

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAZE BETONDA OLUŞAN FARKLI
OTURMA ÇATLAKLARININ İNCELENMESİ**

**Anabilim Dalı: Yapı
Programı: Malzeme**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Cihan ÖZGÜL**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hulusi ÖZKUL

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
GRAFİK LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. TAZE BETON ÇATLAKLARI	6
2.1 Plastik Büzölme Çatlakları	6
2.2 Farklı Oturma Çatlakları	6
2.3 Farklı Oturma Çatlaklarının Terleme, Oturma ve Ayırışma ile İlişkisi	8
2.3.1 Terleme (Kanama)	8
2.3.2 Ayırışma	10
2.3.2.1 Vibrasyonun Akma Gerilmesi ve Ayırışma Üzerindeki Etkisi	10
2.3.3 Kohezyon	11
2.4 Kimyasal Katkılar ve Stabilite Üzerine Etkileri	12
2.4.1 Akışkanlaştırıcı Katkılar	12
2.4.2 Priz Hızlandırıcı Katkılar	13
2.4.3 Hava Sürükleyici Katkılar	13
2.4.4 Gaz Veren Katkılar	14
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	15
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	15
3.1.1 Agrega Özellikleri	15
3.1.2 Çimento Özellikleri	16
3.1.3 Kullanılan Katkılar	16
3.2 Beton Karışım Hesapları	16
3.2.1 Kabul Edilen Esaslar	16
3.2.2 Beton Üretimi, Karıştırma ve Yerleştirme Koşulları	18
3.2.3 Numune Boyutları ve Sayıları	19

4. DENEY SONUÇLARI	22
4.1 Yapılan Deneylerin Sonuçları	22
4.2 Terleme ile İlgili Deney Sonuçları	28
4.3 Oturma ile İlgili Deney Sonuçları	32
4.4 Çatlak Genişliği ile İlgili Deney Sonuçları	36
4.5 Polipropilen lif kullanımının etkileri	40
5. SONUÇLAR	44
5.1 Terleme ile İlgili Sonuçlar	44
5.2 Oturma ile İlgili Sonuçlar	44
5.3 Çatlak Genişliği ile İlgili Sonuçlar	44
5.4 DX programın Çıkardığı Sonuçlar	44
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	49

TABLO LİSTESİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1	: Kullanılan agregaların özgül ağırlık deneyleri	16
Tablo 3.2	: Çalışmada üretilen numunelerin karışım özellikleri	17
Tablo 3.3	: Çalışmada üretilen 28 adet numunenin kodları	18
Tablo 4.1	: Agreg a hacmiyle ilgili deney sonuçları	25

ŞEKİL LİSTESİ

No		Sayfa
Şekil 2.1	: Yapıdaki oturma çatlak türleri ve yerleri	7
Şekil 3.1	: TS 707'deki Standart granülometri eğrileri ve kullanılan agregaların granülometri eğrileri.....	15
Şekil 3.2	: Oturma çatlağının gözlemlendiği numune kalıbının fotoğrafları	19
Şekil 3.3	: Kalıbının içerisinde duran oturma gözlem numunesinde oluşan oturma çatlağı ve oturma bölgeleri.....	20
Şekil 3.4	: Donatılı numunenin yanlarında gözlenen çatlak tipi ve donatı altı cebi	21
Şekil 3.5	: Terleme miktarının gözlemlendiği numunenin kalıbı	21
Şekil 4.1	: AB1, AB2, AB3 ve AB4 karışımlarının deney sonuçları.....	22
Şekil 4.2	: A1, B1, A2 ve B2 karışımlarının deney sonuçları.....	23
Şekil 4.3	: A3,B3, A4 ve B4 karışımlarının deney sonuçları.....	23
Şekil 4.4	: A3 numunesinde oluşan iskelet formu.....	24
Şekil 4.5	: C21, C22, C23 ve C24 karışımlarının deney sonuçları.....	26
Şekil 4.6	: D21, D22, D23 ve D24 karışımlarının deney sonuçları.....	26
Şekil 4.7	: C31, C32, C33 ve C34 karışımlarının deney sonuçları.....	27
Şekil 4.8	: D31, D32, D33 ve D34 karışımlarının deney sonuçları.....	27
Şekil 4.9	: İncelik (3,75), dozaj ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	28
Şekil 4.10	: İncelik (4,84), dozaj ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	29
Şekil 4.11	: İncelik, dozaj ve su/çim (0,55) değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	30
Şekil 4.12	: İncelik, dozaj ve su/çim (0,65) değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	30
Şekil 4.13	: İncelik, dozaj (275) ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	31
Şekil 4.14	: İncelik, dozaj (375) ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	31
Şekil 4.15	: İncelik (3,75) , dozaj ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	32
Şekil 4.16	: İncelik (4,29) , dozaj ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	33
Şekil 4.17	: İncelik (4,84) , dozaj ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	33
Şekil 4.18	: İncelik, dozaj ve su/çim (0,55) değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	34
Şekil 4.19	: İncelik, dozaj ve su/çim (0,65) değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	35
Şekil 4.20	: İncelik, dozaj (275) ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	

Şekil 4.21	: İncelik, dozaj (375) ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi	
Şekil 4.22	: İncelik (3,75), pas payı (2 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi	36
Şekil 4.23	: İncelik (3,75), pas payı (3 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi	38
Şekil 4.24	: İncelik (4,29), pas payı (3 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi	38
Şekil 4.25	: İncelik (4,29), pas payı (2 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi	39
Şekil 4.26	: İncelik (4,84), pas payı (3 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi	39
Şekil 4.28	: İncelik (4,84), pas payı (2 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi	40
Şekil 4.29	: C21, C22 ve C23 karışımlarının normal ve lifli numuneleri.....	41
Şekil 4.30	: C21 lifli numunesinin yüzeyindeki çatlağın yakın fotoğrafı.....	42

TAZE BETONDA OLUŞAN FARKLI OTURMA ÇATLAKLARININ AZALTILMASI

ÖZET

Taze beton çatlakları, betonun kalıba yerleştirilmesini izleyen ilk 30 dakika ile 5 saat arasında, genelde döşeme gibi geniş yüzeylere uygulanan betonlarda görülür. Oluşan çatlaklar betonun özellikle durabilitesi açısından zararlıdır. Bu çalışmada incelenecek olan oturma çatlakları ise genellikle kirişlerde üst yüzeye yakın donatıların hemen üstünde oluşurlar. Taze betonda iri agrega taneleri dibe çökerken su yüzeye doğru hareket eder. Yüzeye yakın donatılar bu çökmeye karşı koyar ve oturmasını tamamlayamayan üst beton tabakası zaten düşük olan çekme dayanımını kaybederek çatlar.

Oturma çatlakları, betonun kohezyon ve kararlılığının artırılmasıyla ve bir başka deyişle ayrışma (segregasyon) ve terlemenin azaltılmasıyla azaltılabilir. Oturma çatlakları bu reolojik özelliklerle çok yakından ilişkilidir. Agreganın granülometrisi ne kadar az boşluklu ise kuma suyunun yukarı çıkması zorlaşır, gecikir ve terleme hızı azalır. Ayrıca inceliği yüksek çimento, mineral katkı ve ince agrega kullanımıyla harçtaki suyun ıslatması gereken toplam yüzey alanı artacağından fazla suyun terleme yoluyla çıkmasının önüne geçilir.

Birçok araştırma sonucunda normal betonla birlikte kullanılan inceliği yüksek puzolanların terleme hızını azalttığı bulunmuştur. Bu da puzolanların, özgül yüzeylerinin fazlalığının yanında, suyun yukarı çıkış kanallarını kapamasından ve pürüzlü bir yapıya sahip olup su tutmasındandır. Yine de bütün puzolanlar ve özellikle de günümüzde yaygın olarak kullanılan mineral katkı olarak da isimlendirilen ürün artığı puzolanların hepsi benzer özellikler göstermemektedirler.

Yapılan bir başka çalışmada [2] PKC/B 32.5R ve PC42.5 çimentoları kullanılarak hazırlanmış C25 ve C35 betonlarının yüzeyinde oluşan suyun buharlaşması belirlenmiştir. Çimento tipinin betonun terlemesini etkilediği görülmüştür. Yüksek çimento miktarı içeren beton numunelerin daha az terleme yaptığı, daha çok karışım suyu içeren numunelerin de en çok su buharlaşmasına maruz kaldığı belirlenmiştir. C₃A miktarı az olan çimentoların terlemesinin çok olduğu sonucuna varılmıştır.

Ŗu ana kadar yapılan çalışmaların çoğu ayrırşma ve terlemenin, beton kesitin st kısmındaki donatılar ve onu çevreleyen beton arasındaki aderans sorunlarındaki etkilerini görmek üzerinedir. Bu çalışmada su/imento (su/çim) oranı, dozaj miktarı, agreganın incelik modülü ve numunedeki donatının yüzeyle arasındaki mesafe olan pas payı değişiminin terleme, oturma miktarı ve farklı oturma çatlakları ile olan ilişkisi incelenecektir.

EXAMINING THE DIFFERENTIAL SETTLEMENT CRACKS IN FRESH CONCRETE

SUMMARY

Fresh concrete cracks are formed in the time interval between first 30 minutes and 5 hours after the concrete casts into the molds and usually happens on the large concrete surfaces like slabs. The cracks are detrimental especially for the durability of the concrete. The differential settlement cracks which will be observed in this study are usually seen on the top of the upper reinforcements of a beam. In fresh concrete while solids settle down, water raises towards the surface. The upper steel bars resist this settlement and the upper concrete layer which couldn't complete its settlement loses its cohesion and cracking occurs.

Settlement cracks can be reduced with the increase in cohesion and stability, in other words with the decrease in segregation and bleeding. Settlement cracks are closely related to these rheological properties. With the decrease in the porosity of the aggregate granulometry, the raise of the bleeding water to the surface becomes harder, retards and so the bleeding rate decreases. Besides, with the use of fine cement and high cement content, the total area which must be wetted will be increased so the escape of the water can be prevented.

In many studies it was found out that the use of fine pozzolans in the concrete decreases the bleeding rate. Besides their high specific surfaces, this is due to pozzolans to congest the water channels to the surface, have porous structure and so to keep extra water. Nonetheless all of the pozzolans and especially the by-product ones which are commonly named "mineral admixtures" don't show similar results. For example in a study which is done by PJ Wainwright and H Ait-Aider, by using ground granulated blast furnace slag (ggbs) as mineral admixture in the partial replacement with Ordinary Portland Cement (OPC), an increase in the rate and the total amount of the bleeding water was observed. The aim of the study was to compensate the negative effect of the ggbs with increasing OPC ratio. At the end of the study bleeding was sharply decreased.

In another study, the evaporation on the surfaces of the C25 and C35 concretes which was prepared by using PKC/B 32.5R and PC42.5 were determined. It was found that

the bleeding of the concrete is influenced by the type of the cement. It was seen that the specimens which have higher cement content generated less bleeding water and the specimens which have higher water content were exposed to maximum evaporation. It was also seen that the cements have low C_3A content had higher bleeding.

Many studies till now, observed the segregation and bleeding effects on the adherence problems between the upper reinforcements and the surrounding concrete. In this study settlement cracks caused from differential settling will be observed. Mix dosage, water/cement ratio, fineness modulus and cover will be altered in order to observe the cracks.

1. GİRİŞ

Taze beton konusunda bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların çoğu ayrışma ve terlemenin, beton kesitin üst kısmındaki donatılar ve onu çevreleyen beton arasındaki aderans sorunlarındaki etkilerini görmek üzerinedir

Yapılan bir araştırmada [1] betonun içindeki agrega çökmesini gözlemlemek için bir yol geliştirilmiştir. Bunun için agrega yerine metalik küreler kullanılmıştır. İçlerine, açılan delikten radyoaktif technetium çözeltisi sokulmuştur. Bu şekilde radyoaktif olarak işaretlenmiş agregaları takip etmek için bir sinsilasyon kamerası kullanılmıştır.

Agregaların yuvarlak olması sonucu agreganın şekli ve yönünün etkisini belirlemeye gerek kalmamıştır. Alüminyum küreler özgül ağırlıklarının agregaya çok yakın olması nedeniyle (2,70) agregayı temsil etmişlerdir. Özgül ağırlıkları 7,75 olan çelik küreler de karşılaştırma için kullanılmışlardır. Numuneler 15 saniye boyunca vibrate edilmiştir kullanılan vibratör 35 mm çapında başlığa sahiptir ve 10.000 dev/dak vibrasyon hızındadır. Bu arada sinsilasyon kamerası da her yarım saniyede bir görüntü almıştır.

Çalışma sonucunda vibrasyon olmaksızın normal boyutlu agregaların harç içinde veya beton içinde çökmediği görülmüştür. Vibrasyon bittikten sonra çökme durmuştur. Vibrasyonun akma dayanımı ve viskozite üzerindeki etkisi vibratörün yakınlarında daha fazla olmuştur. Bu etkinin yarıçapı vibratörden en az 225 mm olarak belirlenmiştir.

PJ Wainwright ve H Ait-Aider tarafından yapılan bir çalışmada [2] normal portland çimentosunun (OPC) bir bölümünün yerine mineral katkı olarak ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ggbs) konulmasıyla terleme hızı ve miktarında artış olduğu görülmüştür. Terleme hızı ve miktarı, ggbs miktarının %60'tan fazla artırılmasıyla daha da artmaktadır. Bunun nedeni de hidrasyon süresince oluşan ve suyun yukarı yükselişini de önlemeye yarayan hidrasyon ürünlerinin ggbs kullanımından dolayı

geç oluşmalarıdır. Çalışmanın amacı ggbs kullanımının bu olumsuz etkisini OPC kullanımının artırılmasıyla telafi etmektir. Çalışma sonunda çimento miktarının artırılmasıyla terlemenin çok belirgin bir şekilde düştüğü gözlenmiştir. OPC'nin %40 ve %70 oranlarında ggbs ile değiştirilmesiyle terlemede artışlar olmuştur.

Yukarıdaki araştırmadaki sonuçlara paralel sonuçların bulunduğu bir başka araştırmada [3] ise PKC/B 32.5R ve PC42.5 çimentoları kullanılarak hazırlanmış C25 ve C35 betonlarının yüzeyinde oluşan suyun buharlaşması belirlenmiştir. Çimento tipinin betonun terlemesini etkilediği görülmüştür. Yüksek çimento miktarı içeren beton numunelerin daha az terleme yaptığı, daha çok karışım suyu içeren numunelerin de en çok su buharlaşmasına, dolayısıyla terlemeye maruz kaldığı belirlenmiştir.

C₃A miktarı fazla olan çimentoların terlemeyi azalttığı belirlenmiştir. Taze dökülmüş betonun yüzeyinde birçok terleme kanalı ve gözenek bulunmuştur. Çok miktarda ince malzeme içeren agregaların beton karışımının stabilitesini artırmasına karşın gerekli karışım suyu miktarını belirli işlenebilirliği sağlamak için artırdığından terlemeye neden olabileceği de bilinmektedir.

Çalışma sonunda PC 42,5 çimento içeren beton numunelerinin PKC/B 32.5R içeren numunelere kıyasla daha yüksek terleme yaptığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak da PKC/B 32.5R çimentosundaki tras miktarı, özgül yüzey alanının fazlalığı ve PC 42,5 çimentosunda daha az miktarda C₃A bulunduğu düşünülmektedir. Beton karışım suyu miktarını %28 artırmanın, toplam terleme miktarını %84'ten %100'e kadar artırdığı görülmüştür.

Yapılan bir başka araştırmada [4] karıştırma süresinin taze ve katılaşmış betonun özellikleri üzerine etkileri gözlenmiştir. Biri dekstrin kökenli, diğeri de glukonat kökenli olmak üzere iki çeşit geciktirici ve bir çeşit de lignosülfat kökenli su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Bu katkılarla ve referans amaçlı NPC 42,5 çimentosu ile hazırlanan karışımla birlikte toplam beş çeşit karışım hazırlanmış ve değişken karışım sürelerine göre dökülmüştür. Katı betonu ilgilendiren kapiler yolla emilim, daldırma ile emilim ve donma çözünme gibi özelliklerin yanında taze betonu ve dolayısıyla da bizim çalışmamızı ilgilendiren terleme ve kuruma büzülmesi özellikleri incelenmiştir. Terleme testleri ASTM C232 yönetmeliğine göre yapılmıştır.

Deney aşamasında hazır beton üretim yerinde hazırlanan karışımlar tamburu dakikada 1,5 tur dönen bir betoniyein içine konulmuştur ve belli aralıklarla betoniyein içinden numune dökümü yapılmıştır.

Deney sonucunda terleme özelliği ile ilgili olarak dekstrin kökenli geciktiricinin terleme hızının referans numuneye göre %46 fazla olduğu, diğer iki katkınkilerin ise referans numuneden %17 ve %14 az çıktığı görülmüştür. Ama toplam terleme miktarı olarak üç karışımın da referans karışımdan fazla olduğu (2,85 katı) ve yaklaşık olarak da 1,5 saat fazla terleme yaptığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak ta geciktiricilerin taze betonun priz almadan önceki durgunluk dönemini uzatmasından dolayı taneciklere çökmeleri için zaman tanınması ve dolayısıyla da terlemeyi artırması üzerinde durulmuştur. Ayrıca C_3A miktarı yüksek karışımlarda terlemenin daha az olduğu ve geciktirici kullanımının da suyun beton içinde yukarı çıkışına doğal bir engel oluşturan C_3A 'nın oluşumunu yavaşlattığı için terlemenin uzun sürdüğü söylenmektedir. Bu, bir önceki çalışmada da ggbs kullanımı sonucu ortaya çıkan durumun aynısıdır.

