

151603

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELASTİK ZEMİNE OTURAN ÇELİK TEL DONATILI
BETON PLAKLARIN TEKİL YÜK ALTINDAKİ
DAVRANIŞININ DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İsmail GÖKALP

(501021012)

151603

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Mayıs 2004

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Metin AYDOĞAN

Aty 17/06/04

Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR

M. Taşdemir

Doç.Dr. Mustafa ZORBOZAN (YTÜ)

M. Zorbozan 17/06/04

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışması ve deneyleri boyunca bilgi ve tecrübesini bizlerle paylaşan ve karşılaşılan her türlü zorlukta çözüm bulup bize destek olan tez danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Metin Aydoğan'a ,

Her konuda yardımını ve desteğini bizden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mehmet Ali Taşdemir'e ,

Her türlü sorumuzu yanıtlayan, her konuda bize destek olan sayın Araş. Gör. Kutlu Darılmaz'a ,

Deneyler sırasındaki yardım ve ilgileri için İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına ve çalışmaya verilen maddi destekleri dolayısıyla Beksa Çelik Kord Sanayi ve Ticaret AŞ, Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret AŞ, Betonsa Beton Sanayi ve Ticaret AŞ, Peri Kalıp ve İskeleleri Sanayi ve Ticaret Ltd Şti, Mardav Yalıtım ve İnşaat Malzemeleri Sanayi ve Ticaret AŞ' ye ,

Özellikle yakın ilgileri dolayısı ile Beksa Çelik Kord Sanayi ve Ticaret AŞ'den Mehmet Yerlikaya'ya, Mardav Yalıtım ve İnşaat Malzemeleri Sanayi ve Ticaret AŞ' den Gökhan Korkmaz'a ve Betonsa Beton Sanayi ve Ticaret AŞ'den Cihan Kın'a ,

Bana her konuda destek olan, arkadaşım İnş.Müh. İrem Zeynep Yıldırım'a ,

Ayrıca tez çalışması süresince ve hayatım boyunca her zaman yanımda olan, her türlü konuda maddi ve manevi desteklerini hissettiğim aileme, annem Nevin Gökalp ve babam Mehmet Gökalp'e ,

Teşekkür ederim.

Mayıs 2004

İsmail GÖKALP

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. ÇELİK TEL DONATILI BETONLAR	3
2.1 Çelik Tel Donatılı Beton Kavramı	3
2.1.1 Çelik Tel Donatılı Betonların Kullanım Alanları	4
2.2 Çelik Tel Türleri.....	5
2.3 ÇTDB'nin Özellikleri.....	6
2.3.1 Kancalı Uçlu Çelik Tellerin Üstünlükleri	6
2.4 Çelik Tellerin Betona Katılması.....	7
2.5 Çelik Tellerin Betonun İşlenebilirliğine Etkisi	8
2.6 ÇTDB'nin Pompalanması	8
2.7 ÇTDB'nin Yerleştirilmesi.....	9
2.8 ÇTDB'nin Düzeltilmesi	10
2.9 Bakım ve Kür	11
2.9.1 Islak Kür.....	12
2.9.2 Su Geçirimsiz Örtü Malzemeleri	12
2.9.3 Kür Malzemeleri	13
2.9.4 Zamanlama.....	14
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	15
3.1 Giriş.....	15
3.2 Deney Programı	15
3.3 Deney Düzenegi	16
3.3.1 Yükleme Çerçevesi	16
3.3.2 El ile Yükleme Yapılan Kriko	20

3.3.3 Ölçüm Çerçevesi	23
3.3.4 Ölçüm Cihazları	24
3.3.5 Veri Toplayıcısı (Data Logger).....	26
3.4 Malzeme Özellikleri.....	26
3.4.1 Yataklık Yapan Malzemelerin Özellikleri	26
3.4.2 Kullanılan ÇTDB'nin Karakteristik Değerleri.....	28
4. DENEY ADIMLARI.....	35
4.1 Deney Plaklarının Hazırlanışı	35
4.2 Deneyin Kurulması	36
4.2.1 Deney Plaklarının Oturacağı Zeminin Hazırlanması	36
4.2.2 Deney Plaklarının Taşınması	37
4.2.3 Ölçüm Çerçevesinin Yerleştirilmesi	37
4.2.4 Transducerların Bağlanması	37
4.2.5 Krikonun Yerleştirilmesi.....	37
4.3 Deneyin Yapılışı.....	38
5. DENEY SONUÇLARI.....	40
5.1 P1 Plağı Deney Sonuçları.....	40
5.1.1 P1 Plağı Yerdeğiştirme Ölçümleri	41
5.1.2 P1 Plağı Çatlak Ölçümleri.....	43
5.2 P2 Plağı Deney Sonuçları.....	45
5.2.1 P2 Plağı Yerdeğiştirme Ölçümleri	46
5.2.2 P2 Plağı Çatlak Ölçümleri.....	48
5.3 P3 Plağı Deney Sonuçları.....	50
5.3.1 P3 Plağı Yerdeğiştirme Ölçümleri	51
5.3.2 P3 Plağı Çatlak Ölçümleri.....	54
5.4 P4 Plağı Deney Sonuçları.....	56
5.4.1 P4 Plağı Yerdeğiştirme Ölçümleri	57
5.4.2 P4 Plağı Çatlak Ölçümleri.....	60
5.5 Deney Sonuçlarının Sayısal Modelle Karşılaştırılması.....	61
5.5.1 Sayısal Modelleme	61
5.5.2 Sonuçların Karşılaştırılması	62
6. SONUÇLAR	64
KAYNAKLAR	68
EKLER.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	82

KISALTMALAR

ÇTDB : Çelik Tel Donatılı Beton



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1	Yataklık Yapan Malzemeler için Yatak Katsayısı Değerleri..... 15
Tablo 3.2	Deneyde Kullanılan Plaklar için Oluşturulan Parametreler..... 16
Tablo 3.3	Krikonun Kalibrasyonu..... 21
Tablo 3.4	Kullanılan Transducer Tipleri..... 25
Tablo 3.5	Yataklık Yapan Malzemeler için Teknik Veriler..... 27
Tablo 3.6	Önemli Zemin Türleri için Ortalama Yatak Katsayıları..... 28
Tablo 3.7	C30/S30 Numunelerinin Deney Sonuçları..... 29
Tablo 3.8	C30/S30 Silindir Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları..... 30
Tablo 3.9	C30/S20 Numunelerinin Deney Sonuçları..... 32
Tablo 3.10	C30/S20 Silindir Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları..... 32
Tablo 3.11	C30/S30 ve C30/S20 Beton Karışımlarının Karakteristik Değerleri..... 34
Tablo 5.1	P1 Plağı X Eksenli Yerdeğiştirme Değerleri..... 41
Tablo 5.2	P1 Plağı Y Eksenli Yerdeğiştirme Değerleri..... 42
Tablo 5.3	P1 Plağı Köşe Noktalarının Yerdeğiştirme Değerleri..... 43
Tablo 5.4	P1 Plağı Kenar Çatlaklarının Genişlikleri..... 44
Tablo 5.5	P2 Plağı X Eksenli Yerdeğiştirme Değerleri..... 46
Tablo 5.6	P2 Plağı Y Eksenli Yerdeğiştirme Değerleri..... 47
Tablo 5.7	P2 Plağı Köşe Noktalarının Yerdeğiştirme Değerleri..... 47
Tablo 5.8	P2 Plağı Kenar Çatlaklarının Genişlikleri..... 49
Tablo 5.9	P3 Plağı X Eksenli Yerdeğiştirme Değerleri..... 51
Tablo 5.10	P3 Plağı Y Eksenli Yerdeğiştirme Değerleri..... 52
Tablo 5.11	P3 Plağı Köşe Noktalarının Yerdeğiştirme Değerleri..... 53
Tablo 5.12	P3 Plağı Kenar Çatlaklarının Genişlikleri..... 54
Tablo 5.13	P4 Plağı X Eksenli Yerdeğiştirme Değerleri..... 57
Tablo 5.14	P4 Plağı Y Eksenli Yerdeğiştirme Değerleri..... 58
Tablo 5.15	P4 Plağı Köşe Noktalarının Yerdeğiştirme Değerleri..... 59
Tablo 5.16	P4 Plağı Kenar Çatlaklarının Genişlikleri..... 60
Tablo A.1	P1 Plağına Ait Deney Datası..... 70
Tablo A.2	P2 Plağına Ait Deney Datası..... 73
Tablo A.3	P3 Plağına Ait Deney Datası..... 76
Tablo A.4	P4 Plağına Ait Deney Datası..... 79

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Çelik Tel Türleri..... 5
Şekil 2.2	Çelik Tellerin Transmiklere İlave Edilmesi..... 8
Şekil 2.3	Vibratörlü Yüzey Mastarı..... 10
Şekil 2.4	Helikopter Uygulaması..... 10
Şekil 2.5	Ç.T.D.Zemin Betonunun Uygulama Aşamaları..... 11
Şekil 2.6	Taze Bir Zemin Betonunun Korunması..... 13
Şekil 2.7	Kür Malzemesinin Fırça ile Uygulanması..... 13
Şekil 3.1	Yükleme Çerçevesinin Boyutları, Üstten Görünüşü ve En Kesiti..... 17
Şekil 3.2	Yapılan Kazı Çalışmasının Krokisi..... 18
Şekil 3.3	Kazı Sonrası Elde Edilen Alanın Görünümü..... 18
Şekil 3.4	Gro-beton Döküm İşlemi..... 19
Şekil 3.5	Deney Plaklarının Oturacağı Zeminin Kesiti..... 20
Şekil 3.6	Deney Düzeneginin Genel Görünümü..... 20
Şekil 3.7	Ölçüm Çerçevesinin Boyutları..... 23
Şekil 3.8	Transducer Bağlantı Noktası Detayı..... 24
Şekil 3.9	Transducer Yerleşim Planı..... 25
Şekil 3.10	Ölçüm Cihazı (Transducer)..... 26
Şekil 3.11	C30/S30 için $\sigma - \varepsilon$ Grafiği ve Elastisite Modülü (E)..... 31
Şekil 3.12	C30/S20 için $\sigma - \varepsilon$ Grafiği ve Elastisite Modülü (E)..... 33
Şekil 4.1	Beton Döküm Düzeni..... 35
Şekil 4.2	Deney Plaklarının Beton Dökümü..... 36
Şekil 4.3	Deney Plaklarının Oturacağı Styrofoam Levha..... 36
Şekil 4.4	Krikonun Görünümü..... 38
Şekil 4.5	Deney Düzenegi..... 39
Şekil 5.1	P1 Placı Transducer Yerleşim Planı..... 40
Şekil 5.2	P1 Placının X Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği..... 41
Şekil 5.3	P1 Placının Y Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği..... 42
Şekil 5.4	Plak Kenar Numaraları..... 43
Şekil 5.5	P1 Placı 3A Çatlağı..... 44
Şekil 5.6	P1 Placı 1A Çatlağı..... 44
Şekil 5.7	P1 Placı Üst Yüzeyi, Çatlak Yayılış Biçimi..... 45
Şekil 5.8	P2 Placı Transducer Yerleşim Planı..... 45
Şekil 5.9	P2 Placının X Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği..... 46
Şekil 5.10	P2 Placının Y Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği..... 47
Şekil 5.11	P2 Placının Köşe Noktasının Kalkması..... 48
Şekil 5.12	P2 Placı 2A ve 2B Çatlakları..... 49
Şekil 5.13	P2 Placı 3A Çatlağı..... 49
Şekil 5.14	P2 Placı Üst Yüzeyi, Çatlak Yayılış Biçimi..... 50
Şekil 5.15	P3 Placı Transducer Yerleşim Planı..... 51
Şekil 5.16	P3 Placının X Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği..... 52

Şekil 5.17	P3 Plağının Y Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği.....	53
Şekil 5.18	P3 Plağının Köşe Noktasının Kalkması.....	54
Şekil 5.19	P3 Plağı 3A Çatlağı.....	54
Şekil 5.20	P3 Plağı, Yükleme Sonrası Orta Noktanın Görünümü.....	55
Şekil 5.21	P3 Plağının Alt Yüzeyinin Kırılma Sonrası Görünümü.....	55
Şekil 5.22	P3 Plağının Orta Noktasının Alttan Görünümü.....	56
Şekil 5.23	P4 Plağı Transducer Yerleşim Planı.....	56
Şekil 5.24	P4 Plağının X Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği.....	57
Şekil 5.25	P4 Plağının Y Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği.....	58
Şekil 5.26	P4 Plağının Köşe Noktasının Kalkması.....	59
Şekil 5.27	P4 Plağı 3A Çatlağı.....	60
Şekil 5.28	P4 Plağının Üst Yüzeyinin Kırılma Sonrası Görünümü.....	61
Şekil 5.29	Sonuçların Karşılaştırılması.....	62
Şekil 5.30	Sonuçların Karşılaştırılması.....	63



SEMBOL LİSTESİ

E	: Elastisite modülü
σ	: Gerilme
ε	: Şekil değiştirme
P	: Yük
d	: Yerdeğiştirme
K	: Yatak katsayısı
C	: Beton sınıfı



ELASTİK ZEMİNE OTURAN ÇELİK TEL DONATILI BETON PLAKLARIN TEKİL YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZİ

ÖZET

Donatısız beton plaklarla çelik tel donatılı beton plaklar karşılaştırıldığında, betona çelik tel eklemenin darbe dayanımını ve tokluğu önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Kiriş eğilme deneyleri göstermiştir ki; yükleme sonrası oluşan çatlakların davranışı, çelik tel içeriği ve türü ile büyük ölçüde ilişkilidir. Elastik zemine oturan plaklarda da tokluk artışı, plakların yük taşıma kapasitesinde ve yükleme anında oluşan yerdeğiştirme değerlerinde önemli bir rol oynar.

Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmanın amacı tel içeriği ve yatak katsayısı değişiminin, tekil yük altındaki çelik tel donatılı beton plakların davranışına etkisini incelemektir.

Yapılan deney tam ölçekli olarak 3,0 x 3,0 x 0,15 m boyutlarında 4 adet plakla sürdürülmüştür. Kullanılan çelik tel türü iki ucu kancalı dramixtir. Kullanılan dramix tellerin boyu 60 mm, çapı 0,75 mm ve çekme dayanımı minimum 1050 N/mm² dir. Deney plaklarından ikisi 30 kg/m³ tel içeriği, diğer ikisi ise 20 kg/m³ tel içeriği ile üretilmiştir. Farklı yatak katsayıları elde edebilmek için farklı tipteki ekstrüde polistiren köpük levhalar farklı kalınlıklarda kullanılmıştır. Böylece iki farklı tel içeriği ve iki farklı yatak katsayısı deney parametresi olarak oluşturulmuştur. Kullanılan beton sınıfı ve çelik tel türü tüm plaklar için aynıdır.

Plaklar merkezlerinden el ile yükleme yapılan bir kriko ile yüklenmişlerdir. Yük krikodan plağa 150 x 150 mm boyutlarındaki bir çelik levha ile aktarılmıştır. Bu tekil yük plaklar için oldukça elverişsiz olan bir yük durumunu oluşturmaktadır. Tekil yük plağın kullanıldığı alana göre, tekerlek yükünü ya da bir raf ayağının uyguladığı yükü temsil etmektedir. Yükleme 1 ton'luk yük artımı ile plak kırılana kadar yapılmıştır. Oluşan yerdeğiştirmeler, plağın 16 noktasına yerleştirilen, mm'nin binde biri hassasiyetinde ölçüm yapan, transducerlarla her yük adımında okunmuş ve kaydedilmiştir. Ayrıca belirli yük adımlarında, oluşan çatlak genişlikleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Deney, sayısal analiz sonuçlarıyla test sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan Ansys programında modellenmiş ve lineer olmayan analiz yöntemi kullanılarak çözüm yapılmıştır.

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE GROUND SLABS UNDER POINT LOADING ON ELASTIC SUB-BASE

SUMMARY

In comparison with non-reinforced floors, the addition of steel fibres results in a significant increase in impact resistance and toughness. Flexural tests on beams have indicated that the subsequent cracking behaviour is substantially influenced by the fibre content and/or the type of fibre. In the assessment of the behaviour of slabs on an elastic subbase, toughness plays a decisive role in the load bearing and deformation behaviour of these slabs.

Aim of this MSc thesis study is to investigate the influence of the fibre content and elastic subbase modulus on steel fibre reinforced concrete ground slabs under point loading on an elastic subbase.

