

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİMENTO CİNSİ, DONATI ÇAPI VE TİPİNİN
BETON-DONATI ADERANSINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Cengiz KONCA**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

ŞUBAT 2006

**ÇİMENTO CİNSİ, DONATI ÇAPI VE TİPİNİN
BETON-DONATI ADERANSINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Cengiz KONCA
501911075**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2006**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hulusi ÖZKUL
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR
Prof.Dr. Turan ÖZTURAN (B.Ü.)**

ŞUBAT 2006

ÖNSÖZ

Tezimi yöneten ve çalışmalarım sırasında yardım ve desteğini esirgemeyen değerli hocam sayın Prof. Dr. Hulusi Özkul'a,

Tez jürisi hocalarım Prof. Dr. Mehmet Ali Taşdemir ve Prof. Dr. Turan Özturan'a,

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Yılmaz Akkaya ve Yük. Müh. Abdülkadir Başkoca'ya, deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen Nuh Beton yetkililerine, Müh. Şenel Artırma'ya ve İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Laboratuvarındaki teknisyenlere,

Yüksek lisans eğitimim boyunca arkamda desteğini ve güvenini hissettiğim sevgili eşime ve aileme teşekkür ederim.

Ocak, 2006

Cengiz KONCA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	20
3.1 Kullanılan Malzemeler	20
3.1.1. Çimento	20
3.1.2. Agregası	20
3.1.3. Kimyasal Katkı	21
3.1.4. Donatılar	21
3.2. Beton Karışımı ve Numunelerin Hazırlanması	21
3.3. Deneysel Yöntem	23
3.3.1. Taze Beton Deneyleri	23
3.3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	23
3.3.2.1. Basınç Deneyleri	24
3.3.2.2. Aderans Deneyleri	24
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ	26
4.1. Taze Beton Deney Sonuçları	26
4.2. Sertleşmiş Beton Sonuçları	27
4.2.1. Basınç Deneyi Sonuçları	27
4.2.2. Aderans Deneyleri Sonuçları	28
4.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	30
4.3.1. Çimento Cinsinin ve Beton Yaşının Aderansa Etkisi	31
4.3.2. Donatı Çapının Aderansa Etkisi	31
4.3.2. Donatı Konumunun Aderansa Etkisi	33
4.3.2. Donatı Tipinin Aderansa Etkisi	33
4.4. Beton Basınç Dayanımı ve Aderans Dayanımı İlişkisinin Analizi	33

5. GENEL SONUÇLAR	36
KAYNAKLAR	37
EKLER	39
ÖZGEÇMİŞ	53

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. : 1 m ³ beton karışıma giren malzeme miktarları (Kg).....	20
Tablo 3.2. : Agregaların tane boyutu dağılımı (elekten geçen %).....	20
Tablo 3.3. : Agregaların birim ağırlık ve özgül ağırlık ölçüm değerleri	21
Tablo 3.4. : Üretilen numunelere ait kodlar.....	22
Tablo 4.1. : Taze beton deney sonuçları.....	26
Tablo 4.2. : Beton numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları.....	27
Tablo 4.3. : Aderans dayanımı.....	30
Tablo 4.4. : Aderans dayanımının beton dayanımına oranı.....	34
Tablo B.1. Numunelerin kırılma tipleri.....	51
Tablo B.2. :Numunelerin aderans dayanımları, ortalama ve standart sapmaları.....	52

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1.	:Sıyırılma deney düzeneği..... 8
Şekil 2.2.	:Modifiye edilmiş sıyırılma deney düzeneği..... 9
Şekil 2.3.	:Ekzantrik (solda) ve konsantrik (sağda) sıyırılma deney düzenekleri..... 10
Şekil 2.4.	:LVDT takılmış deney numunesi..... 11
Şekil 2.5.	:Sıyırılma deney numunesi..... 12
Şeki 2.6.	:Sıyırılma deneyi düzeneği..... 12
Şekil 2.7.	:Sıyırılma deneyi düzeneği..... 13
Şekil 2.8.	:Etriyelerin aderans gerilmesine ve sıyırılmaya etkisi..... 14
Şekil 2.9.	:Yük aktarım boyunca aderans davranışının simülasyonu: (soldan sağa) donatıda çekme durumu, beton içindeki durum, yükün kademeli olarak artışı ve meydana gelen aderans gerilmesi..... 14
Şekil 2.10.	:Sıyırılma deney düzeneği..... 16
Şekil 2.11.	:Sıyırılma deney düzeneği..... 17
Şekil 2.12.	:Aderans ve sıyırılma deney düzeneği 18
Şekil 2.13.	:İki taraflı yer değiştirmelerin ölçüldüğü aderans deneyi düzeneği..... 19
Şekil 3.1.	:Aderans deneyi düzeneği..... 25
Şekil 4.1	: Tipik bir aderans kuvveti (Kgf, düşey ekseninde) – sıyırılma (mm, yatay ekseninde) grafiği..... 28
Şekil 4.2.	: Sıyırılma şeklinde ayrılma biçimi..... 29
Şekil 4.3.	: Köşeden parça kopmalı kırılma biçimi..... 29
Şekil 4.4.	: Eğik çatlaklı kırılma biçimi..... 29
Şekil 4.5.	:Zaman içinde aderans dayanımının çimento cinsine göre değişimi..... 31
Şekil 4.6.	:Donatı çapının 10 mm'den 16 mm'ye çıkmasıyla meydana gelen artışlar..... 32
Şekil 4.7.	:k katsayısının donatı özelliklerine göre değişimi..... 35
Şekil A.1.	:Deney düzeneği..... 40
Şekil A.2.	:Aderans deneyinin laboratuvarında yapılışı..... 41
Şekil A.3.	:Numunelerin genel görünümü..... 41
Şekil A.4.	:Deney numunesinin (a) genel (b) yandan ve (c) arkadan görünümü (mm)..... 42
Şekil B.1.	:Portland çimentolu ve 10 mm çaplı donatılı numunelerde aderans kuvveti (kgf, düşey ekseninde), sıyırılma (mm, yatay ekseninde) grafiği..... 44
Şekil B.2.	:Katkılı portland çimentolu ve 10 mm çaplı donatılı numunelerde aderans kuvveti (kgf, düşey ekseninde), sıyırılma (mm, yatay ekseninde) grafiği..... 45
Şekil B.3.	:Traslı çimentolu ve 10 mm çaplı donatılı numunelerde

	aderans kuvveti (kgf, düşey ekseninde), sıyrılma (mm, yatay ekseninde) grafiği.....	46
Şekil B.4.	:Portland çimentolu ve 16 mm çaplı donatılı numunelerde aderans kuvveti (kgf, düşey ekseninde), sıyrılma (mm, yatay ekseninde) grafiği.....	47
Şekil B.5.	:Katkılı portland çimentolu ve 16 mm çaplı donatılı numunelerde aderans kuvveti (kgf, düşey ekseninde), sıyrılma (mm, yatay ekseninde) grafiği.....	48
Şekil B.6.	:Traslı çimentolu ve 16 mm çaplı donatılı numunelerde aderans kuvveti (kgf, düşey ekseninde), sıyrılma (mm, yatay ekseninde) grafiği.....	49
Şekil B.7.	Aderans dayanımının zamana, çimento cinsine ve donatı tipine göre değişimi.....	50

ÇİMENTO CİNSİ, DONATI ÇAPI VE TİPİNİN BETON-DONATI ADERANSINA ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada betonarme taşıyıcı elemanları oluşturan beton ve donatı arasındaki bağ ve aderans kuvvetleri incelenmiştir. Beton ve donatı arasında meydana gelen aderans, beton ve donatının fiziksel ve mekanik özellikleriyle yakından ilgilidir. Bu amaçla farklı mukavemetlere sahip beton numuneler üretilmiş ve bu numunelerin içlerine farklı tipte donatılar yerleştirilmiştir. Bu donatılar belirlenen zamanlarda betonun içinden sıyrılarak çekilmiş ve sıyrılma sırasındaki kuvvet ve sıyrılma miktarları, ve sıyrılma mukavemeti ölçülmüştür. Deney düzeneğinin sağladığı avantaj nedeniyle, donatının beton içindeki konumunun etkisi de incelenmiştir. Böylece betonun üst kısmında ve alt kısmında bulunan donatıların deneylerinden elde edilen sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiş ve betonun donatı etrafındaki yerleşme ve donatıyı sarma etkisi görülmüştür. Elemanların üretiminde, farklı beton mukavemetleri elde etmek amacıyla üç tip çimento kullanılmıştır. Bunlar portland, katkılı portland ve traslı çimentolardır. Bu çimentoların zaman içindeki mukavemet gelişimlerini de dikkate almak amacıyla yirmisekizinci ve doksanıncı olmak üzere iki farklı beton yaşında deneyler yapılmıştır. Kullanılan donatı tipleri ise 10 ve 16 mm lik iki farklı çapa sahip, nervürlü ve düz yüzeyli donatılardır.

EFFECT OF CEMENT TYPE, STEEL DIAMETER AND STEEL TYPE ON THE BOND BETWEEN CONCRETE AND STEEL

SUMMARY

In this study, the bond forces between the steel reinforcement and concrete was investigated. The bond between the concrete and steel is related to the physical and mechanical properties of the concrete and steel. In order to investigate the effect of material parameters, concretes with different cement types were cast and steel bars with different properties were placed inside before casting. These steel bars were pulled out of concrete at two different ages of concrete, such as 28 and 90 days, and the pull out force and sliding length of the steel bars were measured. Pull out strength was calculated as the maximum stress. Due to the test set up, it was also possible to investigate the effect of the location of the steel bar place inside the concrete. Hence, the performance of the bars at the top and bottom of the concrete were compared to evaluate the effect of concrete settlement and bleeding around the steel bars. Three different types of cement were used: portland cement (PÇ), blended cement (KÇ) and trass cement (TÇ). The tests were performed at two different ages: twenty eighth and ninety days, to evaluate the effect of pozzolanic activity on the bond strength. Two types of steel bars, such as plain and deformed, at two diameters of 10 and 16 mm were used in the pull-out tests.

1. GİRİŞ

Betonarme, köprü, baraj, nükleer reaktör gibi stratejik yapıların yanısıra bina ve yol gibi altyapı inşaatlarında kullanılan yapı malzemeleri içinde en önemlisidir. Betonarmenin özellikleri ve farklı koşullar altında davranışı ile ilgili bilgi sahibi olmak sağlam ve ekonomik bir planlama için gereklidir.

Beton, çimento hamuru içindeki iri ve ince agregalardan oluşan kompozit bir malzemedir. Çimento hamuru, taneli malzemeler arasında bağlayıcılık görevini yapar. Beton, yarı gevrek bir malzeme olarak sınıflandırılır ve kırılma mukavemetine eriştikten sonra aşamalı olarak azalan bir tepe yükü sonrası davranışı (yumuşama) ile karakterize edilir. Betonun çekme mukavemeti basınç mukavemetinden on kat daha azdır. Bu nedenle, çekme mukavemetinin önem kazandığı durumlarda ve uygulamalarda sünek bir donatı da bu kompozit malzemenin bir parçası olacak şekilde tasarım yapılır ve maruz kalınan yükler taşınır.

Donatı ve betonun bir kompozit malzeme olarak nasıl davrandığını çalışmak betonarme yapılarda meydana gelen çatlakların nedenlerinin anlaşılması için çok önemlidir. Yapının elastik olmayan şekil değiştirmeleri olarak tanımlayabileceğimiz beton çatlakları, yapıda elastik gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin yeniden dağılımına yol açar. Betonda meydana gelen çatlaklar zararlı iyonların beton içine taşınmasına ve donatıların korozyonuna da neden olur. Beton ve donatı arasındaki bağ kuvvetinin ve oluşan çatlaklarla meydana gelen göçme durumunun çalışılması bu nedenlerle yapıların hem mekanik, hem dürabilite özellikleri açısından gereklidir.

Donatıların çevresini saran betonun eksenine paralel olarak kaymalarına karşı gelen bağ kuvvetlerine aderans denir. Aderans betonarme elemanlarının mukavemetlerini yüklenme durumlarıyla ilgili olarak iki şekilde etkiler. Basınç ve çekme etkisi ile donatıyı betondan çıkarmaya çalışan bir durumda aderans ile donatının ankrajı sağlanır. Buna ankraj aderansı veya dış aderans denir. Buna karşılık çekme ve eğilmeye çalışan betonarme elemanlarda donatı çubuklarını sıyrılmaya zorlamayarak beton ve donatının birlikte çalışmasını sağlayan aderansa ise iç aderans denir.

Aderansın oluşumunda aşağıdaki olaylar neden olarak gösterilebilir:

1. Çelik ve beton arasındaki yapışmaya neden olan molekül sel ve kapiler bağ kuvvetleri. Bu yapışma çok küçük değ erde olup zayıf zorlama altında ç elik ve betonun birbirine göre küçük yer değ işt irmeleri sonucunda kopar.
2. Donatı üzerindeki pürüzlerin betona tutunmasından ileri gelen sürtünme kuvvetleri. Molekül sel kuvvetlere göre daha önemlidir.
3. Çubuk çevresindeki betonu makaslama ve basınç dirençlerini de olaya karış tırarak tek veya çok sayıda sürekli veya süreksiz nervürlerden ve enine çıkıntılardan ileri gelen mekanik dış kuvvetleri.

Bu çalışmada donatı ile beton özelliklerinin donatının aderans ve sıyrı lma özelliklerine etkisi incelenmiştir. Farklı ç imento tipi ve beton yaş larında, farklı ç ap ve konumlarda bulunan, dü z ve nervürlü donatılar üzerinde aderans deneyleri yapılmıştır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın amacı ve tez hakkında tanıtıcı bilgiler verilmiş, ikinci bölümde beton ve donatı arasındaki aderans mukavemeti ile ilgili literatür çalışması sunularak, bu konu hakkında daha önce yapılan bazı çalışmalar tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde, bu çalışmanın amacı detaylandırılmış, seçilen deneysel yöntem, kullanılan malzemeler ve uygulanan deney programı tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde elde edilen deney sonuçları verilmiştir. Beşinci bölümde ise genel sonuçlar tartışılmakta ve değ erlendirme yapılmaktadır. Son bölümde, kullanılan kaynaklar verilmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Beton ve donatı arayüzeyindeki kayma gerilmelerine yapışma veya aderans, bu gerilmelerin oluşturduğu rölatif şekil değiştirmelere de sıyrılma adı verilir. Beton ve donatı arasındaki bu etkileşim çatlakların oluşmasına ve ilerlemesine yol açar. Bir dış kuvvet etkisinde, oluşan gerilmeler beton ve donatı arasında paylaşılır. Bu paylaşım, donatı yüzeyine eğik yönde oluşan ve donatı yüzeyinden dışarı doğru ilerleyen basınç kuvvetleri etkisiyle olur. Donatı ve betonun rijitlikleri ve betonun düşük mukavemetinin etkisiyle, bu olay sonucu beton içinde çatlaklar meydana gelir. Çelik ve beton arasında oluşan elastik ve plastik deformasyonlar, kullanılan numune ve deney düzeneğine bağlıdır. Betondaki çatlaklar iki türdür. Donatı kırılma düzlemindeyse boyuna çatlak, donatı kırılma düzleminden dik geçiyorsa dik yönlü çatlak olur. Oluşan bu iki çatlak türünün birbirinden bağımsız olmaması nedeniyle aderans bölgesinde oluşan çatlakları incelemek kompleks bir iştir. Donatı yüzeyindeki kuvvetlerin denge koşulundan, aderans gerilmesinin (τ_u) donatıdaki aksenal gerilmenin (G), d çaplı bir donatının boy mesafesi (l) değişimi ile orantılı olduğu söylenebilir: $\tau_u = (d/4) (G/l)$. İlerleyen aşamalarındaki çatlaklar, çekme gerilmesinin maksimum olduğu, mevcut çatlakların ortasındaki bölgede oluşacaktır.

Betonarme bir elemanda çatlakların nasıl meydana geldiğini anlamak için tipik bir çekme deneyine maruz beton ve donatı arasında yük paylaşımı ve gerilmenin zaman içinde artışı düşünülebilir. Çatlamadan önce, yük donatı ve beton arasında üniform olarak paylaşılır. Yük artmaya başladıkça radyal yönde oluşan iç çatlaklar donatıya dik yönde oluşan büyük bir çatlak oluşana kadar devam eder. Bu aşamada yükün önemli bir kısmı, çatlakta bulunan donatı tarafından taşınmaktadır. Betonda taşınan yük ise gerilme- çatlak açılması ilişkisinden bulunabilir. Bu ilişki her beton karışımı için bir malzeme karakteristiğidir. Betonun taşıdığı çekme gerilmesinin kırılma ve çatlama gerilmesine kadar artması için çatlak yüzeyinden içeri doğru bir mesafe gerekmektedir. Beton tarafından taşınan yük, çekme mukavemetine eşit

olduğunda yeni bir çatlak oluşur. Bu yüzden meydana gelen çatlakların arasındaki mesafe elemanın boyutlarına bağlıdır [1].

Diğer taraftan çatlakların oluşması donatının çalışması açısından önemlidir. Genel olarak çok sayıda, eleman boyunca dağılmış çatlakların oluşması istenir. Böylece meydana gelen çatlaklar daha küçük boyutta olur ve gerilme üniform dağılır. Çatlak genişliği ve aralığı için çeşitli bağıntıların verildiği ifadelerde, dağılmış bir çatlak sistemi elde edilmesi için konulması gereken en az donatı miktarları öngörülmektedir. Betonarme elemanlarda oluşan çatlaklar nedeniyle elemanın rijitliği azalsa da, tek başına donatının rijitliği ile karşılaştırıldığında, betonarme elemanı daha rijittir. Bunun nedeni ana elemanın, çatlaklar oluşuktan sonra, çatlaklar arasındaki bir çok çatlamaşmış rijit elemanların birleşmesinden oluşan bir kompozit olarak çalışmasıdır. Bu etkinin sadece statik deformasyonlar üzerinde değil, betonarme elemanın dinamik yükler altında çalışması sırasında da çok önemli sonuçları vardır.