Sonuç olarak terleme kapasitesinin ve terleme süresinin betonun priz alma süresiyle ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Betonun priz almasıyla bir miktar katılaşması sonucu terleme tamamen sona ermesine de yavaşlamaktadır.

Su azaltıcı katkı ve geciktirici yanında kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılan viskozite artırıcı katkının (VAK) da taze betonun özelliklerinin iyileştirilmesinde önemi ve kullanım sahaları geniştir. Ayrıca daha önce de değinildiği gibi kesit yüksekliği ve üstteki donatıların üzerindeki beton tabakasının kalınlığı da oturma çatlaklarının oluşması bakımından önemlidir.

T. A. Soylev ve R. François tarafından yapılan bir çalışmada [5] çelik ve beton arasındaki hataların donatıların korozyonuna etkileri incelenmiştir. Bu hataların, betondaki terleme, oturma ve ayrışma sonucunda yatay donatıların altında oluşan boşluklardan kaynaklandığı, yatay donatıların altındaki yüksekliğin artmasıyla arttığı ve betonun terleme kapasitesine bağlı olduğu belirtilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) da dâhil birçok numune denenmiştir. Donatı-beton birleşim ara yüzeyindeki hatalar, çekme testi sonucu elde edilen aderans kuvveti değerlerinin bulunmasıyla belirtmeye çalışılmış ve video mikroskop kullanılarak da aderans boşluklarının uzunlukları saptanmıştır. Elde edilen iki sonuç birbirleri ile uyumlu

çıkılmıştır. Sonuçta numune yüksekliği arttıkça hataların da arttığı sonucuna varılmıştır.

Çalışmada C20, C40 ve C50 olmak üzere üç adet vibrate edilen normal beton ve KYB50 ve KYB40 olmak üzere iki adet de kendiliğinden yerleşen beton (KYB) kullanılmıştır. 40 santimetrenin üzerindeki numune yüksekliğinde yoğunluk ve porozite sapmaları önemsiz boyutlarda olmaktadır. Beton numunelerin diplerinde ise (10 cm) betonun kendi ağırlığından kaynaklanan sıkı ve yoğun bir bölge vardır. Yüksek terleme kapasitesinin bir sonucu olarak C20'nin porozitesi kesit yüksekliği arttıkça keskin bir şekilde artar. Porozite dayanım sınıfına bağlıdır ve dayanım arttıkça azalır.

Eurocode ve ACI standartları numune yüksekliğine bağlı olarak artan donatı ve beton arasındaki boşluk sorununu çözmek için yüksekliğin 25 ve 30 cm.in üzerine çıkması durumunda donatının kenetlenme boylarının sırasıyla %43 ve %30 artırılmasını bir güvenlik katsayısı anlamında önermişlerdir. Bu olumsuz etki normal betonda çökme değerinin artmasıyla yükselmektedir, ancak yüksek çökme değerine sahip KYB' de stabilite iyi düzeylerde kalmaktadır. Bunun nedeni de KYB' yi normal betonlardan farklı kılan, bileşimindeki yüksek oranda su azaltıcı (YOSA),yüksek ince malzeme miktarı ve/veya viskozite artırıcı katkıdır (VAK). Sonuç olarak KYB, yüksek çökme değerine rağmen terleme ve oturmaya karşı koyar.

50 MPa dayanım sınıfı için yüzeyde herhangi bir hata görülmemiştir. Çünkü bu betonlar düşük su/çim oranına sahiptir ve dolayısıyla da düşük terleme görülür. C20 için beton kolon numunenin yüksekliği boyunca üç bölge birbirinden ayrılır. İlki dipte betonun yoğun olduğu sıkışma bölgesidir (alt bölge). İkincisi orta bölge boyunca devam eden sabit yoğunluk bölgesidir. Üçüncüsü ise terleme suyunun toplandığı üst bölgedir. 160cm.den yukarıda, kolonun yüzeyine yakın bölgede donatı ile beton arasındaki aderans hataları çok artmaktadır. En alttaki 40 cm.lik bölgede hiçbir kusur yoktur ve hatta 40 cm ile 160 cm arasındaki bölgede de bazı noktalarda hiç kusur görülmemiştir.

Çalışma sonucunda YOSA ve VAK kullanımının önemi görülmüştür. Yüksek çökme değerli geleneksel betonun yüksek terleme kapasitesi vardır. Bu da kolon yüksekliği boyunca donatı-beton birleşim bölgelerinde kusurlara yol açmıştır. HRWR kullanımı

ise su/çim oranını azaltmış, silis dumanı gibi ek bağlayıcı maddelerin kullanımı ve VMA kullanımı ise betonun stabilitesini artırmıştır.

Khayat tarafından yapılan bir araştırmada [6] viskozite artırıcı katkının (welan sakızı) yüksek akışkanlıktaki betonun stabilitesine katkıları gözlenmiştir. Viskozite artırıcı katkı miktarı, numune yüksekliği ve konsolidasyon şeklinin terleme, yüzey oturması, ayrışma ve yatay donatılardaki aderans kuvvetine etkilerini değerlendirmek için 50, 70 ve 110 cm yüksekliğinde dikdörtgenler prizması şeklindeki toplam 25 numune hazırlanmıştır. Çökme değerleri 190 ile 220 mm arasında ve çökme yayılması değerleri de 600 ile 690 mm arasında değişen karışımlar kullanılmıştır.

Çalışmada oturma çatlakların yüzey donatılarının çaplarının artmasıyla ve bu donatıların üzerindeki beton örtüsünün kalınlığının (pas payı) azalmasıyla arttığı belirtilmektedir. Ayrıca büyük çapta donatı kullanımının terlemeden dolayı altında suyun daha rahat birikecek olmasından dolayı birleşim bölgesinde yerel aderans zayıflıklarına küçük donatılarla karşılaştırıldıklarında daha fazla yol açtığı vurgulanmaktadır.

Önceki çalışmada da değinildiği gibi bu çalışmada da VAK ile yüksek etkili su azaltıcının (YOSA) dengeli kullanımının karışımın hem akışkan olup hem de viskozitesinin yeterli olmasındaki önemine değinilmiştir. Çalışmada bu iki katkının çeşitli oranlardaki kullanımları görülmektedir.

Çalışma sonucunda çökme değerini, numune yüksekliğini ve sıkıştırmanın tipini dikkate almadan viskozite artırıcı katkı kullanımından dolayı oluşan yüzey oturmasındaki azalmanın (bu, kanama ve ayrışmayla ilgilidir.) yüzey donatısı etkenini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Burada yüzey donatısı faktörü (top bar factor), kesitin üst kısmındaki donatıların alt yüzlerinin terleme dolayısıyla hava cepleri oluşmakta ve donatının etrafındaki betonla aderansının azalması olarak tanımlanmaktadır.

2. TAZE BETON ÇATLAKLARI

Taze beton çatlakları, betonun kalıba yerleştirilmesini izleyen ilk 30 dakika ile 5 saat arasında, genellikle döşeme gibi geniş yüzeylere uygulanan betonlarda görülür. Bu çatlaklar 10 cm.ye erişen derinlikte ve birkaç cm.den başlayarak 2 m.ye varan uzunlukta olabilir. Oluşan çatlaklar betonun özellikle uzun süreli dayanımı açısından zararlıdır [7]. Betonun geçirimsizliğin azalmasıyla, donma çözünme dayanımının azalması ve donatı korozyonunun artması gibi istenmeyen durumlar oluşmaktadır.

Taze beton çatlakları 4 nedenden dolayı oluşabilir. 1- Suyun hızlı buharlaşması ve yüzey yakınında kapiler suda menisi formu ve yüksek çekme gerilmesi oluşumu. 2- Taze betondaki farklı sıcaklık kademelerine ve sıcaklık ilerlemelerine bağlı olarak farklı ısıl genleşme. 3- Plastik safhada oluşan kendiliğinden büzülme. 4- Çatlakların sıklıkla donatıların üzerinde veya kesitteki ani genişlik değişimlerinin olduğu yerlerde görüldüğü farklı oturmalar [8]. Bunlardan yapılarda en sık görülen iki tanesi plastik büzülme çatlakları ve farklı oturma çatlaklarıdır.

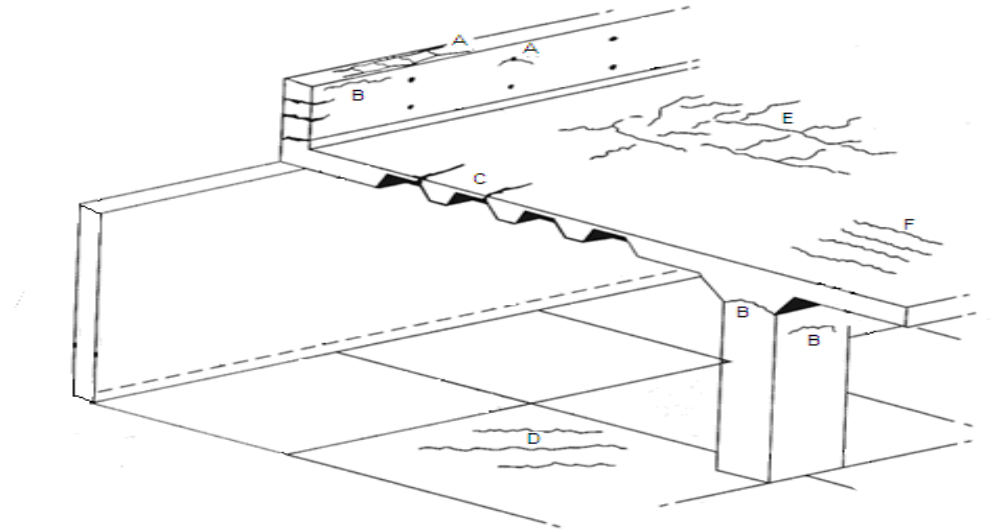
2.1 Plastik Büzülme Çatlakları

Bu çatlaklar geniş yüzeyli olan döşeme, yol, park ve havaalanı betonları gibi uygulamalarda oluşabilir. Beton yüzeyindeki suyun buharlaşma hızı, betonun içindeki suyun yükselme hızından yani terleme hızından fazla ise, betonun yüzeyi kurumaya, dolayısıyla büzülmeye başlar. Alttaki beton bu büzülmeye uyum sağlayamadığı için, üst tabakasında çekme gerilmeleri oluşur ve çekme şekil değiştirme kapasitesinin de düşük olması nedeniyle beton çatlar. Beton yüzeyindeki suyun buharlaşma hızı; beton sıcaklığının, ortam sıcaklığının, rüzgâr hızının yüksek oluşuyla ve havanın bağıl nem oranının düşük oluşuyla artar. Aynı çatlaklar, yeni dökülen betonun altındaki eski ıslatılmamış betonun veya asmolonli tabliyelerdeki briket gibi diğer malzemelerin beton suyunu emmesi sonucu da oluşabilir [7].

2.2 Farklı Oturma Çatlakları

Taze betonda çimento, kum, agrega ve yoğunluğu suyunkinden büyük diğer katı tanecikler yerçekiminden dolayı suyu yukarı doğru iterek dibe çöker. Tüm betonlarda doğal olarak gerçekleşen ve bu olaya oturma denilir. Bu haliyle betonda çatlama olmaz, çatlama olabilmesi için betondaki bu oturma bir takım engellemelerden dolayı yer yer farklı olması gerekmektedir. Yapıda buna donatılar neden olur. Yapıda yüzeye yakın donatılar, üzerlerindeki betonun oturmasına karşı koyar. Buna rağmen donatıların aralarındaki beton oturmasına devam eder ve bunun sonucunda da yüzeydeki zaten düşük olan çekme dayanımı kaybolur ve çatlak oluşur. Beton yüzeyinde oluşan oturma çatlaklarının rötre çatlaklarında olduğu gibi gelişigüzel bir dağılımla değil, yüzeye yakın donatıların bulundukları hatlar boyunca uzandıkları görülür.

Şekil 2.1’de yapıdaki farklı oturma çatlaklarının (A, B, C) ve plastik oturma çatlaklarının (D, E, F) olası yerleri gösterilmiştir. Farklı oturma çatlakları genellikle kirişlerde üst yüzeye yakın donatıların hemen üzerinde (A) oluşurlar. Ayrıca mantar başlıklı bir kolonun baş kısmına yakın yerde (B) veya beton derinliğindeki değişimin olduğu nervürlü döşemelerde de (C) görülebilirler [7].



Şekil 2.1: Yapıdaki oturma çatlak türleri ve yerleri

Bunun yanında, altında kolon devam eden kirişlerin kolonla birleştiği bölgelerin üst kısımlarında çatlaklar daha yoğundur. Döşemeler ince olduğu için oturma azdır, pek çatlama görülmez. Kirişler daha derin olduğu için oturma çok olabilir ve demirlerin haritası beton yüzeyine çıkar, çatlaklar donatıların yerini belli eder. Beton yüzeyinde

çatlaklar bir kere oluştuktan sonra onları yok etmenin tek yolu beton henüz plastik kıvamdayken betonun yüzeyini tekrar vibrate etmek ve tekrar perdahlamaktır. [9]

Bu çalışmada farklı oturmadan kaynaklanan çatlaklar incelenecektir. Çatlak oluşumu üzerindeki etkilerini görmek amacıyla karışımın dozajı, su/çimento oranı, ince malzeme yüzdeleri ve pas payı değişimleri incelenecektir.

2.3 Farklı Oturma Çatlaklarının Terleme, Ayırışma ve Kohezyon ile İlişkisi

2.3.1 Terleme (Kanama)

Betondaki teorik su/çim oranı 0.27 ile 0.32 arasında değişmektedir. Ancak çoğu zaman betonun daha iyi karıştırılabilmesi, taşınabilmesi, yerleştirilebilmesi ve yüzey perdahlanması için bu oranın daha yüksek olması gerekmektedir. Dolayısıyla bu fazla suyun bu işlemler bittikten sonra betonu terk etmesi sonucu da terleme kaçınılmaz olmaktadır.

Terlemeyi tanımlarken 3 kavram önemlidir; karışımın birim hacminden çıkan suyu tanımlayan *terleme kapasitesi*, birim zamanda oluşan suyu tanımlayan *terleme hızı* ve terlemenin artık önemsiz hale gelmeye başladığı zamana kadar geçen süreci tanımlayan *terleme süresi* [10]

Terleme, betonun yerleştirilmesiyle priz alması (prizinin tamamlanması) arasındaki süreçte suyun yüzeye çıkıp yüzeyde toplanmasıdır. Normal ve kanallı olmak üzere ikiye ayrılır. Normal terleme tüm yüzey boyunca düzgün olarak oluşan sızıntıdır. Düşük miktarlarda olması zararsızdır, hatta kürün yeterli olmadığı durumlarda yüzeydeki plastik büzülmeyle önleyeceğinden dolayı yarar bile sağlamaktadır. Kanallı terleme ise betonun içinden yüzeye doğru yönelen düşey kanallar boyunca oluşur [10]. Su, bu kanallardan çimento ve kumun ince tanelerini taşıyarak içeride kurt delikleri gibi delikler açar ve kalıplanan yüzeyde ince kum görünümlü yüzey bırakarak oldukça hızlı akar [11]. Bu durum her açıdan çok zararlıdır.

Oturma terlemenin bir sonucudur ve oturma ile genelde eş zamanlı oluşmaktadır. Terleme ile yüzeye çıkan toplam su miktarı şu nedene bağlıdır:

- Su/çim oranı:

Genel olarak su/çim oranı yüksek olan betonlarda oturma ve terleme de çok olmaktadır. Buradaki aşırı terleme oturmanın, yani oturma çatlaklarının çok

olduğunun bir göstergesi durumundadır. Ayrıca terlemenin fazla miktarlarda olması durumunda terleme ile yüzeye yükselen su, yüzeye yakın katmanların su/çim oranının artmasına, üst donatıların bulunduğu kısımlardaki betonun cıvık olmasına neden olacağından oturma çatlaklarının oluşumunu kolaylaştırıcı, artırıcı etki yapar. Burada ise terleme, oturma çatlaklarının dolaylı bir nedeni durumundadır.

- İnce tane yüzdesi:

Çimento, mineral katkı, ince kum gibi ince malzemelerin sabit su/çim oranındaki bir beton içinde yüksek oranlarda kullanımı su tutmayı artırır. İnceliği yüksek çimento, mineral katkı ve ince agrega kullanımıyla da harçtaki suyun ıslatması gereken toplam yüzey alanı artacağından fazla suyun terleme yoluyla çıkmasının önüne geçilir [12]. Ayrıca mineral katkı ve ince kum kullanımı işlenebilmeyi artıracığından sabit işlenebilme koşulunda dökülen bir betonda daha düşük su/çim oranı yeterli olacaktır. Böylece terlemenin de daha az oluşacağı açıktır. Her iki durumda da terlemenin az olması daha az oturma anlamına geldiğinden daha az oturma çatlaklarının oluşacağı söylenebilir.