The full scale investigations were carried out on four slabs with the dimensions of 3.0 x 3.0 x 0.15 m. The Dramix fibres are provided with hooked ends and have a minimum tensile strength of 1050 N/mm². The fibres used in tests were 60 mm in length and 0.75 mm in diameter. Two of the slabs were produced with 30 kg/m³ fibre content and the rest of the slabs were produced with 20 kg/m³ fibre content. To obtain different elastic subbase moduli, different types of extruded polystyrene foams in different thicknesses were used. Thus two elastic subbase moduli and two fibre contents were obtained as test parameters. The type of concrete and steel fibre used were same for all the slabs.

Slabs were loaded via a centrally acting single hydraulic hand pump, acting on a 150 x 150 mm steel plate. This single load leads to a comparatively unfavourable slab loading, and simulates for example a vehicle load or the load exerted by a rack storage system. The load was applied in steps of 10 kN until the failure of the building element. The displacements were recorded for each loading step at 16 points on the surface of the slabs by transducers with a 1/1000 mm precision. Measurements related with crack openings were also performed at different loading steps during the test process.

The test was modelled with Ansys which enables nonlinear finite element method analysis to compare the numerical analysis results with the test results.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Çelik tel donatılı beton (ÇTDB), betonu oluşturan malzemelerden ve çelik tellerden oluşan kompozit bir malzemedir. Çelik tel donatılı betonlar yüksek çekme dayanımı ve çatlakların azaltılmasının istenmesi halinde veya yapı elemanının şeklinden dolayı geleneksel donatının yerleştirilmesinin güç olduğu durumlarda kullanılabilir. Darbe dayanımları da klasik betona göre yüksek olduğu için özellikle endüstriyel zeminlerde kullanımı artmaktadır. Endüstriyel zemin dışında da oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir [1].

ÇTDB kullanılarak üretilen kirişler üzerinde yapılan eğilme deneyleri göstermiştir ki, yükleme sonrası oluşan çatlakların davranışı, çelik tel içeriği ve türü ile büyük ölçüde ilişkilidir. Özellikle darbe dayanımı ve tokluk, betona çelik tel ilave edilmesiyle artmıştır. Elastik zemine oturan plaklarda da bu tokluk artışı, plakların yük taşıma kapasitesinde ve yükleme anında oluşan yerdeğiştirme değerlerinde önemli bir rol oynar [2].

Bu çalışmanın amacı; elastik zemine oturan ÇTDB plakların tekil yük altındaki davranışını deneysel olarak incelemektir. Amaç, tel içeriği ve elastik zemin yatak katsayısı değerlerinin plak davranışına etkisini belirlemektir.

Yapılan deneysel çalışma, tam ölçekli olarak 3,0 x 3,0 x 0,15 m boyutlarında 4 adet plakla sürdürülmüştür. Çelik tel içeriğinin (dozajının) ve zemin yatak katsayısının etkisini görebilmek için iki farklı dozaj ve iki farklı zemin türü ile çalışılmıştır. Bu program gereğince iki adet 30 kg/m³ tel içeren plak, iki adet 20 kg/m³ tel içeren plak üretilmiştir. Tüm deney plaklarında beton sınıfı ve çelik tel türü aynı kullanılmıştır. Zemini temsil etmesi için styrofoam (ekstrüde polistiren köpük) levhalar kullanılmıştır. Farklı tipte zemin türü oluşturabilmek için değişik elastisite modülü'ne sahip levha tipleri farklı kalınlıklarda uygulanmıştır. 60 mm kalınlığında uygulanan malzeme “sıkı kum”u, 80 mm kalınlığında uygulanan malzeme ise “orta sıklıkta kum”u temsil etmiştir.

Deneyde plaklar 1 ton yük artımı yapılarak, merkezlerinden, kırılana kadar yüklenmiş ve her yük kademesinde, plak yüzeyinin 16 noktasına yerleştirilen ölçüm cihazlarıyla (transducer) yerdeğiştirme değerleri okunmuş ve kaydedilmiştir. Seçilen belirli yük adımlarında, plak kenarlarında oluşan çatlakların genişlik ölçümü yapılmıştır.

Deney sonuçları sayısal modelle karşılaştırılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sayısal modelleme Ansys programı yardımıyla lineer olmayan analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Farklı tel içeriğine sahip ve farklı zemin türlerine oturan plakların deney sonuçları karşılaştırılarak, zemin yatak katsayısı ve tel içeriği (dozaj) değişiminin, tekil yük ile merkezinden yüklenen plağın davranışına etkisi incelenmiş ve birtakım sonuçlara ulaşılmıştır.



2. ÇELİK TEL DONATILI BETONLAR

2.1 Çelik Tel Donatılı Beton Kavramı

Çelik liflerle homojen olarak donatılmış beton, yükler altında gösterdiği davranış açısından, geleneksel betondan farklı özellikler gösterir. Beton içinde ortaya çıkan gerilmeler, malzeme içindeki mikro çatlaklar nedeni ile düzensizdir. Betona ilave edilen çelik teller, harç fazı matrisini takviye ederek, üzerinden gerilmelerin aktarıldığı küçük köprüler olarak rol oynarlar. Aşırı yükler altında çelik teller, matris içindeki çatlağın yayılmasına yol açan gerilmeleri alarak çatlamamış bölgelere yayarlar. Çatlak sonrası betonun kazanmış olduğu bu davranış, elastik zemine oturan beton yol döşemelerinde çatlak oluşumunu azaltmaktadır.

Betonların statik hesaplamalarında çelik teller, sadece eğilme momentini karşılayan donatı olarak görülmemelidir. Tellerin en önemli özelliği betona sağladığı süneklik diğer bir deyişle enerji yutma kapasitesindeki büyük artıştır.

ÇTDB (Çelik tel donatılı beton)'nin darbe mukavemeti, normal betona oranla 15-20 kat daha fazladır. Betonun deformasyon yapma özelliği arttığından, ani kırılmalar meydana gelmemektedir.

Sıcaklık farklarının yüksek olduğu yerlerde, betonun yüzeyi ve tabanı arasındaki sıcaklık farklarından dolayı kısa sürede çatlaması önlenmektedir [3].

Çelik telleri betonda kullanmanın başlıca beş yararı vardır: a) Yüksek taşıma kapasitesine sahip sünek beton, b) Donatı korozyonunun oluşmadığı düzgün beton yüzeyinin elde edilmesi, c) Etkin çatlak kontrolü, d) Dayanıklılık, ve e) Donatı işçiliğinde belirgin azalma [4].

Kısaca çelik tel takviyeli betonlarda, çelik teller, betonun; sünekliğini, tokluğunu, şekil değiştirmesini, çekme ve kesme dayanımını, dinamik yüklemelere ve ani darbelere karşı direncini artırır. Donatının bütün kesite dağılması ile üç boyutlu bir donatı sistemi elde edilir ve bu sayede çelik tel takviyeli beton karmaşık yüklemelere karşı koyar ve çatlama riski belirgin biçimde azalır.

2.1.1 Çelik Tel Donatılı Betonların Kullanım Alanları

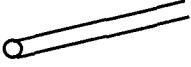
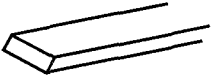
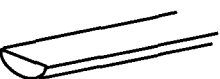
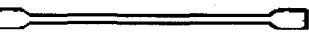
Çelik telle güçlendirilmiş betonlar normal betonlara kıyasla sağladıkları belirgin avantajlarından dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler. Başlıca kullanım alanları şunlardır:

- | | |
|--|------------------------------------|
| * Zemin betonları | * Benzin istasyonları |
| * Şap ve koruma betonları | * Beton yollar |
| * Saha betonları | * Fabrika zeminleri |
| * Otoparklar | * Stok sahaları |
| * Derzsiz zemin betonları | * Soğuk hava depolarının zeminleri |
| * Döşeme şapları | * Topping betonları |
| * Liman kaplamaları | * Tersaneler |
| * Tünellerde püskürtme beton kaplamaları | * Endüstri yapıları |
| * Su yapıları | * Şevlerin stabilizasyonu |
| * Hava alanı pistleri | * İstinat duvarları |
| * Depreme dayanıklı yapılar | * Kabuk yapılar |

Geleneksel çelik teller yukarıda belirtilen alanların dışında aşağıda belirtilen prefabrike elemanların üretiminde de yaygın biçimde kullanılmaktadır: Muayene bacaları, yağ ayırıcıları, transformatör kabinleri, yağmur suyu kolektörleri, atık su tankları, atık madde tankları, cephe ve bölme duvar elemanları, kanalizasyon boruları, tünel segmanları, monoblok garajlar, demiryolu sınır taşları, su drenaj blokları, atık depolama kutuları, ev mahzenleri, kablo kanalları, yalıtılmış duvar panelleri, santral kabinleri, prekast banyo kabinleri, çatı elemanları, öngerilmeli çatı olukları, otobüs durakları, yiyecek kilerleri, tren tünellerindeki saklanma yerleri, baca elemanları, birleştirilmiş kanallar ve bakım yolu, demiryolu traversleri, demiryolu taban döşemesi, refrakter prekast elemanlar, istinat duvar elemanları, temel blokları, prekast banka kasaları ve kanaletler [4].

2.2 Çelik Tel Türleri

Farklı tipteki çelik tel örnekleri Şekil 2.1. de görülmektedir.

En Kesit	Yuvarlak	
	Yassı	
	Yarı Yuvarlak	
Biçim ve Deformasyonlar	Düz	
	Dalgalı	
	Kancalı Uçlu	
	Genişletilmiş Uçlu	
	Çarpık	
	Yassı Uçlu	
	Deforme Edilmiş	
	Zikzak Biçimli	

Şekil 2.1 Çelik Tel Türleri

2.3 ÇTDB'nin Özellikleri

Çelik tel içeren betonlar ilk kırılma yükünden sonra yüksek bir süneklığe sahip olurlar. Çelik tel içeren betonlar taşıma gücüne ulaşmasına rağmen yük taşıma kapasitelerini devam ettirirler. Çelik tellerin narinlik oranları kullanılan telin uzunluğuna ve çapına göre 50 ile 100 arasında değişen değerler alırlar. Genellikle dairesel kesitli çelik tellerin kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çelik tellerin narinliği ve kullanılan tel miktarı betonun özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdir. Çelik tellerin çekme dayanımlarının yüksek olması sonucu yük taşıma kapasiteleri daha fazla olup, yük altında sünek bir davranış gösterirler. Çelik tel içeriği ve narinlik oranı betonun işlenebilmesini dolayısıyla performansını büyük ölçüde etkiler. Narinlik oranı, telleri tanımlayan en önemli parametrelerden biridir. Çelik tel uzunluğunun çapına bölünmesiyle bulunur (L/d). Karışıma eklenen tellerin özellikle de narinlik oranlarının büyük olması durumunda taze betonun işlenebilirliğini azalttığı görülmektedir [1].

Çelik tellerin cinsine göre basınç dayanımları incelendiğinde en yüksek değerlerin narinliği 65 olan çelik tellerde, en düşük değerlerin ise narinliği 55 olan çelik tellerde olduğu sonucu elde edilmiştir. Beton içindeki çelik telin boyunun uzun olması önemli bir yerleşme sorunu yaratmakta ve bunun sonucunda beton dayanımında düşüş olabilmektedir. Narinliği 80 olan çelik tellerde basınç dayanımlarının düşük çıkması bu etkenle ilişkilendirilmiştir. Elastisite modülü değerleri incelendiğinde ise çelik tel içeren betonların elastisite modüllerinin, çelik tel içermeyen normal betonlara göre daha düşük olduğu görülmüştür [1].

2.3.1 Kancalı Uçlu Çelik Tellerin Üstünlükleri

Çelik tel donatılı beton üretiminde kancalı uçlu çelik tellerin kullanılması; yüksek enerji yutma kapasitesine sahip sünek beton üretilmesine, çatlama riskinin azalmasına, üstün durabiliteye (kalıcılığa) ve donatı işçiliğinde belirgin azalmaya olanak tanır.

Kancalı uçlu çelik tellerin uygunluğu TS 10513'e göre belirlenir. Çekme dayanımı 1100 N/mm^2 ($2 \times 550 \text{ N/mm}^2$, St IV-b çelik hasırın çekme dayanımının iki katı) dir. Uçların kancalı yapısı ile betonda iyi ankraj sağlar. Özel tutkal ile yapıştırılan çelik

tel demeti suda kolay çözülür, homojen bir karışım elde edilir. Çelik hasırın üretimindeki gibi kaynak robotuna, büyük miktarda stok yapmaya gerek yoktur. Geleneksel donatıdaki gibi tasarım, çizim, ölçme, kesim, kaynak, eğme, montaj ve denetim aşamalarındaki insan gücüne gerek duyulmaz.

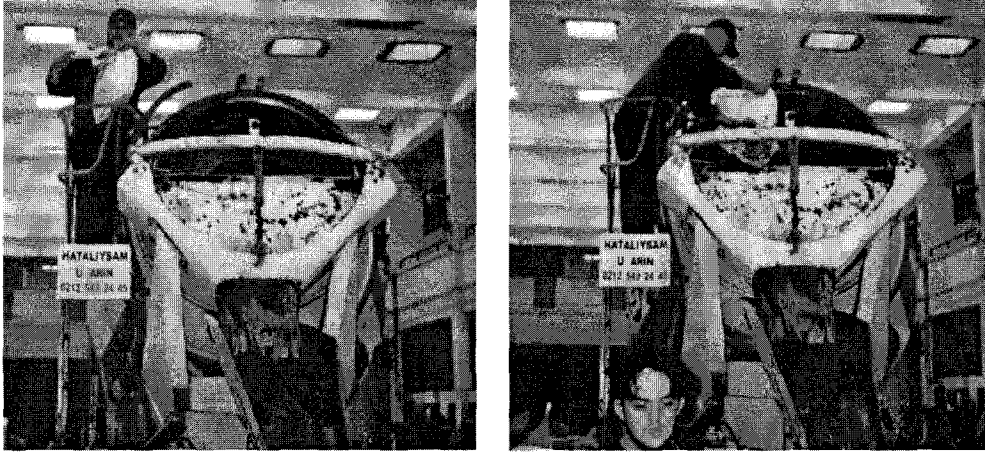
Kancalı Uçlu Çelik Tel kullanılan ÇTDB'nin Üstünlükleri:

1. Çelik tel içeriğine bağlı olarak istenilen maksimum yüke ve yutulan enerjiye erişme kolaylığı,
2. Narinlik oranı arttıkça yutulan enerjiyi ve taşınabilecek en büyük yükü arttırabilme,
3. Uçların kancalı oluşu sebebiyle yutulan enerjinin daha da artması,
4. İlk çatlak yükünün hasır donatıya göre daha yüksek olması, dolayısıyla durabilite yönünden önemli bir üstünlük sağlanması,
5. Maksimum yükten sonra yük-sehim eğrisinin inen kolunun ani ve keskin olmaması,
6. 25 mm'lik sehim öncesinde, kancalı uçlu çelik tel kullanılan ÇTDB plakta herhangi bir dağılma olmaması, buna karşılık hasır çelik donatılı beton plaklarda belirgin çatlaklar, kırılmalar ve dökülmeler oluşması [3].

2.4 Çelik Tellerin Betona Katılması

Çelik teller , beton santralında beton hazırlanırken veya transmikserde hazır betona ilave edilebilir. Santralda ilave edilmesi işleminde dikkat edilecek husus, karışıma ilk olarak telleri ilave etmeyip, agrega veya agrega + çimento karışımına katmaktır. Transmikserde ilave etmek istenirse, dakikada 12-18 devir hızla dönen miksere, dakikada 40-60 kg çelik tel karıştırabiliriz. Narinliği 80 olan çelik tellerde karıştırma hızı azaltılıp 20 kg/dak. hız ile çelik teller betona katılmalıdır. Bütün tellerin ilavesinden sonra mikser maksimum hızla 5 dakika çevrilmelidir. Çelik teller hızlı bir şekilde eklenirse, tutkalla birbirine tutturulan demetlerin ayrılması güçleşebilir. Belirtilen hızda eklenen çelik teller karışım sırasında açılarak homojen bir şekilde beton içerisinde dağılır. Betonun her tarafına eşit olarak dağılan tellerin homojenlik testi, TS 10513 uyarınca, taze betondan numune alıp, her numunedeki tel miktarı

tartılarak yapılır [3]. Şekil 2.2.'de çelik tellerin transmikslerdeki hazır betona ilave edilmesi görülmektedir.