Bir betonarme kirişin yük taşıma kapasitesi, beton ve donatı arasındaki aderans ile yakından ilgilidir. Uzun bir açıklığa sahip basit bir kirişin göçmesi, kirişin ortasında donatının çekme yükleri altında akmasından ya da betonun basınç altında ezilmesinden kaynaklanır. Oysa kısa açıklıklı basit bir kirişte göçme, uygulanan yük ile mesnet arasındaki bölgede oluşan kayma gerilmeleri ile oluşur ve bu bölgede tipik, çapraz yönlü kayma çatlakları meydana gelir. Bir kirişin mesnet bölgesindeki reaksiyonlar önemlidir. Mesnet bölgesindeki donatıda oluşan çekme kuvvetleri, dışarıdan sargıyla desteklenmiş bir donatının beton içinden çekilmesi durumuna benzer. Bu bölgedeki sargılama kuvvetleri, mesnet bölgesindeki reaksiyonlar nedeniyle betonda meydana gelen iç kuvvetler ve etriyeler nedeniyle oluşur. Bu yüzden, çekilmekte olan bir donatının ayrılma ve kopmaya neden olup olmayacağı, dışardan sargı kuvvetleri ile desteklenip desteklenmemesine bağlıdır.

Betonarme yapılarda beton ile donatı arasında yeterli bir yapışma sağlanması önemli bir performans özelliğidir. Betonarme projelendirme sırasında yapılan önemli bir kabul, beton ile donatı şekil değiştirmelerinin aynı kabul edilmesi, yani aralarında mükemmel bir yapışma ve dolayısıyla yük aktarma olmasıdır. Bu yüzden, aderansın gelişmesine veya sona ermesine yol açan mekanizmaların bilinmesi gereklidir. Aderans yapışma ile ve yüzeysel deformasyonların mekanik kenetlenmeye yol açmasıyla oluşur. Bu yapışma ve kenetlenmenin kaybı iki türlü olabilir. Birinci tip

ayrılmada, beton ve donatı arasındaki iç kuvvetlerin betonun donatıdan kopmasına neden olur. İkinci tip ayrılma ise, donatının eksenî doğrultusunda çekilmesi nedeniyle oluşur ve çeliğin etrafındaki beton sağlam olarak yerinde kalır.

Düz donatıların maruz kaldıkları gerilmelere karşı koyuşu donatı ve beton arasındaki yapışma ve sürtünme kuvvetlerinden kaynaklanır. Bu donatılar yapışma ve sürtünme mekanizmalarının azalmasıyla kuvvetlerini yitirirler. Donatı etrafındaki beton donatı çapına göre az miktarda ise ayrılma meydana gelir.

Nervürlü donatılarda ise aderansı sağlayan etkin mekanizma betonun donatı üzerindeki deformasyon ve girinti çıkıntılara tutunmasından kaynaklanır. Bu kuvvetler halka şeklinde çekme kuvvetlerine ve betonda radyel yönde çatlakların oluşmasına neden olur. Eğer beton kalınlığının donatı çapına oranı küçükse bu çatlaklar donatı yüzeyinden başlayarak betonun yüzeyine kadar çıkar ve ayrılma meydana gelir. Ancak beton kalınlığı donatı çapı oranı fazla ise veya, önemli miktarda dikey donatı varsa, göçme betonun kayma mukavemetine erişmesi sonucu oluşur. Bu tip göçmelerin oluşması, ayrılma sonucu kırılmalara göre çok daha fazla yüksek gerilme gerektirir.

Yapılar projelendirilirken, donatılar hem yapı elemanının ayrılma ve kopma beklenen dış yüzeylerinde, hem de yapı elemanında kayma kuvvetlerinin oluştuğu iç bölgelerde kullanılır. Ancak kritik durum, ayrılma ve kopma tipi hasarların olduğu göçme durumudur ve yapıların tasarımında bu durum göz önüne alınır.

Geleneksel aderans deneyleri sıyrılma (pull out) tipi göçmelerin meydana gelmesine yol açan aderans dayanımının ölçülmesine dayanır. Düz donatılar için bu durum geçerlidir ve deneysel gözlemler de bunu doğrulamaktadır. Nervürlü donatılar için bu durum yanıltıcı olabilir çünkü, donatı etrafındaki betonda hasar ve kopmalar oluşabilir. Bu durumda aderans mukavemetinin ölçülmesi için nasıl bir deney düzeneğinin kurulması gerektiği düşünülmelidir. Aderans mukavemetinin betonarme yapıların performansı açısından oldukça önemli olmasına rağmen, bunu gerçekçi olarak ölçebilecek bir standart deney metodu henüz yoktur. İngiliz standardı BS 4449'a göre aderans mukavemeti, beton bir prizmanın ortasına yerleştirilmiş donatının yerinden çekilmesi ile tesbit edilir. Ayrılma ve kopma türü göçmeleri önlemek için dik doğrultuda donatılar konur ve 10-20 MPa gibi oldukça yüksek aderans mukavemetleri ölçülür. Halbuki BS 8110 ve BS 5400 standartlarına göre,

tasarımda kullanılabilecek en yüksek aderans mukavemeti 1-4 MPa arasındadır çünkü gerçek yapılarda meydana gelen gerilmelerin bu aralıkta olduğu görülmüştür. Dolayısıyla BS 4449 tasarımda kullanılabilecek bir değer ölçememektedir. Bu standart ile donatılar arasında bir sınıflandırma yapmanın mümkün olduğu, ancak gerçek aderans mukavemetinin bulunamayacağı anlaşılmaktadır. bir standart küp ortasına yerleştirilmiş donatının test edilmesine dayanan deneylerde de, ancak donatılar arası karşılaştırmaların yapılabileceği, ingiliz standardı gibi yüksek aderans mukavemeti veren bir deneydir [2].

Bu standartlarla bulunan aderans mukavemetleri donatı ve beton arasındaki yapışmanın temel kavramlarla anlaşılmasına ve yük-sıyrılma ilişkisinin ortaya çıkarılmasına yardımcı olabilir. Ancak, aderans mukavemetinin tasarım amacıyla kullanılabilmesi için ayrılma ve kırılmaların neden olduğu bir göçme türünün görüldüğü deney düzenekleri kullanılmalıdır.

BS 8110 ve BS 5400 standartlarında yer alan aderans mukavemetleri ölçülmüş değerler değildir. Bu değerler, düşük bir beton pas payına sahip elemanlar için kullanılabilecek mantıklı değerlerdir. Betonda aderans mukavemeti bir çok faktöre dayanır. Bunlar arasında beton mukavemeti, pas payı kalınlığı, donatı çeşidi, betonun döküldüğü yön ve dik doğrultuda donatı olup olmaması gibi faktörlerdir.

Nervürlü donatılarda yapışma kuvvetleri, beton içinde donatı boyu boyunca radyal yönde kuvvetlerin oluşmasına neden olur. Bu, beton içinde donatı yüzeyinde etkin olan bir sıvı basıncına benzetilebilir. Eğer beton içine esnek tüpler yerleştirilir ve bir iç basınç uygulanırsa oluşan şişme basıncı nedeniyle meydana gelecek hasarlar, betonda donatı aderansı nedeniyle meydana gelen hasarlarla çok benzerdir.

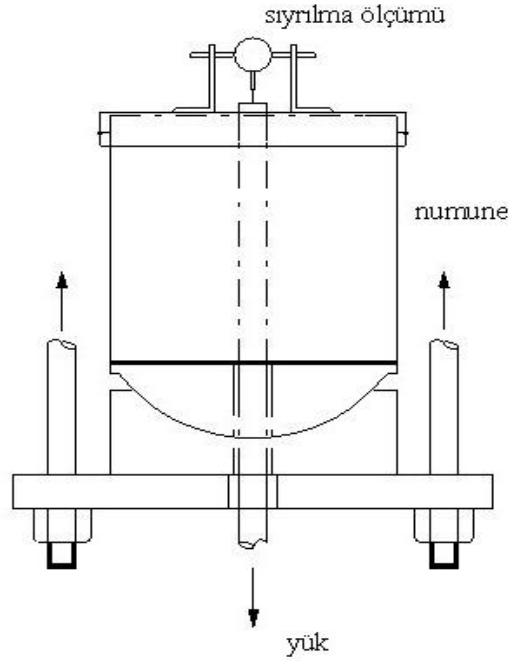
Çatlamış elastik bir silindir kullanılarak yapılan teorik çalışmalar, donatı yüzeyinde r_1 yarıçaplı bir mesafede bulunan çatlakların r_2 yarıçaplı bir mesafeye uzayabildiklerini göstermiştir. R_1 yarıçapında p_1 olan iç basınç, r_2 yarıçapındaki p_2 basıncı ile dengede olur, $p_1 \cdot r_1 = p_2 \cdot r_2$. Böylece, silindirin çatlamamış kısımlarındaki çekme kuvvetleri p_1 cinsinden hesaplanabilir. Eğer donatı etrafındaki beton kalınlığı yeteri kadar büyük seçilirse, iç bölgede donatı yüzeyinde meydana gelen kısmi çatlaklı bir bölge, betonun dış yüzeyine çıkmadan kalacaktır. Aderans mukavemeti (f_{bs}) ile beton basınç dayanımı (f_{cu}) arasında, d çaplı bir donatı etrafındaki betonun kalınlığına (c) bağlı olarak, $f_{bs} = 0,27 (f_{cu} (0,5 + c/d))^{1/2}$ ilişkisi önerilmiştir [2].

Ayrılma ve kopmaların bulunduğu yüzeylerden geçen donatılar bulunduğu takdirde göçme durumunun etkilendiği ve bu durumda f_{bs} 'nin 5/3 oranında artış gösterdiği hesaplanmıştır. BS 5400 de verilen aderans mukavemeti değerleri bu eşitlikle uyum göstermektedir. Bu standartta yer alan değerler incelendiğinde düz donatılar için $f_{bs}=0,39 f_{cu}^{1/2}$ eşitliği, nervürlü donatılar içinse $f_{bs}=0,7 f_{cu}^{1/2}$ eşitliği bulunur. Görüldüğü gibi standart daha basit bir eşitlik önermekte ve donatı etrafındaki beton kalınlığı (c) ve donatı çapını (d) gözönüne almamaktadır. Standardın önerdiği eşitlik, c/d nin 1 olarak kabul edildiği duruma yakındır.

Deneysel çalışmalarda yukarıda bulunan donatıların, aşağıda bulunan donatılara göre daha düşük aderans mukavemetine sahip olduklarını göstermektedir. Bunun nedeni betonun o bölgelerde iyi yerleşmemesi ve donatı altında boşluklar kalmasıdır. Bu nedenle yukarıdaki donatıların aderans mukavemetleri 1,4 oranında azaltılır ve düz donatılar için $f_{bs}=0,28 f_{cu}^{1/2}$ eşitliği, nervürlü donatılar içinse $f_{bs}=0,5 f_{cu}^{1/2}$ eşitliği alınır.

F.I. Faiyadh'ın [3] yağlı ortamda bağ karakteristiklerini incelediği çalışmasında bağ kuvvetinin yağlı ortamdaki dengesizliği için sulu ve kuru ortamlarla karşılaştırmalı olarak aksel ve değiştirilmiş sıyrılma deneyleri yapılmıştır. Yapılan araştırmalar yağ oranının emilmeyle artması sonucu aderansın azaldığını göstermiştir. Düz demirlerde bu azalmanın nervürlü çeliklere göre 1,8 ~ 2,3 kat fazla olduğu hesaplanmıştır. Bu çalışmada deney numuneleri 105°C 'de iki hafta kurutulurak daha sonra suya ve yağa belli periyodlarla sokularak çeşitli emme oranlarıyla aderans deneyleri yapılmıştır. Yaklaşık 10 çeşit aderans deneyinin bulunduğu ancak söz konusu deneylerde basit bir silindirin içine gömülen çubukların çekilip çıkarıldığı belirtilmektedir. Sıyrılma deneylerinde 150mm çaplı ve 150mm yüksekliğinde silindir beton numuneleri kullanılmış, yarıma ile betonun kırılmasını önlemek için 6mm çaplı 25,4mm aralıklı heliks demirle takviye edilmiştir (Şekil 2.1). Deneyde 20mm çelik çubuklar kullanılmıştır. Minimum akma sınırları düz çubuklar için 340N/mm² ve Nervürlü çubuklar için 506N/mm²dir. İki beton karışımı kullanılmış, birincisinde çimento:kum:agrega oranı 1,0:1,22:1,50 olacak şekilde, su/çimento:0,4 seçilmiş ve 28 günlük beton dayanımı 75N/mm² ölçülmüştür. İkinci beton karışımında çimento:kum:agrega oranları 1,0:2,24:2,44 ve su/çimento:0,6 olarak kullanılmış ve 28 günlük beton dayanımı 50N/mm² ölçülmüştür. Karışımlarda portland çimentosu ve nehir agregası kullanılmıştır. Her beton karışımı ve çubuğu

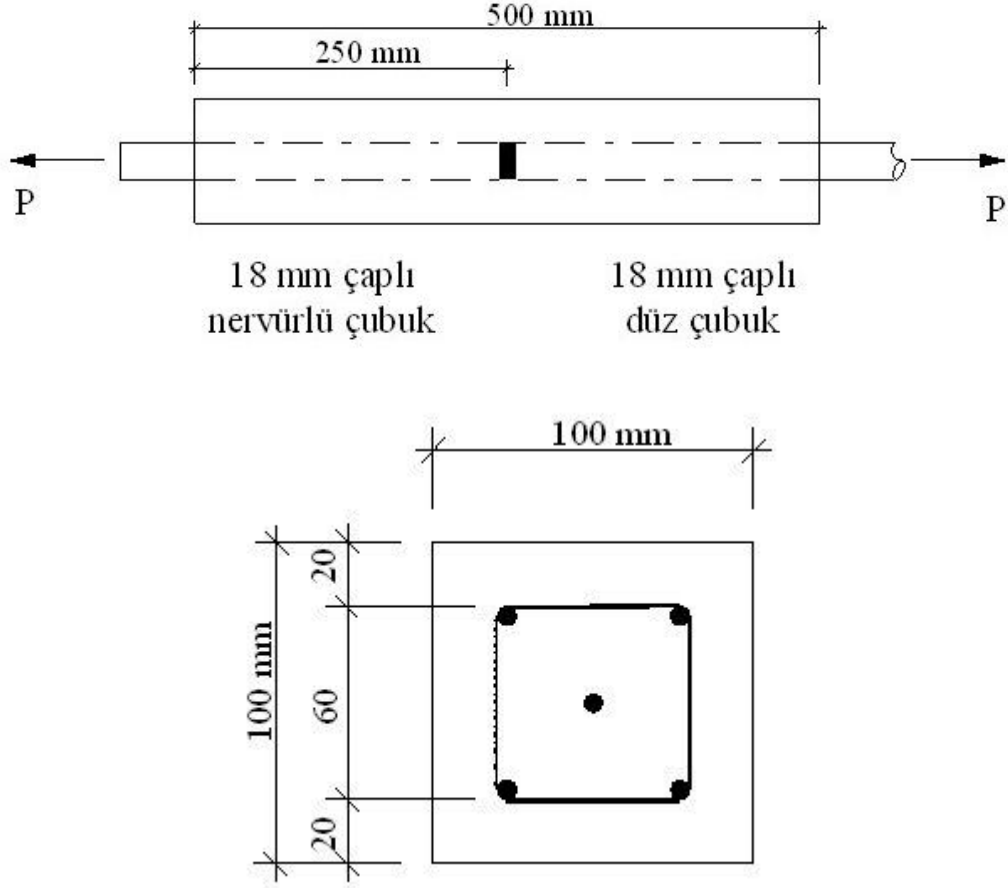
için 9 numune hazırlanmış ve 7 gün suda bekletilmiş, sonra 105° C de 14-18 gün arası kurutulmuştur. Numuneler üç gruba ayrılmış, birinci grup atmosfer basıncında yağa, ikinci grup suya, üçüncü grup polietilenle kaplanarak kontrol numunesi olarak saklanmıştır. Deneyden 30 gün önce atmosfer basıncında yağ içindeki numune alınarak iç basıncı 0,837N/mm² olan yağlı ortama konulmuş ve böylece içine aldığı yağ oranı arttırılmıştır. Sıyırılma deneyleri 120, 300 ve 750 günlük olarak değişik oranlarda yağ içeren numunelerde yapılmıştır. 1000KN kapasiteli test makinesinde numuneler şekildeki gibi yerleştirilmiş ve çubuğu betondan ayırıcaya kadar yük uygulanmıştır. Uygulanan yükle ve buna karşı gelen sıyırılma ölçülerek kaydedilmiştir.