Ayrıca ince tane kullanımından farklı olarak tane dağılımının çeşitli ve boşlukları en fazla dolduracak şekilde uygun oranlarda kullanılmaları durumu vardır. Buna agreganın uygun granülometride kullanımı denir. Bu sayede beton ne kadar az boşluklu olursa kuma suyunun yukarı çıkması zorlaşır, gecikir ve su kuma hızı azalır.

- Yerleştirilen betonun derinliği:

Derin kesitlerde sığ kesitlere göre daha fazla miktarda beton hacmi olduğundan daha fazla kuma suyu birikir [11]. Bu durumda da daha fazla oturma oluşacağı açıktır. Kirişlerde döşemelere göre daha fazla oturma çatlakları görülmesi bu nedenledir.

Fazla terleme bunun yanında gözenekliliğin artmasına, dayanımın düşmesine, suyun agrega tanelerinin altında veya yüzeye yakın donatıların alt taraflarında birikerek burada zayıf bölgeler oluşturup harçla olan aderansın azalmasına ve hatta korozyona neden olur. Dolayısıyla da betonun durabilitesi azalır.

Terlemeyi azaltan etkenler başlıca; çimento inceliğinin ve dozajının artırılması veya inceliği yüksek mineral katkı kullanılması, hava sürükleyici katkı kullanımı, karışım suyunun azaltılması ve agrega granülometrisinin uygun olması olarak sıralanabilir.

Terlemeyi azaltmasına karşın betonda yüzey/hacim oranı yüksek olan ince malzemeler fazla ise, betonda plastik rötre riski vardır. Belirli bir su/çimento oranı için, ince malzeme ve çimento dozajı arttıkça, plastik rötrenin arttığı deneylerle kanıtlanmıştır. Betonda yeteri kadar ince malzeme var ve beton az boşluklu ise beton terleme suyunun yukarı çıkması güçleşir. Yüzeyden buharlaşan suyun yerine terleme suyu gelemeyince beton yüzeyi kurur ve çatlaklar oluşur. Böyle bir durumda başka etkileri göz önüne alarak, ince malzeme ve gereğinden fazla çimento kullanılmasına sınırlama getirilebilir.

2.3.2 Ayrışma

Ayrışma, bu çalışmanın konusu oturma çatlaklarının nedeni olan oturmadan farklı bir kavramdır. Oturma, karışımdaki su haricindeki katı parçacıkların birbiri içinde yer değiştirmenden homojen bir şekilde yukarı çıkan suyun bıraktığı boşluklara çökmesi idi. Ayrışma ise yine temelde yer çekiminden dolayı taze betonun içindeki ağır parçacıkların karışımın dibine doğru çökmesi veya iri agregaların taşıma, karıştırma ve yerleştirme sırasında betonun harç fazından ayrılmaları olarak tanımlanabilir [12]. Bu tanımlı daha fazla açarsak ayrışma; kaba (büyük boyutlu) ve ağır parçaların dibe doğru oturduğu *içsel oturma* ve kaba parçaların genellikle yanlış taşımalarından doğan dış kuvvetler sonucunda oturma yapmadan önce ana gövdeden ayrıldığı *dışsal ayrışma* olarak ikiye ayrılabilir [13].

Bu tanımlardan görüleceği gibi ayrışmada oturmadakinin tersine tüm katı parçacıkları aynı çökmeyi yapmaz. Bu her şeyden önce, betonu oluşturan kum-çakıl ve çimento gibi değişik büyüklük ve yoğunlukta olan malzemelerin uygun oranlarda kullanılmamış olmasından kaynaklanır. Ayrışmayı artıran etmenlerin başlıcaları; büyük agrega boyutu (>25mm) ve yüksek oranlarda kullanımı, ince agregaya kıyasla kaba agreganın yoğunluğunun fazla olması, kum ve çimento gibi ince malzemelerin miktarının az olması, pürüzsüz ve yuvarlak şekilli parçacıklar yerine pürüzlü ve düzgün olmayanları kullanmak ve aşırı kuru veya aşırı sulu karışımlar kullanmaktır [12].

Ayrışma olan bir betonda oturma da olmaktadır ve ayrışma, oturma gibi homojen olmadığından betonun tüm hacminde aynı şekilde, aynı miktarda oluşmaz. Ayrıca çöken sadece katı bileşenlerden büyük olanlarıdır. Yani terleme ile arasındaki ilişki

oturma ile terleme arasındaki ilişkiden daha zayıftır. Yine de oturmadan dolayı oluşacak çatlaklar üzerinde ayrışmanın artırıcı etkisinin olacağı kesindir.

2.3.2.1 Vibrasyonun Akma Gerilmesi ve Ayrışma Üzerindeki Etkisi

Betonun kohezyon ve kararlılığının artırılmasıyla ve bir başka deyişle ayrışma ve terlemenin azaltılmasıyla oturma çatlakları azaltılabilir. Ama sonuçta ne kadar azaltılırsa azaltılsın sadece betonun bileşiminin ve kohezyonunun iyileştirilmesi yoluyla oturma çatlaklarının önüne tamamen geçmek zordur. Bunların dışında betonun kalıba iyi yerleştirilmesi ve etkili ve yeterli vibrasyon da şarttır. Vibrasyonun frekansı, şiddeti ve geometrisi, vibrasyonun kalıba veya betonun içine uygulanması, agreganın vibrasyona uzaklığı ve vibrasyon süresi önemlidir.

Birçok araştırmacı tarafından taze betonun reolojisi bingham modeliyle $\tau = \tau_0 + \mu\gamma$ denkleminde tanımlanmaktadır. Bu denklemdeki τ : kesme gerilmesi, τ_0 : akma gerilmesi, μ : plastik viskozite, γ : kesme gerilmesi hızıdır. [14]

Akma gerilmesi ve plastik viskozite taze betonun akma özelliklerini karakterize eder. Sisteme kesme gerilmesi etkidiğinde gerilme, tanecikler arasındaki sürtünmeden yani akma gerilmesinden fazlaysa deformasyon olur. Betona vibrasyon uygulandığında da aynı durum olmaktadır. Beton içinde belli bir akma değerinin altında askıda durabilen agregalar vibrasyon uygulandığında bu akma gerilmesinin aşılması yüzünden çökmeye başlar. Karışım plastik duruma gelir. Oluşan aşırı plastik durum ve ayrışma sonucunda da oturmalar ve farklı oturma çatlakları da olasıdır.

2.3.3 Kohezyon

Taze bir betonun sahip olması gereken özelliklerden en önemlilerinden bir tanesi kohezyondur denilebilir. Kohezyonlu bir betonda oturmaya ve ayrışmaya daha az rastlanır. Kohezyonlu bir beton kendini tutabilmeli ve dağılmamalıdır. Taze betonun şantiyede ölçülen çökme deneyi değerleri 14 cm ve üzerinde çıkmaktadır. Bu derecede yüksek çökmeye sahip bir betonun kalıplara yerleştirilirken ayrışmaması ancak çok mükemmel bir kohezyona sahip olmasıyla gerçekleşir. Fakat akıcı haldeki betonda karışım ne kadar iyi hazırlanırsa hazırlansın, iri agrega taneleri dibe çökebilir ve betonun içindeki suyu yukarı itip terlemeye neden olabilirler [15].

Bununla beraber kohezyon kavramına çok paralel olan kararlılık (stabilite, dengelilik) kavramı da hem ayrışmanın az olmasını hem de taze betonun içindeki

suyun da ayrışmamasını yani terlemenin (su kusma) az olmasını gerektirir. Taze betonda kohezyonu ve stabiliteyi etkileyen birleşim parametreleri su/çimento, agrega/çimento oranları ve su miktarıdır [16]. Yani beton içeriğinin bir denge durumunda bulunması, değişmemesi anlaşılmaktadır. Betonun stabilitesinin ve kohezyonun yüksek olması sonucunda oturmanın ve dolayısıyla da oturma çatlaklarının az olacağı açıktır.

2.4 Kimyasal Katkılar ve Stabilitate Üzerine Etkileri

Kimyasal katkılar mineral katkılara oranla ağırlıkça çok daha az oranlarda kullanılmaktadır. En çok kullanılan kimyasal katkılardan bazıları, süper akışkanlaştırıcılar (yüksek etkili su azaltıcılar), priz hızlandırıcılar, hava sürükleyici katkıları ve viskozite artırıcı katkılardır.

2.4.1 Akışkanlaştırıcı Katkılar

Taze betonun işlenebilirliğinde ve dolayısıyla da ayrışma probleminde süper akışkanlaştırıcı katkıları (SA) önemli yere sahiptir. SA'lar betonda; 1) çimento dozajı ve su miktarını sabit tutarak akışkanlığı artırmak (kendiliğinden yerleşen beton), 2) dayanımı sabit tutmak şartıyla çimento miktarını azaltarak hidrasyon ısısını azaltmak veya ekonomi sağlamak için su miktarını azaltmak ve 3) aynı kıvamda ve sabit çimento dozajında su miktarını azaltarak dayanımı artırmak gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilirler. Yaygın olan kullanım, su miktarını azaltarak dayanımın artırılmasıdır. Oturma çatlakları ve ayrışma probleminde de su/çim miktarının az olması önemli olduğundan su azaltma tercih edilir.

Akışkanlaştırıcılar su kesme yeteneklerine göre normal (% 10–15 arası su kesebilenler), süper (% 15–30 arası su kesebilenler) ve hiper (% 30'un üstünde su kesme özelliği olanlar) olarak 3'e; kimyasal bileşimlerine göre de lignosülfat kökenliler, melamin sülfonat formaldehit kökenliler, naftalin sülfonat formaldehit kökenliler ve polikarboksilat kökenliler olarak da 4'e ayrılabilir. [17,18]. Çoğunlukla lignosülfat kökenli katkılardan normal, melamin ve naftalin sülfonat formaldehit kökenlilerden süper ve polikarboksilat kökenlilerden hiper akışkanlaştırıcılar (HA) üretilmektedir. [19]

İlk akışkanlaştırıcılardan olan lignosülfat kökenli katkıları yüksek oranda şeker içerdikleri için priz gecikmesine sebep olmuştur [5]. Lignosülfatlardaki şekerin

rafine edilerek ayrıştırılmasıyla modifiye lignosülfatlar geliştirilmiştir. Ne var ki yüksek dozda kullanılmaları halinde stabilite kaybı ve priz gecikmesi gibi önemli problemler yaratacağından, klasik lignosülfatlarla betonda yakalanabilecek en yüksek su kesme oranı %10'u geçmemektedir [18].

SA'lar normal akışkanlaştırıcılara (NA) göre (su azaltıcılar) 3–4 kat daha fazla etkilidir. NA ile yaklaşık olarak %5–10 oranında azaltılabilen su/çim oranını, yüksek dozajlarda kullanımlarında priz geciktirme gibi kötü etkiler yaratmama özelliklerinden dolayı % 25'lere kadar düşürebilirler [11,20]. Naftalin ve melamin kökenli SA'lar birbirleriyle karşılaştırıldıklarında akışkanlaştırıcı etkinliği açısından, naftalin kökenlilerin daha etkili oldukları belirtilmiştir [17]. Melamin ve naftalin esaslı katkılarda uygulamada karşılaşılan en sık sorun zamanla betonda meydana gelen işlenebilirlik kaybıdır. İşlenebilirlik kaybını önlemek için 3. nesil olarak adlandırılan polikarboksilat kökenli katkılar geliştirilmiştir [19]. Bu katkılar yüksek oranda su kesme özelliğine sahip olup aynı zamanda yüksek işlenebilirlik etkisi sağlayan katkılardır [18].

Fazladan su katılmasıyla sağlanan işlenebilmede kayma eşiği ve viskozite düşer; SA katılarak sağlanan işlenebilmede ise kayma eşiği düşer ama viskozitedeki düşüş çok azdır. Bu bakımdan SA'lı betonlar daha yüksek stabiliteye sahiptir. Ayrışmanın da daha az olacağı açıktır. Fakat bu şekilde de betondaki çökme kaybı artmaktadır. Bu sorun kimyasal katkıının kullanım şekliyle ilgili önlemlerle engellenmeye çalışılır [15].

2.4.2 Priz hızlandırıcı Katkılar

Priz hızlandırıcı katkılar çimento ile su arasındaki hidratasyon reaksiyon hızını artıran katkılar olup, priz süresini kısaltıcı etki yapar ve betona erken dayanım kazandırır. Betonun bir an önce sertleşmesini sağladıklarından ayrışmaya ve kismaya fırsat vermezler. Ayrışma ve toplam terleme miktarı normalden az olur. Dolayısıyla çatlak oluşumunu azaltıcı etkileri vardır. En bilinen priz hızlandırıcı katkı olan kalsiyum klorürdür. Betona %2 oranında katılmasıyla prize başlama süresi 1 saate, priz bitiş süresi de 2 saate inmektedir. [11]

2.4.3 Hava Sürükleyici Katkılar

Betonun içine çimento ağırlığının %0,05'i oranında katılan hava sürükleyici katkı maddeleri, betonun içindeki hava boşluklarının miktarını artırır, çaplarını küçültür ve üniform hale getirir.[11] Bu sayede

Betonun yüzeyine doğru uzanan kanallar terlemenin çok hızlı ve zararlı boyutlarda olmasına neden olur. Sürüklenen hava bu kılcal boşlukların sürekliliğini bozduğu için betonun oturmadan ileri gelen kusması, dolayısıyla oturma çatlağı oluşumu da azalacaktır. [11]

2.4.4 Gaz Veren Katkılar

Gaz veren katkıları beton ve harç karışımlarının yerleştirilmesi sırasında hidrojen, oksijen ve azot gibi gazları kimyasal bir reaksiyon sonucu verebilen maddelerdir. Beton içinde az miktarlarda gaz verilmesi halinde taze betonda hafif bir şişme oluşur. Beton içinde bulunan gaz, betonun kalıplara yerleştirilmesinden sonra ayrışma ve onun sonucu olarak oluşacak su salma ve oturmaya azaltıcı rol oynar. Gaz veren katkıların en önemlisi toz alüminyumdur. Çimento ağırlığının %0,005-%0,02'si kadar kullanılır. Daha fazlası hafif beton yapımında kullanılır [11]. Çimento ağırlığının %0,01'i kadar bir kullanım %1'lik bir genişleme sağlar [20]

Bunların yanında çok amaçlı katkı maddeleri de önemlidir. Bu tür katkılardan pratikte en çok kullanılanlardan biri üç önemli özelliğin bir arada bulunduğu “prizi çabuklaştırıcı / suyu azaltıcı / akışkanlaştırıcı” katkıdır. [11]

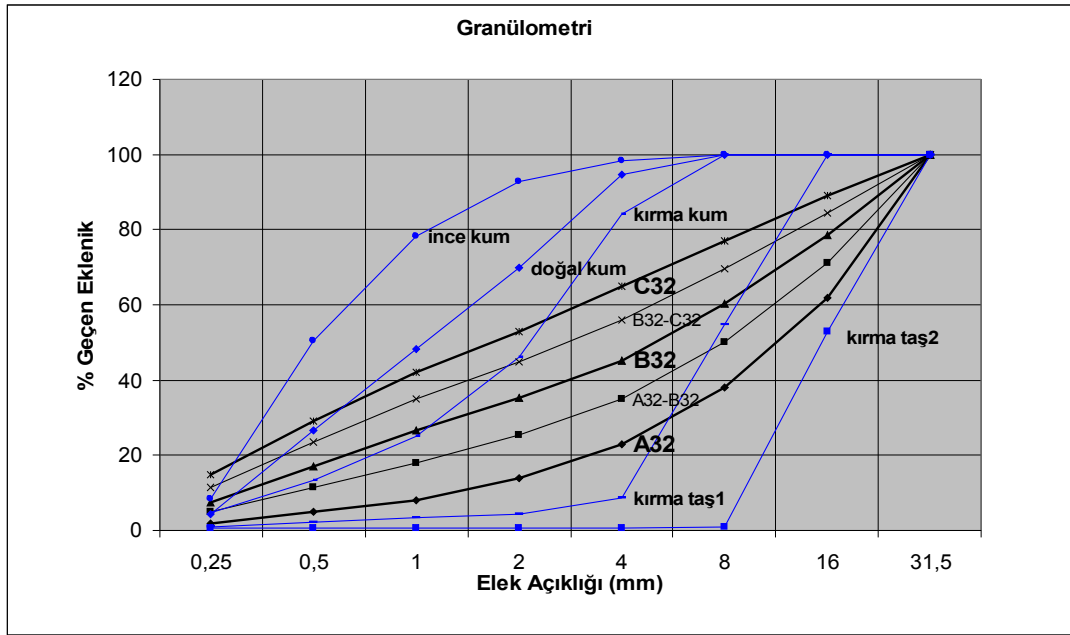
3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Şu ana kadar yapılan çalışmaların çoğu ayrışma ve terlemenin, beton kesitin üst kısmındaki donatılar ve onu çevreleyen beton arasındaki aderans sorunlarındaki etkilerini görmek üzerinedir. Bu çalışmada su/çimento (su/çim) oranı, dozaj miktarı, agreganın incelik modülü ve numunedeki donatının yüzeyle arasındaki mesafe olan pas payı değişiminin terleme, oturma miktarı ve farklı oturma çatlakları ile olan ilişkisi incelenecektir.