Şekil 2.2 Çelik Tellerin Transmiklere İlave Edilmesi

2.5 Çelik Tellerin Betonun İşlenebilirliğine Etkisi

Çelik teller betonun işlenebilirliğini etkiler ve çökme (slump) kaybına yol açabilir. Bununla birlikte çelik tel içeren betonu sıkıştırmak için gerekli olan enerji yalnız beton için gerekenden daha fazla değildir. VeBe sıkıştırma deneyi ile ölçülen işlenebilirlik çelik tellerin eklenmesine bağlı olarak az değişiklik gösterir. İşlenebilmedeki kayıp, uzun ve yassı agrega içeren beton karışımlarında daha fazla olur. Normal veya süperakışkanlaştırıcı katkı işlenebilirliği istenilen düzeyde tutmak için kullanılır. Beklenen işlenebilmeyi sağlamak için yüklenici firma ile hazır beton firması arasında iyi bir iletişim zorunludur [7].

2.6 ÇTDB'nin Pompalanması

Çelik telli betonun pompalanması için özel bir pompa gerekli olmayıp yalnız betonun pompalanmasına benzerdir. Uzunlukları 50-60 mm olan çelik telleri içeren betonların pompalanmasında pratik olarak 25 kg/m³'lük lif içeriğine kadar sorunla karşılaşılmaz. Bazı durumlarda çelik telli betonlar 45-50 kg/m³'lük dozajlara kadar pompalanabilirler. Pompadaki tıkanma riskini azaltmak için hazır beton firması ile yüklenici firma arasında iyi bir iletişim olmalıdır [7].

2.7 ÇTDB'nin Yerleştirilmesi

Herhangi bir standard yerleştirme tekniği uygulanabilir. Optimum yerleştirmeyi sağlamak için kimyasal katkıyla işlenebilmede gerekli ayarlamalar yapılabilir. Çelik tellerin beton içinde homojen dağılması için gerekli olan vibrasyon kirişi gibi bir yüzey vibratörü kullanılmalıdır. Çökmenin (slump) yaklaşık olarak 12 cm alınması uygun olabilir. Çelik tel donatılı beton kıvamı akıcı olmamalıdır. Sulu karışımlarda çelik teller yüzeyde kalabilir. Bunun için gerekli önlemler alınmalıdır [7].

- **Serilme/Yerleştirme**

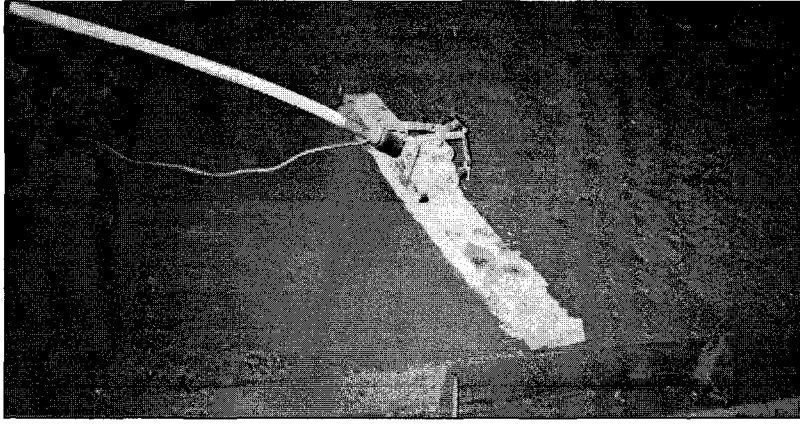
Mikser veya pompadan boşaltılacak beton miktarı, vibrasyon kirişinin düzeltebileceğinden daha fazla olmamalıdır. Bu fazla döküm, inşaatı istenen tabaka kalınlığının 50 mm daha fazlasını geçmemelidir. Betonun çökmesi çok düşük de olmamalıdır, çünkü bu durum dengesiz serilmeye ve vibrasyon kirişinin hareketi sırasında yüzeyde boşluklara neden olabilir.

Görünüş olarak, yüzeyde bulunması istenmeyen bazı çelik tellere rastlanabilir. Yüzeyde açıkta kalan çelik tel uçlarının tel kesicileriyle kesilmesi ve böylece oluşan yüzey kusurlarının uygun bir tamir malzemesiyle tamir edilmesi de önerilir.

- **Sıkıştırma**

Çelik tel donatılı taze betonun sıkıştırılması yüzeye uygulanan vibrasyon kirişi kullanılarak yapılmalıdır. Böyle bir sıkıştırma, çelik tellerin betonun içine gömülmesi için gereklidir. Dalıcı vibratörler yeterli üniformaluluk sağlamazlar ve yüzeydeki tellerin azaltılmasına katkıda bulunmazlar. En son mastarlama ise “mekanik perdah makinesi” (helikopter) ile yapılmalıdır. İyi bir yüzeyin elde edilmesi için en son perdah işleminin uygulanma süresi büyük önem taşır.

Aşağıda, Şekil 2.3.'de ÇTDB'nin yerleştirilmesi için kullanılan vibratörlü yüzey mastarı görülmektedir, Şekil 2.4.'de ise bir helikopter uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.3 Vibratörlü Yüzey Mastarı

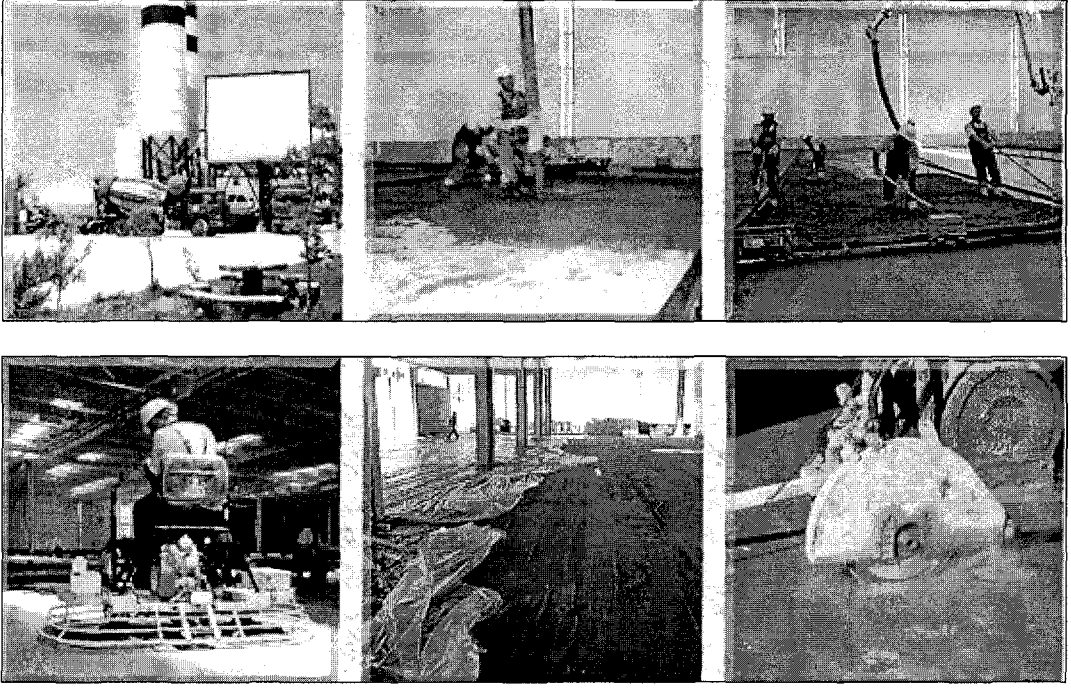


Şekil 2.4 Helikopter Uygulaması

2.8 ÇTDB'nin Düzeltilmesi

Bilinen zemin düzeltme teknikleri kullanılabilir. Malzemeler ve ekipman kadar beton yüzeyinin düzeltilmesi yüzeyin kalitesi bakımından büyük önem taşır. Yüzeyde çelik tellerin görünmemesi için helikopterle yapılabilecek en son düzeltme süresi de önemlidir. Bu bağlamda çelik tel için 20-25 kg/m³ değerlerini aşan dozajlarda yüzeyde kalanların sayısını azaltma yönünde gerekli önlemler alınmalıdır.

Şekil 2.5.'de bir çelik tel donatılı zemin betonu uygulamasının aşamaları gösterilmektedir. Bu aşamalar sırayla; 1) Çelik tel donatılı betonun üretilmesi, 2) Çelik tel donatılı betonun pompa ile dökümü, 3) Vibrasyon kirişiyle ÇTDB'nin yerleştirilmesi / sıkıştırılması, 4) Helikopter ile yüzeyin düzeltilmesi, 5) Bakım ve kür uygulanması, 6) Derz kesim işlemi.



Şekil 2.5 Ç.T.D.Zemin Betonunun Uygulama Aşamaları

2.9 Bakım ve Kür

Kür, betonun nemli tutularak çimentonun suyla olan hidratasyon reaksiyonunun devamının sağlanmasıdır. Beton birkaç saat içinde sertleştiği halde, nemli tutulması durumunda dayanım kazanmaya sonsuza dek devam edebilir. Dayanım kazanma hızı başlangıçta fazladır ancak zamanla yavaşlar. Eğer beton çok çabuk kurursa, potansiyel dayanımının ancak bir kısmını kazanabilir.

Çoğunlukla önemsenmeyen kürün önemi büyüktür. Tüm betonlar iyi kür edilmelidir ancak döşemelerde kür özellikle önemlidir; çünkü bunlar kurumaya maruz geniş alanlardır. Döşeme yapımında yetersiz kür zayıf bir yüzeye neden olarak aşağıdaki sorunlara yol açar:

- düşük aşınma dayanımı,
- derzlerde dökülmeler,
- kimyasal etkilere karşı düşük dayanım,
- don etkisine karşı düşük dayanım.

Yetersiz kür yapısal sorunlara da yol açabilir. Kür yöntemleri genel olarak üç sınıfa ayrılabilir:

- ıslak kür yöntemleri
- su geçirimsiz örtü malzemeleri
- kür malzemeleri

Islak kür yöntemleri betona dışarıdan sürekli su sağlayarak nemli tutarken diğer yöntemler zaten beton içinde mevcut bulunan suyun muhafaza edilmesini sağlar.

2.9.1 Islak Kür

Bu terim betona dışarıdan su sağlanmasını ifade eder. Islak kür çeşitli şekillerde olabilir:

- Göllendirme mükemmel bir kür sağlayabilir ancak bazı uygulama sorunları vardır. Kürün yanında bu yöntem betonun sıcaklık değişimlerinde oluşan bazı çatlaklarını önleyebilir.
- Suyun yağmurlama şeklinde uygulanması önerilmektedir ancak uygulaması pratik değildir. İyi sonuç alabilmek için yağmurlama sistemi tüm döşemeyi kaplamalı ve sürekli olarak yapılmalıdır.
- Kum veya talaş gibi gevşek malzemelerin yüzeye serilmesi de başka bir uygulamadır. Malzeme sık sık sulanmalıdır. Bazı malzemeler yüzeyde lekelerle neden olabilir.
- Su emici örtü malzemelerinin kullanımı ise daha pratiktir. Bunlar da kurumalarını önlemek için gevşek malzemeler gibi belirli aralıklarla ıslatılmalıdır.
- Uygulamada ıslak kür yöntemleri her zaman etkili olmayabilir, çünkü kürlemeyi yapan işçiler her zaman dikkatli değildir.

2.9.2 Su Geçirimsiz Örtü Malzemeleri

Bu malzemeler betondaki nem kaybını azaltırlar. En yaygın örtü malzemesi polietilen örtülerdir. Sıcak havada dışarıda dökülen betonlar için beyaz renkli olanlar daha uygundur. Örtü malzemeleri tüm döşemeyi kaplamalı ve kür süresi boyunca döşemeyi örtülü tutmalıdır. Döşeme rüzgara karşı korumalı değilse örtünün rüzgarla uçması önlenmelidir. Taze bir zemin betonunun korunması Şekil 2.6.'da görülmektedir. İlk günlerde betonda hidratasyon için gerekli olan suyun sağlanması için beton sulanmalı, sonra tekrar polietilen bir örtü ile örtülerek korunmalıdır. Sertleşen betonun yüzeyinin polietilen bir örtü ile veya bir branda ile kapatılması yararlıdır.



Şekil 2.6 Taze Bir Zemin Betonunun Korunması

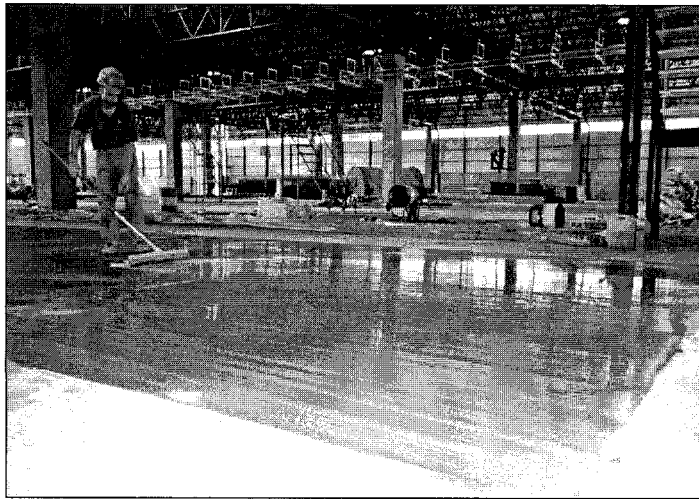
2.9.3 Kür Malzemeleri

Bunlar döşeme yüzeyinde kuruyarak veya sertleşerek yüzeyde bir su tutucu tabaka oluşturan sıvı malzemelerdir. Genellikle yüzeye püskürtülerek uygulanırlar ancak fırça ile de uygulanabilirler.

Çok çeşitli kür malzemeleri üretilmektedir, ancak döşemelerde kullanılanlar şu türlerdir;

- reçine esaslı kür malzemeleri
- parafin esaslı kür malzemeleri
- silikat solüsyonları

Şekil 2.7’de zemin betonunun yüzeyine kür malzemesinin fırça ile uygulanması görülmektedir.



Şekil 2.7 Kür Malzemesinin Fırça ile Uygulanması

Bu malzemelerin etkinliklerini belirlemek için bazı deney teknikleri İngiliz ve Amerikan standartlarında verilmektedir.

Kür Malzemelerinin Kullanılmadığı Durumlar

Bu tür malzemeler, yüzeyin erken yaşta zımparalanarak düzeltildiği döşemelerde kullanılamaz, çünkü zımpara işlemi malzemeyi yüzeyden kaldırır ve küre son verir.

Yüzeye uygulanan kür malzemeleri kaplamaların yüzeye yapışmasını engelleyebildiği için, yüzeye kaplama uygulanacaksa kür malzemesinin yapışmayı etkilemediğinden emin olunmalıdır.

Kür Yönteminin Seçimi

Kür yönteminin seçimi için bazı sorulara yanıt aramak gereklidir. Bu sorular şöyle sıralanabilir: Düşük maliyet önemli midir? Döşeme üzerine kaplama yapılacak mıdır? Yapılan iş yakından takip ediliyor mu? Döşeme ağır kuruma koşullarının etkisinde kalacak mı?

2.9.4 Zamanlama

Son yüzey işlemleri tamamlandıktan sonra kür işlemine başlanmalıdır. Bu durum çok önemlidir. Sıcak, kuru veya rüzgarlı havalarda tüm döşemenin dökülüp bitirilmesini beklemek uygun değildir, bitirilen her döşeme bölgesine hemen kür uygulanmalıdır.

Kür süresi ne kadar olmalıdır? Kür malzemesi uygulanan yüzeyler için bu soru gereksizdir çünkü bu malzemeler etkilerini haftalarca sürdürür. Diğer kür yöntemleri için 7 gün tavsiye edilmektedir ancak uzun kür süreleri yararlıdır, döşemenin aşınma dayanımı artmaya devam eder. Yavaş dayanım kazanan puzolanlı çimentolarla yapılan betonlar için uzun kür süreleri özellikle gereklidir [7].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Giriş

Yapılan deneyin amacı; elastik zemine oturan çelik tel donatılı beton plakların merkezine (ortasına) etkiyen tekil yük altındaki davranışını incelemektir. Çelik tel donatılı olarak üretilen beton plaklar pratikte endüstriyel zemin olarak kullanılmakta ve merkeze etkiyen tekil yük de endüstriyel zeminin kullanım alanına göre tekerlek yükünü ya da raf ayağının aktardığı yükü veya bir makine elemanının aktardığı yükü temsil etmektedir.

