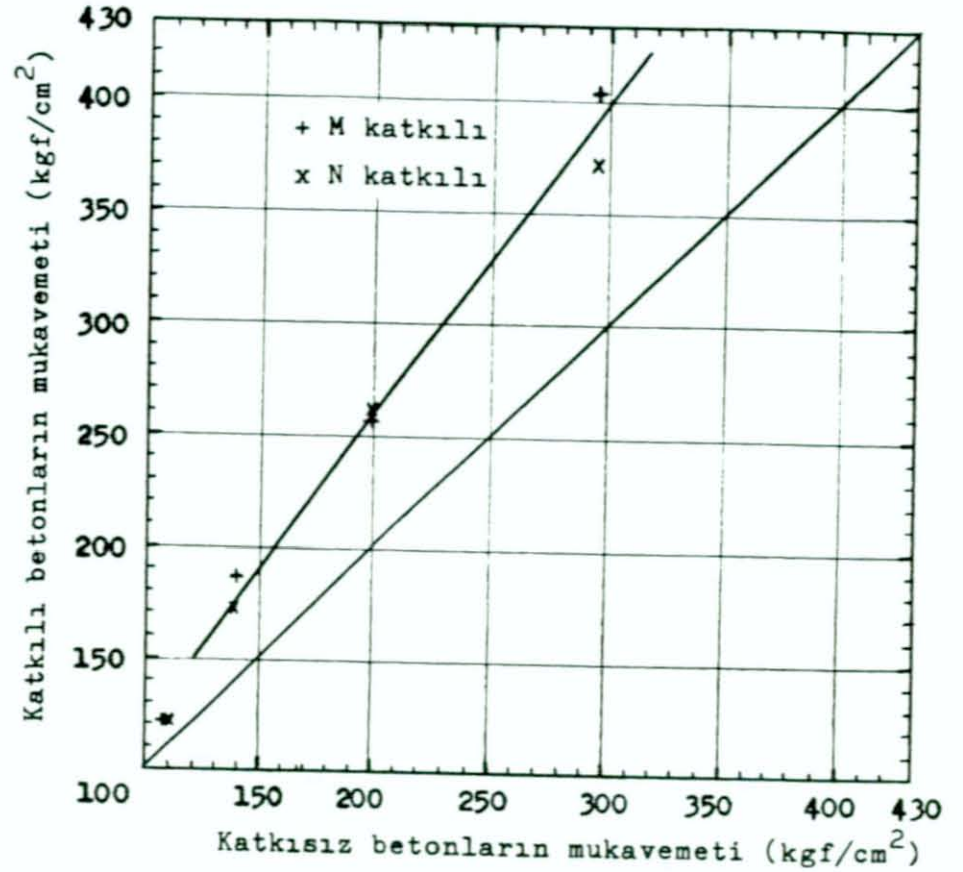


b-) 28 Günlük betonlarda

Şekil:44- Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Su İndirgeme Etkisiyle Akıcı Kıvamdaki Betonlarda Sağlanan Mukavemet Artışı



a-) 7 Günlük betonlarda



b-) 28 Günlük betonlarda

Şekil:45- Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Su İndirgeme Etkisiyle Plastik Kıvamdaki Betonlarda Sağlanan Mukavemet Artışı