3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.11 Agregası Özellikleri

Yapılan bu TS 707’de belirtilmiş olan granülometri eğrileri kullanılmıştır. Burada en büyük tane çapı 31,5 mm’dir. Kullanılmış olan agregaların elek analizi deneyleri sonucu elde edilen granülometri eğrileri ve TS 707 standart eğrileri şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 TS 707'deki standart granulometri eğrileri ve kullanılan agregaların granulometri eğrileri

Yapılan granulometri deneylerinin yanında agregaların özgül ağırlık deneyleri sonucunda elde edilen özgül ağırlık değerleri tablo 3.1'dedir.

Tablo 3.1 Kullanılan agregaların özgül ağırlık değerleri

İnce kum	2,60
Kum	2,62
Kırma kum	2,65
Kırma taş 1	2,72
Kırma taş 2	2,74

3.1.2 Çimento Özellikleri

Üretilen betonlarda Nuh Beton firmasının CEM I 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Bu çimento genel amaçlı bir çimento olup klinker yüzdesi 90-95 civarındadır. Bu bakımdan katkısız çimento olarak düşünülür.

3.1.3 Kullanılan Katkılar

Çalışmada düşük su/çim oranına, düşük dozaja ve düşük inceliğe sahip karışımlardan elde edilen betonların uygun şekilde karıştırılıp kalıplara boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilebilmeleri için, yani 18 ± 3 cm çökme değerini elde edebilmek için hiper akışkanlaştırıcı kullanılması gerekmiştir. Bunun için Sika firmasının SİKAMENT Viscorete SF18 markalı hiper akışkanlaştırıcı katkısı tercih edilmiştir. Bunun

haricinde bu katkı farklı oranlarda kullanılabilir. Düşük oranda kullanıldığında akışkanlaştırıcı, yüksek oranda kullanıldığında süper veya hiper akışkanlaştırıcı özelliği göstermektedir. Normal akışkanlaştırıcı katkılarda ise yüksek oranda kullanılma sonucu yüksek akışkanlık gözlenmemektedir.

3.2 Beton Karışım Hesapları

3.2.1 Kabul Edilen Esaslar

Deney tasarımı Design Experiment (DX) isimli hazır bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Tasarım değişkenleri olarak aşağıdaki parametreler seçilmiştir:

- Su/Çimento oranı
- Granülometri
- Çimento dozajı
- Pas payı kalınlığı

Her bir parametre alt, orta ve üst olmak üzere 3 farklı düzeyde ele alınmıştır. Su/çim için 0,55, 0,60 ve 0,65, dozaj için 275, 325 ve 375 kg/m³, incelik modülü için A-B granülometri eğrisi (3,75), B eğrisi (4,3) ve B-C granülometri eğrisi (4,84), pas payı için de 2, 2,5 ve 3cm değerleri düşünülmüştür. Bu 3'er değerlerin birbirleriyle farklı birleşimleri sonucu üretilmesi gereken 81 adet karışımı DX programı kullanılarak 28 adete indirilmiştir. Bu sayede maliyet azalmıştır. Program bunu yaparken seçilen üst ve alt değerlere ek olarak kendisi de belli üst ve alt ekstremum değerler vermiştir. Programın yapılmasını önerdiği karışımlar tablo 3.3'de gösterilmiştir. Bu program, üretilmesini uygun gördüğü karışımların sonuçlarını bilgisayara girdikten sonra örneğin excel programıyla gösterimi mümkün olmayan 4 değişkenli Tablolar verebilmektedir.

Tablo 3.2: Çalışmada üretilen numunelerin karışım özellikleri

Dozaj (kg/m ³)	225	275	325	375	425
Su/Çim. Oranı	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
İncelik Modülü	5,38	4,84	4,3	3,75	3,21
Pas Payı (cm)	1,5	2	2,5	3	3,5

Bu çalışmadaki tüm karışımları 2 sınıfa ayırabiliriz. Toplam 28 farklı karışımımızdan 12'sini oluşturan A, B ve AB grupları ilk sınıfta, kalan 16 tanesini içeren C ve D grupları ise 2. sınıfta yer almaktadır.

İlk sınıftaki AB grubunda çalışmada dozaj için 325 kg/m^3 , su/çim oranı için 0,6, incelik modülü için 4,3 ve pas payı için de 2,5 cm olarak belirlenen ortalama değerler kullanılmıştır. Bu ortalama değerlere sahip birbirinin aynısı 4 karışım hazırlanmıştır.

A grubunda ise bu ortalama değerlerden sırasıyla bir tanesi üst en uç değeri almıştır. A1 karışımında dozaj 425 kg/m^3 , A2'de su/çim oranı 0,7, A3'te incelik modülü 5,38 ve A4'te de pas payı 1,5 cm'dir. Bu dört karışımın bu belirtilen özellikleri dışındaki tüm özellikleri AB karışımındakiyle aynıdır yani orta değerlerdir. B grubunda da ortalama değerlerden sırasıyla bir tanesi alt en uç değeri almıştır. B1 karışımında dozaj 225 kg/m^3 , B2'de ve B3'te incelik modülü 3,21 ve B4'te de pas payı 3,5 cm'dir. A1, A2 ve A3'ün terlemeyi ve dolayısıyla da oturmaya ve oturma çatlaklarını artıracak, B1, B2 ve B3'ün ise azaltacak öngörülmüştür. A4'ün düşük pas payının terleme ve oturmaya etkilemeden sadece oturma çatlak miktarının yüksek çıkmasını sağlayacak, B4'ün yüksek pas payının ise aynı şekilde çatlak miktarını azaltacak düşünülmüştür.

C ve D karışımlarındaki C; 375 dozajı, D ise 275 dozajı temsil etmektedir. C ve D harflerinden sonraki iki rakamdan ilki 2 veya 3'tür. Bunlar da pas payının santim olarak ifadesidir. C ve D harflerinden sonra gelen 2. rakamlar olan 1, 2, 3 ve 4 ise su/çim oranına ve incelik modülüne göre değişmektedir. Buna göre 2. sınıfta C21, C22, C23, C24, C31, C32, C33, C34, D21, D22, D23, D24, D31, D32, D33 ve D34 karışımları vardır.

Tablo 3.3: Çalışmada üretilen 28 adet numunenin kodları

B4	B3	B2	B1	AB1,2,3,4	A1	A2	A3	A4
0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6
325	325	225	325	325	325	425	325	325
4,295	3,205	4,295	4,295	4,295	4,295	4,295	5,385	4,295
1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5

C31	C32	C33	C34	D31	D32	D33	D34
0,65	0,65	0,55	0,55	0,65	0,65	0,55	0,55
375	375	375	375	275	275	275	275
4,84	3,75	4,84	3,75	4,84	3,75	4,84	3,75
3	3	3	3	3	3	3	3

C21	C22	C23	C24	D21	D22	D23	D24
0,65	0,65	0,55	0,55	0,65	0,65	0,55	0,55
375	375	375	375	275	275	275	275
4,84	3,75	4,84	3,75	4,84	3,75	4,84	3,75
2	2	2	2	2	2	2	2

3.2.2 Beton Üretimi, Karıştırma ve Yerleştirme Koşulları

Bu çalışmada beton üretimleri 40 litre kapasiteli betonyer kullanılarak yapılmıştır. Biri oturmanın gözlendiği diğeri de terleme ölçümlerinin yapıldığı iki adet numune için bu betonyerde tek seferde toplam 33lt'lik karışımlar hazırlanmıştır. Kuru malzemelerin (agrega+çimento) 3-4 dakika karıştırılmasının ardından içinde karışımına göre değişen miktarlarda hiper akışkanlaştırıcı katılmış olan su yavaşça kuru karışıma eklenmiş ve bu şekilde de 5 dakika karıştırılmıştır. Çökme değerleri çökme hunisinde yapılmıştır. Birim ağırlık ölçümleri ise birim ağırlık kovaıyla hassas terazide gerçekleştirilmiştir. 17±3 cm çökme değerini ilk dökümde sağlayamayan karışımlar tekrar karıştırılarak akışkanlaştırıcı miktarı artırılmıştır. Betonun yerleştirilmesi kalıp yüksekliğinin 3'te birlik bölümünün 25'er kez şişlenmesi yoluyla yapılmıştır. Kalıplara, yüzeyleri düzeltilerek yerleştirilen karışımların üstleri kapatılmış ve yüzeyden buharlaşma engellenmiştir. Deney ortamı için sabit bir sıcaklık değeri belirlenmemekle birlikte deney serin, güneşsiz ortamda yapılmıştır.

3.2.3 Numune Boyutları ve Sayıları

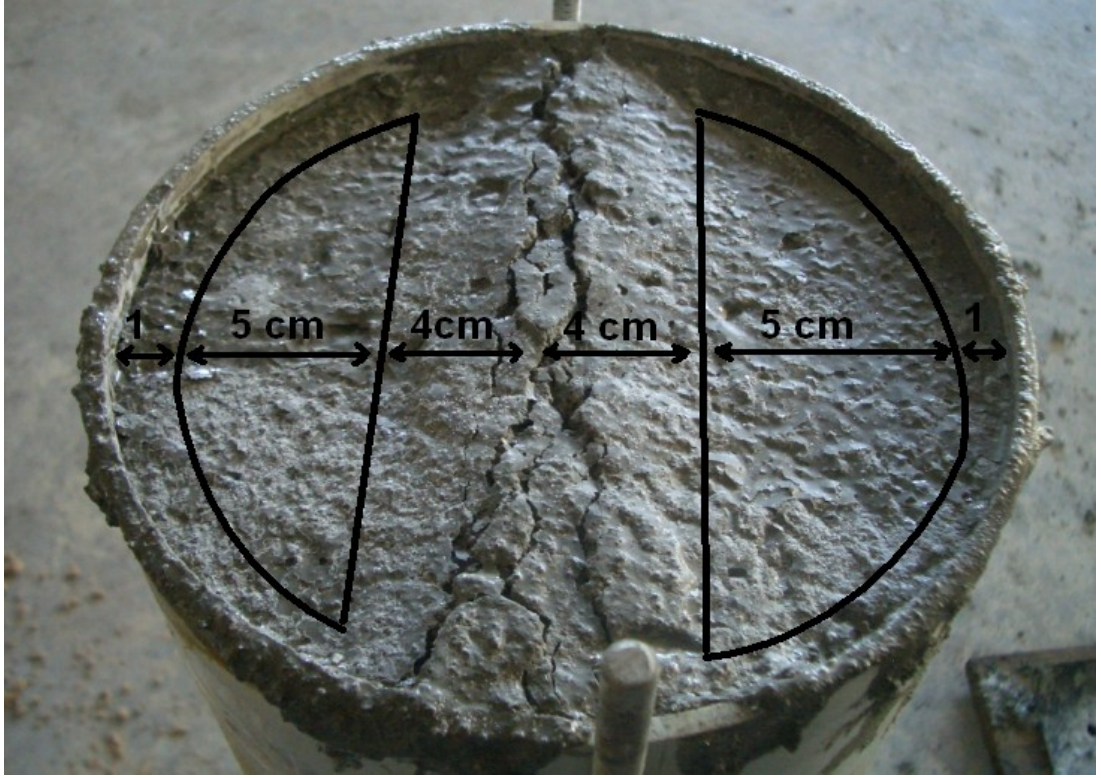
Oturma çatlağını gözlemleyebilmek için yüksekliği 60 cm, çapı 20 cm, hacmi de 17,1 lt olan silindirik bir kalıp (oturma gözlem kalıbı) kullanılmıştır (şekil 3.2). Bu kalıbın içine, ucuna bağlanmış tellerin kalıbın yanlarından her pas payı için açılmış

deliklerden geçtiği 19 cm uzunluğuunda 16 mm çapında nervürlü donatı konulmuştur. Oluşan oturma miktarları ve çatlak genişlikleri bir kumpas yardımıyla ölçülmüştür.

Oturma gözlem kalıbında üretilen çoğu numunede gözlenen tipik oturma bölgeleri ve donatı üzerinde oluşan çatlağı ve şeklini gösteren fotoğraf şekil 3.3’de gösterilmiştir. Oturmanın en fazla, yani gerçeğe en yakın, olarak oluştuğu yerler siyah çizgilerle belirtilmiştir. Bu bölge tam donatı üzerinde kalıp yüzeyi boyunca ilerleyen çatlağın iki yanından 4’er cm yanlarından başlamakta ve kalıp çeperlerine 1’er cm mesafeye kadar derinliğini korumaktadır. eperlere yaklaştıkça sürtünmeden dolayı çeper etkisi oluşmakta ve bu yüzden çeperlere yakın yerlerde gerçek oturmadan daha az oturma oluşmaktadır.



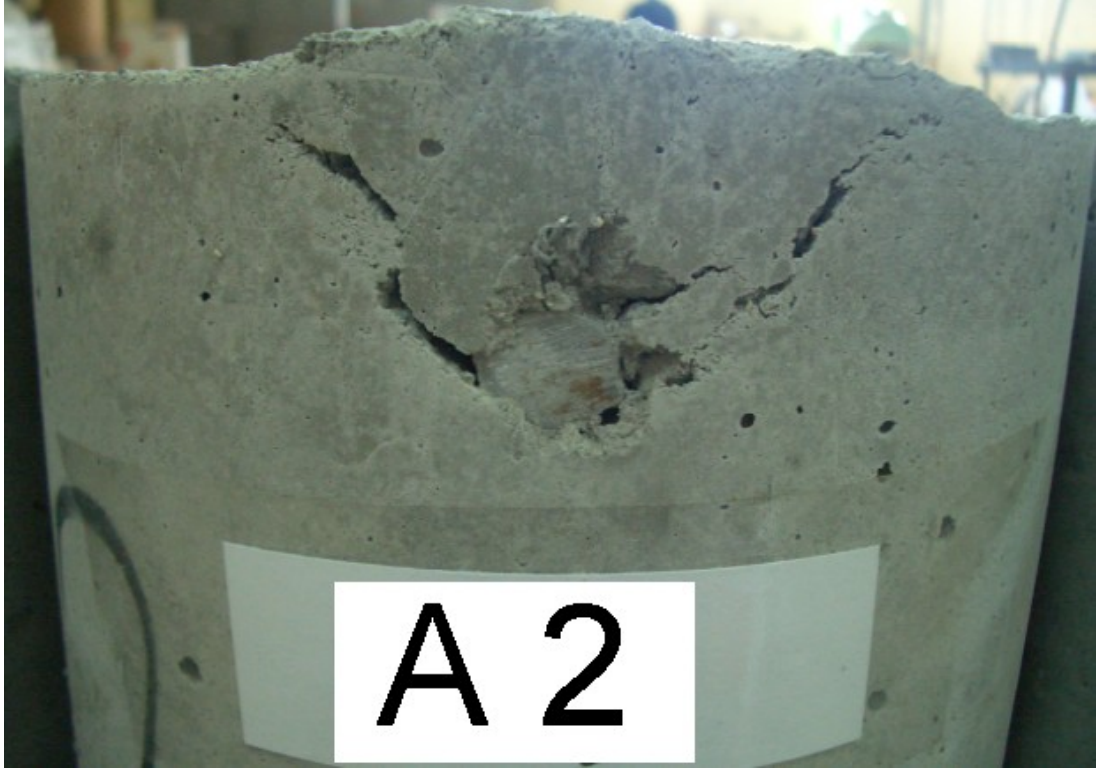
Şekil 3.2: Oturma çatlağının gözlemlendiği numune kalıbının fotoğrafları



Şekil 3.3: Kalıbının içerisinde duran oturma gözlem numunesinde oluşan oturma çatlağı ve oturma bölgeleri

Şekil 3.4’te A2 numunesinin yandan çekilmiş fotoğrafı sayesinde oturma bölgeleri daha rahat görülmektedir. Buna göre donatının yanlarındaki beton tabakasının donatının üstündekine göre, beklendiği üzere, daha fazla çöktüğü, kalıp çeperlerine temas eden dış kısımlardaki oturma ise az olduğu daha açık görülmektedir. Bunların yanında donatı altında ve bu çatlak boyunca aderanssız zayıf bölgeler, boşluklar oluştuğu görülmektedir. Bu oluşum literatürde “top bar effect” (üst donatı etkisi) olarak adlandırılmaktadır.