Şekil 2.1 Sıyırılma deney düzeneği

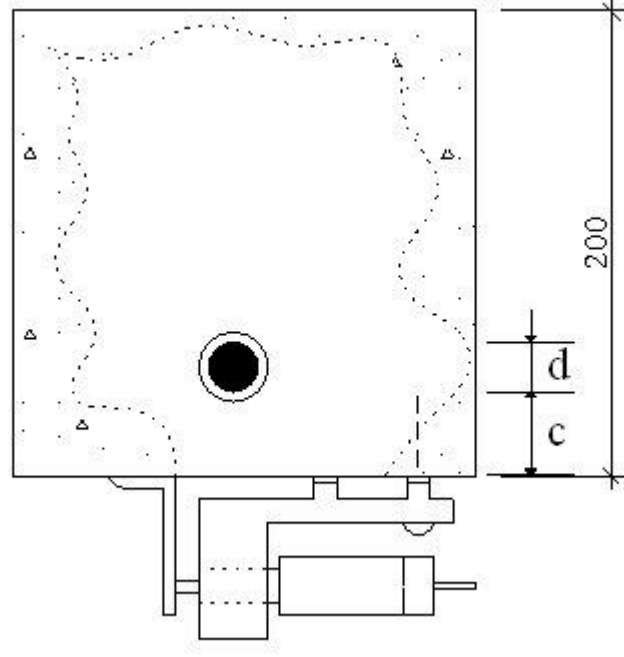
Modifiye edilmiş sıyırılma deneylerinde (Şekil 2.2) ise uygulanan deney programı, beton karışımı, kürü ve diğer şartlar normal sıyırılma deneyi ile aynıdır. Numuneler 8 aylık bir zamandan sonra yüksek bir yağ emme oranı ile test edilmiştir. Deneyde yarıya kadar 18mm'lik düz demir diğer yarısında 18mm'lik nervürlü demir kullanılır. Bunun amacı sıyırılmanın yalnızca (sıyırılma ile ayrılmanın) düz demirde olacağını göstermektir. Bu amaçla 100x100x500mm boyutlarında prizma 3,2mm düz çelikle yapılmış etriye 25mm arayla konulmuştur. Deneylerden sonra düz çubukların her defasında sıyrılarak, nervürlü demirlerin ise parçayla çatlayarak çıktığı gözlenmiştir. Çatlakların yükleme yapılan çubuktan başlayıp ve yayıldığı tesbit edilmiştir. Yağ

emme oranı yüksek betonlarda aderans kuvvetinin normal betona göre daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 2.2 Modifiye edilmiş sıyrılma deney düzeneği

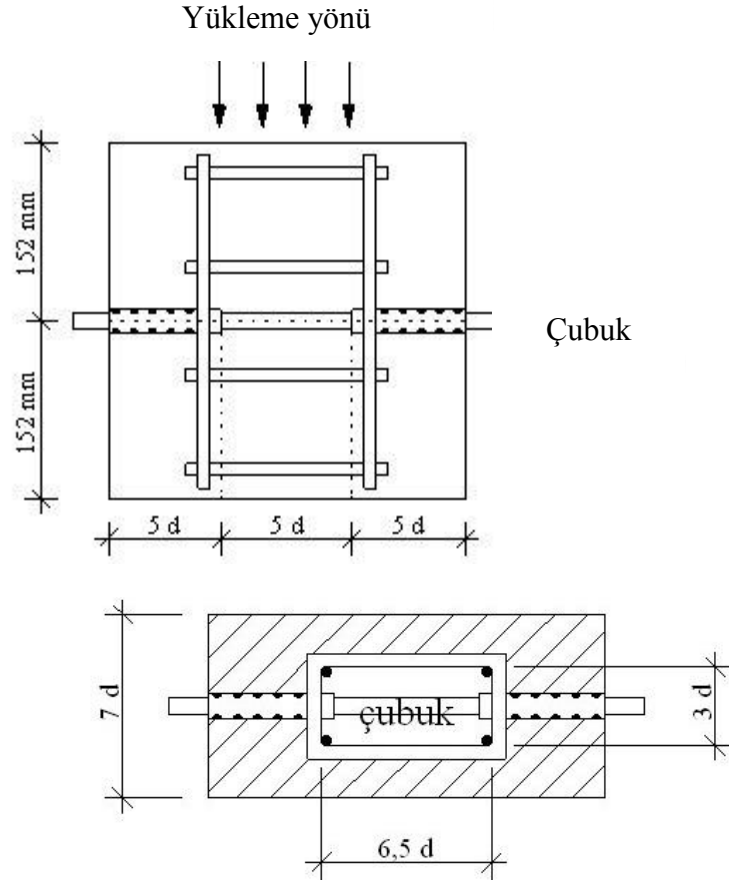
Rostasy ve Hartwich'in [4] çelik fiberli betonda aderansı inceledikleri çalışmalarında yaklaşık 100 adet kısa gömme boylu (çapın beş katı) deneyler yapılmıştır. Birincisinde düz fiberler ve boy/çap oranı $l/d=25/0,4$ mm olarak, ikincisinde ise kancalı fiberler ve boy/çap oranı $l/d=30/0,5$ mm olarak iki türlü fiber kullanılmıştır. 16mmlik nervürlü çelik ve 28 günlük basınç dayanımı 44MPa olan beton numuneler kullanılmıştır (Şekil 2.3).



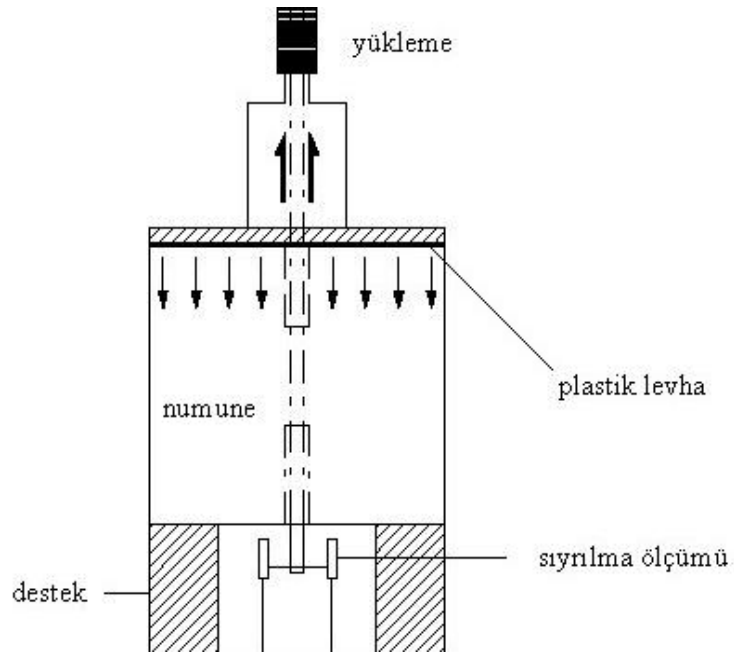
Şekil 2.4 LVDT takılmış deney numunesi

Soroushian ve Bayasi'nin [5] betonarme mesnetlerde nervürlü çubukların yerel bağ davranışları ile ilgili çalışmalarında, kolon-kiriş bağlantılarında kiriş içinde bulunan donatının sıyrılmasını (eğilme momenti altında), beton-çelik arasındaki aderans kuvvetinin sınırladığı belirtilmiştir. Bağ direnci esas olarak beton-çelik arasındaki (nervürlerden dolayı) mekanik diş kuvvetleri ile sağlanır. Deney programı kolon-kiriş birleşimine uygun bir düzenele yapılır ve 25,4mm çapında 550MPa akma gerilmesinde nervürlü çelik kullanılır (Şekil 2.5).

Çelikler betona belli bir oranda gömülür ve etrafına gerçekte kolonlardaki etriyeler olan dikey ve yatay (çapraz) demirler konur. Gömme boyu çubuk çapının beş katıdır. Çubuklar üst ve alt uçtan tübe alınır (Şekil 2.6). Uygulanan kuvvet yükleme ucundan, sıyrılma ise yer değiştirme (boş uçtaki) ölçer ile ölçülür. Yük ve sıyrılma okumasındaki hatalar %2'den azdır. Kullanılan betonun 28 günlük basınç dayanımı 44,8MPa dır. 12 adet sıyrılma numunesi test edilir. Deneylerin sonucunda etriye kullanımı ile aderansın %55 arttığı görülmüştür.

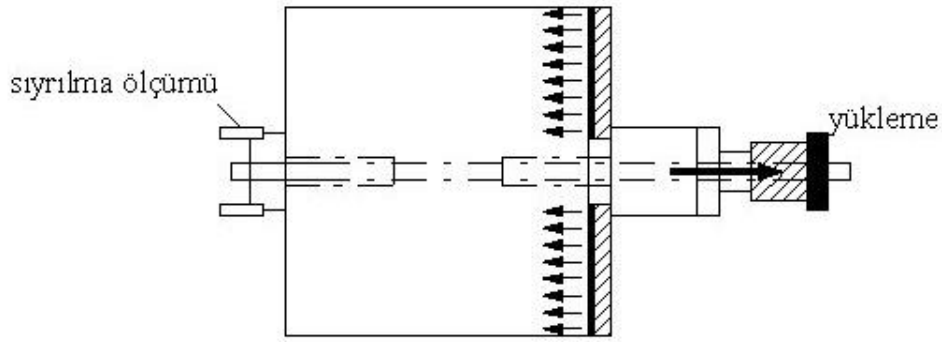


Şekil 2.5 Sıyırılma deney numunesi



Şekil 2.6 Sıyırılma deneyi düzeneği

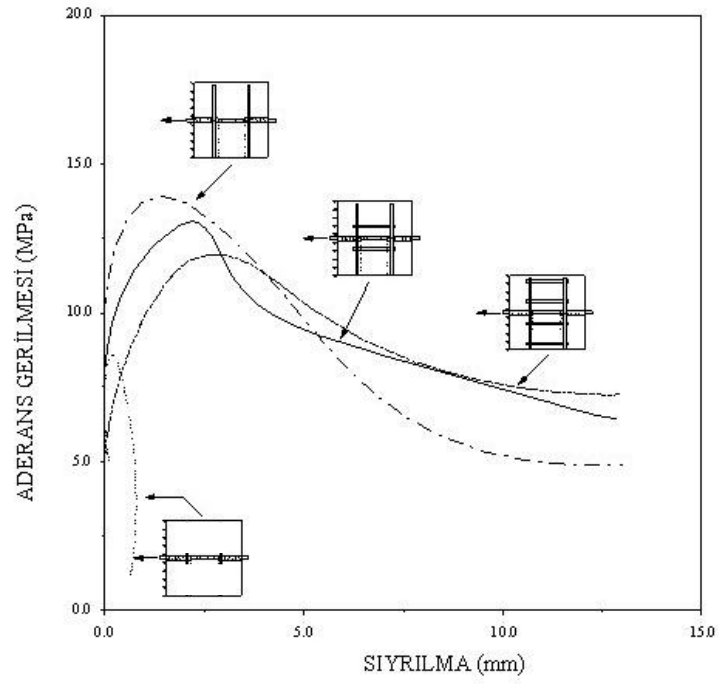
Soroushian ve arkadaşlarının [6] nervürlü çeliklerle beton arasındaki bağı inceledikleri çalışmada, betonarme çerçevelerde kolon-kiriş bağlantılarındaki statik ve dinamik yükler nedeniyle oluşan kiriş kaymaları önemli bir hasar sebebi olduğu söylenmektedir. Nervürlü çelikler (akma gerilmesi: 414MPa) ve en büyük agrega boyutu 19mm olan betonlarla numuneler üretilmiştir. Numuneler 7 gün suda bekletilip normal çevre şartlarına alınmış ve 28 günlük numunelerle deneyler yapılmıştır. Sıyırılma kuvveti çubuğun her tarafından hidrolik bir makine yardımıyla uygulanmış ve iki elektriksiz yer değiştirme ölçüm aleti çubuğun diğer ucunda kullanılmıştır (Şekil 2.7).



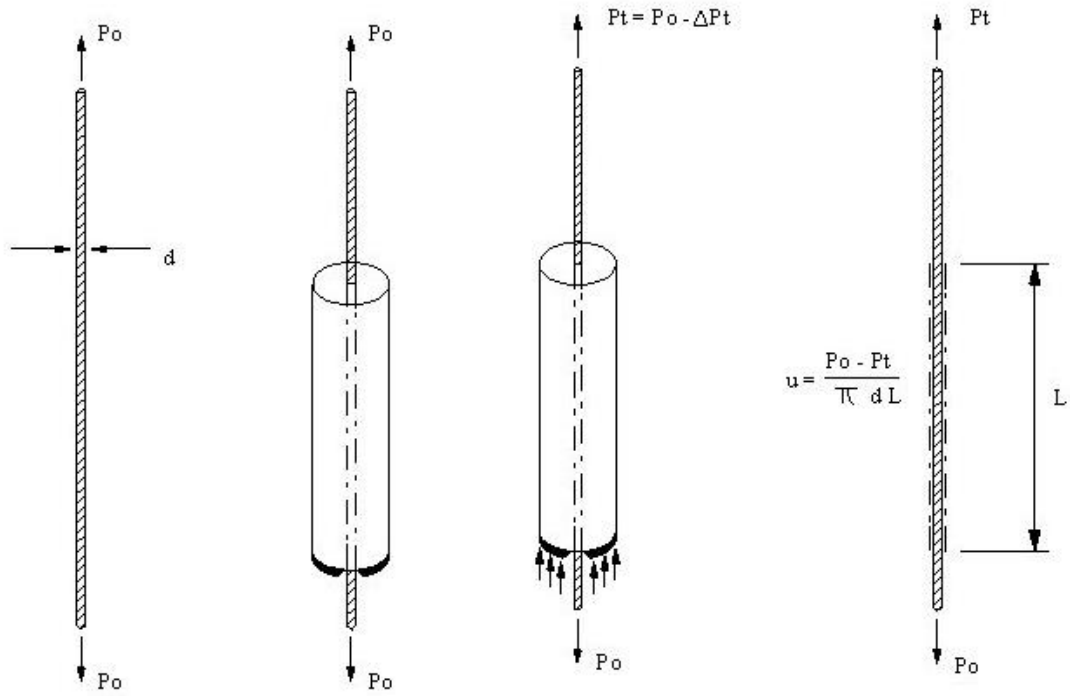
Şekil 2.7 Sıyırılma deneyi düzeneği

Etriyeli demir koyup koymamanın etkisi karşılaştırılmıştır (Şekil 2.8). Görüldüğü gibi etriye demirleri konulmasıyla aderans dayanımı ve sıyırılma artmıştır.

Abrishami ve Mitchell'in [7] çalışmalarında bağ karakteristikleri incelenmiştir. Çalışmanın amacı basit bir gerilme-sıyırılma ilişkisi gösteren deney düzeneği kurmaktır (Şekil 2.9).



Şekil 2.8 Etriyelerin aderans gerilmesine ve sıyırılmaya etkisi



Şekil 2.9 Yük aktarımı boyunca aderans davranışının simülasyonu: (soldan sağa) donatıda çekme durumu, beton içindeki durum, yükün kademeli olarak artışı ve meydana gelen aderans gerilmesi

Bu amaçla

-1.Adım:Donatı bir P_o yüküne kadar çekilir.

-2.Adım:Betón dökülerek kür koşullarına uyulur ve istenilen şartlarda olması temin edilir.

-3.Adım:Küçük bir bağ (aderans) gerilmesi oluşturmak için üst taraftaki yük bir miktar azaltılır ve böylece bir gerilme oluşur (Bu deney alt taraftaki P_o yükü arttırılarak ta yapılabilir).

-4.Adım:3.adımda yapılan işlem tekrar edilir.

-5.Adım:Deney sonuna kadar gerilme-sıyırılma not edilir.

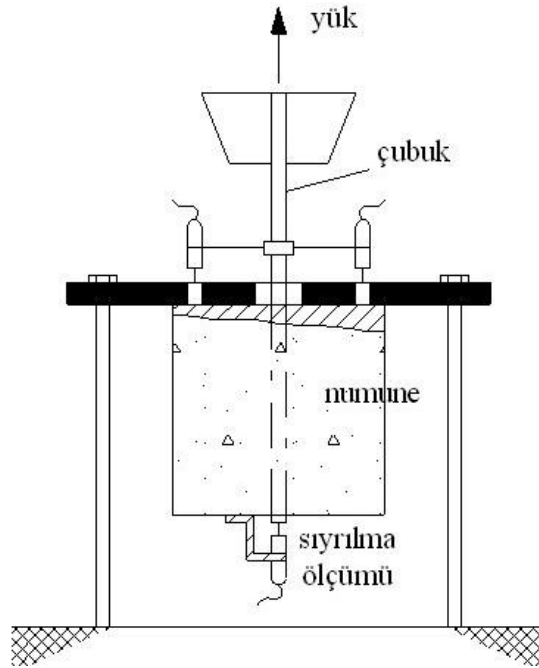
Deney programında kullanılan beton numunelerin 5 günlük basınç dayanımları 25 MPa, 28 günlük basınç dayanımları ise 35 MPa'tır. Kullanılan ön gerilmeleri çelikler ise 9,5; 13 ve 16mm'lidir ve 1860 MPa akma gerilmesine sahiptir. Deneylerin sonucunda numunelerin yüzeyinde çatlaklar oluşmadığı ve bağ kuvvetinin (aderans gerilmesini) çubuğun alt ve üst ucundaki gerilme farkından bulunabildiği tesbit edilmiştir.

Maslehuddin ve arkadaşlarının [8] paslanmanın çeliğin mekanik özelliklerine ve aderansına etkisini inceledikleri makalede 6 farklı boyutta ve her birinde 3'er farklı karışımda oluşturulan numunelerde 16 aylık deneyler yapılmıştır. Paslanmanın akma gerilmesi ve betonla çeliğin arasındaki bağa etkisi araştırılmıştır. Sonuçta mukavemetle ilgili olarak çeliğin üzerinde bir değişiklik oluşturmadığı ancak betonla çeliğin arasındaki bağ kuvvetini arttırdığı bulunmuştur. 6 boyutta çelik çubuk 3 değişik korozyon mukavemetini arttıran element (örneğin Cr , Cu ve Ni) oranı ile üretilmiştir. Beton numuneler 150 x 150 x 150mm (8,10,12 ve 16mm'lik çubuklar için) ve 200 x 200 x 200mm (32mm'lik çubuklar için) boyutlarındadır ve 28 günlük basınç dayanımları 30 MPa'dır. Betonlarda su/çimento oranı 0,50, çökme ise 50~75mm arasındadır. Gömülme boyu, erken beton kırılmalarının önüne geçmek için çubuk çapına göre değiştirilmiştir. 8,10,12mm'lik çubuklar için gömme boyu 6 x çubuk çapı, 16mm'lik çubuk için 3,5 x 16mm, 32mm'lik çubuk için 2 x 32 mm olarak tesbit edilmiştir.

Her çubuk için 3 numune hazırlanmış ve çubuklar temizlenmeden hazırlanan küp numuneleri önce 24 saat hava kürüne sonrada 27 gün su kürüne tabi tutulmuştur. 75x150 mm'lik 6'şar basınç deneyi numuneleri aynı küre tabi tutulup hazırlanmış ve konsentrik (merkezi) sıyırılma deneyi 28 günlük numuneler üzerinde

gerçekleştirilmiştir. Betonarme bir kirişte çekmeye çalışan beton konsentrik (merkezi) sıyrılma deneyinde basınç çalışır. Eksentrik bir sıyrılma deneyi buna göre daha gerçekçi bir deneydir. Modifiye kiriş ve cantilever kiriş deneyleri eksentrik ve konsentrik sıyrılma deneylerindeki farklılıkları ortadan kaldırmaktadır. Deneylerde 250 KN kapasiteli deney makinesi ve iki tane doğrusal yer değiştirme okuyucu (yükleme yapılan uçta ve serbest uçta) kullanılmıştır (Şekil 2.10). Aderans gerilmesi uygulanan yükün betonla olan çubuk temas alanına bölünmesiyle bulunur.