3.2 Deney Programı

Tam ölçekli olarak yapılan deney 3,0 x 3,0 x 0,15 m boyutlarında dört adet plakla sürdürülmüştür. Çelik tel içeriğinin etkisinin ve plağın oturduğu elastik zeminin yatak katsayısının etkisinin incelenebilmesi amacıyla, iki farklı zemin tipi ve iki farklı tel içeriğinin denenmesi uygun görülmüştür. Bu amaçla hazırlanan deney numunelerinde (plaklarda) beton sınıfı sabit tutulmuş ve “C 30” olarak belirlenmiştir. Elastik zemini laboratuvar ortamında modellemek için ısı yalıtımı amacıyla kullanılan “Ekstrüde Polistiren Köpük” (Styrofoam) levhalar kullanılmıştır.

Farklı zemin tipi modelleyebilmek, dolayısıyla farklı yatak katsayısı elde edebilmek amacıyla elastisite modülleri bilinen iki farklı tipteki styrofoam levha, farklı kalınlıklarda kullanılarak iki tip elastik zemin modeli oluşturulmuştur. Kullanılan styrofoamların tipine göre elastisite modülü değerleri ve uygulanan kalınlığa göre hesaplanan yatak katsayısı değerleri aşağıda, Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

Tablo 3.1 Yataklık Yapan Malzemeler için Yatak Katsayısı Değerleri

Styrofoam Tipi	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Uygulanan Kalınlık (mm)	Yatak Katsayısı (K) (N/mm ³)
FLOORMATE 500 SL-T	4,85	60	0,08
ROOFMATE 300 SL	3,10	80	0,04

Tel içeriği değişiminin plak davranışına etkisini gözlemleyebilmek için üretilen plaklardan ilk ikisinin çelik tel içeriği 30 kg/m^3 , diğer ikisinin çelik tel içeriği ise 20 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Plakların üretiminde tek tip çelik tel kullanılmıştır. Kullanılan çelik telin tipi kancalı uçlu, narinliği (uzunluk/çap) 80, boyu 60 mm ve çekme dayanımı 1050 N/mm^2 dir.

Deneyde kullanılan plaklar için oluşturulan parametreler aşağıda, Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2 Deneyde Kullanılan Plaklar için Oluşturulan Parametreler

Plak Adı	Beton Sınıfı	Çelik Tel Tipi	Çelik Tel Dozajı (kg/m^3)	Yatak Katsayısı (N/mm^3)
P1	C 30	Kancalı Uçlu Dramix, 80/60	30	0,08
P2	C 30	Kancalı Uçlu Dramix, 80/60	20	0,08
P3	C 30	Kancalı Uçlu Dramix, 80/60	30	0,04
P4	C 30	Kancalı Uçlu Dramix, 80/60	20	0,04

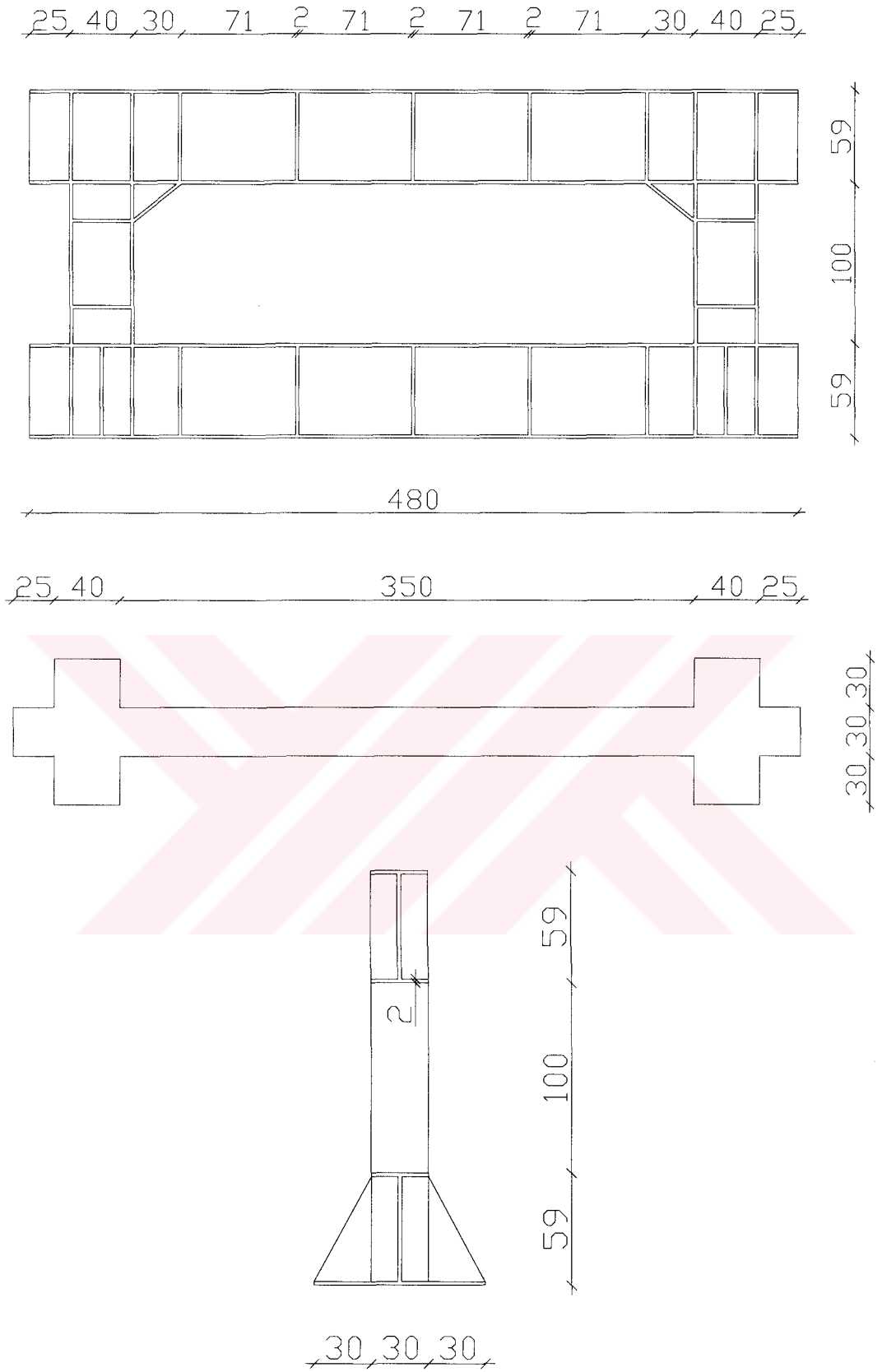
Deney yükleme kontrollü olarak yapılmıştır. Yerdeğiştirmeler, plağın 16 noktasına, düşey yerdeğiştirmeleri 10^{-3} mm hassasiyetinde ölçen transducerlar yerleştirilerek, okunmuştur. Yükleme bir ton’luk yük adımlarıyla plak kırılana kadar uygulanmıştır. Her yükleme adımından sonra ölçüm bilgileri alınmıştır. Her 10 ton’da bir çatlak ölçümü yapılmıştır.

3.3 Deney Düzenegi

Deneyde beş temel ekipman kullanılmıştır. Bunlar; 1) Yükleme çerçevesi, 2) El ile yükleme yapmayı sağlayan krika, 3) Ölçüm çerçevesi, 4) Ölçüm cihazları, 5) Ölçüm verilerini toplayan veri toplayıcısı (data logger)

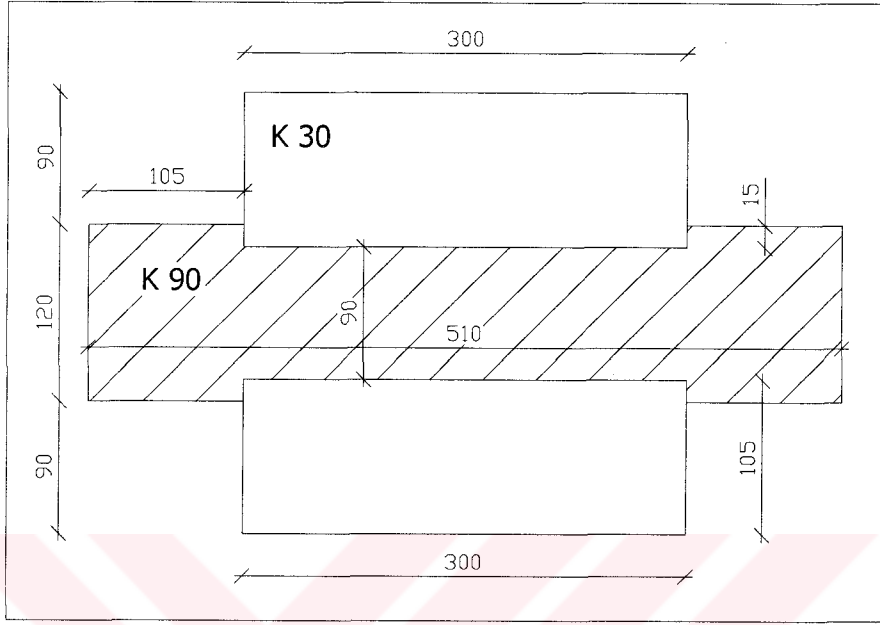
3.3.1 Yükleme Çerçevesi

Çelik tel donatılı plakların merkezine tekil yük uygulanabilmesi için bir yükleme çerçevesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla 80 ton yüke dayanıklı, çelik bir çerçeve sistemi dizayn edilmiştir. Çerçevenin boyutları, üstten görünüşü ve enkesiti Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



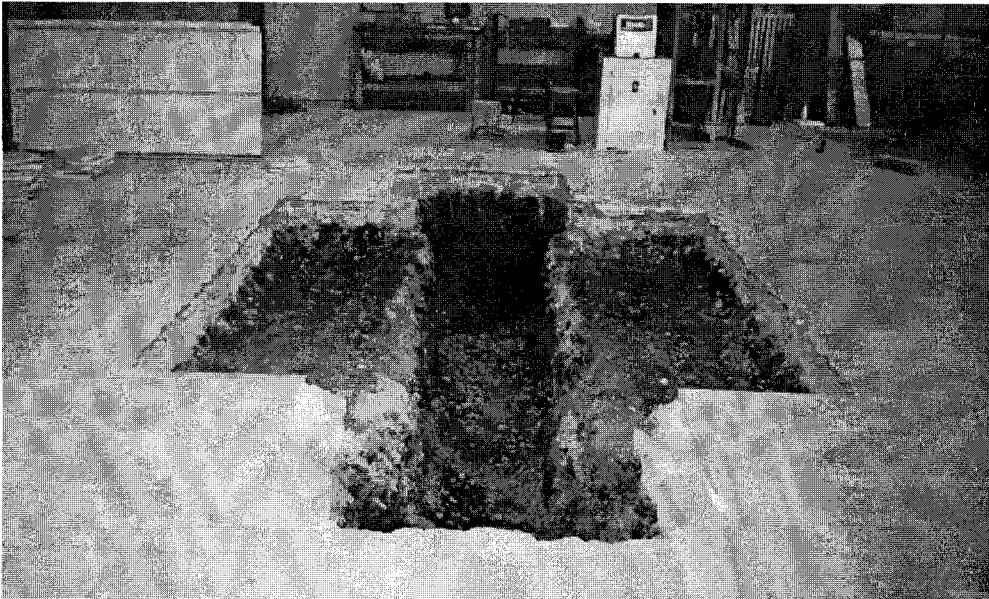
Şekil 3.1 Yükleme Çerçevesinin Boyutları, Üstten Görünüşü ve En Kesiti
(Ölçüler cm dir)

Yükleme çerçevesi İTÜ İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda belirlenen bir alana yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi yapılmadan önce çerçevenin oturacağı alan belirlenip kazı çalışması yapılmıştır. Yapılan kazı çalışmasının krokisi şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Yapılan Kazı Çalışmasının Krokisi (Ölçüler cm dir)

Şekil 3.2'de görülen K 30; 30 cm'lik kazı derinliğini, K 90 da; 90 cm'lik kazı derinliğini belirtmektedir. Yapılan kazı çalışması sonucunda çelik çerçevenin yerleştirilebileceği Şekil 3.3'de görülen alan elde edilmiştir.



Şekil 3.3 Kazı Sonrası Elde Edilen Alanın Görünümü

Daha sonra 30 cm ve 90 cm derinliğinde kazı yapılarak elde edilen alanların üzerine 10 cm kalınlığında gro-beton dökülerek yüzey düzgünlüğü sağlanmıştır. Gro-beton döküm işlemi şekil 3.4’de görülmektedir.

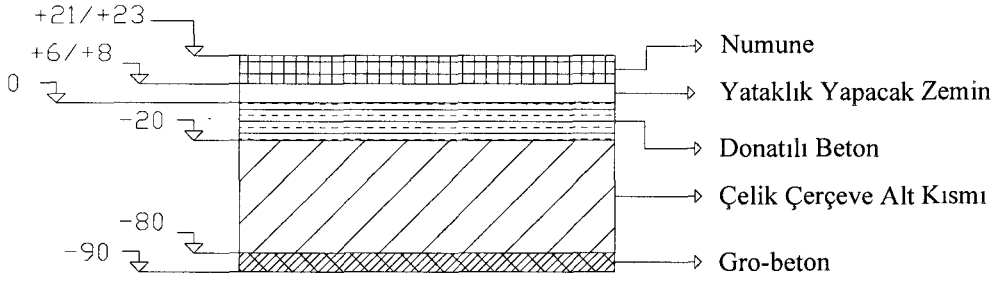


Şekil 3.4 Gro-beton Döküm İşlemi

Gro-beton döküldükten sonra, 90 cm derinliğinde kazı yapılan dikdörtgen alana, çelik çerçeve vinç ile taşınarak düzeç yardımıyla yerleştirilmiştir. Çerçeve yerleştirildikten sonra, çerçevenin alt başlığının yüksekliği 60 cm olduğundan, çerçeve alt başlığının üst kotu ile 30 cm kazı yapıp 10 cm gro-beton dökülen kısımların kotu eşit hizaya gelmiştir. Laboratuvar zeminine göre -20 cm’de bulunan 3,0 m x 3,0 m’lik bu alana çift sıra BÇ I (St I) sınıfı $\phi 10/200$ (20 cm ara ile 10 mm çapında) demir hasır şeklinde döşenmiş ve daha sonra C 30 sınıfı betonla tüm alanın beton döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece 3,0 m x 3,0 m boyutlarında olan deney plaklarının oturacağı alan 20 cm kalınlığında, çift sıra hasır donatılı betonarme plak olarak teşkil edilmiştir.

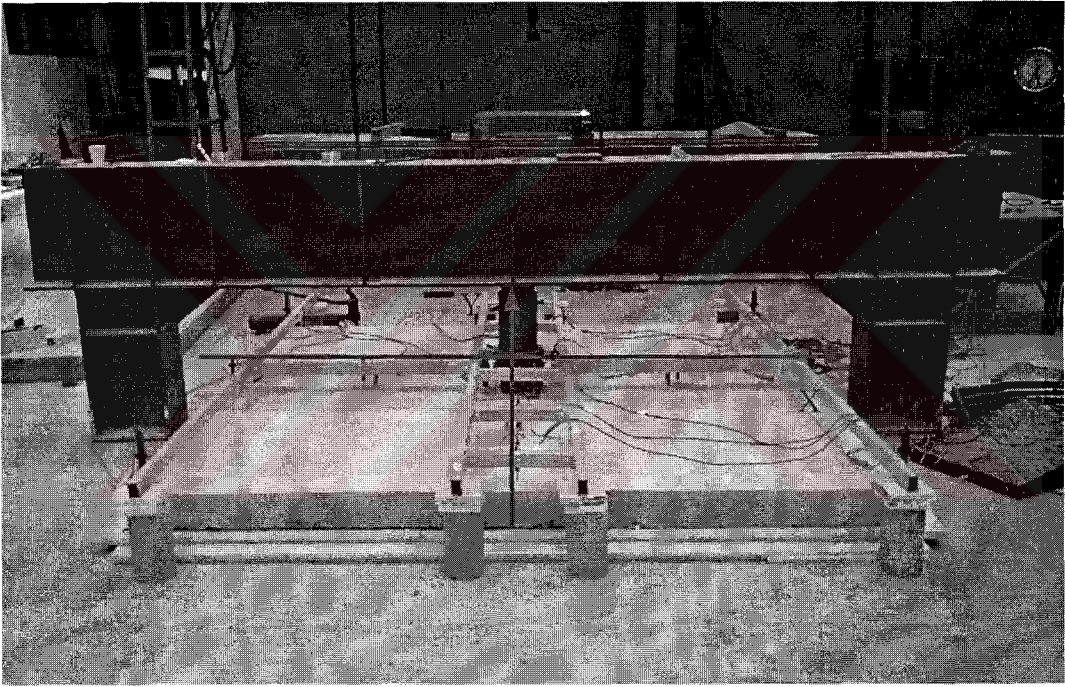
Aynı zamanda çerçeve alt başlığının kenarları ile kazı yapılan zemin arasındaki boşluklara da beton dökümü öncesi çift sıra çelik hasır döşenmiş ve bu hasırlar 20 cm’lik çift sıra olarak döşenen döşemenin demirlerine bağlanmıştır. Böylece yükleme çerçevesi zemine çok iyi bir şekilde ankre edilmiştir. Zaten çerçeve sisteminin kapalı olması nedeniyle yükleme çerçevesinin aşırı yüklemde zeminden sıyrılması mümkün değildir.