Boyutları ASTM standartlarında belirlenmiş olan terleme numunesi kalıbının yüksekliği $11 \pm 1/4$ inch (28 cm), çapı $10 \pm 1/4$ inch (25 cm) ve hacmi de 13,3 lt’dir. Bu numunedan terleme değerleri betonun kalıba yerleştirilmesini izleyen her saat başı bir şırınga yardımıyla yüzeyde oluşan terleme suyu toplanarak ölçülmüş ve terleme sıfırlanana kadar sürdürülmüştür. Ölçüm aralarında numunenin tepesi kurumayı önlemek için bir kap ile kapatılmıştır. Terleme numunesi kalıbı şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Donatılı numunenin yanlarında gözlenen çatlak tipi ve donatı altı cebi



Şekil 3.5: Terleme miktarının gözleendiği numunenin kalıbı

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Yapılan Deneylerin Sonuçları

	AB1	AB2	AB3	AB4
Dozaj (kg/cm ³)	325	325	325	325
Su/Çim	0,6	0,6	0,6	0,6
İncelik Modülü	4,295	4,295	4,295	4,295
Pas Payı (cm)	2,5	2,5	2,5	2,5
Numune Resimleri				
Akışkanlaştırıcı Yüzdesi	0,35	0,3	0,3	0,3
Çökme Miktarı (cm)	15	18	17	16
Toplam Terleme (ml)	32	40	62	49
Çatlak Genişliği (mm)	3	3,5	5	3
Oturma (mm)	4	5	5	3

Şekil 4.1: AB1, AB2, AB3 ve AB4 karışımlarının deney sonuçları

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi AB1, AB2, AB3 ve AB4 karışımlarının sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Yalnızca AB3 karışımının terlemesi ve dolayısıyla da oturma miktarı ve çatlak genişliği yüksek çıkmıştır. Bunun birkaç nedeni olabilir. Bunlardan ilki kullanılan agreganın hava kurusu olması gerekirken o günkü bağıl nemin yüksek oluşundan dolayı fazla nemli olması ve dolayısıyla da karışımdaki suyun yüksek oluşu. Kullanılan agreganın granülometrisinin agregaya yığınının her yerinde homojen olmaması. Yani bir karışım için yığından alınan agregaya iri taneli olabiliyorken diğer bir karışım için alınan agreganın daha ince malzemeden oluşması. Örneğin yığının dibine doğru agreganın tozu ve unu birikeceğinden dibten ve dibe yakın yerden alınan unlu malzemece zengin agregalar karışımdan daha fazla su çeker ve bu da başta numunenin terlemesini ve diğer tüm özelliklerini etkiler. Sonuçta kullanılan bilgisayar programının 4 adet orta değer istemesinin nedeni de

çalışmada meydana gelebilecek bu tür yanlışlıkların ne düzeyde olabileceğini hesaplayarak elde ettiği standart sapma değerini geriye kalan 24 adet karışımı yorumlarken hesaba katmasıdır.

	A1	B1	A2	B2
Dozaj (kg/cm ³)	425	225	325	325
Su/Çim	0,6	0,6	0,7	0,5
İncelik Modülü	4,295	4,295	4,295	4,295
Pas Payı (cm)	2,5	2,5	2,5	2,5
Numune Resimleri				
Akışkanlaştırıcı Yüzdesi	0	3,5	0	1,0
Çökme Miktarı (cm)	22	22	19	19
Toplam Terleme (ml)	107	0	128	0
Çatlak Genişliği (mm)	5	0	6	0
Oturma (mm)	6,5	0	7	0

Şekil 4.2: A1, B1, A2 ve B2 karışımlarının deney sonuçları

	A3	B3	A4	B4
Dozaj (kg/cm ³)	325	325	325	325
Su/Çim	0,6	0,6	0,6	0,6
İncelik Modülü	5,385	3,205	4,295	4,295
Pas Payı (cm)	2,5	2,5	1,5	3,5
Numune Resimleri				
Akışkanlaştırıcı Yüzdesi	0,2	1	0,3	0,3
Çökme Miktarı (cm)	16	22	18	16
Toplam Terleme (ml)	24	0	47	32
Çatlak Genişliği (mm)	0	0	3	0,3
Oturma (mm)	0	0	4	1

Şekil 4.3: A3, B3, A4 ve B4 karışımlarının deney sonuçları

Şekil 4.3 ve 4.4'teki A1, B1, A2, B2, A3, B3, A4 ve B4 karışımlarından alt ekstremum değeri içeren B karışımlarında beklendiği gibi hiçbir çatlama oluşmamıştır. Yalnızca B4 numunesinde çok küçük bir çatlak vardır. Bunun yanında A3 numunesi hariç üst ekstremum değeri içeren tüm A karışımlarında beklendiği gibi çatlak oluşumu gözlenmiştir.

İncelik modülünün artışıyla birlikte ince malzeme miktarının azalması, dolayısıyla su emmenin azalmasıyla da terlemenin artması sonucunda ve oturma ve çatlak oluşumuna daha elverişli bir karışım elde edilmesi beklenirken 5,39 incelik modülündeki A3 numunesinde hiçbir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Dozaj ve su/çim oranı diğer bazı karışımlarla aynı olan A3 numunesinde çatlak oluşmamasının nedeni olarak, çok yüksek olan incelik modülünden dolayı, yani iri agrega miktarının çok olduğundan dolayı, agregaların karışım içinde birbirine kalıp yüksekliği boyunca temas etmesi ve çökelme yapamaması ileri sürülebilir. Buna birbiriyle temas halinde bulunan iri agregaların bir iskelet gibi oynamaz ve sıkışık hale gelmelerinden dolayı 'iskelet formu oluşumu' denilebilir. Bu durum şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4: A3 numunesinde oluşan iskelet formu

Bu olayı açıklamak için üç adet deneme yapılmıştır. Dozajı ve su/çim oranı aynı olan, ancak farklı incelik modüllerindeki üç adet karışımın kırma kum, kırma taş1 ve kırma taş2'lerinden sağlanan 4 mm'den büyük kaba agregaları çatlak gözlem kalıbına konulmuştur. Homojen dağılmaları için iyice karıştırılmış ve kalıp içinde kapladıkları gerçek hacimler ve kalıpta doldurdıkları (görünür) hacimler ölçülmüştür. 1. deneme, incelik modülü 4,3 olan bir AB karışımı, 2.si aynı karışımdan incelik modülü 4.84 olacak şekilde hazırlanmış bir başka karışım ve 3.sü de incelik modülü 5,39 olan A3 karışımıdır. Deneme sonuçları tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Agrega hacmiyle ilgili deney sonuçları

İncelik	Kırma taş 1 (kg)	Kırma taş 2 (kg)	Ağırlık toplamı	Su dolu ağırlık	Boşluk hacmi (lt)	Kalıp hacmi (lt)	Agrega hacmi (lt)	Dolu yükseklik (cm)	Kalıpta doldurduğu hacim (lt)
4,3	6,28	9,5	16,87	28,2	11,33	17,01	5,68	45	12,76
4,84	4,53	14,95	21,74	30,7	8,96	17,01	8,05	51	14,46
5,39	1,43	19,09	24,52	32,6	8,08	17,01	8,93	57	16,16

Üç numune içinde incelik modülünün yükselmesiyle birlikte kalıba konulacak 4mm'den büyük kaba agrega miktarı arttığı için doğal olarak hacim artışı olmuştur. Fakat kaba agreganın kalıpta doldurduğu görünür hacmin, agregaların aralarındaki boşluklardan dolayı daha fazla olduğu ve incelik modülünün artışıyla birlikte bu görünür hacmin daha da yüksek oranda arttığını görmekteyiz. Öyle ki, incelik 4,3 iken agrega hacmi 5,68 lt. ve kalıpta doldurduğu hacim 12,76 lt. iken incelik modülünün 5,39'a çıkmasıyla birlikte agrega hacmi 2,25 lt artmış, ancak görünür hacim 3,4 lt artmıştır. Bu durumda kaba agregaların kalıptaki yüksekliği 45cm'den 57 cm'ye çıkmış, yani üstten 3 cm boşluk kalmıştır. Bir başka deyişle başlangıçta 60 cm'lik kalıpta bir karışım içinde homojen bir şekilde dağılmış olan kaba agreganın çökelebilmesi için sadece 3 cm'si olduğu görülmektedir. Pratikte de hiçbir oturma çatlaklarının gözlenememesinin nedeni bu şekilde açıklanabilir.

0,6 su/çim oranına rağmen düşük çıkan terleme miktarınıysa agregaların arasında kalan büyük boşluklara bağlayabiliriz. Beton içerisinde yukarı yükselme eğilimindeki terleme suyu büyük boşluklar nedeniyle agregaların aralarında kalmış, yüzeye çıkamamıştır.

	C21	C22	C23	C24
Dozaj (kg/cm ³)	375	375	375	375
Su/Çim	0,65	0,65	0,55	0,55
İncelik Modülü	4,84	3,75	4,84	3,75
Pas Payı (cm)	2	2	2	2
Numune Resimleri				
Akışkanlaştırıcı Yüzdesi	0	0	0,15	0,5
Çökme Miktarı (cm)	20	18	18	17
Toplam Terleme (ml)	131	99	33	7
Çatlak Genişliği (mm)	14	2	1	2,0
Oturma (mm)	9	5	2,5	3,5

Şekil 4.5: C21, C22, C23 ve C24 karışımlarının deney sonuçları

	D21	D22	D23	D24
Dozaj (kg/cm ³)	275	275	275	275
Su/Çim	0,65	0,65	0,55	0,55
İncelik Modülü	4,84	3,75	4,84	3,75
Pas Payı (cm)	2	2	2	2
Numune Resimleri				
Akışkanlaştırıcı Yüzdesi	0,2	1,4	1,0	1,5
Çökme Miktarı (cm)	16	17	19	20
Toplam Terleme (ml)	2	0	0	0
Çatlak Genişliği (mm)	1,5	0	0	0
Oturma (mm)	3,5	0	0	0

Şekil 4.6: D21, D22, D23 ve D24 karışımlarının deney sonuçları

Şekil 4.5 ve 4,6'da pas payı 2cm olan numuneler görülmektedir. En büyük çatlak boyutu dozaj, su/çim oranı ve incelik modülünün en yüksek olduğu C21 numunesinde görülmektedir. Düşük dozaj, su/çim oranı ve incelik modüllerinden dolayı D22, D23, D24 numunelerinde terleme olmamıştır ve çatlak görülmemiştir.

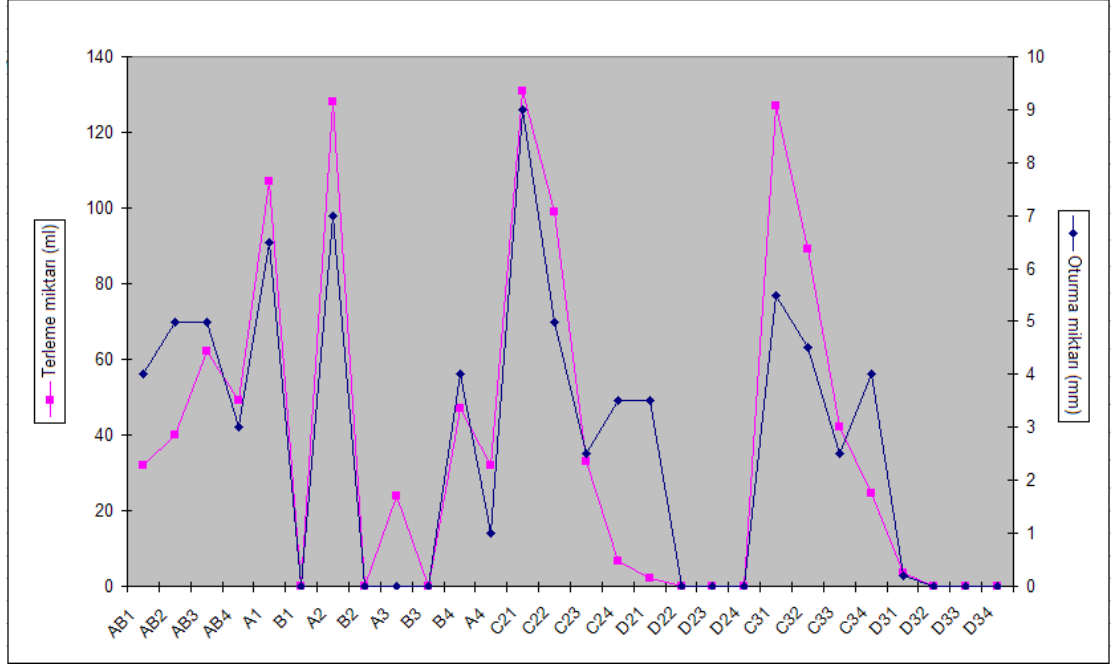
	C31	C32	C33	C34
Dozaj (kg/cm ³)	375	375	375	375
Su/Çim	0,65	0,65	0,55	0,55
İncelik Modülü	4,84	3,75	4,84	3,75
Pas Payı (cm)	3	3	3	3
Numune Resimleri				
Akışkanlaştırıcı Yüzdesi	0	0	0,2	0,4
Çökme Miktarı (cm)	21	19	20	16
Toplam Terleme (ml)	127	89	42	25
Çatlak Genişliği (mm)	7	6	2	2
Oturma (mm)	5,5	4,5	2,5	4

Şekil 4.7: C31, C32, C33 ve C34 karışımlarının deney sonuçları

	D31	D32	D33	D34
Dozaj (kg/cm ³)	275	275	275	275
Su/Çim	0,65	0,65	0,55	0,55
İncelik Modülü	4,84	3,75	4,84	3,75
Pas Payı (cm)	3	3	3	3
Numune Resimleri				
Akışkanlaştırıcı Yüzdesi	0,5	1,5	1,0	1,6
Çökme Miktarı (cm)	16	17,5	18	19
Toplam Terleme (ml)	4	0	0	0
Çatlak Genişliği (mm)	0	0	0	0
Oturma (mm)	0,2	0	0	0

Şekil 4.8: D31, D32, D33 ve D34 karışımlarının deney sonuçları

Şekil 4.7 ve 4.8’de pas payı 3cm olan numuneler görülmektedir. Burada da en yüksek terleme miktarı ve en büyük çatlak genişliği dozaj, su/çim oranı ve incelik modülünün en yüksek olduğu D31 numunesine aittir. Hiç çatlak görülmeyen 4 numune vardır. Aynı bileşime sahip D21 ve D31 numunelerinden D21’de çatlak oluşumu varken pas payı arttırıldığı için D31’de çatlak oluşmadığı görülmektedir.



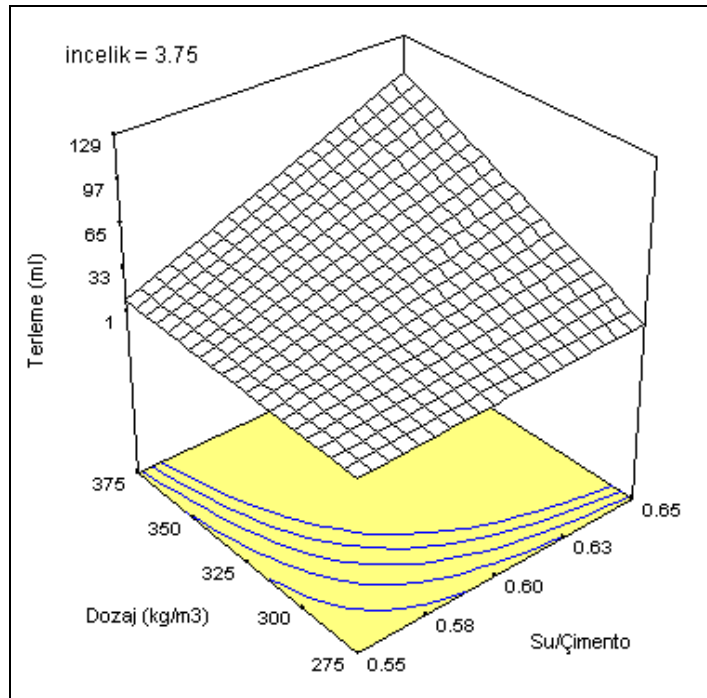
Şekil 4.9: Numunelerin terleme miktarı ve oturma miktarı arasındaki bağıntı

Terleme miktarı, oturma miktarı ve çatlak genişliği arasında terleme miktarı ve oturma miktarı dozaja, su/çim oranına ve incelik modülüne bağlı olmasına rağmen pas payına bağlı değildir. Ancak çatlak genişliği tüm değişkenlerden etkilenmektedir. Bu yüzden terleme miktarı ve oturma miktarı kendi arasında ilişkilendirildiğinde daha anlamlı sonuçlar çıkabilmektedir. Şekil 4.9’da bu ilişki gösterilmiştir ve çıkan sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir.

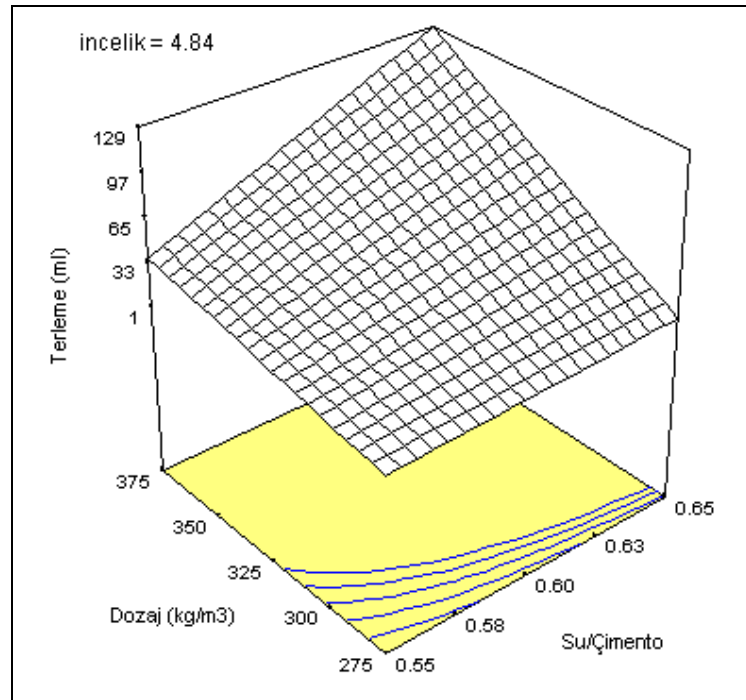
Buna uymayan birkaç durum vardır. İlki yüksek sayılabilecek bir terleme yapmış olmasına rağmen hiç oturma yapmayan ve dolayısıyla çatlak oluşumu da gözlenmemiş olan A3 numunesidir. Bu durum daha önce “iskelet formu oluşumu” olarak açıklanmıştır. İkincisi ise oturma görülmesine rağmen terlemenin hemen hemen hiç görülmediği C24 ve D21 numuneleridir.