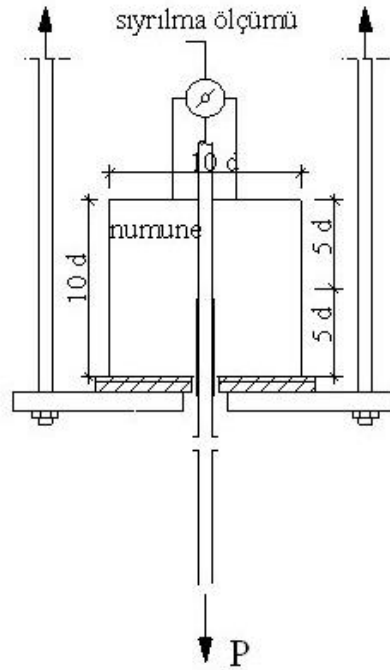
Yaklaşık 150 deneyden elde edilen aderans gerilmesi - sıyrılma eğrisinden sonra, maximum aderans gerilmesinin %60-75'ine kadar sıyrılma ile doğrusal bir ilişkinin mevcut olduğu saptanmıştır.



Şekil 2.10 Sıyrılma deney düzeneği

Windisch'in [9] gerçekleştirdiği modifiye edilmiş aderans deneylerinde ise amaç aderans deneylerinde kullanılan çubuğun bir aderans karakteristiklerini tespit etmektir. Bu amaçla iki ayrı paralel blok kullanılmış, altta aderans kuvveti araştırılan çubuk, üstte ise iki bloğu birleştiren çelik menteşe bulunan bir sistem üzerinde çalışılmıştır. Simetrik iki yük uygulanarak iki serbest uçtaki sıyrılmalar ölçülmüştür. Böylece her bir testten iki test sonucu alınmıştır. Kullanılan deney numune boyutları çubuk çapına göre değişmektedir. Betonun basınç mukavemeti 400kg/cm² ve su / çimento = 0,66'dır. Vibrasyonla yerleştirilen beton kalıba

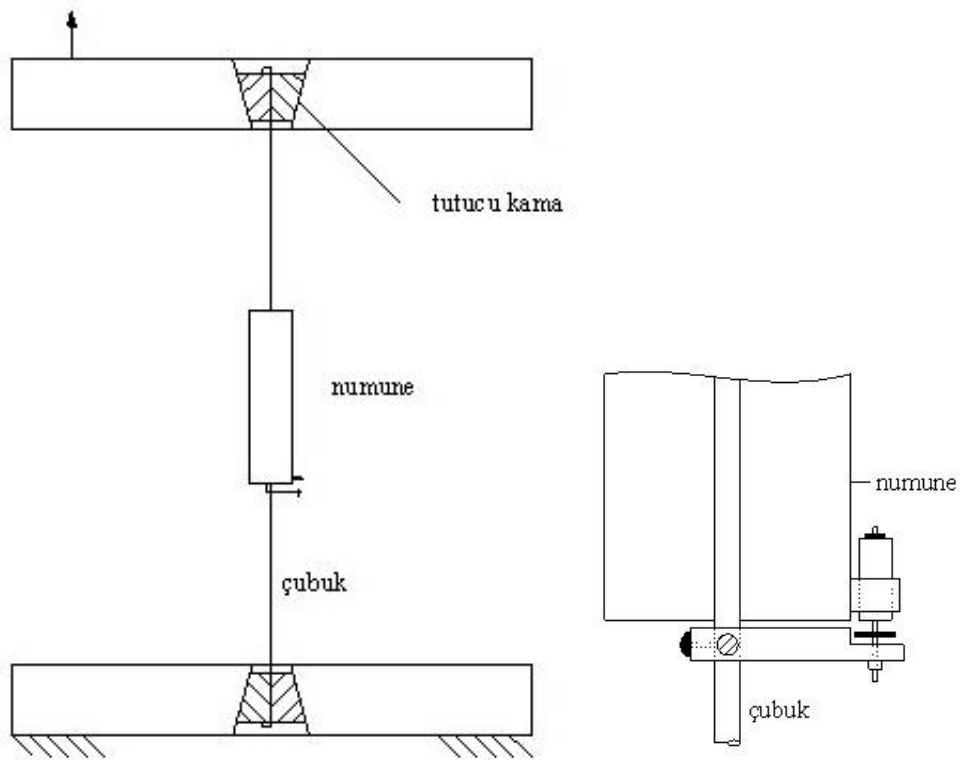
döküldükten sonra mukavemet kazanıncaya kadar 3 gün içindeki suyu kaybetmeden bekletilip kalıba alınmış ve 25 gün $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de $\%60 \pm 5$ nem oranında saklanmıştır. Beton mukavemeti deney yapılanla aynı kür şartlarına haiz 15-30cmlik silindirlerle veya 20cmlik küp numuneleri ile kontrol edilmiştir. Deney sırasında deney numunesi iki mesnede oturtulmuş ve ortadan yük uygulanmaya başlanmıştır. Yük alttan geçen deney çubuğunda kademeli olarak arttırılmıştır (Şekil 2.11). Çubuk üzerinde uygulanan yükler arttırılarak yukarıdaki gerilmeler bulunmuş ve numune içine gömülen donatı çekip çıkarılarak yük sıyrılma eğrisi çizilmiştir. Yükleme hızının çubuk çapına göre değişmesi gerektiği, en az üç çubuk boyutu (örneğin Ø8 , Ø16 ve Ø28 mm) ile ve her çubuk için en az 25 deney yapılması gerektiği söylenmiştir.



Şekil 2.11 Sıyrılma deney düzeneği

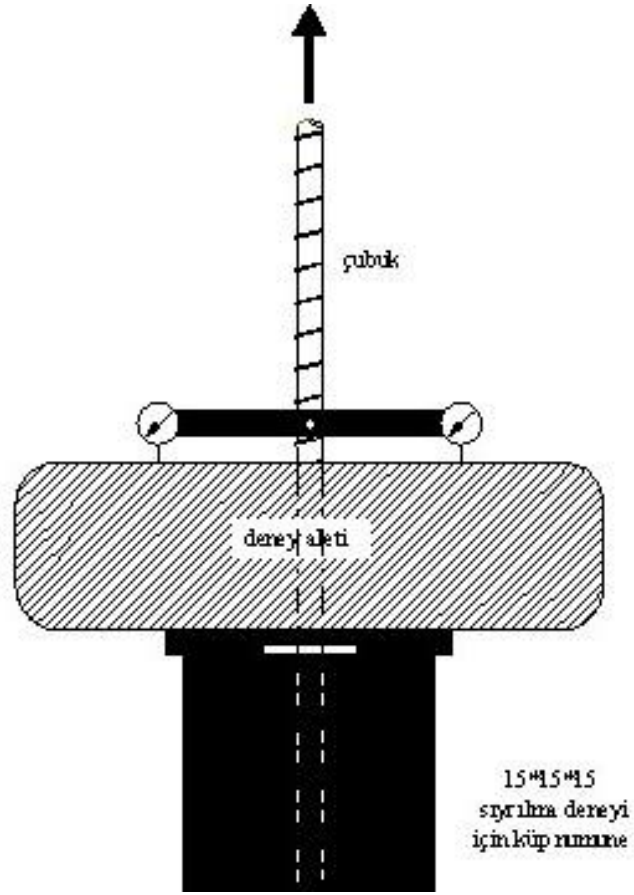
Chapman ve Shah'ın [10] erken yaşta beton aderansı üzerine yaptıkları çalışmada beton–donatı arasındaki bağın beton yaşı ile ilgisi araştırılmıştır. Bu amaçla çeşitli donatı çapı gömme boyu ve 1 – 28 gün arası yaşlara göre yapılan deneylerde düz donatılar için bir etkinin olmadığı ancak nervürlü donatı için beton yaşının önemli olduğu kanaatine varılmıştır. Beton – çelik arasındaki aderansı belirlemek için standart kabul edilmiş bir deney türü olmadığı söylenmiştir. Aderans deneylerinin karşılaştırıldığı çalışmada konsentrik aderans deneyinde beton basınca çalışırken kirişteki betonun çekmeye çalıştığı, eksantrik aderans testinin kiriş gösterimine daha

uygun olduğu söylenmektedir. Ancak bu deneyde normal bir kirişte oluşan eğik (çapraz) çekme çatlaklarına rastlanmamaktadır. Modifiye kiriş deneyleri konsentrik ve eksantrik aderans deneylerindeki bazı kuvvet alanı farklılıklarına çözüm getirmiştir. Bu araştırmada daha kesin ölçümlerle imkan tanıyan basit bir deney türü geliştirilmiştir. Deney programında toplam 56 adet aderans numunesi vardır. 46 adet çubuk 10 mm'lik nervürlü, diğerkleri ise düz çubuklardır. Beton döküldükten sonra 21°C 'de %80 nem oranında deneye kadar beklemeye alınmıştır. Deneylerde yükleme için 534 kN kapasiteli test makinesi kullanılmış ve sıyrılma (kısa gömme boylu çubukta) LVDT ile ölçülmüştür (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Aderans ve sıyrılma deney d zeneyi

Mor'un [11] iki taraflı yer değiştirmeleri ölçtüğ  sıyrılma deney d zeneyi de Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.13 İki taraflı yer değiştirmelerin ölçüldüğü aderans deneyi düzeneği

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde öncelikle deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ve beton karışım oranı ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Daha sonra taze beton ve sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneyler tanıtılmıştır.

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento

Üç tip çimento (portland, katkı ve traslı) kullanılmıştır. Kullanılan çimentolar Nuh Çimento PÇ 42.5, KÇ 32.5, TÇ 32.5'tur. Beton numuneler üç tip çimento ile aynı karışım oranlarında 300 dozlu üretilmiştir. Karışımlarda kullanılan su/ çimento oranı 0.65' tir.

3.1.2. Agregalar

Tüm beton numunelerindeki agregalar karışım oranları aynıdır. Tablo 3.1'de karışım oranları, Tablo 3.2' de kullanılan agregaların tane boyutu dağılımları ve Tablo 3.3' te birim ağırlıkları ile özgül ağırlıkları gösterilmektedir.

Tablo 3.1. 1 m³ beton karışıma giren malzeme miktarları (Kg)

Su	Çimento	Kum	Kırmakum	Kırmataş I	Kırmataş II
195	300	470	390	390	620

Tablo 3.2 Agregaların tane boyutu dağılımı (elekten geçen %)

Elek Boyutu (mm)	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25
Kırmataş II	100	79	4	1	0	0	0	0
Kırmataş I	100	100	85	13	1	0	0	0
Kırmakum	100	100	100	98	55	34	16	5
Kum	100	100	100	100	99	98	90	3

Tablo 3.3 Agregaların birim ağırlık ve özgül ağırlık ölçüm değerleri

Malzeme	Birim Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)
Kırmataş II	1.44	2.72
Kırmataş I	1.42	2.71
Kırmakum	1.50	2.68
Kum	1.32	2.66

3.1.3. Kimyasal Katkı

Deney numuneleri, modifiye edilen linyosülfanattan yapılmış su indirgeyici beton katkı maddesi Plastiment-BV 40 (ASTM C494 Tip A) % 0.4 oranında kullanılarak üretilmiştir. Sıvı halde ve kahverengi katkı maddesinin yoğunluğu 1.2 g/cm³ tür.

3.1.4. Donatılar

Numunelerimizde 10 mm ve 16 mm olmak üzere iki farklı donatı çapı ve düz ve nervürlü olmak üzere iki farklı donatı tipi kullanılmıştır. Kullanılan düz donatılar BÇ I, nervürlü donatılar ise BÇ III kalitesindedir. Bu donatılar, beton numunelerin alt ve üst kısımlarına yerleştirilerek donatı sıyırılmasında donatının beton içindeki konumu da incelenmiştir.

3.2. Beton Karışımı ve Numunelerin Hazırlanması

Her bir numune için üretilen karışımdan küp numuneleri alınmış ve basınç mukavemeti ölçülmüştür.

Böylece tüm deneysel çalışmada test edilen parametreler şunlardır:

- 2 tip donatı çapı: 10 mm ve 16 mm
- 2 tip donatı tipi: düz ve nervürlü
- 2 tip donatı konumu: üst ve alt (aynı beton numunesi üzerinde)
- 3 tip çimento: portland, katkıli portland ve traslı çimentolar
- 2 farklı beton yaşı: 28 ve 90

Her bir değişkenden 3 adet numune üretilmiş, üretilen toplam numune sayısı $2 \times 2 \times 3 \times 2 \times 3 = 72$ adet olmuştur. 72 adet numunede iki adedi altta ve iki adedi üstte olmak üzere toplam dörder adet çelik donatı bulunmaktadır. Üretilen numunelerle ilgili kullanılan kodlandırma Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4. Üretilen numunelere ait kodlar

Numune Kodu	Çimento Cinsi	Donatı Tipi	Donatı Çapı mm	Test Yaşı gün
PD1028	Portland	Düz	10	28
PD1090				90
PN1028		Nervürlü		28
PN1090				90
PD1628		Düz	16	28
PD1690				90
PN1628		Nervürlü		28
PN1690				90
KD1028	Katkılı Portland	Düz	10	28
KD1090				90
KN1028		Nervürlü		28
KN1090				90
KD1628		Düz	16	28
KD1690				90
KN1628		Nervürlü		28
KN1690				90
TD1028	Traslı	Düz	10	28
TD1090				90
TN1028		Nervürlü		28
TN1090				90
TD1628		Düz	16	28
TD1690				90
TN1628		Nervürlü		28
TN1690				90

Deney numuneleri Nuh Beton A.Ş.'nin Kartal Tesislerinde dökülmüştür. Numunelerin hazırlanmasında öncelikle donatı döküm yönüne dik olacak şekilde kalıba yerleştirilmiş ve sabitlenmiştir. Daha sonra üç tabaka halinde beton kalıba şişlenerek yerleştirilmiştir. Ertesi gün kalıbindan sökülen betonlar laboratuvar koşullarında rutubetli bir ortamda saklanmıştır. Aynı anda 150 x 150 x 150 mm boyutlarında alınan küp numuneler de basınç deneyi yapılmak üzere aynı koşullarda saklanmıştır. Deney günü numuneler İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarına taşınarak aderans ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.3 Deneysel Yöntem

3.3.1. Taze Beton Deneyleri

Üretilen betonlar üzerinde çökme, birim ağırlık ve hava miktarının tayini deneyleri yapılmıştır. Çökme deneyi, TS EN 12350-2 standardına göre yapılmıştır. Deneylerde bir adet çökme hunisi, sıkıştırma çubuğu, doldurma kepçesi, cetvel, taban plakası ve mala kullanılmıştır. İlk önce, huni iç yüzeyi ve taban plakası yüzeyinde serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilmiş, sonra huninin iki yanında yerde bulunan ayak basma parçalarına basılarak sabitlenmiştir. Taze beton huni içine üç eşit yükseklikte olacak şekilde doldurularak, her tabaka 25 defa şişlenmiştir. İkinci ve üçüncü tabakanın şişlenmesi bir alt tabakaya hafifçe işleyecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Huninin alınmasından hemen sonra, huni üst seviyesi ile çöken beton kütlelerinin en yüksek noktası arasındaki çökme mesafesi (h) ölçülerek kaydedilmiştir.

Birim ağırlık deneyi TS EN 12350-6 standardına göre yapılmıştır. Beton, hacmi ve ağırlığı belirli bir kaba yerleştirildikten hemen sonra, tam sıkışma elde edilecek, ancak ayrışma olmayacak ve yüzeye aşırı şerbet çıkmayacak şekilde bir şiş yardımıyla sıkıştırılmıştır. Sıkıştırmada kullanılan şiş, daire kesitli bir çubuk olup, sıkıştırma çubuğu darbeleri, kap en kesit alanına düzgün bir şekilde dağıtılmıştır. Üç tabakada sıkıştırma yapılmış, ilk tabakanın sıkıştırmasında, çubuğun kap tabanına sertçe çarpması, diğer tabakaların sıkıştırması esnasında da bir önceki tabakaya fazla miktarda girmesi önlenmiştir. Her tabaka, sıkıştırma çubuğu ile 25 kez şişlenmiştir ve beton dolu kap tartılmıştır. Bu ağırlıktan boş kap ağırlığı çıkartılarak, kabın hacmine bölündüğünde taze beton birim ağırlığı kg/m^3 cinsinden bulunmuştur.

Hava miktarı deneyi TS EN 12350-7 standardına göre yapılmıştır. Doldurma kabının içine şişlenerek yerleştirilen betonun üst yüzeyi mala ile düzeltilmiştir. Daha sonra kabın kapağı kapatılarak üstündeki borudan verilen su ile kapak iç yüzeyi ile beton arasında kalan hava tahliye edilmiştir. Daha sonra, kap üzerindeki teçhizatla betona belli bir miktar hava basıncı verilmiş ve bu beton içindeki boşluk miktarı gösterge üzerinde % cinsinden ölçülmüştür.

3.3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Alınan beton numuneler üzerinde sertleşmiş beton deneylerinden basınç ve aderans deneyleri yapılmıştır.