Deney yapılacak 3,0 x 3,0 x 0,15 m boyutlarındaki plakların oturacağı alandaki zeminin kesiti Şekil 3.5’de görülmektedir. Kesit plak orta çizgisine göre alınmıştır. (Yükleme çerçevesinin altında kalan kısım)



Şekil 3.5 Deney Plaklarının Oturacağı Zeminin Kesiti

Deney düzeneğinin genel bir görünümü, deneyde kullanılan temel ekipmanlardan yükleme çerçevesi, el ile yükleme yapılan kriko, ölçüm çerçevesi ve ölçüm çerçevesine bağlanan transducerlar Şekil 3.6’da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Deney Düzeneğinin Genel Görünümü

3.3.2 El ile Yükleme Yapılan Kriko

Yapılan deneyde, üretilen plakların merkezine (ortasına) tekil yük uygulayabilmek için, el ile yükleme yapmayı sağlayan bir kriko sistemi kullanılmıştır. Kullanılan krikonun kalibrasyonunu yapmak için, aksenal basınç deneyi yapılan deney aleti kullanılmış ve böylece krikonun gösterge kısmından okunan okuma saati değerleri, ton birim sistemi ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemi için, kriko deney aletine yerleştirilip, piston kısmı tam açıkken ki boyun 1/4’ü açılarak, basınç uygulanmıştır.

Deney aletinden okunan ton değerlerine karşılık gelen, krikonun göstergesinden okunan, okuma saati değerleri kaydedilmiştir. Kalibrasyon işlemi üç kez tekrarlanmış ve değerlerin ortalaması alınarak krikonun kalibrasyonu tamamlanmıştır. Tablo 3.3’de yapılan kalibrasyon işlemi sonucu elde edilen, krikonun okuma saati değerlerine karşılık gelen ton değerleri görülmektedir.

Tablo 3.3 Krikonun Kalibrasyonu

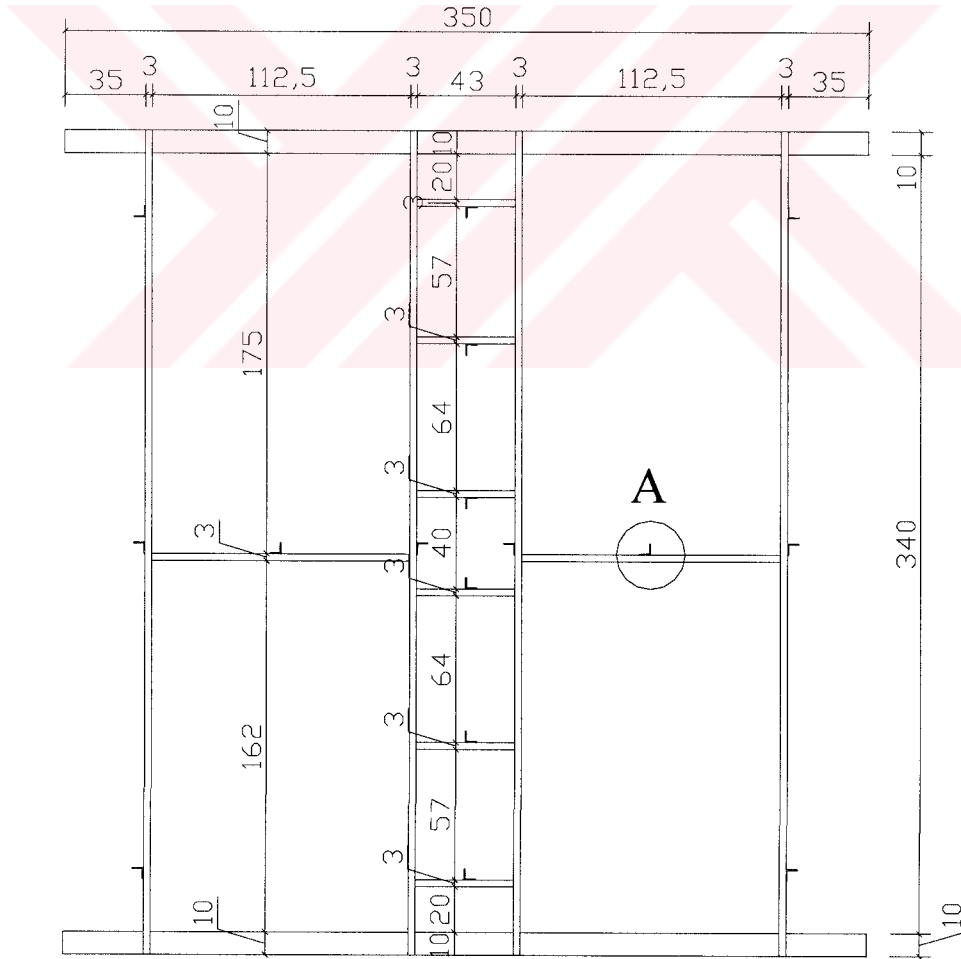
Okuma Saati Değerleri	I.Kalibrasyon Ton Değerleri	II.Kalibrasyon Ton Değerleri	III.Kalibrasyon Ton Değerleri	Ortalama Ton Değerleri
5	1,50	1,50	1,50	1,50
10	2,00	2,00	2,00	2,00
15	3,00	3,00	3,00	3,00
20	4,00	4,00	4,00	4,00
25	5,00	5,00	5,00	5,00
30	6,20	6,25	6,00	6,15
35	7,15	7,50	7,25	7,30
40	8,50	8,50	8,50	8,50
45	9,40	9,50	9,75	9,55
50	10,50	10,50	10,50	10,50
55	11,50	11,60	12,00	11,70
60	12,50	12,75	13,00	12,75
65	14,00	14,00	14,00	14,00
70	15,00	15,00	15,00	15,00
75	16,00	16,00	16,00	16,00
80	17,00	17,00	17,00	17,00
85	18,00	18,00	18,00	18,00
90	19,20	19,00	19,40	19,20
95	20,00	20,25	20,50	20,25
100	21,50	21,00	22,00	21,50
105	22,20	22,20	22,50	22,30
110	23,20	23,25	23,50	23,32
115	24,25	24,25	24,25	24,25
120	25,40	25,25	25,50	25,38
125	26,25	26,25	26,25	26,25
130	27,30	27,40	27,50	27,40
135	28,50	28,50	28,50	28,50
140	29,50	29,50	29,50	29,50
145	30,50	30,70	30,75	30,65
150	31,75	31,75	31,75	31,75
155	32,75	32,75	32,75	32,75
160	33,80	33,75	34,00	33,85
165	35,00	35,00	35,00	35,00
170	36,00	36,00	36,00	36,00
175	37,00	37,00	37,00	37,00
180	38,00	38,00	38,00	38,00
185	39,25	39,00	39,50	39,25
190	40,00	40,00	40,00	40,00
195	41,25	41,25	41,25	41,25

200	42,25	42,25	42,25	42,25
205	43,25	43,25	43,25	43,25
210	44,50	44,50	44,50	44,50
215	45,50	45,50	45,50	45,50
220	46,50	46,50	46,50	46,50
225	47,50	47,50	47,50	47,50
230	48,75	48,75	48,75	48,75
235	49,75	49,75	49,75	49,75
240	50,75	50,75	50,75	50,75
245	51,75	51,75	51,75	51,75
250	53,00	53,00	53,00	53,00
255	54,00	54,00	54,00	54,00
260	55,00	55,00	55,00	55,00
265	56,25	56,25	56,25	56,25
270	57,30	57,25	57,50	57,35
275	58,50	58,50	58,50	58,50
280	59,50	59,50	59,50	59,50
285	60,50	60,50	60,50	60,50
290	61,50	61,50	61,50	61,50
295	62,50	62,50	62,50	62,50
300	63,50	63,50	63,50	63,50
305	64,50	64,50	64,50	64,50
310	65,50	65,50	65,50	65,50
315	66,50	66,50	66,50	66,50
320	67,50	67,50	67,50	67,50
325	68,60	68,50	68,70	68,60
330	69,75	69,75	69,75	69,75
335	71,00	71,00	71,00	71,00
340	72,00	72,00	72,00	72,00
345	73,00	73,00	73,00	73,00
350	74,00	74,00	74,00	74,00
355	75,00	75,00	75,00	75,00
360	76,00	76,20	76,25	76,15
365	77,00	77,00	77,00	77,00
370	78,25	78,25	78,25	78,25
375	79,00	79,00	79,00	79,00
380	80,00	80,00	80,00	80,00

Kriko 80 ton'a kadar kalibre edilmiştir. Yapılan deneyde yükleme, krikonun okuma saatine bakılarak, her 5 okuma saati biriminde, plak üzerine yerleştirilen 16 noktada ölçüm alınarak, kademeli olarak yapılmıştır. Her 5 okuma saati birimi artışı, ortalama 1 ton'luk yük artımına denk gelmektedir. Kısaca yükleme, birer tonluk yük artımı yapılarak, kademeli olarak yapılmış ve her yük adımına karşılık gelen yerdeğişmeler kaydedilmiştir.

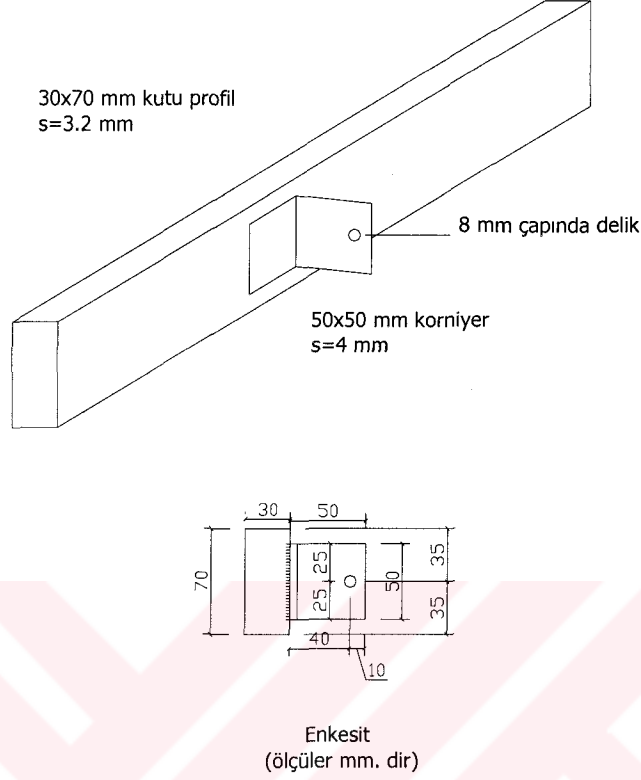
3.3.3 Ölçüm Çerçevesi

Deney yapılan plakların, yükleme etkisinde gerçekleştirdiği yerdeğişirmeleri ölçebilmek için transducer adı verilen ölçüm cihazının kullanılmasına karar verilmiştir. Transducer'ların bağlanabileceği, deney sisteminden (yükleme çerçevesi, krika, plak v.b.) bağımsız, bir ölçüm çerçevesi sistemi dizayn edilmesi gerekmiştir. Dizayndan önce plak üzerinde kaç noktadan yerdeğişirmelerin okunacağı kararlaştırılmıştır. Bu karara göre plak orta noktasından geçen ve plağın kenarlarına paralel olan X ve Y doğrultularında altışar noktada ve plak köşelerinde dört noktada olmak üzere, $6+6+4=16$ noktada ölçüm yapılmasına karar verilmiştir. Bu ölçme düzenine uygun, transducer'ların takılabileceği bir ölçüm çerçevesinin dizaynı yapılmış ve imal ettirilmiştir. Dizaynı yapılan ölçüm çerçevesinin çizimi ve boyutları Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Ölçüm Çerçevesinin Boyutları (Ölçüler cm dir.)

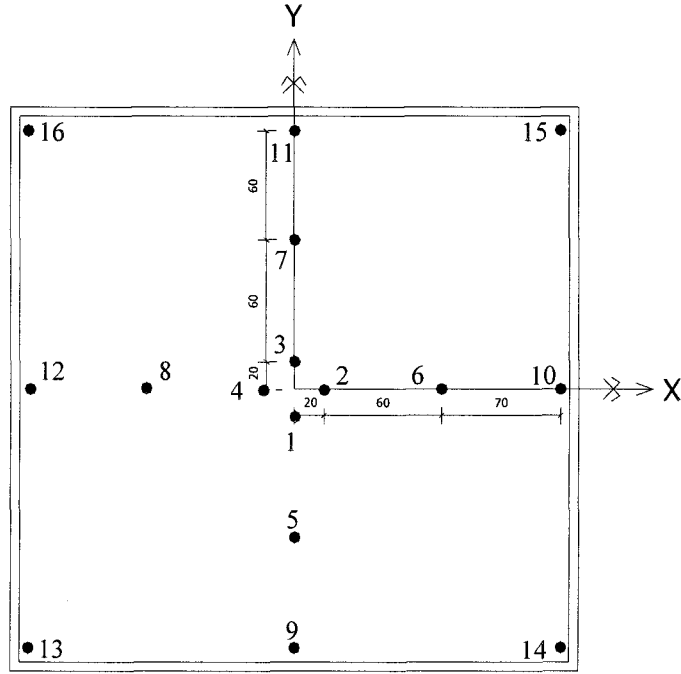
Şekil 3.7’de işaretlenmiş olan A noktası, transducer’ların bağlantı noktalarına bir örnektir. A noktasının detayı, ölçüm çerçevesinin üretildiği çelik profilin boyutları ve kesiti Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8 Transducer Bağlantı Noktası Detayı

3.3.4 Ölçüm Cihazları

Daha önce belirtildiği gibi ölçüm cihazı olarak, kendi eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirmeleri, mm’nin binde biri hassasiyetinde ölçebilen “Transducer”lar seçilmiştir. Plak üzerindeki 16 noktadan 8’inde 50 mm’lik transducer, diğer 8’inde ise 25 mm’lik transducer kullanılması öngörülmüştür. Plak orta noktası etrafındaki 4 ölçüm noktası ve plak köşelerindeki 4 ölçüm noktası için 50 mm’lik, diğer 8 nokta için ise 25 mm’lik transducerlar kullanılmıştır. Kullanılan transducerların yerleşim planı Şekil 3.9’da görülmektedir.



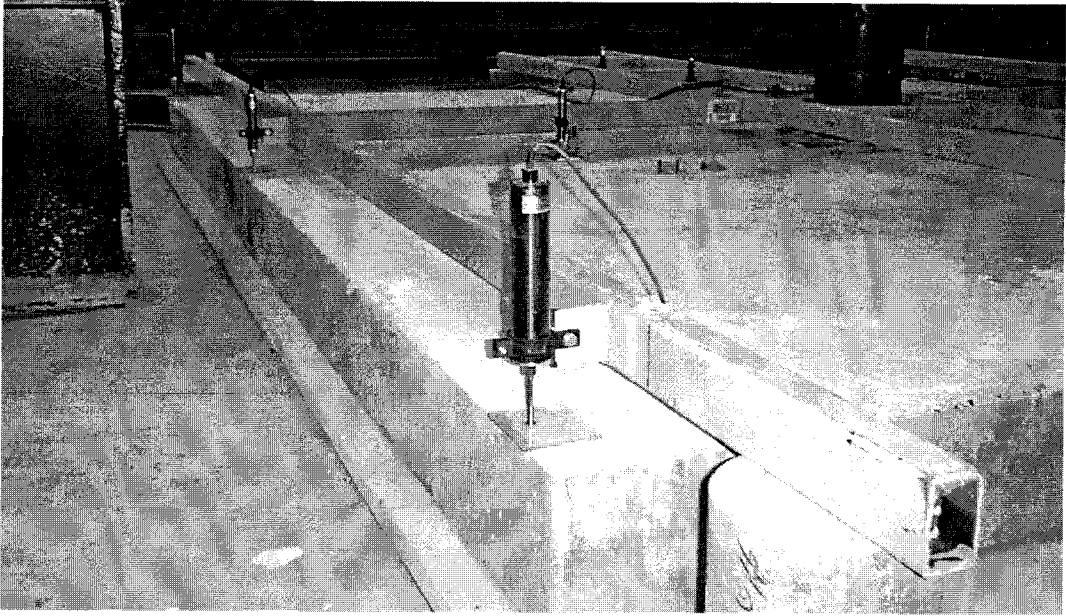
Şekil 3.9 Transducer Yerleşim Planı

Şekil 3.9'daki planda görülen transducerların yer numaralarına göre tipleri aşağıda, Tablo 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4 Kullanılan Transducer Tipleri

Transducer Yer Numarası	Kullanılan Transducer Tipi
1, 2, 3, 4, 13, 14, 15, 16	50 mm'lik Transducer
5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	25 mm'lik Transducer

Deney yapılacak plak üzerine, transducerların ucunun basacağı yerlere, yüzey düzgünlüğünü sağlamak ve sağlıklı ölçüm yapabilmek için 5 x 5 cm boyutlarında cam levhalar kesilerek alçı ile yapıştırılmıştır. Daha sonra transducerlar, çökme beklenen yerlerde strokları kapalı, kalkma beklenen yerlerde ise strokları açık olarak Şekil 3.8'de detayı görülen, ölçüm yapılacak olan noktalara bağlanmışlardır. Şekil 3.10'da plak köşe noktasına bağlanmış 50 mm'lik bir transducer görülmektedir.