4.2 Terleme ile İlgili Deney Sonuçları

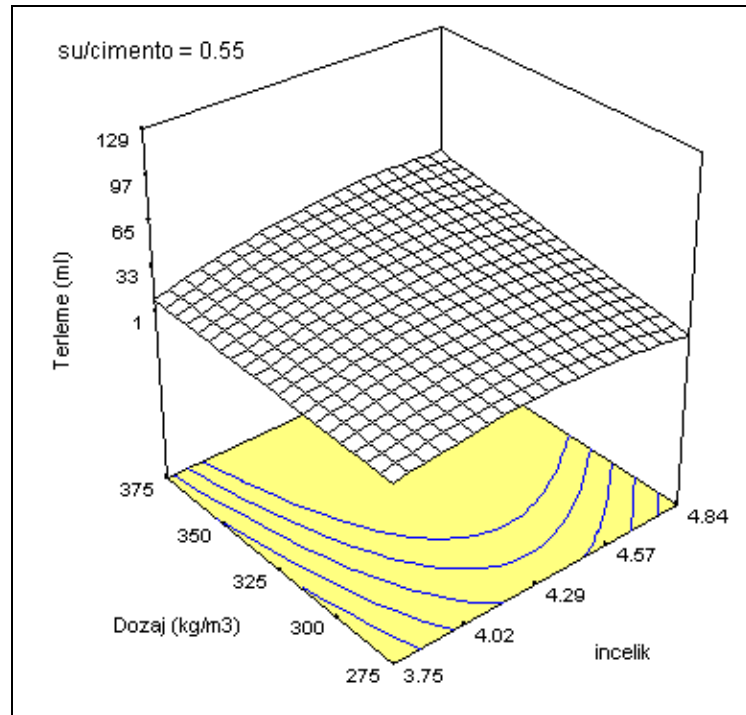
Terlemenin incelendiği tablolarda, incelik modülü, su/çim oranı ve dozajın terleme miktarı üzerindeki etkilerinin doğrusal olmaları nedeniyle ara değerleri gösterilmemiş, sadece en düşük ve en yüksek değerleri gösterilmiştir. Örneğin sabit 3,75 incelik modülünün dozaj ve su/çim oranı değişimleriyle birlikte terleme üzerindeki etkilerinin gösterildiği Şekil 4.10'dan sonra Şekil 4.11'de aynı durumun 4,29 incelik modülü için olanı değil 4,84 incelik modülü için olanı ele alınmıştır.



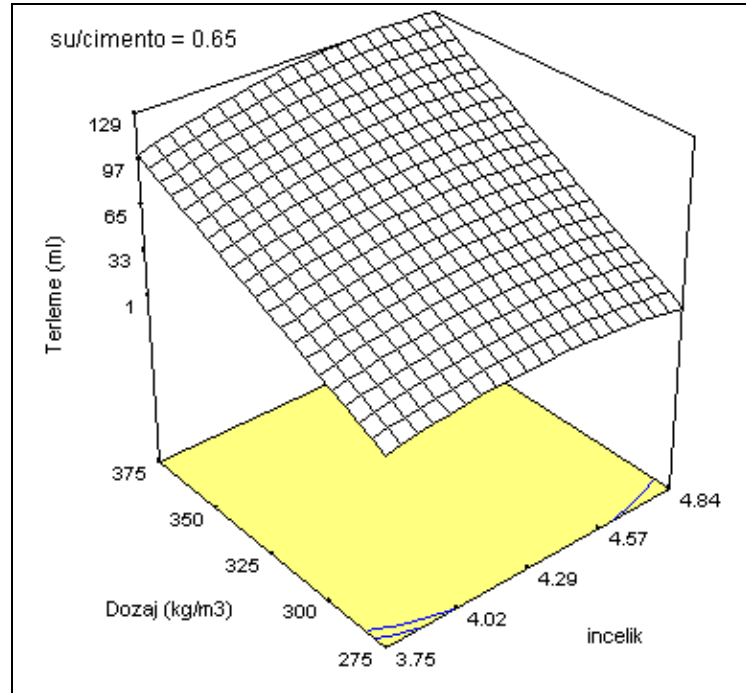
Şekil 4.10: İncelik (3,75), dozaj ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi



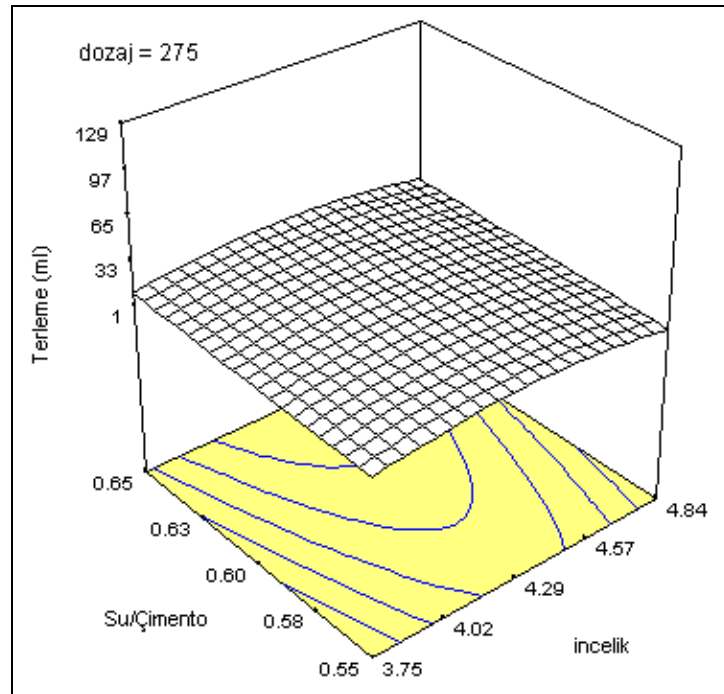
Şekil 4.11: İncelik (4,84), dozaj ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi



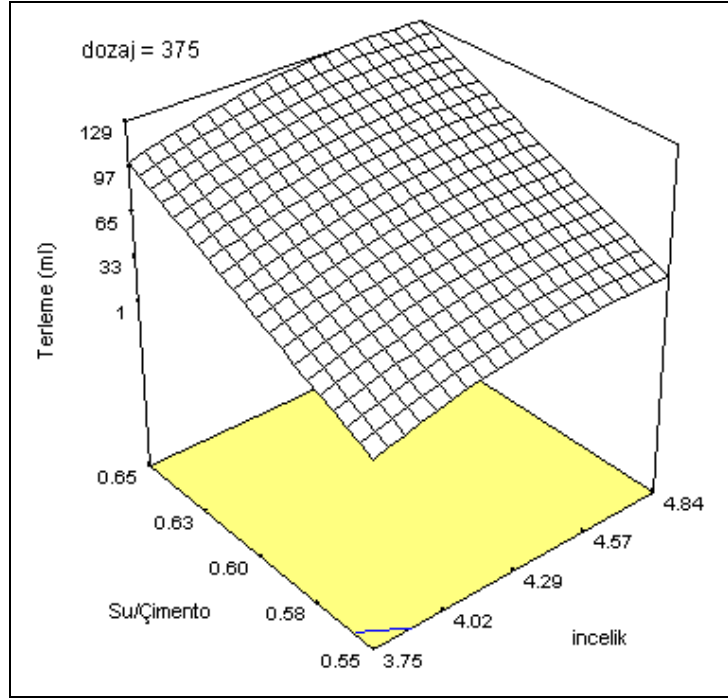
Şekil 4.12: İncelik, dozaj ve su/çim (0,55) değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi



Şekil 4.13: İncelik, dozaj ve su/çim (0,65) değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi



Şekil 4.14: İncelik, dozaj (275) ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi



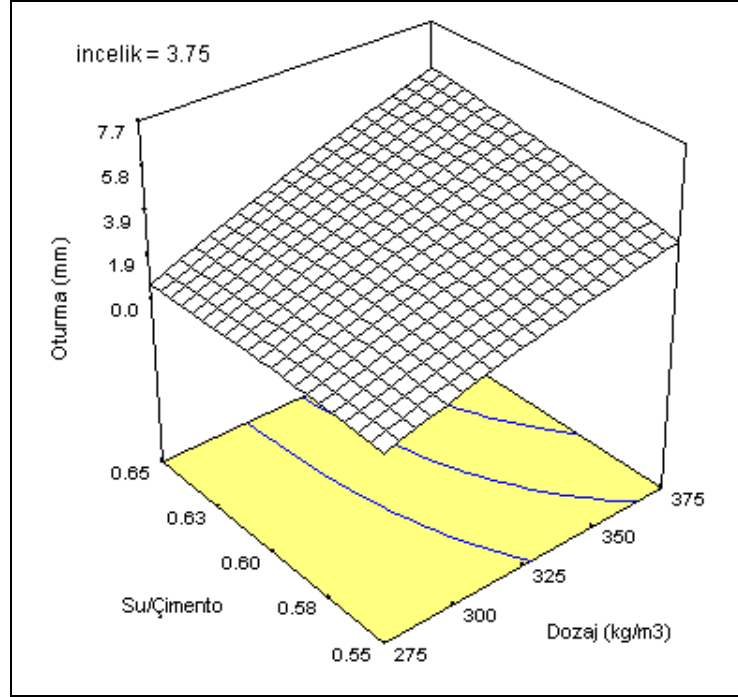
Şekil 4.15: İncelik, dozaj (375) ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi

Şekil 4.12 ve 4.13'te dozajın ve incelik modülünün artışıyla su/çim oranından bağımsız olarak düşük bir artış görülmektedir. Su /çim oranının 0,55'ten 0,65'e yükselmesiyle terlemenin 375 dozajdaki karışımlarda çok belirgin bir şekilde yükseldiğini görüyoruz. Bu yükseliş yaklaşık 100ml'dir. 275 dozajdaki karışımlarda hiçbir durumda yine herhangi bir artış görülmemektedir.

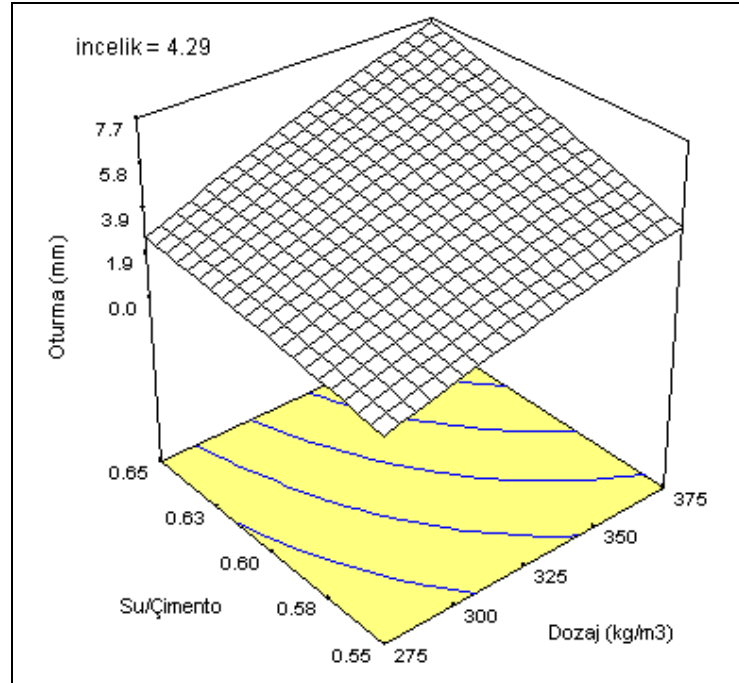
Şekil 4.14 ve 4.15'te dozajın 275 kg/m³'ten 375 kg/m³'e yükselmesiyle terlemedeki artışın 0,65 su/çim oranına sahip tüm karışımlarda çok belirgin olduğunu görmekteyiz. İncelik modülünün değişiminin artış miktarı üzerinde bir etkisi görülmemektedir. Artış, su/çim oranının değişimindeki gibi yaklaşık 100 ml'dir. Burada dozajın yükselmesiyle birlikte 0,55 su/çim oranında bile incelik modülünün artışının (ince malzemenin azalması) terlemeyi artırdığı görülmüştür. 275 dozajda böyle bir etki görülmemiştir.

Bu 6 terleme grafiğinden çıkarılabilecek en önemli sonuç, dozajın ve su/çim oranı değişiminin terleme üzerindeki etkisinin incelik modülününkinden çok daha fazla olduğudur. Ayrıca düşük dozajda (275 kg/m³) su/çim oranının veya incelik modülünün artmasının terleme üzerinde herhangi bir artışa neden olmadığı görülmüştür.

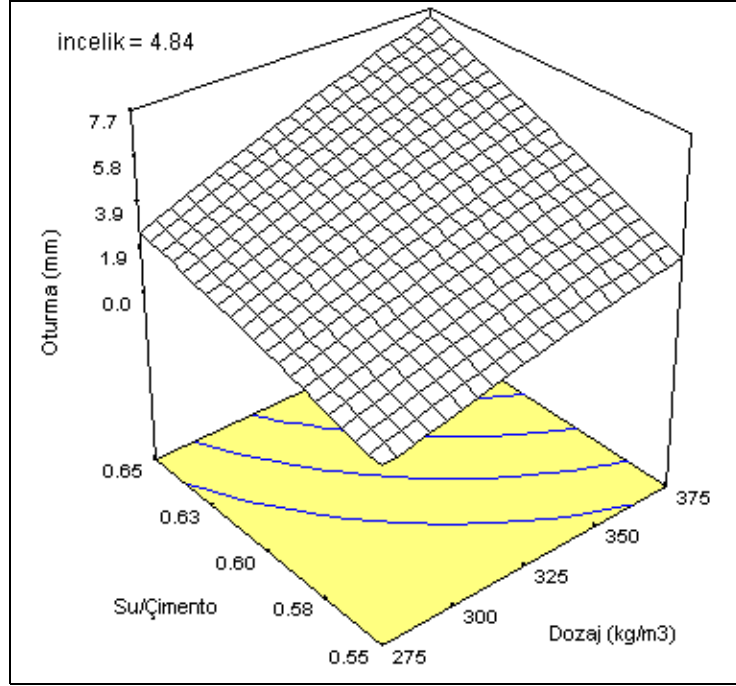
4.3 Oturma ile İlgili Deney Sonuçları



Şekil 4.16: İncelik (3,75) , dozaj ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi



Şekil 4.17: İncelik (4,29) , dozaj ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi

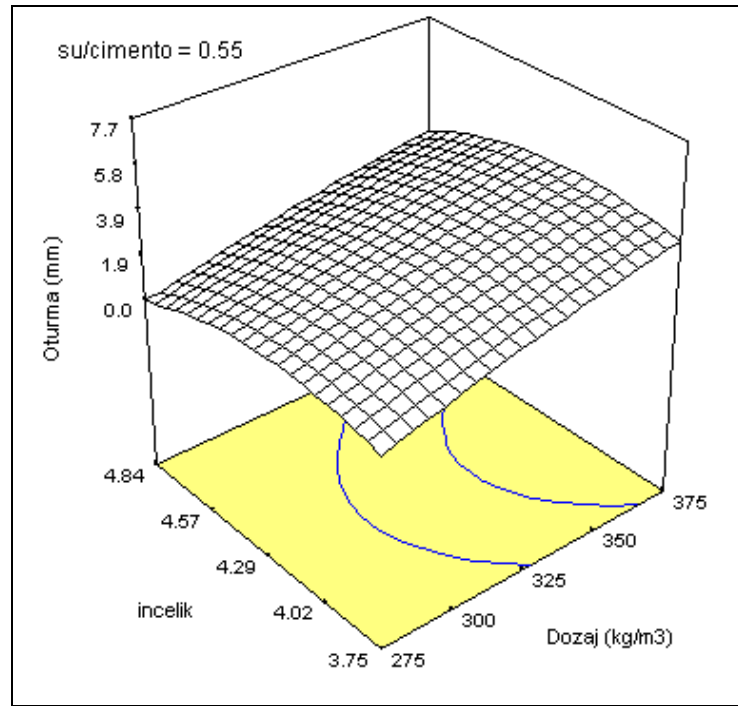


Şekil 4.18: İncelik (4,84) , dozaj ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi

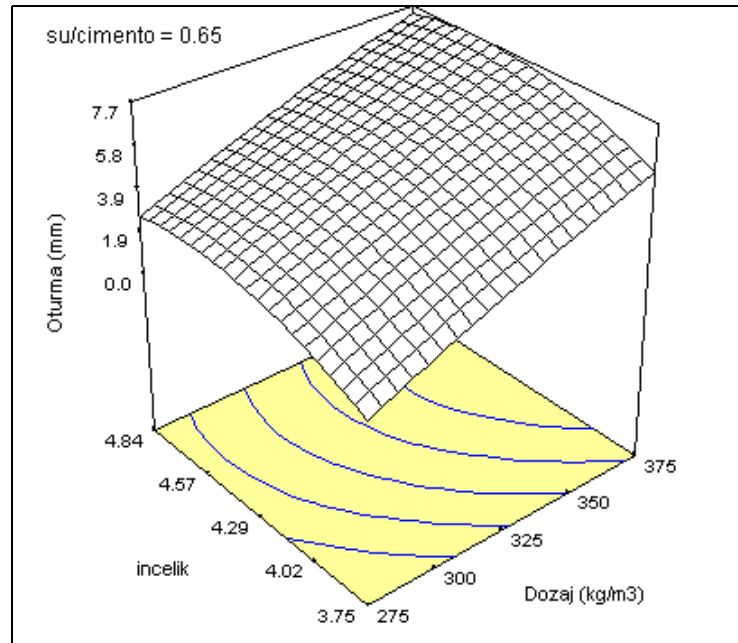
Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18’de ilk göze çarpan durum dozajdaki artışın su/çim oranı ve incelik modülünden bağımsız olarak oturmada artışa neden olduğudur. Su çim oranı için de bunu söyleyemememizin nedeni 3,75 incelikteki karışımlarda tüm su/çim oranlarında oturmadaki artışın fazla belirgin olmayışdır. Dozajda bu çok daha belirgindir.