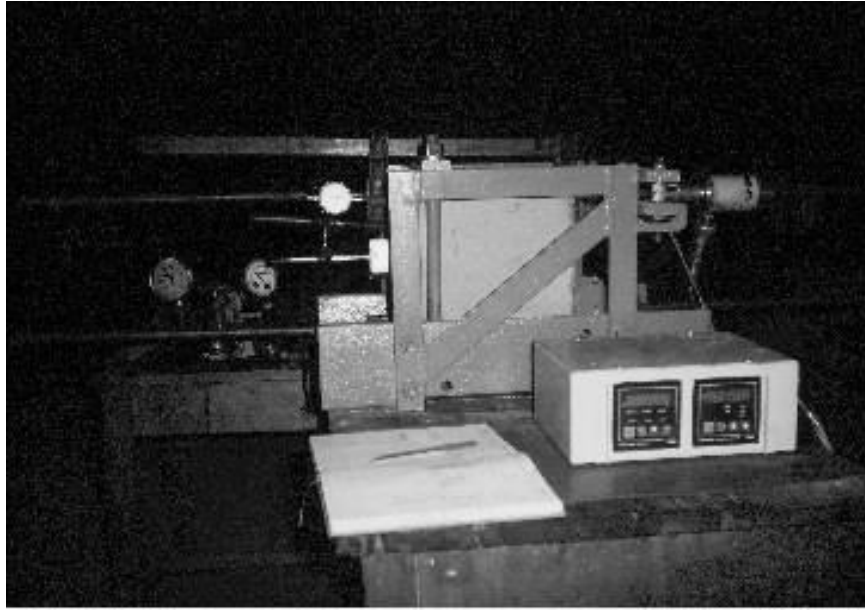
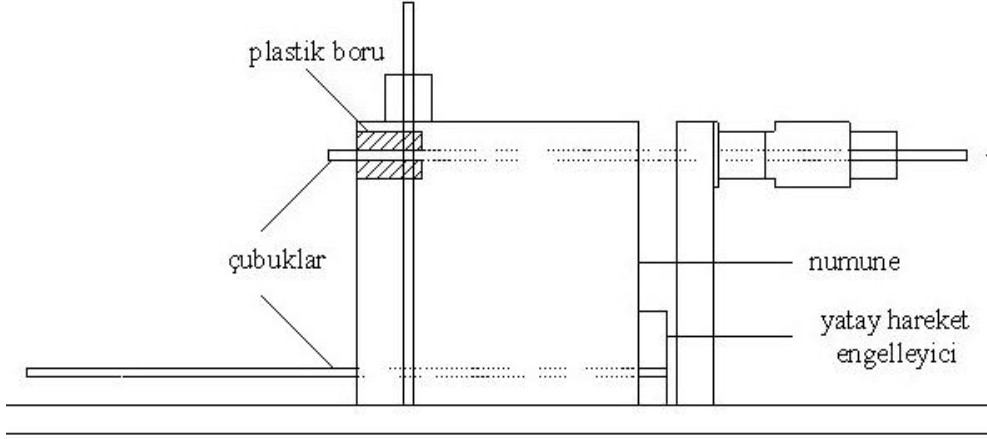
3.3.2.1. Basınç Deneyleri

Üretilen her bir beton karışımından 150x150x150 mm boyutlarında küp numuneler alınmıştır. 28. günde aderans deneyi yapılacak beton üretimlerinden üçer adet küp numunesi alınarak aderans deneyinin yapılacağı günde basınç mukavemeti deneyi yapılmıştır. 90. günde aderans deneyi yapılacak beton karışımlarından ise 6'şar numune alınarak 28. gün ve 90. günde üçer adet numune basınç mukavemeti deneyine tabi tutulmuştur.

3.3.2.2. Aderans Deneyleri

Bu çalışmada kullanılan aderans deney düzeneği Şekil 3.1'de ve Ek A'da gösterilmiştir [12,13]. Bu düzeneikle ayrılma ve kırılmaların meydana geldiği hasarların gözönüne alınması mümkündür. Test düzeneğinin başlıca özellikleri arasında, dört adet donatının ayrı ayrı çekilebilmesine ve böylece her deney numunesinde dört adet test sonucu çıkması, alt ve üst kısımdaki donatıların aderans mukavemetlerinin karşılaştırılabilmesi, gerçek durumu yansıtan bir deney düzeneği olması, standartlarda verilen aderans mukavemetlerine yakın sonuçlar vermesi sayılabilir.

Deney numunesinin boyutları 30x30x20 cm olup, düz ve nervürlü donatı 10 ve 16 mm çaplı donatılar kullanılmış, pas payı beton kalınlığı olarak da 25 mm seçilmiştir. Donatının uç kısmı 70 mm boyunca plastik ile kaplanarak beton ile yapışması önlenmiş ve böylece dik yöndeki R reaksiyon kuvvetinin aderans mukavemetini etkilemesi engellenmiştir. Dolayısıyla donatının beton içinde gömülü boyu 230 mm olmaktadır. Deney düzeneği donatıya eksenî doğrultusunda yük aktarılacak şekilde kurulmuştur. Numuneyi yerinde tutan reaksiyon kuvvetleri yeterince rijit ve



Şekil 3.1 Aderans deneyi düzeneği

numunenin dönmesini veya yerinden oynamasını en aza indirecek olacak şekilde uygulanmıştır. Bütün numuneler adım adım kırılma gerçekleşene kadar yüklenmiş ve oluşan çatlaklar ve göçme anı not edilmiştir. Kırılma, maksimum yüke ulaşılmasıyla elde edilmiştir. Bir donatının testi sırasında meydana gelen çatlaklar diğer test edilmemiş donatıları etkileyecek kadar uzadığı durumda, o donatılar test edilmemiştir. Donatıların uçlarında meydana gelen sıyrılmalar ölçülmüş, bazı durumlarda gevrek kırılmalar dolayısıyla çok az sıyrılmaların olduğu görülmüştür.

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde taze ve sertleşmiş beton üzerinde yapılan deney sonuçları verilmiştir. Bu deney sonuçlarının analizi Bölüm 5’de yapılacaktır.

4.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Üretilen betonlardan elde edilen taze beton deney sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Taze beton deney sonuçları

Numune Kodu	Çökme (cm)	Birim Ağırlık (Kg/m ³)	Hava Miktarı (%)
PD1028	10	2369	3.9
PD1090	6	2337	3.7
PN1028	6	2368	3.8
PN1090	6	2347	3.5
PD1628	7	2370	3.6
PD1690	6	2338	3.5
PN1628	10	2369	3.9
PN1690	6	2338	3.5
ORTALAMA	7	2354	3.7
KD1028	6	2345	3.3
KD1090	5	2319	3.6
KN1028	7	2370	3.6
KN1090	4	2352	3.5
KD1628	3	2365	3.4
KD1690	5	2319	3.6
KN1628	3	2365	3.4
KN1690	4	2352	3.5
ORTALAMA	4	2348	3.5
TD1028	5	2331	3.2
TD1090	7	2330	3.6
TN1028	6	2368	3.8
TN1090	4	2326	3.1
TD1628	6	2345	3.3
TD1690	6	2337	3.7
TN1628	5	2331	3.2
TN1690	4	2326	3.1
ORTALAMA	5	2336	3.5

Tablo 4.1.'den de görüldüğü gibi portland çimentolu betonlarda ortalama çökme, birim ağırlık ve hava yüzdeleri sırasıyla 7 cm, 2354 Kg/m³ ve %3.7 bulunmuştur. Bu sonuçlar katkılı çimentoda sırasıyla 4 cm, 2348 Kg/m³ ve %3.5, traslı çimentoda ise 5 cm, 2336 Kg/m³ ve %3.5 olarak ölçülmüştür.

4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

4.2.1 Basınç Deneyi Sonuçları

Üretilen betonlardan 28 ve 90. günlerde basınç dayanımı deneyi yapmak üzere alınan küp numuneler ve aderans deneyleri yapmak üzere alınan aderans deney numuneleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçları aşağıda verilmektedir. Aşağıda Tablo 4.2'de basınç dayanımı deney sonuçları verilmiştir.

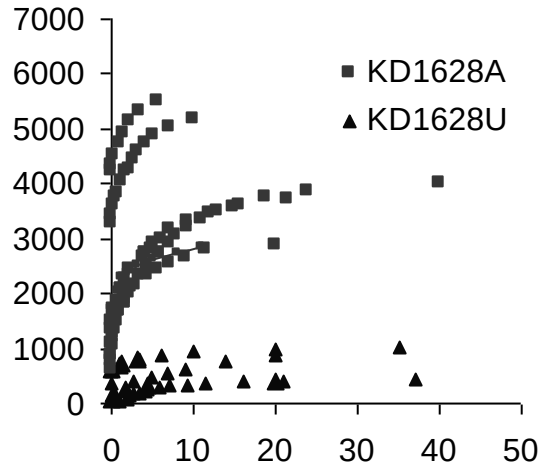
Tablo 4.2. Beton numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları

Numune Kodu	28. Gün MPa	90. Gün MPa
PD1028	32	-
PN1028	31	-
PD1628	29	-
PN1628	32	-
PD1090	31	37
PN1090	31	37
PD1690	29	36
PN1690	29	36
ORTALAMA	31	37
KD1028	24	-
KN1028	25	-
KD1628	25	-
KN1628	25	-
KD1090	26	31
KN1090	30	33
KD1690	26	31
KN1690	30	33
ORTALAMA	26	32
TD1028	20	-
TN1028	20	-
TD1628	21	-
TN1628	20	-
TD1090	21	28
TN1090	27	32
TD1690	21	31
TN1690	27	32
ORTALAMA	22	31

Tablo 4.2’den görüldüğü gibi portland çimentolu betonların 28 ve 90 günlük basınç dayanımları sırasıyla 31 MPa ve 37 MPa olarak ölçülmüştür. Katkılı çimento kullanılan betonlarda ise bu sonuçlar sırasıyla 26 MPa ve 32 MPa, traslı çimento ile üretilen betonlarda ise sırasıyla 22 MPa ve 31 MPa olarak bulunmuştur.

4.2.2. Aderans Deneyleri Sonuçları

Çelik donatıların betondan sıyrılma deneyine ait numune kırılma biçimleri Ek A’da, deney sonucunda elde edilen, aderans kuvveti - sıyrılma (Kgf-mm) grafikleri Ek B’de verilmiştir. Aderans dayanımı (σ_a), uygulanan maksimum eksenel kuvvetin donatı yanal alanına bölünmesiyle bulunmuştur. Tipik bir aderans gerilmesi – sıyrılma grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Tipik bir aderans kuvveti (Kgf, dikey eksen) – sıyrılma (mm, yatay eksen) grafiği.

Elde edilen tipik kırılmalara ait fotoğraflar Şekil 4.2 - Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Şekil 4.2’de donatının sadece sıyrılarak betondan ayrıldığı numunelere bir örnek görülmektedir. Bu tür ayrılma biçimi daha çok ince ve düz donatılarda gözlenmiştir. Şekil 4.3’te ise köşeden donatı boyunca parça kopmalı kırılma biçimi, Şekil 4.4 Eğik çatlaklı kırılma biçimi görülmektedir.



Şekil 4.2. Sıyrılma şeklinde ayrılma biçimi (Kırılma tipi 1)



Şekil 4.3. Köşeden parça kopmalı kırılma biçimi (Kırılma tipi 2)



Şekil 4.4. Eğik çatlaklı kırılma biçimi (Kırılma tipi 3)

4.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde elde edilen deney sonuçları analiz edilmiştir. İlk öncelikle, aderans gerilmeleri, betonun basınç dayanımı ile ilişkilendirilmiş, daha sonra sonuçlar birbiri ile kıyaslandırılmıştır.

Elde edilen aderans gerilmesi-sıyrılma grafiklerinden, maksimum gerilmeye karşı gelen aderans dayanımları ve sıyrılma miktarları üst ve alt donatılar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha sonra her bir parti için ortalama değerler hesaplanmıştır. Numunelerin deney sonuçlarını içeren tablo Ek B’de, ortalama ve standart sapmalara ait Tablo 4.3’de verilmektedir.

Tablo 4.3. Aderans dayanımı

	Üst Donatı, Ort. (MPa)	Üst Donatı, St. Sapma	Alt Donatı, Ort. (MPa)	Alt Donatı, St. Sapma
KN1628	3,4	0,2	4,4	0,8
KD1628	0,7	0,2	3,4	0,9
TN1628	1,6	0,4	3,7	0,2
PN1628	3,2	0,1	4,4	0,4
TD1628	0,3	0,1	2,5	0,6
PD1690	0,3	0,2	4,4	0,8
PN1690	3,3	0,7	3,6	1,0
TD1690	0,5	0,1	4,1	0,6
PD1628	0,9	0,1	3,9	0,4
TN1690	2,7	0,6	3,7	0,0
KD1690	1,3	0,4	3,6	0,1
KN1690	2,8	1,2	4,0	1,4
KN1028	1,6	0,4	3,6	1,2
KD1028	0,3	0,1	2,9	0,2
TN1028	0,7	0,1	2,6	0,3
PN1028	2,5	0,2	3,4	0,3
TD1028	0,2	0,1	2,3	0,5
PD1090	0,2	0,1	3,7	0,2
PN1090	2,0	0,8	4,6	0,7
TD1090	0,5	0,1	3,2	0,9
PD1028	1,1	0,4	3,3	0,1
TN1090	3,1	0,4	5,0	1,0
KD1090	0,7	0,3	4,9	0,5
KN1090	1,7	0,1	4,0	0,2

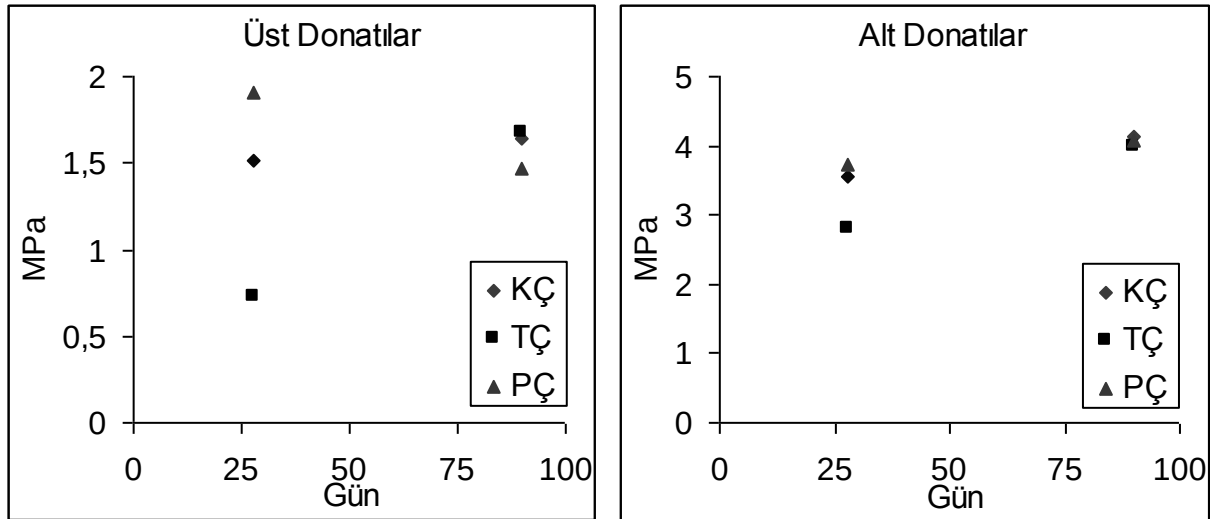
Tablodan da görüldüğü gibi genel olarak 90 günlük aderans dayanımlarında artış görülmektedir. Bu numunelerin aderans gerilmesi – sıyrılma grafikleri Ek B’de verilmiştir.

4.3.1. Çimento Cinsinin ve Beton Yaşının Aderansa Etkisi

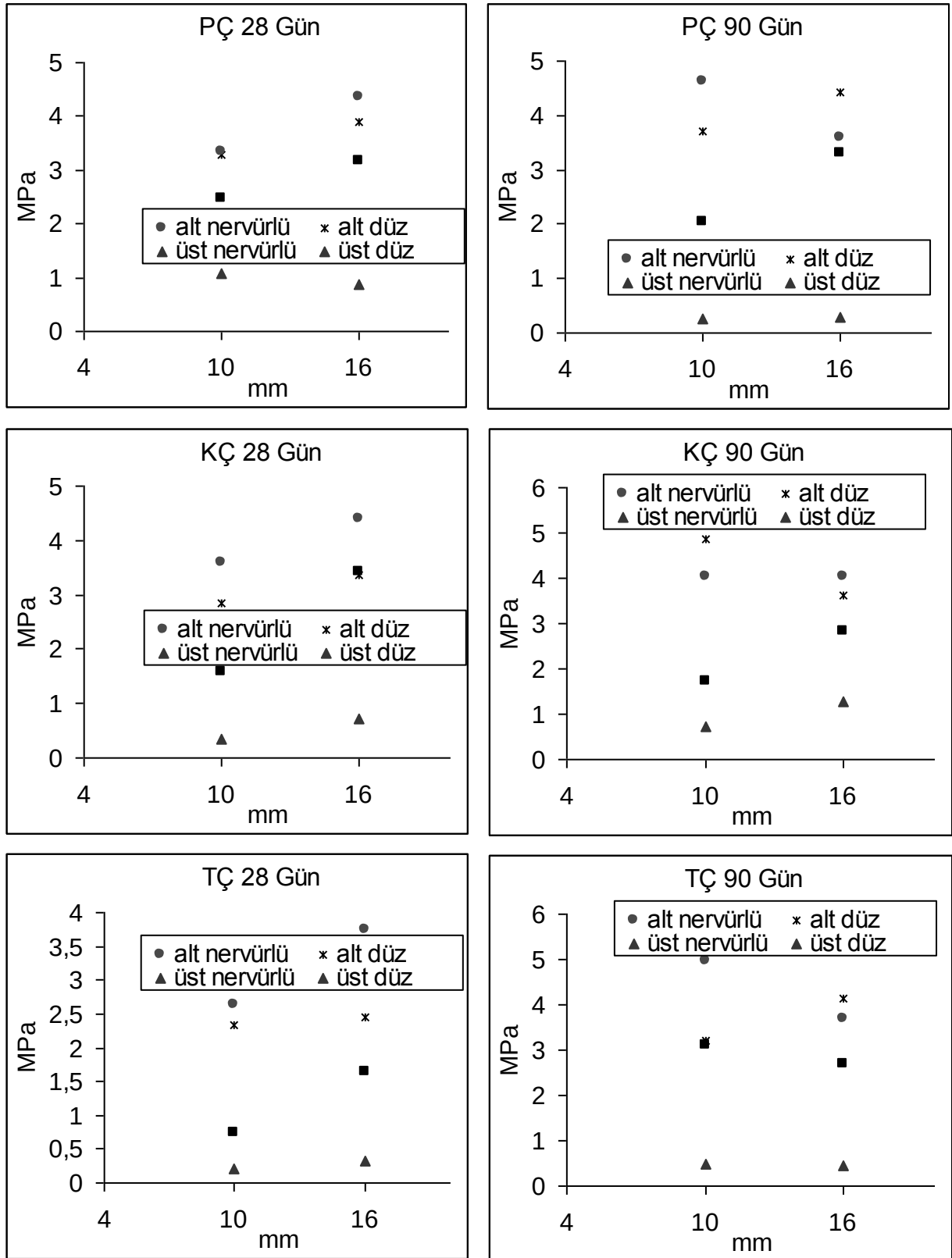
Çimento cinslerinin zamana göre dayanımlarındaki artışın karşılaştırıldığı Şekil 4.5’de ise katkı ve portland çimentolu betonların aderans dayanımlarının 28. ve 90. günlerde değişiminin az olduğu ancak trasslı çimentolu betonlarda arttığı görülmektedir.