Şekil 3.10 Ölçüm Cihazı (Transducer)

3.3.5 Veri Toplayıcısı (Data Logger)

Transducerların her birinden çıkan kablolar bir veri toplayıcısına (data logger) bağlanarak ölçümlerin kaydedilmesi sağlanmıştır. Yükleme kademeli olarak, 5 okuma saati değerine eşdeğer ortalama 1 tonluk yük artımı ile yapılmıştır. Her yük kademesinde, data logger'a bağlı bir butona basılmak suretiyle, plak üzerinde bulunan 16 noktanın yer değiştirme değerleri kaydedilmiştir. Deney bitiminde elde edilen data diskete kaydedilerek, bilgisayar ortamına aktarılmış ve datanın analizi yapılmıştır.

3.4 Malzeme Özellikleri

3.4.1 Yataklık Yapan Malzemelerin Özellikleri

Daha önce belirtildiği gibi, elastik zemini modelleyebilmek için iki farklı tipte styrofoam levha kullanılmıştır. Üretici firmanın malzeme kataloğundan, malzeme özellikleri ile ilgili bilgilere ulaşılmıştır. Kullanılan malzeme ile ilgili teknik veriler Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Yataklık Yapan Malzemeler için Teknik Veriler

Styrofoam Tipi	Yoğunluk (kg/m ³)	Basma Dayanımı (%10 Deformasyon)	Boyutlar (mm)
FLOORMATE 500 SL-T	40-48	C5 sınıfı (500 kPa)	1250x600x60
ROOFMATE 300 SL	32-38	C3 sınıfı (300 kPa)	1250x600x40

Deneyde P1 ve P2 plakları için Floormate 500 SL-T tipi styrofoam levha 60 mm kalınlığında, tek tabaka olarak kullanılmıştır. P3 ve P4 plakları için de Roofmate 300 SL tipi styrofoam levha 80 mm kalınlığında, iki tabaka halinde (40+40 mm) kullanılmıştır.

Zemin modellemesinde, zeminin yan yana gelmiş elastik yaylardan ibaret yani winkler zemini olduğu kabul edilmiştir. Bu kabule göre; zemin gerilmeleri ile meydana gelen çökme değerleri doğru orantılıdır [6].

$$\text{Zemin gerilmesi} = K \times \text{Düşey çökme} \quad (3.1)$$

3.1 denklemi ile ifade edilen bu “K” orantı katsayısı, yatak katsayısı olarak tanımlanır. Zemin gerilemsine " σ " ve düşey çökmeye de " Δl " dersek.

$$K = \frac{\sigma}{\Delta l} \quad (3.2)$$

olur. Zemini modelleyecek malzemenin Elastisite Modülü bilinmektedir. Elastisite Modülü, malzemenin lineer elastik davrandığı bölgede, gerilmenin şekil değiştirmeye oranıdır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad ; \quad \sigma = E \times \varepsilon \quad (3.3)$$

Şekil değiştirme de malzemede uzama ya da kısalma miktarının malzemenin ilk boyuna oranı olarak tariflenir.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad ; \quad \Delta l = \varepsilon \times l \quad (3.4)$$

Denklem (3.2)'de denklem (3.3) ve (3.4)'de verilen σ ve Δl değerleri yerine konursa

$$K = \frac{E}{l} \quad (3.5)$$

sonucu elde edilir.

Denklem (3.5) kullanılarak, deneyde kullanılan iki farklı tipteki styrofoam malzeme için yatak katsayıları şu şekilde bulunmuştur.

$$\text{FLOORMATE 500 SL-T için; } K = \frac{4,85 \text{ N/mm}^2}{60 \text{ mm}} = 0,08 \text{ N/mm}^3$$

$$\text{ROOFMATE 300 SL için; } K = \frac{3,10 \text{ N/mm}^2}{80 \text{ mm}} = 0,04 \text{ N/mm}^3$$

Tablo 3.6'da önemli zemin türleri için ortalama yatak katsayısı değerleri verilmiştir.

Tablo 3.6 Önemli Zemin Türleri için Ortalama Yatak Katsayıları

Zemin Türü	Ortalama Yatak Katsayıları (N/mm ³)
Balçık, turba	< 0,002
Plastik kil	0,005 – 0,010
Yarı sert kil	0,010 – 0,015
Sert kil	0,015 – 0,030
Dolgu toprak	0,010 – 0,020
Gevşek kum	0,015 – 0,030
Orta sıklıkta kum	0,020 – 0,050
Sıkı kum	0,050 – 0,100
Sıkı kum ve çakıl	0,100 – 0,150
Sağlam şist	> 0,5
Kaya	> 2

Tablo 3.6'ya göre deneyde kullanılan styrofoam levhalardan; Floormate 500 SL-T “sıkı kum”, Roofmate 300 SL ise “orta sıklıkta kum” türünde bir zemini modellemektedir.

3.4.2 Kullanılan ÇTDB'nin Karakteristik Değerleri

Yapılan deneyde bütün deney plakları için C 30 sınıfı beton kullanılmıştır. P1 ve P3 plakları için 30 kg/m³ tel içeriği, 5 m³'lük transmikslerdeki hazır betona 150 kg dramix (80/60) katılarak; P2 ve P4 plakları için 20 kg/m³ tel içeriği, 5 m³'lük

transmikserdeki hazır betona 100 kg dramix (80/60) katılarak sağlanmıştır. Plak dökümleri iki set halinde yapılmıştır. Her döküm öncesi 6 adet 15x15x15 cm boyutlarında küp ve 6 adet çapı 15 cm, yüksekliği 30 cm olan silindir numune alınmıştır. Alınan küp numunelerin 3 tanesi 28 günden sonra, diğerleri plak yükleme deneyinin yapıldığı gün kırılmıştır. Silindir numunelerin, eksenel basınç altında şekil değiştirmeleri ölçülmüş ve numuneye ait gerilme – şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir. Kırılma yükünün 1/3'üne kadar olan kısımda numunenin lineer elastik davrandığı kabul edilmiştir ve bu bölge için Elastisite Modülü hesaplanmıştır.

P1 ve P3 plakları için hazırlanan, 30 kg/m³ tel içeren betondan alınan numunelerin deney sonuçları Tablo 3.7'de verilmektedir. Bu beton karışımı "C30/S30" olarak adlandırılmıştır. C30 beton sınıfını, S30 tel içeriğini (dozajı) belirtmektedir.

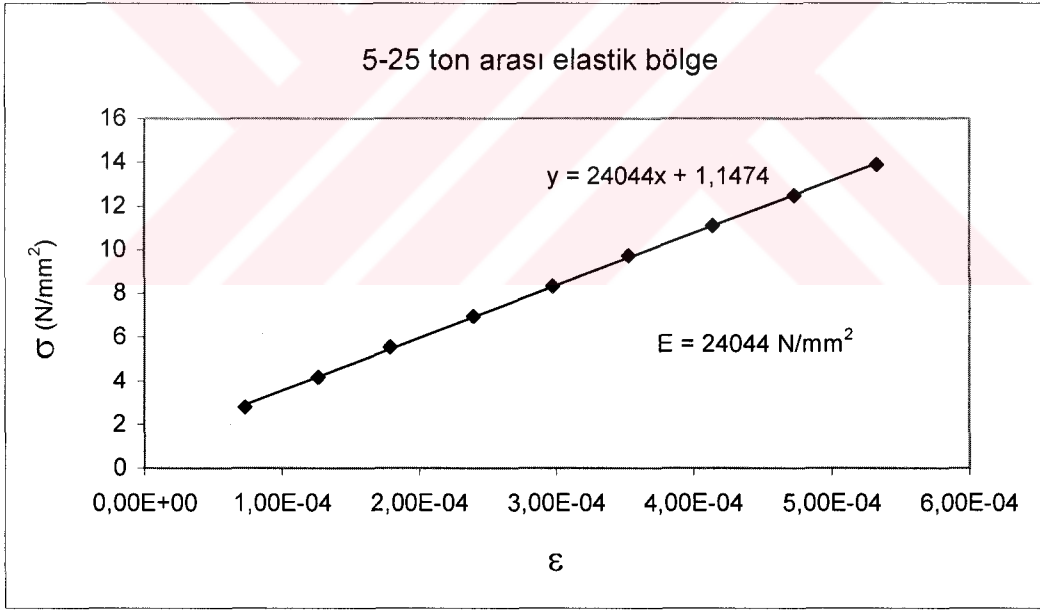
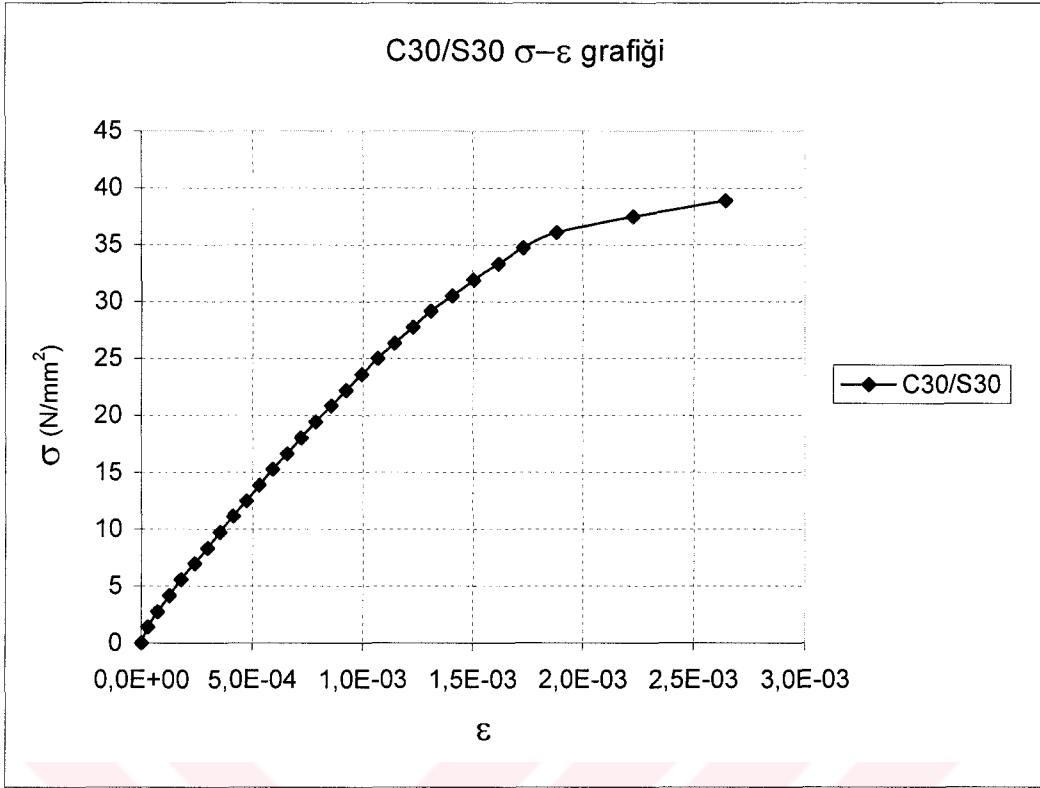
Tablo 3.7 C30/S30 Numunelerinin Deney Sonuçları

Numune Kod No:	Üretim Tarihi	Deney Tarihi	Yaş Gün	Biçim	Boyutlar (cm)	Kırılma Kuvveti (kN)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
K1	4/11/03	10/12/03	36	küp	15x15x15	891	39,6
K2	4/11/03	10/12/03	36	küp	15x15x15	904	40,2
K3	4/11/03	10/12/03	36	küp	15x15x15	918	40,8
K4	4/11/03	15/03/04	130	küp	15x15x15	1057,9	47,02
K5	4/11/03	15/03/04	130	küp	15x15x15	1105,8	49,15
K6	4/11/03	15/03/04	130	küp	15x15x15	1098,4	48,82
S1	4/11/03	15/03/04	130	silindir	d=15, h=30	548,6	31,04
S2	4/11/03	15/03/04	130	silindir	d=15, h=30	666,4	37,71
S3	4/11/03	15/03/04	130	silindir	d=15, h=30	697,4	39,46
S4	4/11/03	15/03/04	130	silindir	d=15, h=30	575,9	32,56
S5	4/11/03	15/03/04	130	silindir	d=15, h=30	638,7	36,14
S6	4/11/03	15/03/04	130	silindir	d=15, h=30	541,7	30,65

Silindir numunelerin 3 tanesi ile yapılan deneylerde şekil değiştirmeler de ölçülmüş ve ortalama değerleri alınarak " $\sigma - \varepsilon$ " grafiği çizilmiş, Elastisite Modülü hesaplanmıştır. C30/S30 için bu 3 deneyin sonuçları Tablo 3.8'de, $\sigma - \varepsilon$ grafiği ve Elastisite Modülü hesaplanması Şekil 3.11'de görülmektedir.