Şekil 4.16 ve 4.17’de incelik modülünün 3,75’ten 4,29’a çıkmasıyla beraber oturma miktarındaki artış özellikle su/çim oranının artmasıyla birlikte görülmektedir. Dozajın yükselmesi karşısında oturmada fazla bir artış olmamaktadır. Dozajın ve su çim oranının en yüksek olduğu 375 kg/m³ ve 0,65 karışımında oturma da en yüksek değeri olan 7,6mm’ye ulaşmaktadır. Dozajın ve su/çim oranının düşmesiyle birlikte oturma azalmakta, örneğin 275 dozaj ve 0,55 su/çim oranında sıfır olmaktadır.

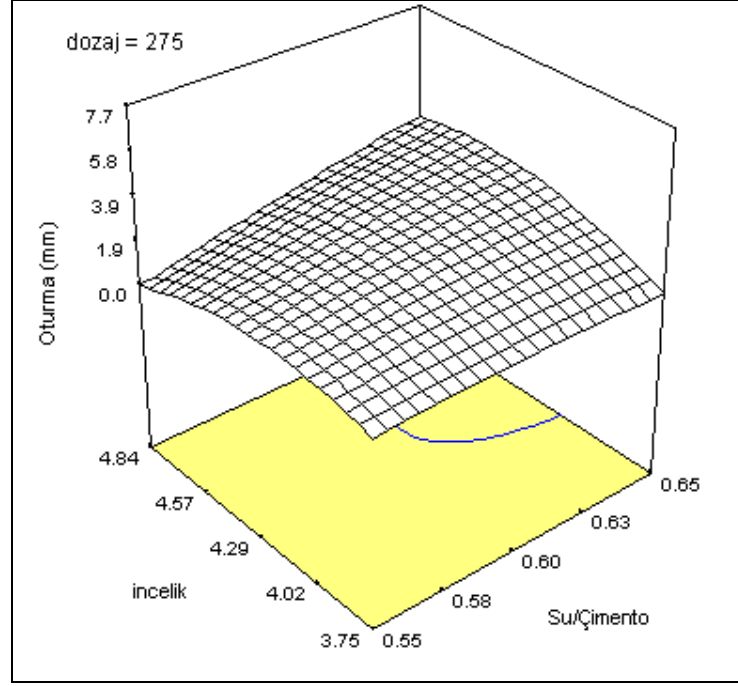
Şekil 4.18’de incelik modülünün 4,84’e çıkmasıyla birlikte oturmada doğrusal bir artış beklenirken oturma seviyesi yüksek su/çim oranlarında aynı kalmakta, düşük su/çim oranlarında ise bir miktar düşüş göstermektedir.



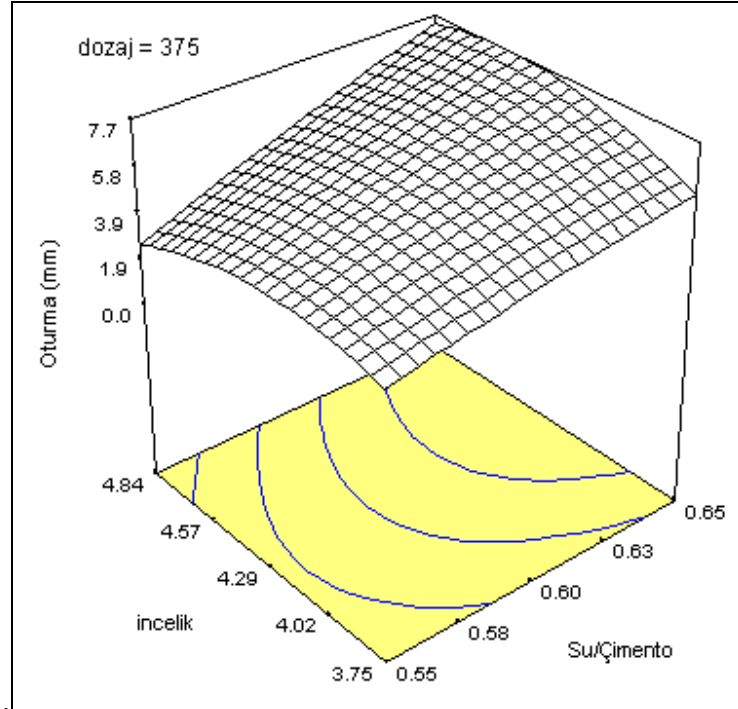
Şekil 4.19: İncelik, dozaj ve su/çim (0,55) değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi



Şekil 4.20: İncelik, dozaj ve su/çim (0,65) değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi



Şekil 4.21: İncecik, dozaj (275) ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi



Şekil 4.22: İncecik, dozaj (375) ve su/çim değişimlerinin terleme üzerindeki etkisi

Şekil 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22’de bakıldığında ilk göze çarpan durum, Şekil 4.19’un 4.21’e, Şekil 4.21’in de 4.22’ye benzemesidir. Buradan su/çim oranı ve dozajın oturma miktarı üzerindeki etkilerinin birbirine benzer olduğu sonucuna varılabilir. Ayrıca su/çim oranının ve dozajın artmasıyla birlikte oturma miktarının da yüksek oranda arttığı görülmektedir.

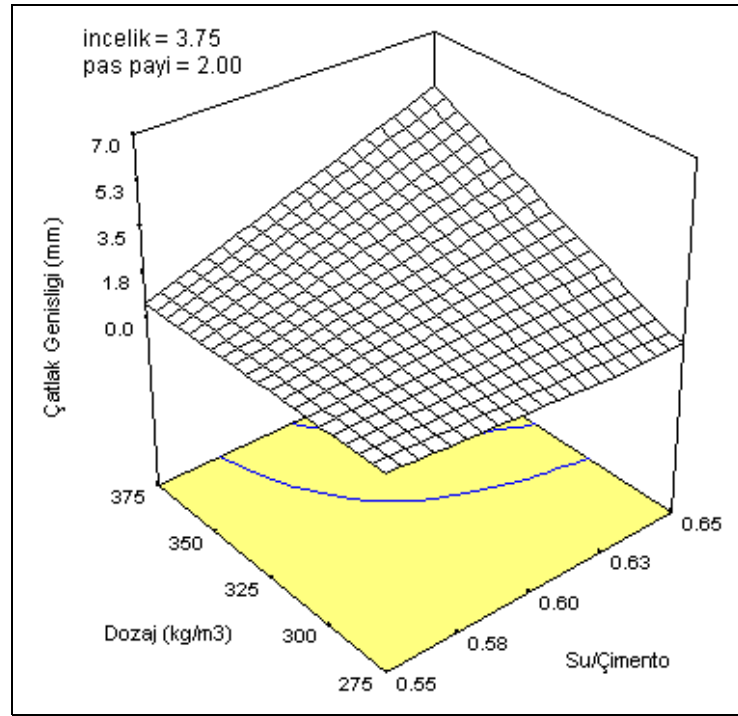
4 şekilde de incelik ve su/çim oranı ne olursa olsun dozajın artışıyla genelde oturmada da belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Diğer önemli bir özellik de Şekillerin incelik modülü eksenlerinde orta değere kadar bir yükselme, ondan sonra da düşüş görülmektedir. Buradan da incelik modülünün oturma için en uygun değerinin 4,29 olduğu sonucuna varılabilir.

Diğer önemli bir sonuç ta şudur. Dozajın artmasıyla birlikte tüm su/çim oranı ve incelik modülündeki karışımların (Şekil 4.21 ve 4.22) oturma miktarlarında neredeyse eşit bir artış görülmekteyken, su/çim oranının artışında 3,75 incelik modülünde oturma artışı yüksek olmamaktadır. Bir başka deyişle 3,75 incelik modülü ve herhangi bir su/çim oranına sahip karışımda dozajın artmasıyla birlikte oturma miktarındaki artış birbirine yakın ve yüksekken, 3,75 incelik modülü ve herhangi bir dozajdaki karışımda su/çim oranının artmasıyla birlikte oturma miktarı artışı yüksek olmamakta, hatta 275 kg/m³ gibi düşük dozajda artış olmamaktadır. 4,29 ve 4,84 incelik modüllerinde böyle bir sorun yoktur.

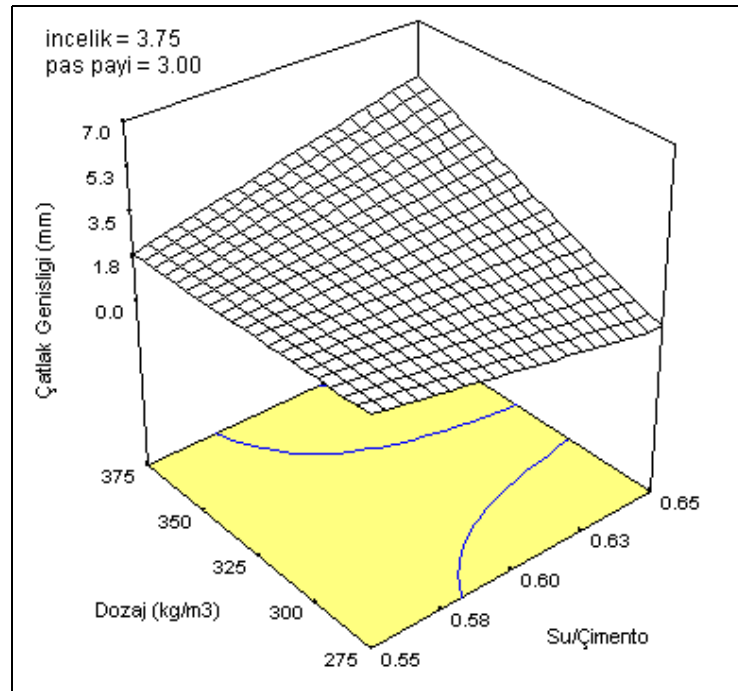
Buradan yola çıkarak dozaj miktarının oturma miktarı için daha önemli olduğu sonucuna varılabilir.

4.4 Çatlak Genişliği ile İlgili Deney Sonuçları

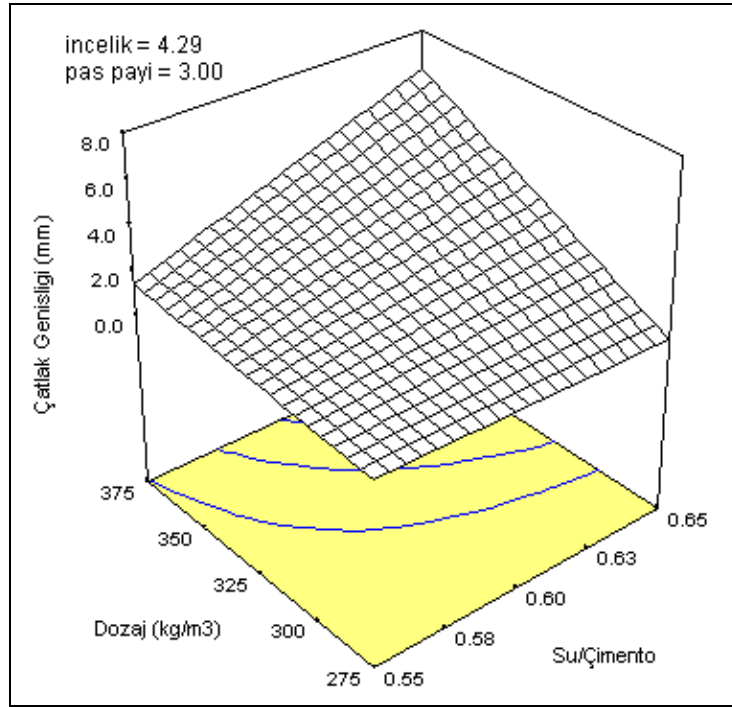
Şu ana kadar terleme ve oturma miktarı konuları incelenmiştir. Ancak şu an ele alınmakta olan çatlak genişliği konusunda dozaj, incelik modülü ve su/çim oranı gibi etkenlerin yanına bir de pas payı etkeni gelmektedir.



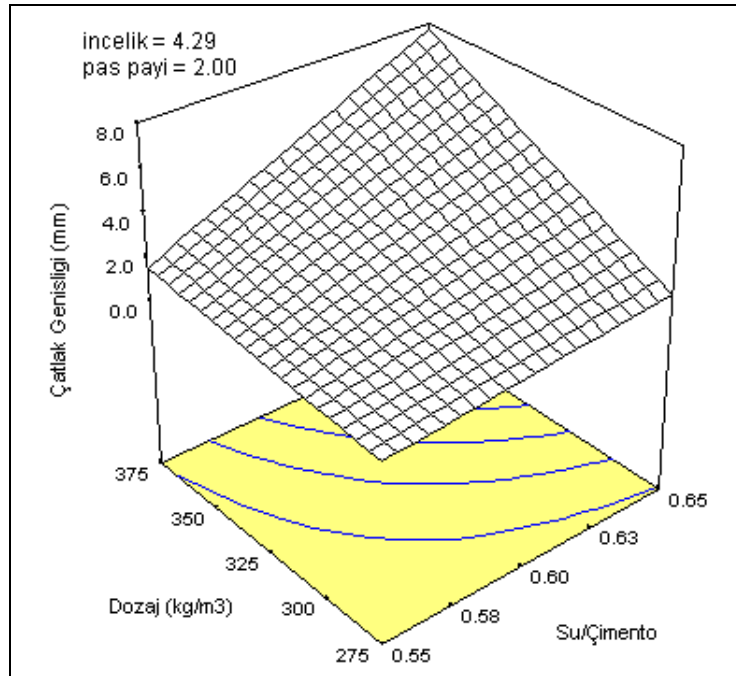
Şekil 4.23: İncelik (3,75), pas payı (2 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi



Şekil 4.24: İncelik (3,75), pas payı (3 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi



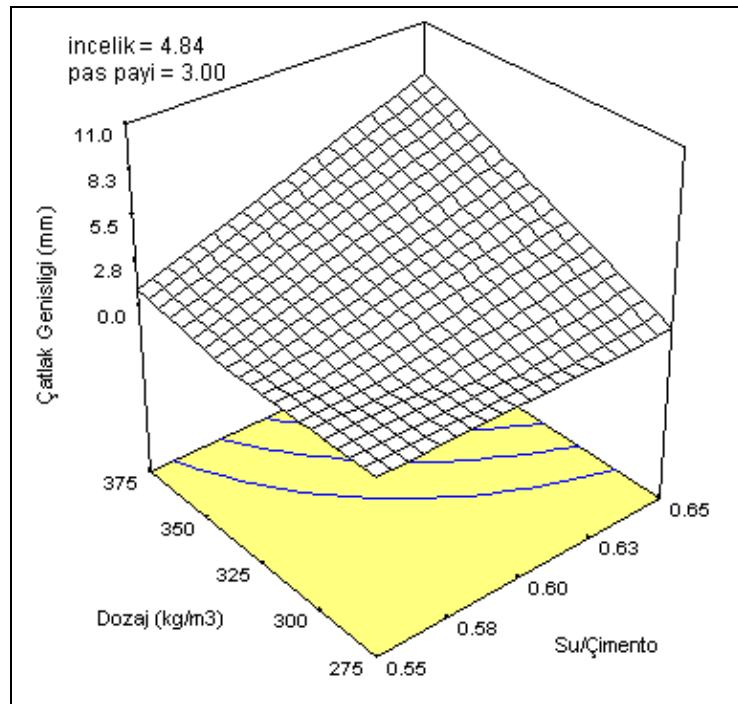
Şekil 4.25: İncelik (4,29), pas payı (3 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi



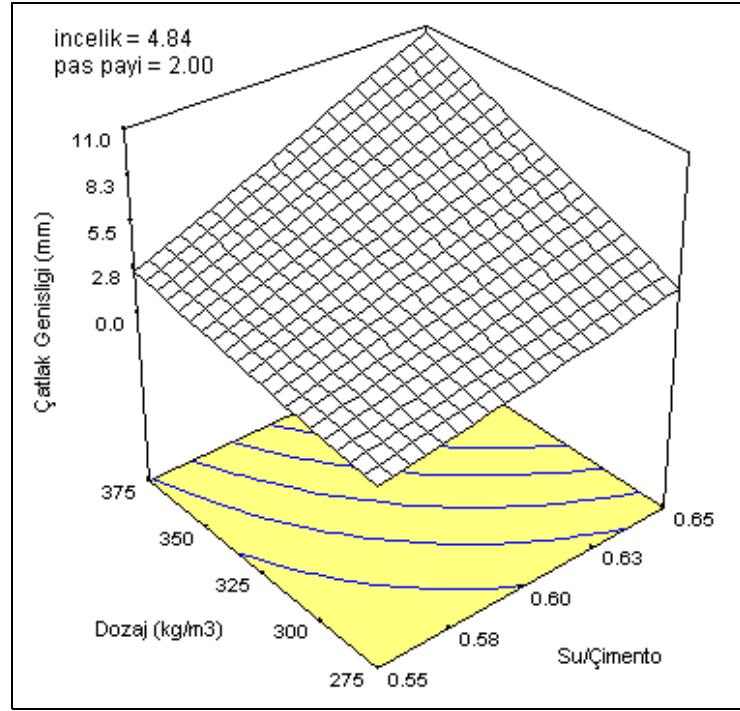
Şekil 4.26: İncelik (4,29), pas payı (2 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi

Şekil 4.23 ve 4.24'te 3,75 gibi düşük incelik modülünde (ince agrega oranı fazla) pas payının 3 cm'den 2 cm'ye inmesiyle beraber çatlak genişliğinde bir artış beklenirken fazla bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Sadece 375 dozaj ve 0,55 su/çim oranında bir miktar artış gözlenmektedir. Ayrıca iki şekilde de pas payından bağımsız olarak su/çim oranı ve dozajın beraber artmasıyla çatlak genişliğinin arttığı görülmektedir. Bir başka deyişle 275 gibi düşük dozajda yalnızca su/çim oranının artması veya 0,55 gibi düşük su/çim oranında yalnızca dozajın artması çatlak genişliğini artırmamaktadır.