4.3.2. Donatı Çapının Aderansa Etkisi

16 mm ve 10 mm’lik çelik donatı kullanımının aderans dayanımı üzerindeki etkisi karşılaştırıldığında, 16 mm lik donatı kullanıldığı durumda, çelik donatının aderans dayanımı hem alt hem de üst konumda bulunan bütün donatılarda genel olarak artış göstermektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. Zaman içinde aderans dayanımının çimento cinsine göre değişimi



Şekil 4.6 Donatı çapının 10 mm'den 16 mm'ye çıkmasıyla meydana gelen artışlar

4.3.3. Donatı Konumunun Aderansa Etkisi

Alt ve üst donatılar arasındaki aderans dayanımları karşılaştırıldığında, alt donatıların üst donatılara göre dayanım artışı gösterilmektedir. Alt kısımlardaki donatıların, betonun daha iyi yerleşmesi ve sıkışması nedeniyle aderans dayanımlarında artış görülmektedir.

4.3.4. Donatı Tipinin Aderansa Etkisi

Düz ve nervürlü donatıların aderans dayanımları karşılaştırıldığında nervürlü donatıların genel olarak daha yüksek aderans dayanımına sahip oldukları görülmektedir.

4.4. Beton Basınç Dayanımı ve Aderans Dayanımı İlişkisinin Analizi

Aderans dayanımı (f_{bs}) ile beton basınç dayanımı (f_{cu}) arasında, BS 5400 de yer alan değerler incelendiğinde düz donatılar için $f_{bs}=0,39 f_{cu}^{1/2}$ eşitliği, nervürlü donatılar içinse $f_{bs}=0,7 f_{cu}^{1/2}$ eşitliği bulunur. Daha önce yapılmış deneysel çalışmalarda [2] betonun yukarı tabakalarında bulunan donatıların, aşağıda bulunan donatılara göre daha düşük aderans mukavemetine sahip oldukları görülmüştür. Bunun nedeni betonun o bölgelerde iyi yerleşmemesi ve donatı altında boşluklar kalmasıdır. Bu nedenle yukarıdaki donatıların aderans mukavemetleri 1,4 oranında azaltılır ve düz donatılar için $f_{bs}=0,28 f_{cu}^{1/2}$ eşitliği, nervürlü donatılar içinse $f_{bs}=0,5 f_{cu}^{1/2}$ eşitliği alınabilir.

Betonun basınç dayanımı ile donatı arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla Tablo 4.3’de verilen aderans dayanımları, Tablo 4.2’de verilen beton basınç dayanımlarına oranlanmıştır. Sonuçlar aşağıda, Tablo 4.4’de verilmektedir.

Bulunan bu oranlar, kullanılan farklı malzeme parametrelerine göre incelenebilir. 16 mm çaplı donatıların oranı ile 10 mm lik donatıların oranı incelendiğinde artışların 1.5 kat civarında olduğu ve donatı çapı büyüdükçe aderansın artmakta olduğu söylenebilir.

Nervürlü donatıların düz donatılara göre dayanım sonuçlarının oranları karşılaştırıldığında, nervürlü donatıların dayanım oranının özellikle betonun üst kısmına yerleştirilmiş donatılarda genel olarak üç kat daha fazla olduğu

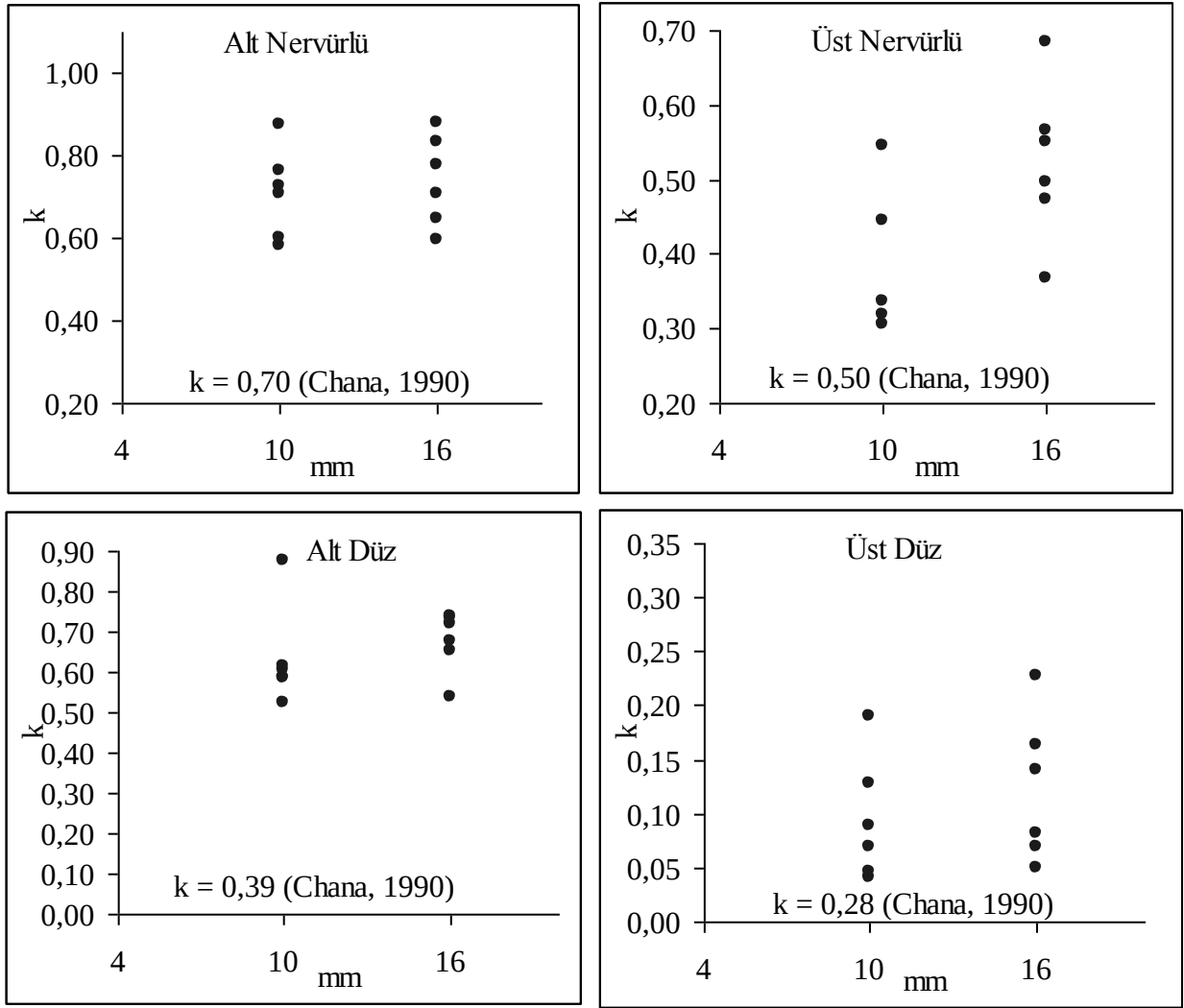
görülmektedir. Böylece nervürlü donatıların tam olarak sıkıştırılamamış betonlarda daha etkili olduğu görülmektedir.

Beton numunelerin üst kısmındaki donatılarla alt kısmındaki donatıların dayanım oranları karşılaştırıldığında alt kısımda kalan donatıların betonun daha iyi yerleşebilmesi nedeniyle aderansı artmaktadır.

Bulunan orantı katsayıları, literatürde verilen değerlerle karşılaştırılabilir. Şekil 4.7’te deneysel olarak bulunan katsayıların düz, nervürlü, alt ve üst donatılar için hesaplanan değerleri verilmektedir. Bu değerler literatürde verilen alt düz donatılar için 0,39; alt nervürlü donatılar için 0,7; üst düz donatılar için 0,28 ve üst nervürlü donatılar için verilen 0,5 değerleri ile karşılaştırıldığında, ortalama olarak çok yakın değerler bulunduğu görülmektedir.

Tablo 4.4. Aderans dayanımının beton dayanımına oranı

	Aderans Dayanımı MPa		Basınç Dayanımı (MPa) ^{1/2}		Dayanım Oranları	
	ust	alt	ust	alt	ust	alt
KN1628	3,4	4,4	5,0	5,0	0,68	0,88
KD1628	0,7	3,4	5,0	5,0	0,14	0,68
TN1628	1,6	3,7	4,5	4,5	0,37	0,84
PN1628	3,2	4,4	5,6	5,6	0,57	0,78
TD1628	0,3	2,5	4,6	4,6	0,07	0,54
PD1690	0,3	4,4	6,0	6,0	0,05	0,73
PN1690	3,3	3,6	6,0	6,0	0,55	0,60
TD1690	0,5	4,1	5,6	5,6	0,08	0,74
PD1628	0,9	3,9	5,4	5,4	0,16	0,72
TN1690	2,7	3,7	5,7	5,7	0,47	0,65
KD1690	1,3	3,6	5,6	5,6	0,23	0,65
KN1690	2,8	4,0	5,7	5,7	0,50	0,71
KN1028	1,6	3,6	5,0	5,0	0,32	0,73
KD1028	0,3	2,9	4,9	4,9	0,07	0,59
TN1028	0,7	2,6	4,5	4,5	0,16	0,58
PN1028	2,5	3,4	5,6	5,6	0,44	0,60
TD1028	0,2	2,3	4,5	4,5	0,05	0,52
PD1090	0,2	3,7	6,0	6,0	0,04	0,61
PN1090	2,0	4,6	6,1	6,1	0,34	0,76
TD1090	0,5	3,2	5,3	5,3	0,09	0,61
PD1028	1,1	3,3	5,6	5,6	0,19	0,59
TN1090	3,1	5,0	5,7	5,7	0,55	0,87
KD1090	0,7	4,9	5,6	5,6	0,13	0,87
KN1090	1,7	4,0	5,7	5,7	0,31	0,71



Şekil 4.7. k katsayısının donatı özelliklerine göre değişimi

5. GENEL SONUÇLAR

Çalışmanın sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Nervürlü donatıların aderans dayanımları düz donatılara göre daha yüksektir.
- Beton yaşı ile birlikte aderans dayanımı artıyor.
- Donatı çapı büyüdükçe aderans dayanımı artıyor.
- Nervürlü donatıların aderans dayanımı düz donatılara göre daha fazladır ancak düz donatıların sıyrılması nervürlü donatılardan daha fazladır.
- Alt donatıların aderans dayanımları üst donatılara göre daha yüksektir.
- 28 günlük traslı çimentolu betonlarda aderans dayanımı daha düşüktür. Katkılı ve portland çimentolu betonların ise birbirine yakındır.
- 90 günlük betonlarda aderans dayanımları üç çimento cinsi için de yaklaşık aynı kabul edilebilir.
- Aderans dayanımının basınç mukavemetinin kareköküne oranlanması ile elde edilen katsayılar düz ve nervürlü, alt ve üst konumdaki donatılar için ayrı ayrı hesaplanmış ve ortalama olarak literatürde daha önce rapor edilen değerlere yakın bulunmuştur.

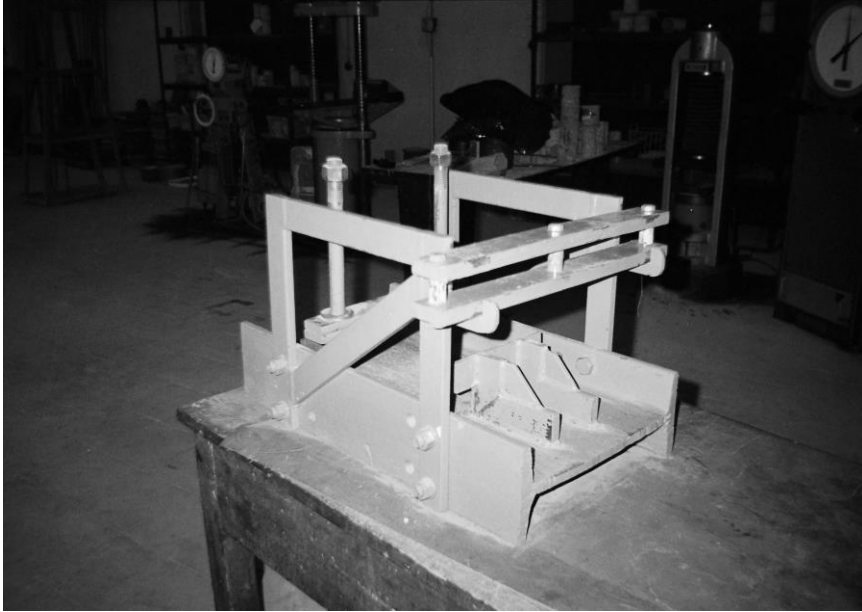
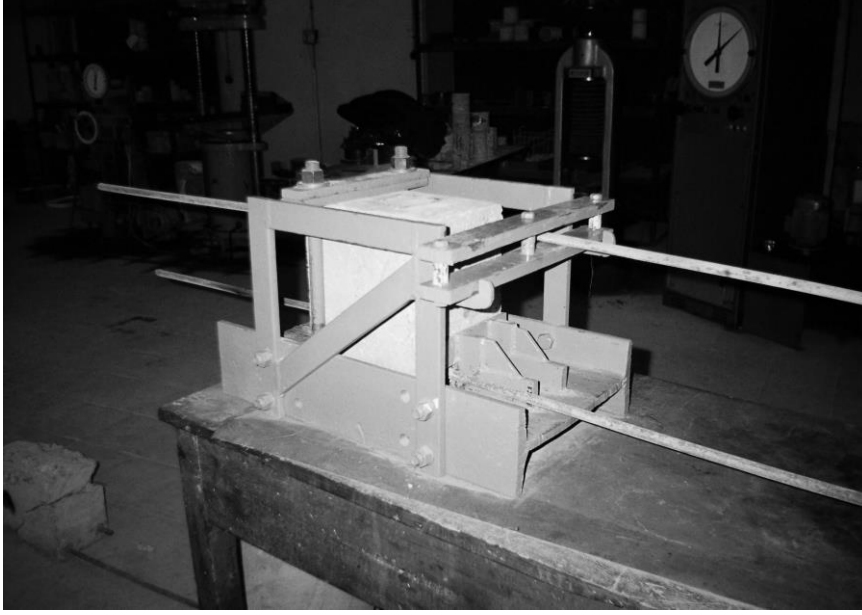
KAYNAKLAR

- [1] **Ghandehari, M.**, 1998 Experimental Study of Fracture in Concrete Using Full-Field Optical Interferometry, *Doktora Tezi*, Northwestern University Graduate School, Evanston.
- [2] **Chana, P.S.**, 1990. A test method to establish realistic bond stresses, *Magazine of Concrete Research*, **42**, 83-90.
- [3] **Faiyadh F.I.**, **1985**. Bond characteristics of oil saturated concrete, *The international journal of cement composites and light weight concrete*, **7**, 115-131.
- [4] **Rostasy, F.S., Hartwich K.**, **1988**. Bond of deformed reinforcing bar embedded in steel fibre reinforced concrete, *The international journal of cement composites and light weight concrete*, **10**, 151-158.
- [5] **Soroshian, P., Bayasi Z.**, **1990**. Local bond behavior of deformed bars in steel fiber reinforced concrete joints, *Magazine of Concrete Research*, **42**, 91-95.
- [6] **Soroshian, P., Choi, K.B., Park G-H., Aslani, F.**, **1991**. Bond of deformed bars to concrete: effects of confinement and strength of concrete, *ACI Materials Journal*, **88**, 227-232.
- [7] **Abrishami, H.H., Mitchell, D.**, **1993**. Bond characteristics of pretensioned strand, *ACI Materials Journal*, **90**, 228-235.
- [8] **Maslehuddin, M., Allam, İ.M., Sulaimani, G.J., Mana, A.I.**, **1990**. Effect of rusting of reinforcing steel on its mechanical properties and bond with concrete, *ACI Materials Journal*, **87**, 496-502.
- [9] **Windisch, A.**, **1985**. A modified pull-out test and new evaluation methods for a more real local bond slip relationship, *Materiaux et Constructions*, **03**, 181-184.

- [10] **Chapman, R.A., Shah, S.P., 1987.** Early age bond strength in reinforced concrete, *ACI Materials Journal*, **84**, 501-510.
- [11] **Mor, A., 1992.** Steel-concrete bond in high strength light weight concrete, *ACI Materials Journal*, **89**, 76-82.
- [12] **Clarke, J.L., Birjandi, F.K., 1993.** Bond strength tests for ribbed bars in lightweight aggregate concrete, *Magazine of Concrete Research*, **45**, 79-87.
- [13] **Mohamed, A.Z., Clark, L.A., 1992.** Bond behavior of low strength concrete, *Magazine of Concrete Research*, **44**, 195-203.