Tablo 3.8 C30/S30 Silindir Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları

YUK (ton)	Kısalmalar (mm x 1000)				Sek. Deg.	Gerilme
	S 4	S 5	S 6	Ort.	(ε)	(σ)
0	0	0	0	0	0,00E+00	0,00
2,5	10	10	8	9	3,05E-05	1,39
5	23	24	20	22	7,30E-05	2,78
7,5	37	40	39	39	1,26E-04	4,16
10	52	56	56	55	1,79E-04	5,55
12,5	69	75	76	73	2,40E-04	6,94
15	85	92	96	91	2,97E-04	8,33
17,5	101	108	115	108	3,53E-04	9,71
20	119	126	135	127	4,14E-04	11,10
22,5	135	145	154	145	4,73E-04	12,49
25	153	163	173	163	5,33E-04	13,88
27,5	171	182	191	181	5,93E-04	15,27
30	190	202	210	201	6,56E-04	16,65
32,5	210	223	230	221	7,22E-04	18,04
35	230	244	250	241	7,89E-04	19,43
37,5	249	264	273	262	8,56E-04	20,82
40	268	286	295	283	9,25E-04	22,21
42,5	290	308	315	304	9,95E-04	23,59
45	312	330	337	326	1,07E-03	24,98
47,5	334	355	361	350	1,14E-03	26,37
50	360	380	385	375	1,23E-03	27,76
52,5	386	405	410	400	1,31E-03	29,14
55	416	433	440	430	1,40E-03	30,53
57,5	446	460	475	460	1,50E-03	31,92
60	479	490	514	494	1,62E-03	33,31
62,5	514	520	555	530	1,73E-03	34,70
65	556	560	610	575	1,88E-03	36,08
67,5	635	700	710	682	2,23E-03	37,47
70	770	765	890	808	2,64E-03	38,86



Şekil 3.11 C30/S30 için $\sigma - \varepsilon$ Grafiği ve Elastisite Modülü (E)

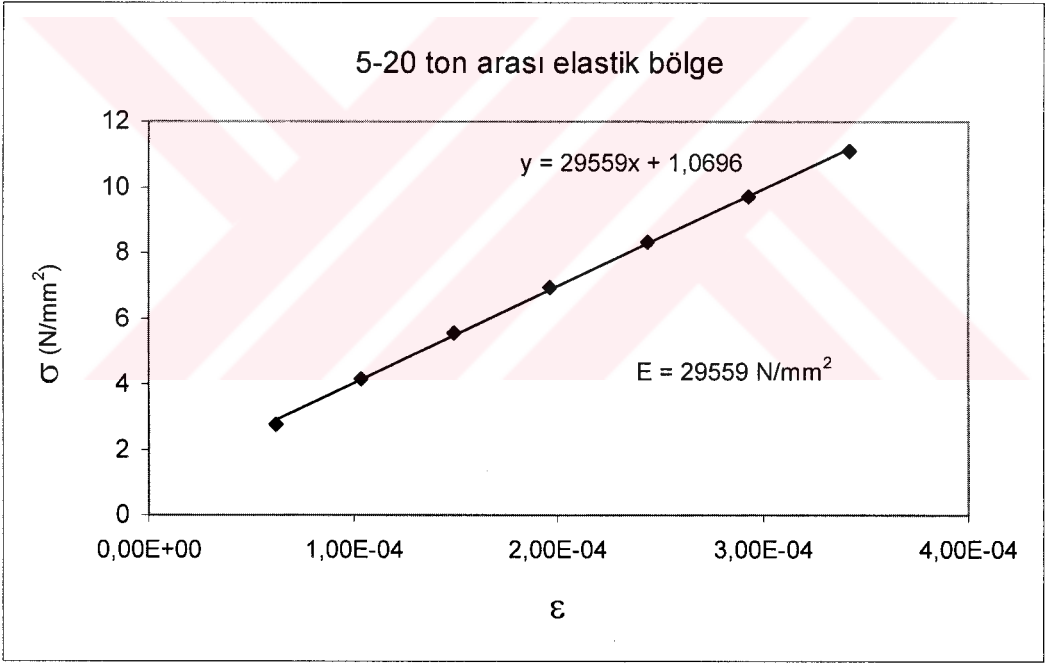
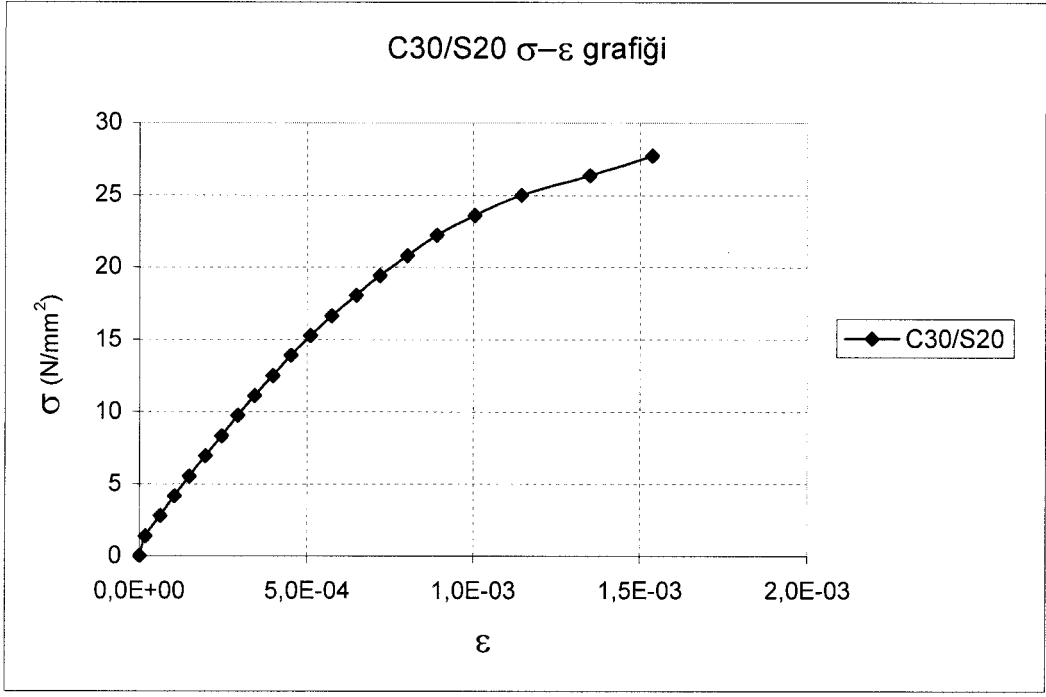
Benzer deney ve hesaplamalar, P2 ve P4 plakları için hazırlanan, 20 kg/m³ tel içeren, C30/S20 betonundan alınan numuneler için de yapılmıştır. Numunelerin deney sonuçları Tablo 3.9'da, silindir numunelerin basınç deneyi sonuçları Tablo 3.10'da, $\sigma - \varepsilon$ grafiği ve Elastisite Modülü hesaplanması Şekil 3.12'de görölmektedir.

Tablo 3.9 C30/S20 Numunelerinin Deney Sonuçları

Numune Kod No:	Üretim Tarihi	Deney Tarihi	Yaş Gün	Biçim	Boyutlar (cm)	Kırılma Kuvveti (kN)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
K1	15/01/04	16/02/04	32	küp	15x15x15	950	42,2
K2	15/01/04	16/02/04	32	küp	15x15x15	870	38,7
K3	15/01/04	16/02/04	32	küp	15x15x15	910	40,4
K4	15/01/04	26/03/04	71	küp	15x15x15	970,8	43,15
K5	15/01/04	26/03/04	71	küp	15x15x15	920,0	40,89
K6	15/01/04	26/03/04	71	küp	15x15x15	985,6	43,80
S1	15/01/04	26/03/04	71	silindir	d=15, h=30	507,9	28,74
S2	15/01/04	26/03/04	71	silindir	d=15, h=30	539,1	30,51
S3	15/01/04	26/03/04	71	silindir	d=15, h=30	584,1	33,05

Tablo 3.10 C30/S20 Silindir Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları

YUK (ton)	Kısaltmalar (mm x 1000)				Sek. Deg. (ε)	Gerilme (σ)
	S 4	S 5	S 6	Ort.		
0	0	0	0	0	0,00E+00	0,00
2,5	5	6	5	5	1,74E-05	1,39
5	18	20	19	19	6,21E-05	2,78
7,5	30	32	33	32	1,03E-04	4,16
10	43	45	49	46	1,49E-04	5,55
12,5	56	59	65	60	1,96E-04	6,94
15	72	71	81	75	2,44E-04	8,33
17,5	86	84	99	90	2,93E-04	9,71
20	102	97	115	105	3,42E-04	11,10
22,5	120	112	134	122	3,99E-04	12,49
25	137	126	152	138	4,52E-04	13,88
27,5	155	140	174	156	5,11E-04	15,27
30	176	156	195	176	5,74E-04	16,65
32,5	200	174	220	198	6,47E-04	18,04
35	224	190	246	220	7,19E-04	19,43
37,5	249	207	280	245	8,02E-04	20,82
40	276	225	317	273	8,91E-04	22,21
42,5	307	245	370	307	1,00E-03	23,59
45	345	266	440	350	1,14E-03	24,98
47,5	390	290	560	413	1,35E-03	26,37
50	447	315	650	471	1,54E-03	27,76



Şekil 3.12 C30/S20 için σ - ε Grafiği ve Elastisite Modülü (E)

C30/S30 ve C30/S20 beton karışımlarının karakteristik değeri ve kullanıldığı plaklar Tablo 3.11’de özetlenmiştir.

Tablo 3.11 C30/S30 ve C30/S20 Beton Karışımlarının Karakteristik Değerleri

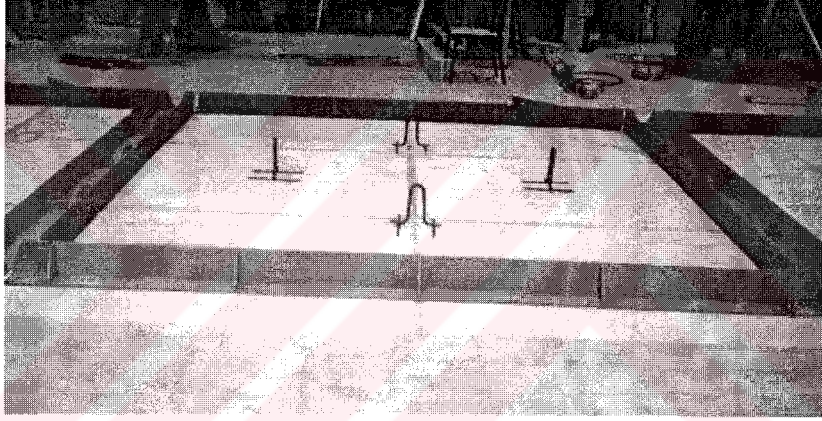
ÇTDB Türü	Kullanıldığı Plak Adı	Yaşı (Gün)	Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Küp Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)
C30/S30	P1, P3	36		40,20	
		130	34,59	48,33	24044
C30/S20	P2, P4	32		40,43	
		71	30,77	42,61	29559

C30/S30'un elastisite modülü, C30/S20'den daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi, Bölüm 2.3'de de bahsedildiği gibi, çelik tel içeren betonların elastisite modüllerinin, içermeyenlere oranla daha düşük olmasıdır. Telin yönlenmesine bağlı olarak elastisite modülünde bir miktar düşüş veya yükselme beklenir. Genelde çelik telin elastisite modülüne önemli etkisinin olmadığı bilinmektedir. C30/S30'da 30 kg/m³ çelik tel, C30/S20'de de 20 kg/m³ çelik tel vardır. Bu farklılık elastisite modüllerine yukarıda, Tablo 3.11'de, görüldüğü gibi etki etmiştir.

4. DENEY ADIMLARI

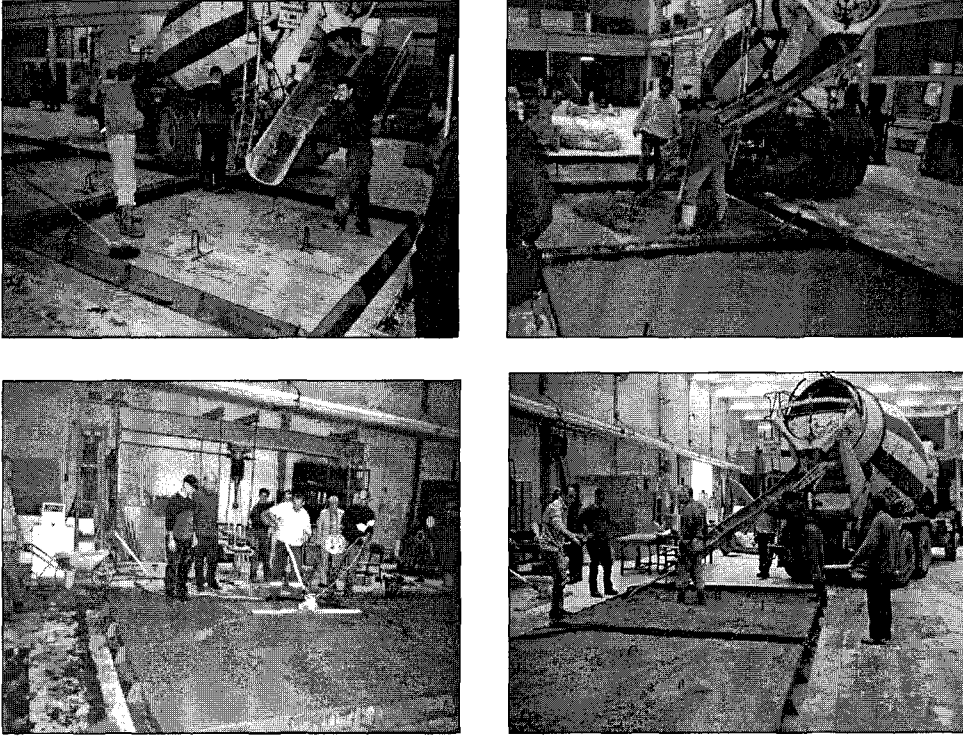
4.1 Deney Plaklarının Hazırlanışı

Deney yapılan plakların üretilmesi için öncelikle, laboratuvar zemini üzerine, “plywood” levhalar konulmuştur. Özel olarak hazırlanan çelik kalıp sistemi, bu levhalar üzerinde kurularak, 15 cm yüksekliğinde, 3 x 3 m boyutlarındaki beton döküm alanı elde edilmiştir. Beton dökümü yapılmadan önce, plakların dökümden sonra vinç yardımıyla taşınabilmesi için, plywood levha üzerine çelik kancalar yerleştirilmiştir. Hazırlanan döküm düzeni Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1 Beton Döküm Düzeni

Beton dökme işlemi iki set halinde gerçekleşmiş ve her sette dozajı (tel içeriği) aynı olan plaklar birarada dökülmüştür. Çelik teller dozaja göre miktarı hesaplanıp, transmikserdeki hazır betona ilave edilmişlerdir. Buna göre C30/S30 için 5 m³ hazır betona 150 kg dramix, C30/S20 için yine 5 m³ hazır betona 100 kg dramix transmikserde karıştırılarak ilave edilmiştir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, kalıpları yağlanarak döküme hazır hale gelen plakların, beton dökümü yapılmıştır. Şekil 4.2’de beton dökümü işleminden görüntüler sunulmaktadır.



Şekil 4.2 Deney Plaklarının Beton Dökümü

4.2 Deneyin Kurulması

4.2.1 Deney Plaklarının Oturacağı Zeminin Hazırlanması

Daha önce bölüm 3.4.1’de özellikleri verilen styrofoam levhalar, plakların oturacağı 3 x 3 m’lik alana yan yana konulmak suretiyle serilmiştir. Levhalar “L” şeklinde, erkek dişi formundaki birbirine geçme sistemiyle yan yana koyulmuş ve birleşim yerleri hareketi veya kaymayı önlemek için bantlanmıştır. P3 ve P4 plaklarının oturacağı ROOFMATE 300 SL tipi styrofoam levhalar, 80 mm’lik kalınlık sağlanabilmesi için iki tabaka halinde serilmiştir. P2 plağı için hazırlanmış FLOORMATE 500 SL-T, 60 mm kalınlığındaki zemin, Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3 Deney Plaklarının Oturacağı Styrofoam Levha

4.2.2 Deney Plaklarının Taşınması

Deney yapılan plaklar, deneyden önce taşınarak yükleme çerçevesinin altına, styrofoam levhanın üzerine, plak orta noktası yükleme çerçevesinin orta noktasıyla aynı hizada olacak şekilde yerleştirilmiştir.

4.2.3 Ölçüm Çerçevesinin Yerleştirilmesi

Plağın yerleştirilmesi yapıldıktan sonra, transducerların bağlanacağı ölçüm çerçevesi, plak üzerine arada transducerların bağlanabileceği kadar mesafe bırakılarak yerleştirilmiştir.

4.2.4 Transducerların Bağlanması

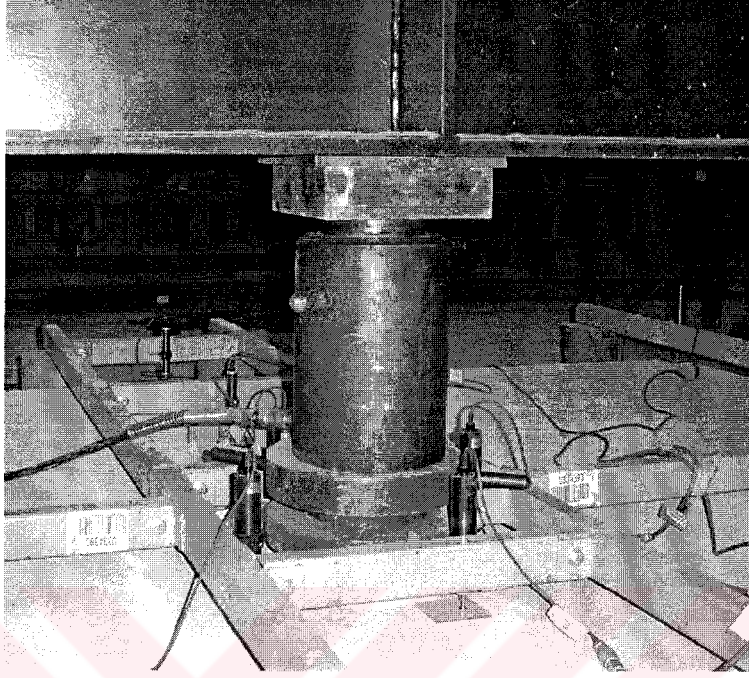
Transducerlar, plak üzerine belirli bir mesafe bırakılarak yerleştirilen ölçüm çerçevesine bağlanmışlardır. Şekil 3.9'da yerleşim planı verilen transducerlardan, 1,2,3 ve 4 numaralı olanları 50 mm'lik seçilmiş ve bu bölgede çökme beklendiği için strokları kapalı olarak daha önce yerleştirilen 5 x 5 cm'lik cam üzerine yerleştirilmiştir. 5,6,7 ve 8 numaralı olanları 25 mm'lik seçilmiş ve strokaları yarı açık olarak cam üzerine yerleştirilmiştir. 9,10,11 ve 12 numaralı olanları 25 mm'lik seçilmiş ve bu bölgelerde kalkma beklendiği için strokaları açık olarak cam üzerine yerleştirilmiştir. Son olarak, 13,14,15 ve 16 numaralı transducerlar 50 mm'lik seçilmiş ve plak köşe noktalarında kalkma beklendiğinden, strokaları açık olarak yerleştirilmiştir.