Şekil 4.25 ve 4.26'da inceliğin 4,29'a yükselmesiyle birlikte yüksek su/çim oranı ve yüksek dozaja sahip karışımların çatlak genişliklerinde 3,75 inceliktekine göre bir miktar yükselme görülmektedir. Fakat düşük su/çim oranı ve düşük dozajda 3,75 inceliktekine göre bir artış olmamaktadır. 275 dozaj ve 0,55 su/çim oranındaki karışımda tüm incelik modülleri için çatlak genişliği sıfırdır. Bu iki grafiği de kendi içlerinde incelediğimizde dozaj ve su/çim oranlarının birlikte artışıyla oturma çatlağının arttığı, pas payının 3 cm'den 2 cm'ye inmesiyle birlikte çatlak genişliği artışının en belirgin olduğu 375 dozaj ve 0,65 su/çim oranına sahip karışımda çatlak genişliğinin 1 mm arttığını görüyoruz.



Şekil 4.27: İncelik (4,84), pas payı (3 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi



Şekil 4.28: İncelik (4,84), pas payı (2 cm), dozaj ve su/çim oranının çatlak genişliği üzerindeki etkisi

Şekil 4.27 ve 4.28’de inceliğin 4,84’e yükselmesiyle birlikte yine özellikle yüksek su/çim oranına ve yüksek dozaja sahip numunelerde çatlak genişliğinin 4,84 inceliktekine göre belirgin bir şekilde arttığını görüyoruz. Bu iki şekilde pas payının 3 cm’den 2 cm’ye inmesiyle çatlak genişliği artışının en belirgin olduğu 375 dozaj ve 0,65 su/çim oranına sahip karışımda çatlak genişliğinin 2,5 mm arttığını görüyoruz.

Bu altı şekilden çıkarılabilecek sonuçlar çatlak genişliğinin incelik modülünden çok etkilendiği, pas payı değişiminin de birlikte çatlak genişliği üzerindeki etkisini ancak incelik modülünün yükselmesiyle gösterebildiğidir. Bir diğer önemli sonuç ta yukarıda söylendiği üzere su/çim miktarı ve dozajın çatlak genişliği üzerinde büyük etkisi olduğu ve çatlak genişliğinin ancak su/çim oranının ve dozajın birlikte artmasıyla arttığının görülmesidir.

4.5 Polipropilen lif kullanımının sonuçları

Çalışmada polipropilen lif kullanımının oturma miktarı ve oturma çatlağı üzerindeki etkilerini görebilmek için Sika firmasının Sika Fibre marka polipropilen lifi kullanılmıştır. Sika Fibre monofilament mikro polipropilen liflerden oluşur. Sika

Fibre taze betonun kohezyonunu ve şekil değiştirme kapasitesini artırır, terlemeyi ve plastik büzülme çatlaklarını azaltır. C21, C22 ve C23 karışımları polipropilen lif kullanılarak tekrar dökülmüştür. Betonda 600gr/m³ oranında kullanılması önerilen bu liflerden 33lt'lik bu 3 karışım için 20'şer gr kullanılmıştır. Bu karışımlar içinde terleme miktarı, oturma miktarı ve oturma çatlağı genişliği en yüksek olan C21, en düşük olanıysa C23'tür. Polipropilen lif kullanımıyla birlikte bu durum değişmemiştir. Şekil 4.29'da C21, C22 ve C23 karışımlarının normal ve lifli numunelerinin özellikleri verilmiştir.

Lif kullanımından dolayı terleme miktarında, oturma miktarı ve çatlak genişliğinde genel bir azalma olduğu görülmektedir. Lif kullanımı suyun yukarı çıkışını zorlaştırmasından dolayı terlemeyi azaltmış ve terlemedeki azalma da oturma miktarı ve çatlak genişliğini azaltmıştır. Oturma miktarı ve çatlak genişliğinin azalmasının bir nedeni olarak da lifin karışım içinde fiziksel olarak deformasyonu azaltıcı etkisinin olduğu söylenebilir. Şekil 4.30'da lifli C21 numunesinin yüzeyindeki çatlağın büyütülmüş fotoğrafı mevcuttur. Burada çatlak boyunca liflerin betonun ayrılıp çatlamasını engelleyici rolü görülmektedir. Düşük su/çim oranına sahip C23 numunesinde lif kullanımının terleme ve çatlak oluşumu üzerindeki etkisi C21 ve C22'ninki kadar fazla değildir.

	C21	C22	C23	C21 lifli	C22 lifli	C23 lifli
Dozaj (kg/cm ³)	375	375	375	375	375	375
Su/Çim	0,65	0,65	0,55	0,65	0,65	0,55
İncelik Modülü	4,84	3,75	4,84	4,84	3,75	4,84
Pas Payı (cm)	2	2	2	2	2	2
Numune Resimleri						
Akışkanlaştırıcı Yüzdesi	0	0	0,15	0	0	0,15
Çökme Miktarı (cm)	20	17,5	17,5	16	14,5	14,0
Toplam Terleme (ml)	131	99	33	59	46	29
Çatlak Genişliği (mm)	14	2	1	5	0,5	0,2
Oturma (mm)	9	5	2,5	6	1,5	1

Şekil 4.29: C21, C22 ve C23 karışımlarının normal ve lifli numuneleri



Şekil 4.30: C21 lifli numunesinin yüzeyindeki çatlağın yakın fotoğrafı

5. SONUÇLAR

5.1 Terleme ile İlgili Sonuçlar

Dozajın ve su/çim oranı değişiminin terleme üzerindeki etkisinin incelik modülününkinden çok daha fazla olduğudur. Ayrıca düşük dozajda (275 kg/m^3) su/çim oranının veya incelik modülünün artmasının terleme üzerinde herhangi bir artışa neden olmadığı görülmüştür.

5.2 Oturma Miktarı ile İlgili Sonuçlar

İncelik ve su/çim oranı ne olursa olsun dozajın artışıyla genelde oturmada da belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Diğer önemli bir özellik de Şekillerin incelik modülü eksenlerinde orta değere kadar bir yükselme, ondan sonra da düşüş görülmektedir. Buradan da incelik modülünün oturma için en uygun değerinin 4,29 olduğu sonucuna varılabilir. Dozaj miktarının oturma miktarı için daha önemli olduğu sonucu açığa çıkmaktadır.

5.3 Çatlak Genişliği ile İlgili Sonuçlar

Çatlak genişliğinin incelik modülünden çok etkilendiği, pas payı değişiminin de birlikte çatlak genişliği üzerindeki etkisini ancak incelik modülünün yükselmesiyle gösterebildiğidir. Bir diğer önemli sonuç ta yukarıda söylendiği üzere su/çim miktarı ve dozajın çatlak genişliği üzerinde büyük etkisi olduğu ve çatlak genişliğinin ancak su/çim oranının ve dozajın birlikte artmasıyla arttığının görülmesidir.

5.4 DX Programın Çıkardığı Sonuçlar

DX Programın deney verileri sonucunda çıkardığı terleme miktarı, oturma miktarı ve çatlak genişliği ile ilgili annova sonuçları tablo 5.1, 5.2 ve 5.3'tedir. Bu tablolardan

programın F değerinin 0,05'ten küçük ya da büyük oluşuna göre önemli ya da önemsiz bulduğu kriterler görülmektedir.

Tablo 5.1: Terleme ile ilgili annova sonuçları

	Kareler toplamı	DF	Kareler	F değeri	F'den büyük olma olasılığı	
Model	45050,15	6,00	7508,36	11,04	< 0.0001	önemli
Dozaj	10626,04	1,00	10626,04	15,62	0.0007	
Su/çim	15050,04	1,00	15050,04	22,12	0.0001	
İncelik	1162,04	1,00	1162,04	1,71	0.2054	
(Dozaj)2	6005,00	1,00	6005,00	8,83	0.0073	
(İncelik)2	3446,63	1,00	3446,63	5,07	0.0352	
Dozaj*İncelik	6930,56	1,00	6930,56	10,19	0.0044	
Kalıntı	14287,28	21,00	680,35			
Uyum eksikliği	13790,53	18,00	766,14	4,63	0.1161	önemsiz
Saf hata	496,75	3,00	165,58			
Korelasyon topl.	59337,43	27,00				

Tablo 5.2: Oturma miktarı ile ilgili annova sonuçları

	Kareler toplamı	DF	Kareler	F değeri	F'den büyük olma olasılığı	
Model	113,60	4,00	28,40	7,68	0.0004	önemli
Dozaj	42,67	1,00	42,67	11,54	0.0025	
Su/çim	35,04	1,00	35,04	9,47	0.0053	
İncelik	1,50	1,00	1,50	0,41	0.5305	
(İncelik)2	34,39	1,00	34,39	9,30	0.0057	
Kalıntı	85,07	23,00	3,70			
Uyum eksikliği	82,32	20,00	4,12	4,49	0.1205	önemsiz
Saf hata	2,75	3,00	0,92			
Korelasyon topl.	198,67	27,00				

Tablo 5.3: Çatlak genişliği ile ilgili annova sonuçları

	Kareler toplamı	DF	Kareler	F değeri	F'den büyük olma olasılığı	
Model	96,52	2,00	48,26	6,76	0.0045	önemli
Dozaj	44,01	1,00	44,01	6,17	0.0201	
Su/çim	52,51	1,00	52,51	7,36	0.0119	
kalıntı	178,38	25,00	7,14			
Uyum eksikliği	175,69	22,00	7,99	8,91	0.0479	önemsiz
Saf hata	2,69	3,00	0,90			
Korelasyon topl.	274,90	27,00				

DX Program yardımıyla yapılan analizler sonucunda terleme miktarı, oturma miktarı ve çatlak genişliği dozaj, su/çim ve incelik modülüne bağlı olarak formülize edilebilmiştir. Buna göre;

$$\text{Terleme mikt.} = 1099.24 - 8.47 * \text{dozaj} - 2204.79 * \text{su/çim} + 341.55 * \text{incelik modulu} + 0,006 * (\text{dozaj})^2 - 38.27 * \text{incelik modulu}^2 + 8.32 * \text{dozaj} * \text{su/çim} \quad (5.1)$$

$$\text{Oturma mikt.} = 90.77 + 0.026 * \text{dozaj} + 24.16 * \text{su/çim} + 32.84 * \text{incelik modulu} - 3.77 * (\text{incelik modulu})^2 \quad (5.2)$$

$$\text{Çatlak genisl.} = -23.96994 + 0.027 * \text{dozaj} + 29.58 * \text{su/çim} \quad (5.3)$$

Burada dikkat edilecek konu programın pas payını çatlak genişliğini değiştiren bir faktör olarak vermemesidir. Ayrıca incelik modülü de dozaj ve su/çim oranı kadar etkili bir faktör olmasına rağmen çatlak genişliğini veren formülde yer almamıştır.

Tablo 5.4'te DX programın üretilen 28 adet karışımın sonuçlarını göz önünde bulundurarak optimizasyon sonuçları vermiştir. En çok çatlak genişliğini verebileceği tahmin edilen bu 10 adet karışımın özellikleri önceden üretilen 28 adet karışıminkilerden farklıdır.

Tablo 5.4: DX bilgisayar programının optimizasyon sonuçları

	Dozaj	Su/Çim	İncelik Modülü	Pas Payı
1	314	0,64	4,39	2,8
2	301	0,59	4,65	2,9
3	297	0,62	3,76	2,2
4	352	0,58	4,59	2,3
5	348	0,56	3,96	2,8
6	303	0,64	4,32	2,1
7	336	0,58	4,17	2,9
8	288	0,56	4,45	2,7
9	326	0,63	4,41	2,5
10	346	0,63	4,47	2,7

Bu tabloda göze çarpan şey tüm dozaj, su/çim, incelik modülü ve pas payı değerlerinin orta değerlerin üzerinde oluşudur.

KAYNAKLAR

- [1] **Petrou, M.F., Harries, K.A., Gadala-Maria, F. And Koli, V.G.,** 2000. A unique experimental method for monitoring aggregate settlement in concrete Department of Civil and Environmental Engineering, *Cement and concrete research*, **30**, 809-816.
- [2] **Wainwright, P.J. and Ait-Aider, H.,** 1995. The influence of cement source and slag additions on the bleeding of concrete, *Cement and Concrete Research*, **25**, 1445-1456
- [3] **Topçu, İ.B. ve Elgün, V.B.,** 2003. Influence of concrete properties on bleeding and evaporation, *Cement and Concrete Research*, **34**, 275-381.
- [4] **Ozkul, M.H., Baskoca, A. And Artirma, S.,** 1997. İnfluence of Prolonged Agitation on Water Movement Related Properties of Water Reducer and Retarder Admixed Concretes, *Cement and Concrete Research*. **27**, 721-732.
- [5] **Soylev, T.A. and François, R.,** 2003. Quality of steel–concrete interface and corrosion of reinforcing steel, *Cement and Concrete Research*, **33**, 1407-1415.
- [6] **Khayat, K.H.,** 1998. Use of Viscosity-Modifying Admixture to Reduce Top-Bar effect of Anchored Bars Cast With Fluid Concrete, *ACI Materials Journal*, **95**, 158-167.
- [7] **Taşdemir, M.A.,** 2002. Betonun dayanımı ve durabiliteye göre tasarımı ve üretimi Prof. Dr. Mehmet Ali Taşdemir, İMO İstanbul Şubesi, Sürekli Eğitim Seminerleri, Harbiye-İstanbul, 2 Kasım 2002.
- [8] **Lura, P., Mazotta, G.B., Rajabipour, F. And Weiss, J.,** 2001. Evaporation, Settlement, Temperature Evolution, And Development Of Plastic Shrinkage Cracks In Mortars With Shrinkage-Reducing Admixtures, *ACI Materials Journal*, **92**, 67-79.

- [9] **Newman, J. and Choo, B.S.**, 2003. Advanced concrete technology, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [10] **Tattersall, G.H.**, 1991. Workability And Quality Control Of Concrete
- [11] **Yalçın, H. ve Gürü, M.**, 2006. Çimento ve Beton, Palme Yayıncılık, Ankara.
- [12] **Ramyar, K.**, 2004. Ders Notları, İzmir.
- [13] **Popovics, S.**, 1973. Segregation and bleeding in Fresh Concrete: Important Properties and their Measurementi Proceedings of a RILEM Seminar, Leeds University, Leeds, 22-24 March, Vol. 3 pp. 6.1-1 to 6.1-36
- [14] **Safawi, M.I. and Miura, T.**, 2004. The segregation tendency in the vibration of high fluidity concrete, *Cement and Concrete Resaarch*
- [15] **Başeğmez, C.**, 1997. Çimento ve kimyasal katkı uyumunun işlenebilme, terleme, erken rötire ve ayrışma üzerindeki etkileri, *Yüksek lisans tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Kamanlı, M. Ve Balık, F.S.**, 2003. Beton teknolojisi, Nobel Basımevi, İstanbul.
- [17] **Ramachandran V.S., Malhotra M.**, 1984. Concrete Admixtures Handbook- Part 7: Superplasticizers, pp. 462-463, Noyes Publications.
- [18] **Türkel, S. ve Felekoğlu B.**, 2004. Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerinde Etkileri, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Selçuk TÜRKEK, Burak FELEKOĞLU, **6**, 79-91.
- [19] **Çil, İ.**, 2000. Yeni Kuşak Hiper akışkanlaştırıcı Beton Katkıları, YKS Vizyon Dergisi, SKW-MBT, **2**, 32-35.
- [20] **Hewlett, P.C.**, 2004. Lea's Chemistry of cement and concrete, Elsevier Butterworth-Heinemann, Glasgow.

ÖZGEÇMİŞ

Cihan Özgöl, 04.08.1980’de İzmir’de doğdu. Lise öğrenimini İzmir Atatürk Lisesi’nde 1998 yılında tamamladı ve 2004 yılında Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden lisans derecesini aldı. Cihan Özgöl halen İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme programı yüksek lisans öğrencisidir.