EK A

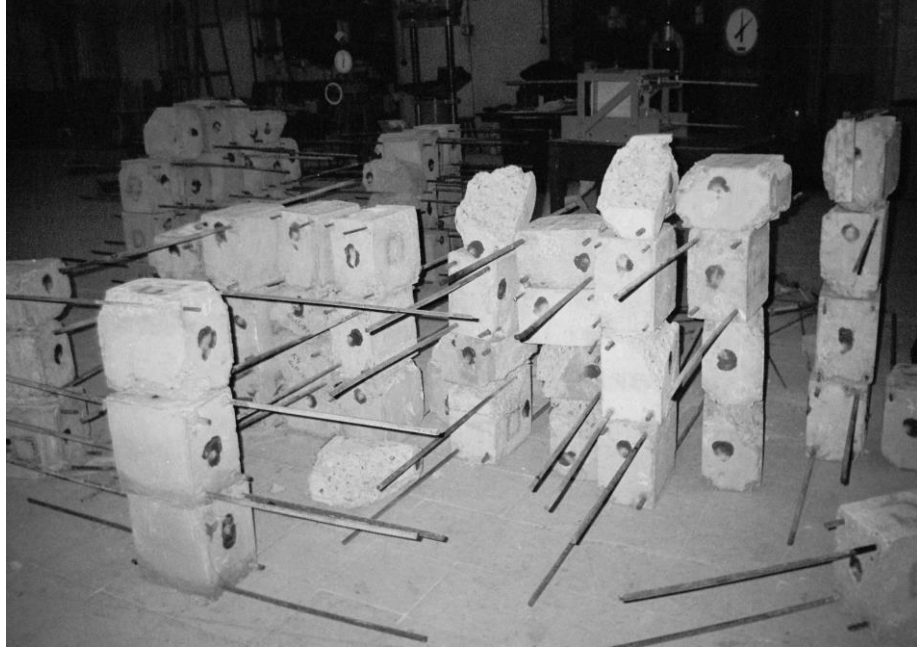
DENEY DÜZENEGİ



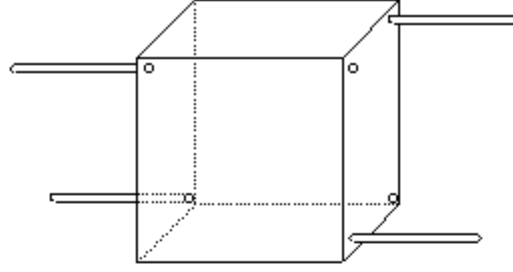
Şekil A.1 Deney düzeneği



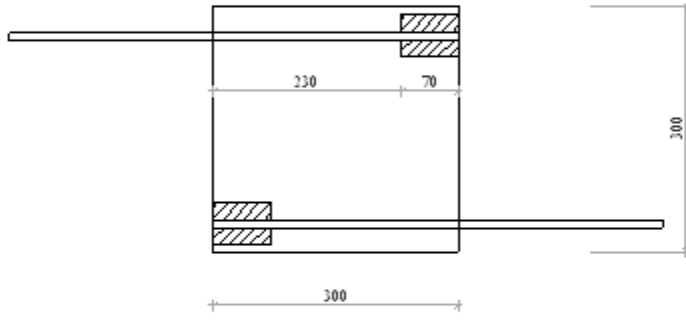
Şekil A.2 Aderans deneyinin laboratuvarda yapılışı



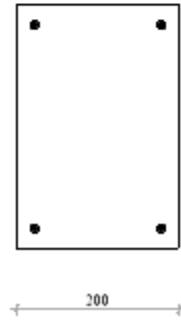
Şekil A.3. Numunelerin genel görünümü



(a)



(b)



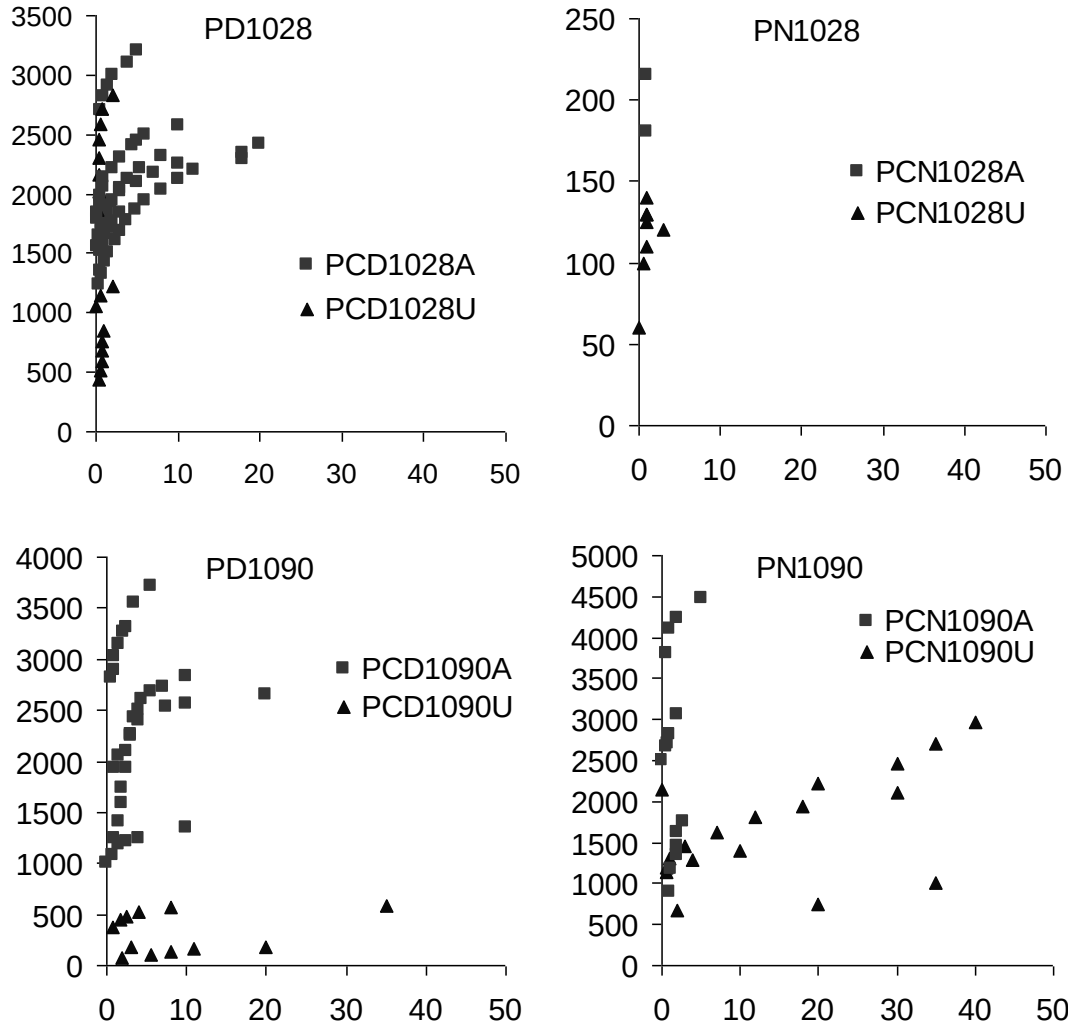
(c)

Şekil A.4. Deney numunesinin (a) genel (b) yandan ve (c) arkadan görünümü (mm)

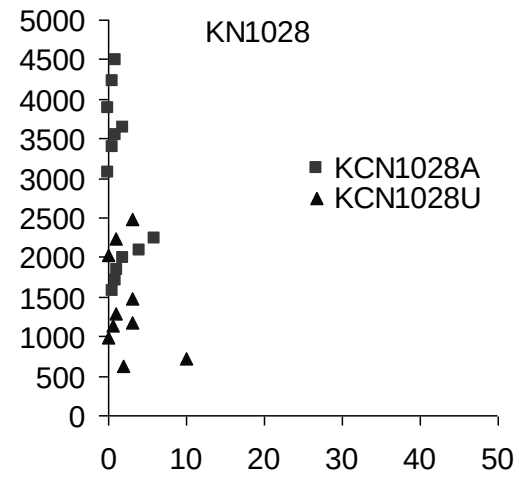
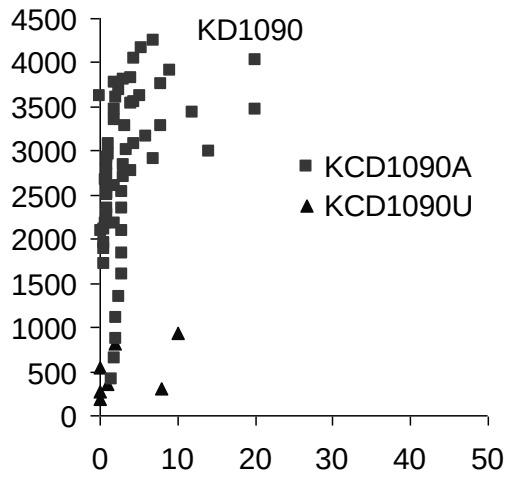
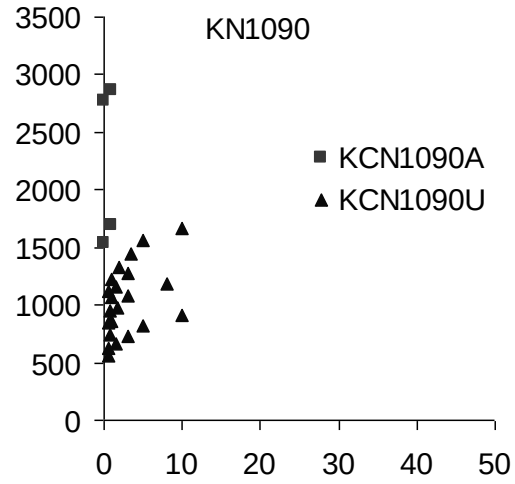
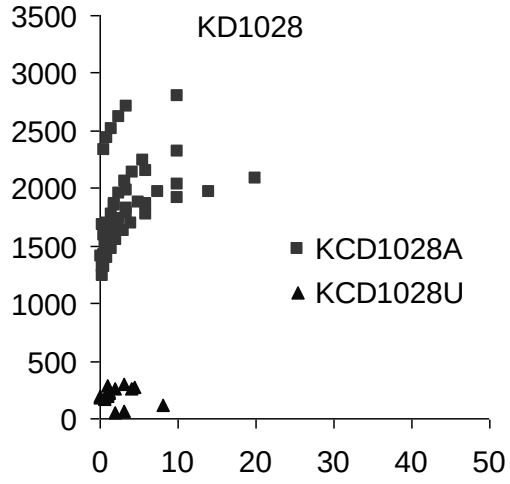
EK B

ADERANS KUVVETİ – SIYRILMA GRAFİKLERİ ve

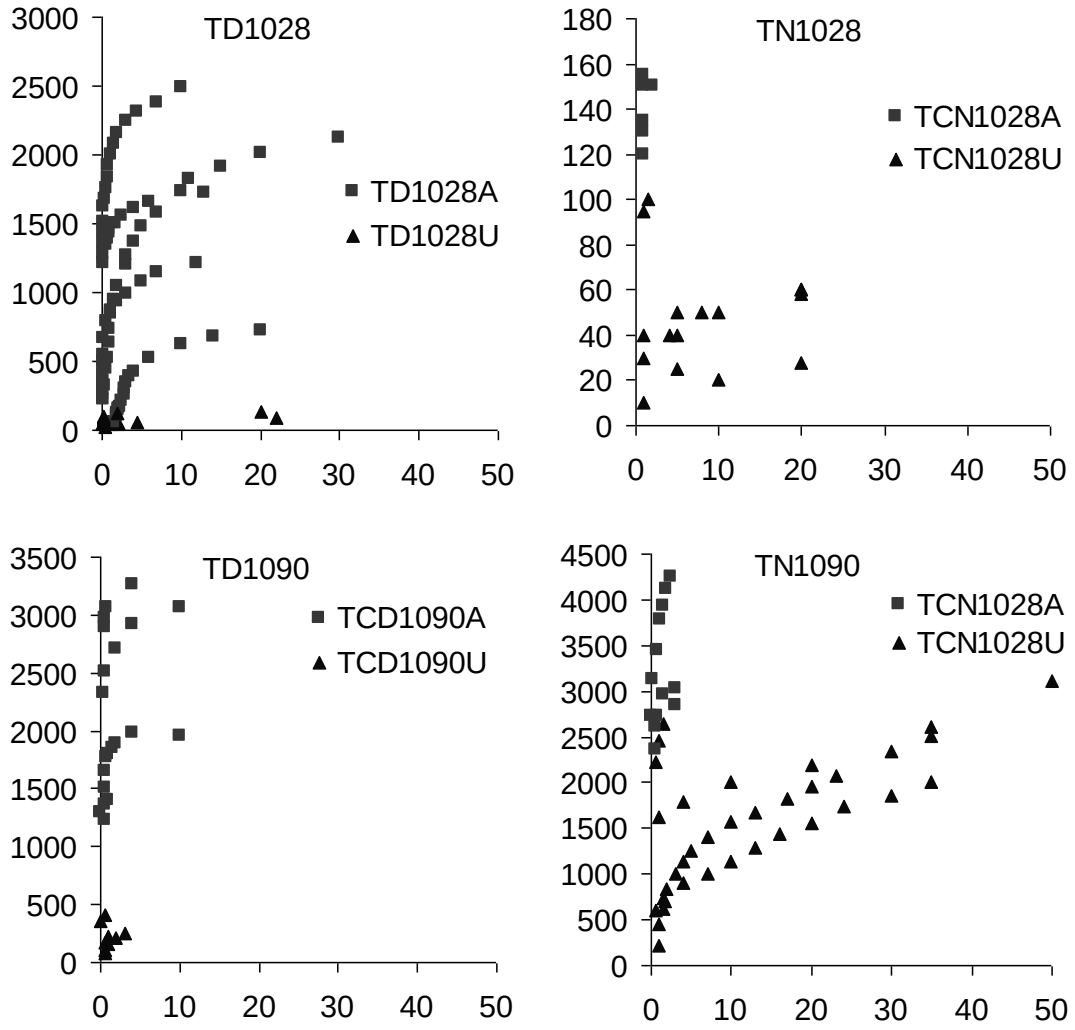
DENEY SONUÇLARI TABLOSU



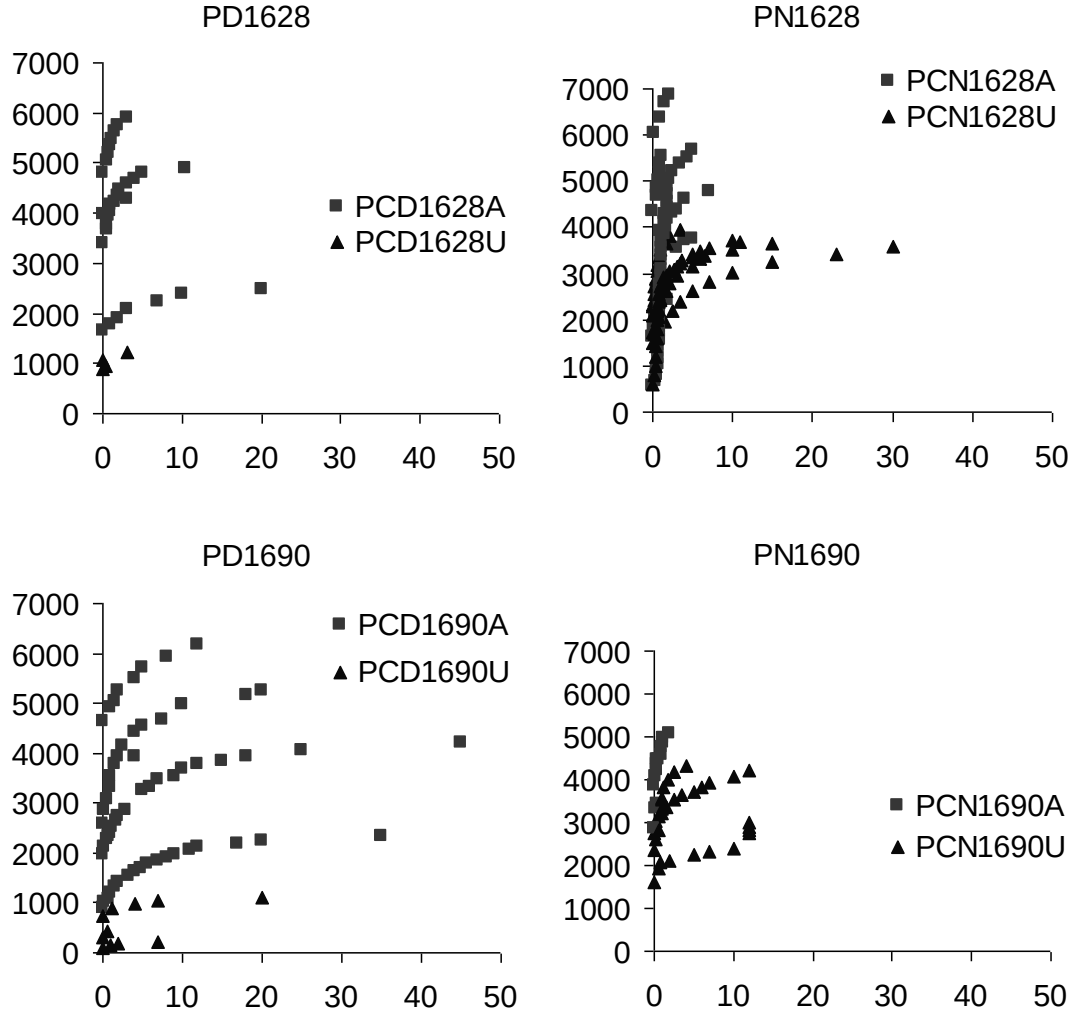
Şekil B.1. Portland çimentolu ve 10 mm çaplı donatılı numunelerde aderans kuvveti (Kgf, düşey eksen), sıyrılma (10xmm, yatay eksen) grafiği



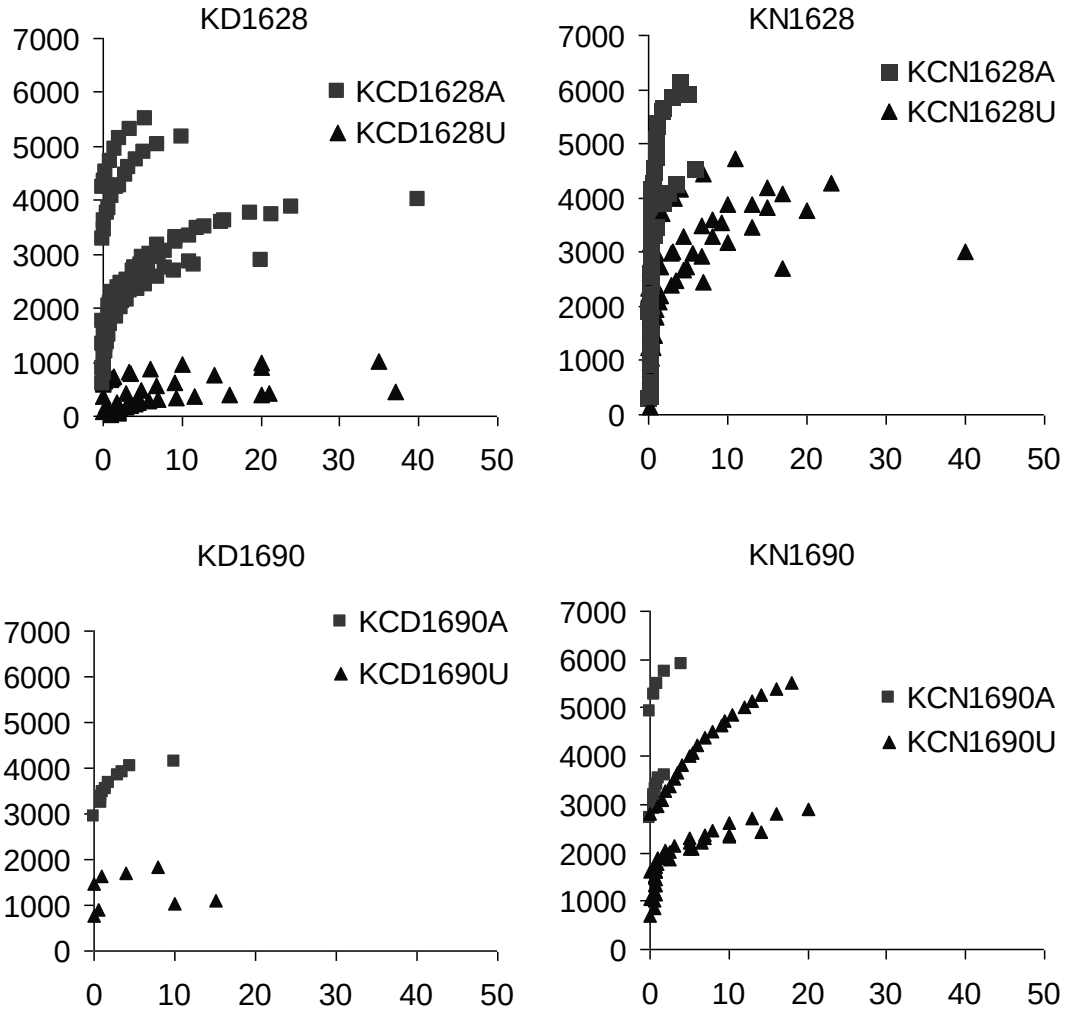
Şekil B.2. Katkılı portland çimentolu ve 10 mm çaplı donatılı numunelerde aderans kuvveti (Kgf, düşey eksen), sıyrılma (10xmm, yatay eksen) grafiği



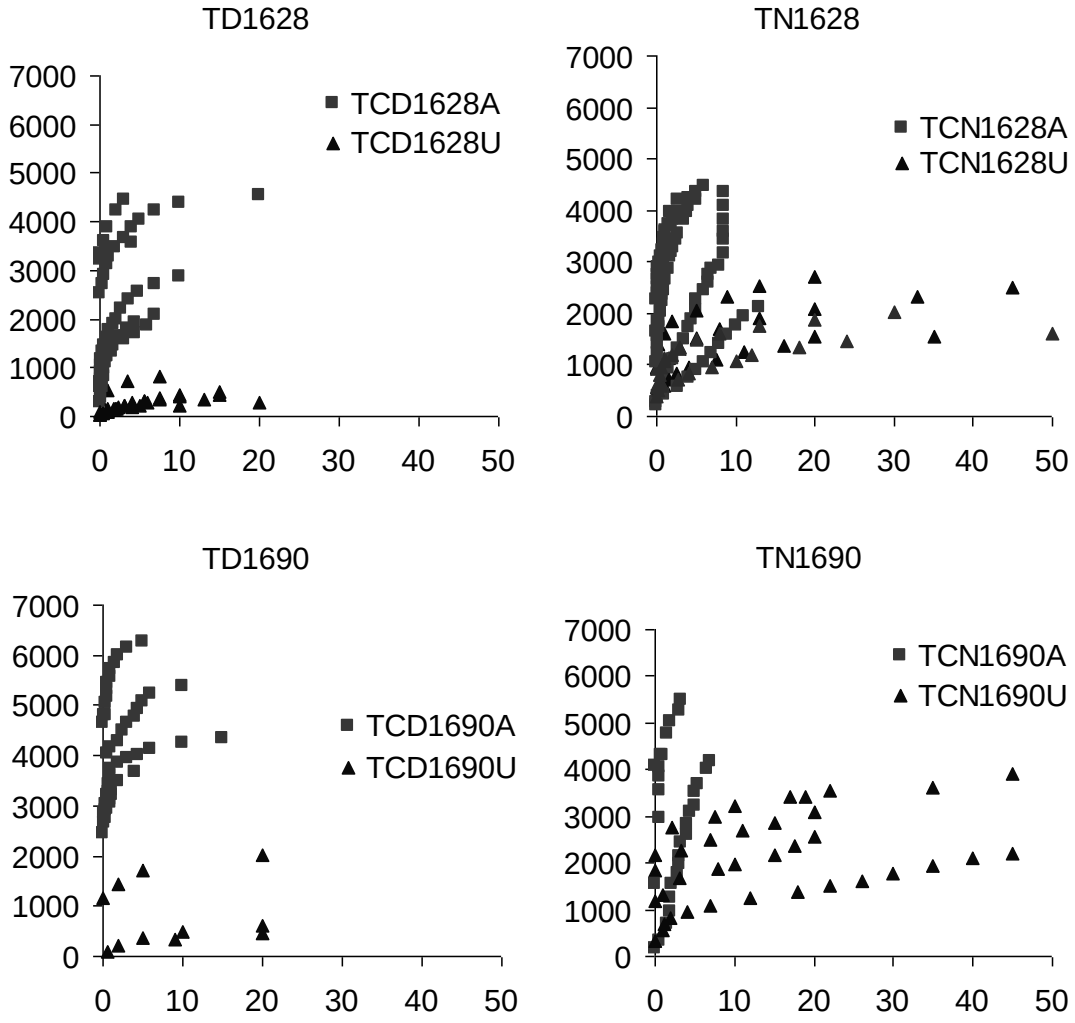
Şekil B.3. Traslı çimentolu ve 10 mm çaplı donatılı numunelerde aderans kuvveti (Kgf, düşey eksen), sıyrılma (10xmm, yatay eksen) grafiğı



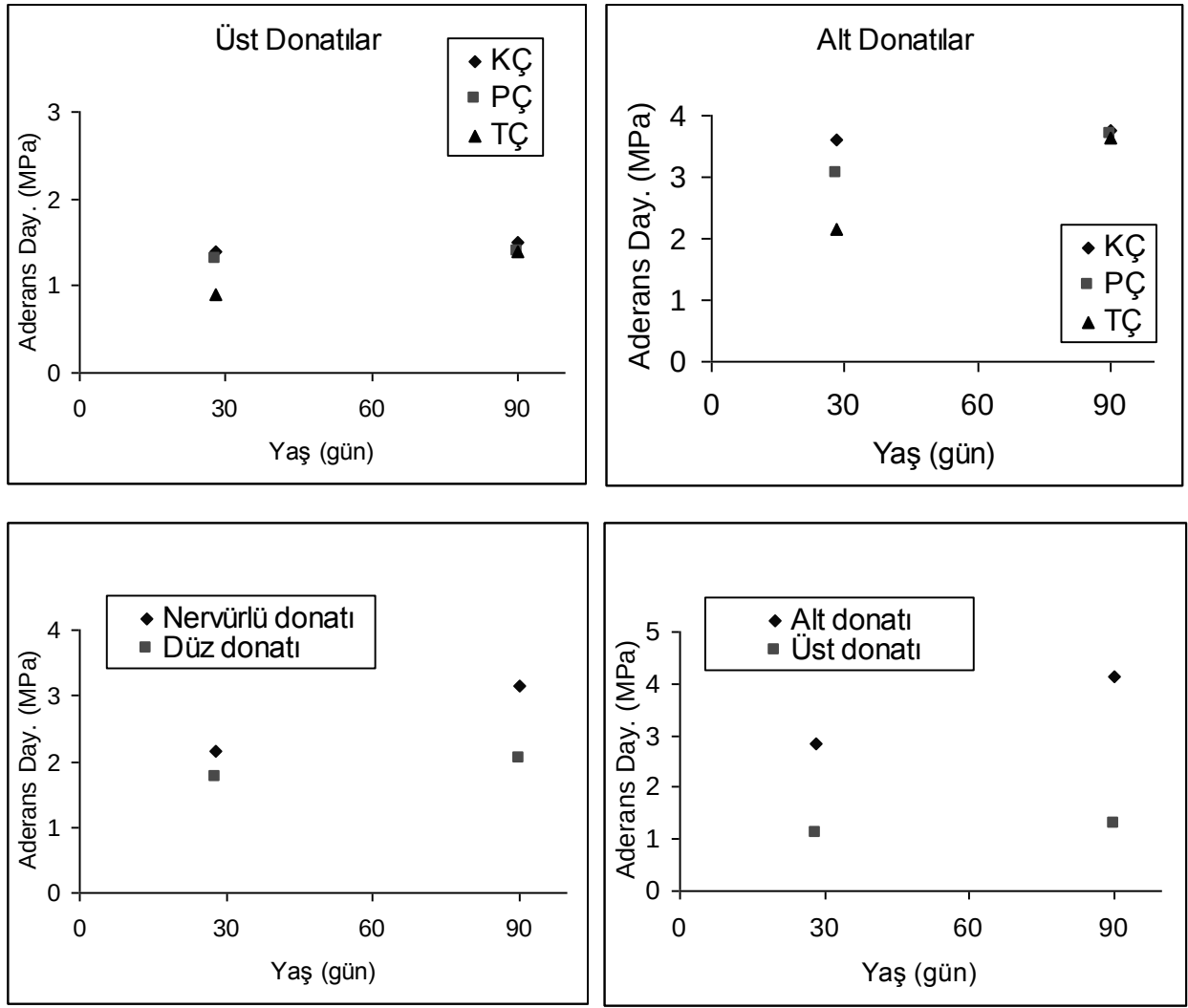
Şekil B.4. Portland çimentolu ve 16 mm çaplı donatılı numunelerde aderans kuvveti (Kgf, düşey eksen), sıyrılma (10xmm, yatay eksen) grafiği



Şekil B.5. Katkılı portland çimentolu ve 16 mm çaplı donatılı numunelerde aderans kuvveti (Kgf, düşey eksen), sıyrılma (10xmm, yatay eksen) grafiği



Şekil B.6. Traslı çimentolu ve 16 mm çaplı donatılı numunelerde aderans kuvveti (Kgf, düşey eksen), sıyrılma (10xmm, yatay eksen) grafiği



Şekil B.7. Aderans dayanımının zamana, çimento cinsine ve donatı tipine göre değişimi

Tablo B.1. Numune kırılma tipleri (1: sıyrılma, 2: parça kopmalı, 3: eğik çatlaklı)

	Numune No	1	2	3	4	5	6
KN1628	UST	2	2	2	2	2	2
	ALT	3	2	3	2		
KD1628	UST	2	2	2	2	2	2
	ALT	2	2	2	2	3	2
TN1628	UST	2	2	2	2	1	2
	ALT	2	2	2	3	2	
PN1628	UST	2	2	2	2	2	2
	ALT	2	2	3	3	2	2
TD1628	UST	1	2	1	1	1	2
	ALT	2	2	2	2	3	3
PD1690	UST	2	2	2	2		
	ALT	3	3	2	3		
PN1690	UST	2	2	2	2		
	ALT	2	3				
TD1690	UST	2	2	2			
	ALT	2	2	3	3		
PD1628	UST	1	2	1	2	1	
	ALT	2	2	2	3		
TN1690	UST	2	2	2	2		
	ALT	2	3	3			
KD1690	UST	2	2				
	ALT	2	3	2			
KN1690	UST	2	2	2	2		
	ALT	2	3				
KN1028	UST	2	2	2	2		
	ALT	2	3	3	3		
KD1028	UST	1	1	1	1	1	1
	ALT	2	2	2	2	2	2
TN1028	UST	1	1	2	1	2	1
	ALT	2	2	2	2	2	2
PN1028	UST	2	2	2	2	2	2
	ALT	2	2	3	2	2	2
TD1028	UST	1	1	2	1	1	
	ALT	2	2	2	2	2	2
PD1090	UST	1	1	2	2		
	ALT	3	2	2	3		
PN1090	UST	2	2	2	2		
	ALT	2	3	2	3		
TD1090	UST	2	2	2	2	1	2
	ALT	2	2	3	2	3	
PD1028	UST	1	1	1	2	1	2
	ALT	2	2	2	2	2	2
TN1090	UST	2	2	2	2		
	ALT	2	3	3	2		
KD1090	UST	2	2	2	1	2	2
	ALT	2	3	2	2	2	2
KN1090	UST	2	2	2	2		
	ALT	2	2	2	3		

Tablo B.2. Numunelerin aderans dayanımları, ortalama ve standart sapmaları

	Numune No	1 (MPa)	2 (MPa)	3 (MPa)	4 (MPa)	5 (MPa)	6 (MPa)	Ortalama (MPa)	St.Sapma (MPa)
KN1628	UST	3,5	3,2	3,6	3,4	2,5	4,0	3,4	0,5
	ALT	5,2	5,0	3,6	3,8			4,4	0,8
KD1628	UST	0,6	0,9	0,3	0,4	0,8	0,8	0,6	0,2
	ALT	3,2	4,5	2,4	3,4	5,6	2,4	3,6	1,3
TN1628	UST	3,0	1,3	1,4	2,3	1,4	1,8	1,9	0,7
	ALT	3,8	3,8	3,4	3,9	1,8		3,4	0,9
PN1628	UST	3,3	3,1	3,1	3,5	3,3	3,2	3,2	0,2
	ALT	3,1	3,9	6,0	4,8	4,1	4,7	4,4	1,0
TD1628	UST	0,8	0,3	0,4	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2
	ALT	2,4	1,9	3,0	1,7	3,9	3,8	2,8	0,9
PD1690	UST	0,5	0,2	0,2	0,9			0,5	0,4
	ALT	2,0	4,5	3,6	5,2			3,8	1,4
PN1690	UST	3,7	3,7	1,4	2,5			2,8	1,1
	ALT	2,9	4,3					3,6	1,0
TD1690	UST	1,7	0,4	0,5				0,9	0,7
	ALT	3,7	3,1	4,6	5,3			4,2	1,0
PD1628	UST	0,7	1,0	1,0	0,8			0,9	0,1
	ALT	3,6	4,2	2,1	5,0			3,7	1,2
TN1690	UST	2,2	3,3	2,3	3,0			2,7	0,6
	ALT	3,7	3,7	4,7				4,0	0,6
KD1690	UST	1,6	1,0					1,3	0,4
	ALT	3,6	3,7	2,9				3,4	0,4
KN1690	UST	2,1	2,5	2,1	4,7			2,8	1,2
	ALT	3,1	5,0					4,0	1,4
KN1028	UST	1,6	3,4	1,2	2,0			2,0	1,0
	ALT	3,0	6,4	4,9	2,8			4,3	1,7
KD1028	UST	0,2	0,4	0,4	0,3	0,4	0,6	0,4	0,1
	ALT	2,7	2,9	2,7	2,8	3,8	3,2	3,0	0,4
TN1028	UST	0,3	0,2	2,0	0,6	0,8	0,8	0,8	0,6
	ALT	2,4	2,2	2,8	2,8	2,8	2,8	2,6	0,3
PN1028	UST	2,3	2,7	2,2	2,7	2,6	2,4	2,5	0,2
	ALT	3,2	3,0	3,9	3,3	3,3	3,4	3,4	0,3
TD1028	UST	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1		0,2	0,1
	ALT	2,4	2,4	1,0	3,4	1,6	2,9	2,3	0,9
PD1090	UST	0,2	0,1	0,8	0,4			0,4	0,3
	ALT	5,0	3,6	3,8	1,8			3,6	1,3
PN1090	UST	4,6	2,8	1,9	1,4			2,7	1,4
	ALT	4,2	6,1	2,5	5,1			4,5	1,5
TD1090	UST	0,5	0,4	0,6	0,6	0,3	0,2	0,4	0,2
	ALT	2,0	4,2	2,7	4,4	2,8		3,2	1,1
PD1028	UST	1,7	1,1	1,2	3,9	0,4	1,0	1,5	1,2
	ALT	3,5	3,3	4,3	2,7	3,2	3,2	3,4	0,5
TN1090	UST	2,7	4,6	3,0	3,6			3,5	0,8
	ALT	3,9	5,6	6,0	4,4			5,0	1,0
KD1090	UST	0,4	0,8	1,3	0,6	0,5	1,5	0,8	0,4
	ALT	4,1	5,5	5,0	2,9	5,1	4,7	4,6	0,9
KN1090	UST	1,7	1,8	2,3	1,2			1,7	0,4
	ALT	2,3	4,2	3,9	5,6			4,0	1,4

ÖZGEÇMİŞ

Cengiz Konca 11.03.1970 tarihinde Lüleburgaz’da doğdu. Lüleburgaz lisesinden 1987 yılında mezun oldu ve aynı yıl İ.T.Ü.İnşaat Fakültesi İnşaat mühendisliği bölümüne girdi. 1991 yılında mezun olduktan sonra yüksek lisans eğitimine başladı. 1992 – 2003 yılları arasında Lüleburgaz Belediyesi’nde çalıştı. 2003 yılında kendine ait Koncalar Mühendislik ve İnşaat Firmasını kurdu.