Tüm transducerlar yerleştirildikten sonra, kabloları yer numarasına göre numaralanıp data logger'a takılmıştır.

4.2.5 Krikonun Yerleştirilmesi

Tüm plaklar merkezlerinden etkiyen tekil yük ile yüklenmiştir. Merkeze etkiyen tekil yük (krikonun uyguladığı yük), plağa 15 x 15 cm boyutlarında bir çelik levha ile iletilmiştir. Bu amaçla öncelikle plak orta noktası belirlenip, 15 x 15 cm boyutlarında, 2 cm kalınlığındaki çelik levha bu bölgeye alçı kullanılarak düzeç yardımıyla düzgün bir şekilde yapıştırılmıştır. Bundan sonra yükü iletecek çelik levha üzerine, daire şeklinde çelik plakalar konularak, yükü iletecek olan 15 x 15 cm'lik levhanın krikoyu zımbalaması önlenmiştir. Bu daire şeklindeki plakaların üzerine kriko yerleştirilmiş ve yükleme çerçevesine olan mesafenin kapatılması ve

kriko pistonunun yükleme çerçevesini zımbalamaması için, kriko üzerine de kare şeklinde elik plaka yerleştirilmiştir. Yüklemeye hazır hale gelen krikonun görüntüsü şekil 4.4’de verilmektedir.

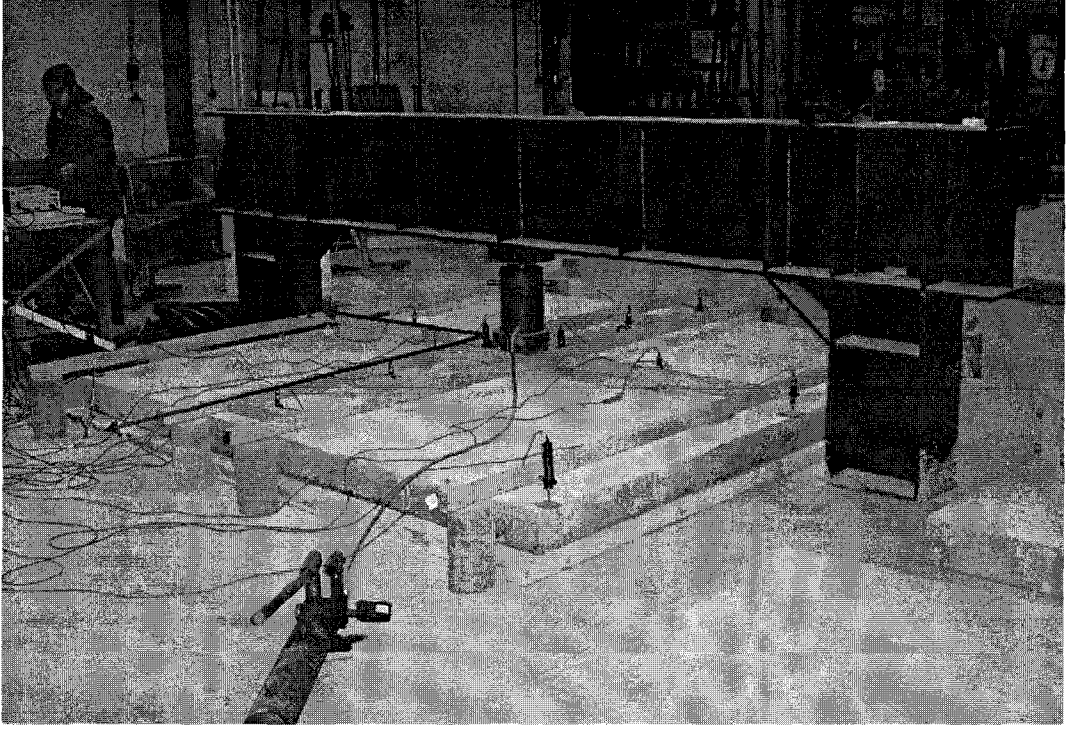


şekil 4.4 Krikonun Görünümü

4.3 Deneyin Yapılışı

Deneyin yapılışı tüm plaklar için aynıdır. Yüklemeye, 1 ton yük artımı ile kademeli olarak, plak kırılana kadar devam edilmiştir. Her yük adımıında, data logger’a bağlı olan bir butona basılmak suretiyle, 16 noktada ölçülen yerdeğiştirmeler kaydedilmiştir. Her 10 ton’luk yük artımında, plak kenarlarında oluşan çatlaklar gözlemlenmiş ve çatlak genişlikleri ölçülmüştür. Plak kenarlarına numara verilerek ölçülen çatlak genişliği ve bu çatlak genişliğinin oluştuğu yk adımı yazılmıştır.

Deneye başlamadan hemen önceki deney düzeneğinin görünümü şekil 4.5’de verilmektedir.



Şekil 4.5 Deney Düzeneği

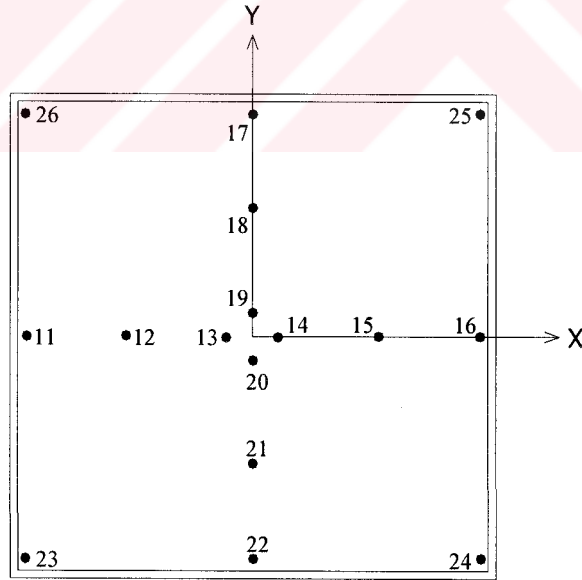
5. DENEY SONUÇLARI

5.1 P1 Plağı Deney Sonuçları

P1 plağı daha önce bahsedildiği gibi C30/S30 tipi ÇTDB'den üretilmiştir. Plağın oturduğu zemin, 60 mm kalınlığında FLOORMATE 500 SL-T dir. Bu zemin modeli için yatak katsayısı $0,08 \text{ N/mm}^3$ olarak hesaplanmış ve modelin “sıkı kum” türünde bir zemini temsil ettiği düşünülmüştür.

P1 plağı 04/11/2003 tarihinde üretilmiş ve 11/03/2004 tarihinde deney yapılmıştır. Dolayısıyla numune yaşı 128 gün dür. 130 günlük C30/S30'un ortalama silindir basınç dayanımı $34,59 \text{ N/mm}^2$, elastisite modülü ise 24044 N/mm^2 dir.

P1 Plağı için transducerların kanal numaralarına göre yerleşim planı Şekil 5.1'de görülmektedir.



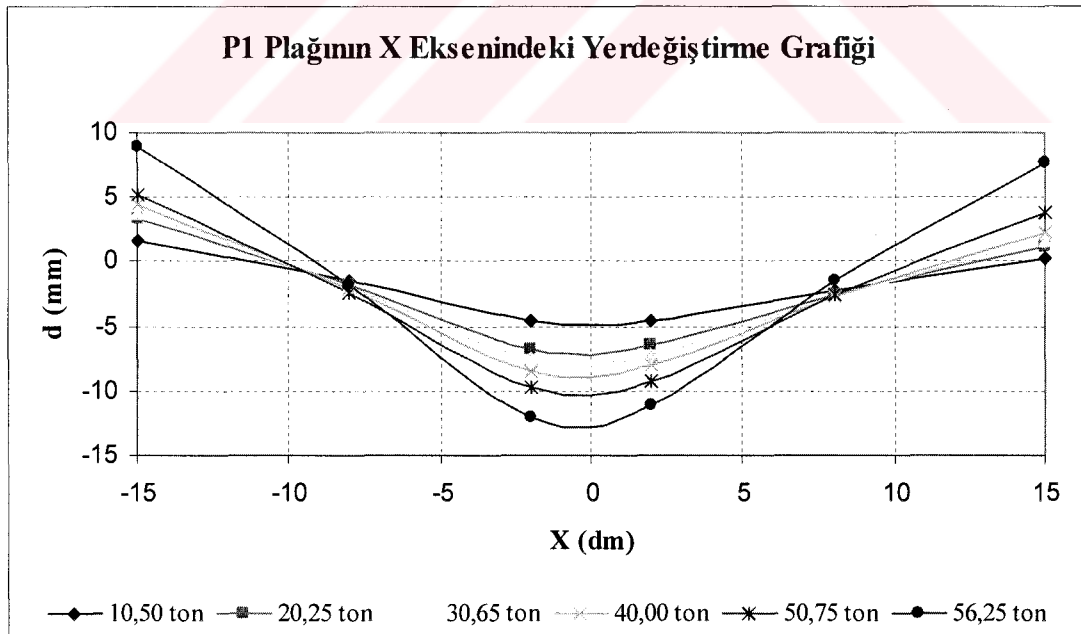
Şekil 5.1 P1 Plağı Transducer Yerleşim Planı

5.1.1 P1 Plâğı Yerdeğiştirme Ölçümleri

Seçilen yük kademeleri için X ve Y doğrultularında kaydedilen yerdeğiştirme değerleri ve bu değerler için çizilen yerdeğiştirme grafikleri; X doğrultusu için Tablo 5.1 ve Şekil 5.2’de, Y doğrultusu için Tablo 5.2 ve Şekil 5.3’de görölmektedir. Yerdeğiştirme değerlerinden negatif (-) olanları o noktadaki çökmeyi, pozitif (+) olanları ise o noktadaki kalkmayı ifade etmektedir.

Tablo 5.1 P1 Plâğı X Eksenini Yerdeğiştirme Değerleri

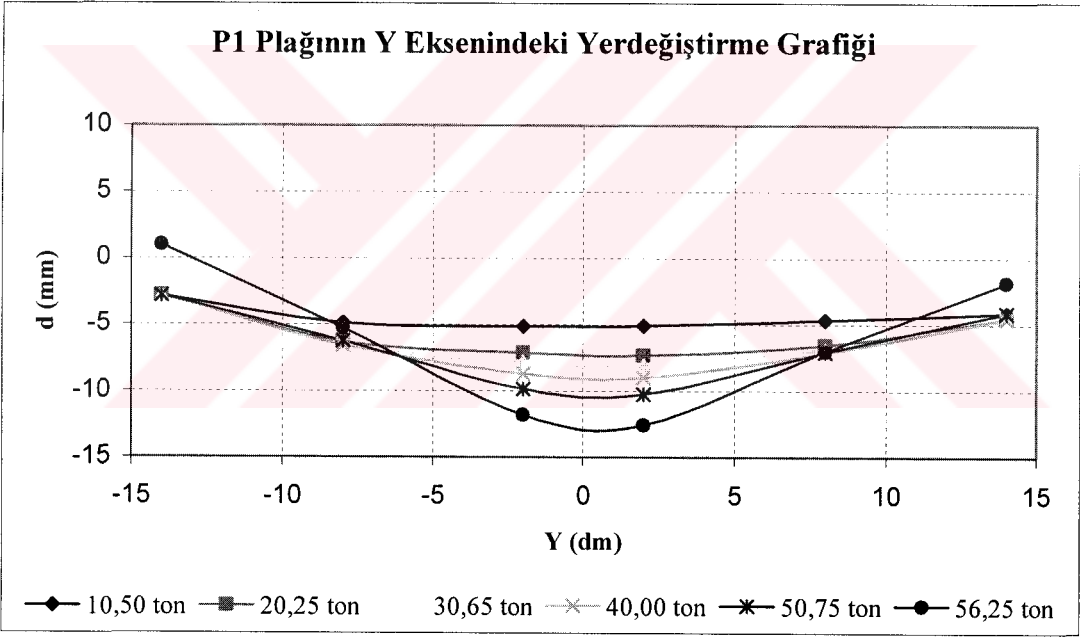
Yerdeğiştirme Değerleri (mm)									
			YÜK (ton)						
			0,00	10,50	20,25	30,65	40,00	50,75	56,25
X (dm)	-15	CH.011	0,00	1,66	3,30	3,78	4,33	5,20	8,92
	-8	CH.012	0,00	-1,47	-1,78	-1,93	-2,08	-2,38	-1,77
	-2	CH.013	0,00	-4,56	-6,72	-7,53	-8,45	-9,79	-12,10
	2	CH.014	0,00	-4,63	-6,49	-7,20	-8,07	-9,26	-11,09
	8	CH.015	0,00	-2,24	-2,62	-2,68	-2,73	-2,52	-1,53
	15	CH.016	0,00	0,26	1,14	1,61	2,26	3,76	7,69



Şekil 5.2 P1 Plâğıının X Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği

Tablo 5.2 P1 Plağı Y Eksenli Yerdeğiştirme Değerleri

Yerdeğiştirme Değerleri (mm)									
			YÜK (ton)						
			0,00	10,50	20,25	30,65	40,00	50,75	56,25
Y (dm)	-14	CH.022	0,00	-2,79	-2,79	-2,79	-2,79	-2,79	0,98
	-8	CH.021	0,00	-4,88	-6,28	-6,57	-6,56	-6,25	-5,30
	-2	CH.020	0,00	-5,12	-7,12	-7,87	-8,72	-9,89	-11,83
	2	CH.019	0,00	-5,07	-7,29	-8,08	-9,00	-10,29	-12,57
	8	CH.018	0,00	-4,67	-6,52	-6,87	-7,11	-7,07	-7,01
	14	CH.017	0,00	-4,11	-4,56	-4,56	-4,56	-4,12	-1,86



şekil 5.3 P1 Plağının Y Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği

Ayrıca plak köşe noktalarının yerdeğiştirmesi Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3 P1 Plağı Köşe Noktalarının Yerdeğiştirme Değerleri

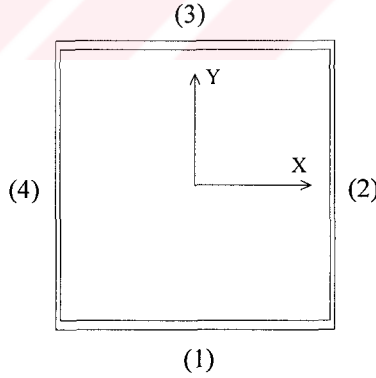
Yerdeğiştirme Değerleri (mm)							
	YÜK (ton)						
	0,00	10,50	20,25	30,65	40,00	50,75	56,25
CH.023	0,00	1,17	1,89	2,22	2,87	4,64	10,05
CH.024	0,00	0,26	2,01	3,01	5,23	9,05	16,50
CH.025	0,00	0,61	1,70	2,72	4,71	8,43	16,37
CH.026	0,00	3,31	5,94	6,92	8,17	11,59	19,72

Yerdeğiştirmeler beklediği gibi, orta noktalarda çökme, kenarlarda ve köşe noktalarında ise kalkma şeklinde oluşmuştur.

P1 Plağı 56,25 ton yük değerine kadar yük almaya devam etmiş, bu değerden sonra yük almayarak tam göçme durumuna erişmiştir.

5.1.2 P1 Plağı Çatlak Ölçümleri

P1 plağının yükleme deneyinde her 10 ton'luk yükleme adımında çatlak oluşumları kenarlarda gözlemlenmiş ve çatlak genişliği ölçümleri yapılmıştır. Plağın kenarlarına numara verilerek çatlaklar isimlendirilmiş ve ölçüm sonuçları kaydedilmiştir. Plağın kenarlarının numaralandırılması Şekil 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.4 Plak Kenar Numaraları

Oluşan çatlaklara, oluştuğu kenar numarası ve oluşum sırasına göre 1 A, 1 B gibi isimler verilmiştir. Çatlak genişlikleri ve bu genişliğe karşı gelen yük Tablo 5.4'de verilmektedir.

Tablo 5.4 P1 Plağı Kenar Çatlaklarının Genişlikleri

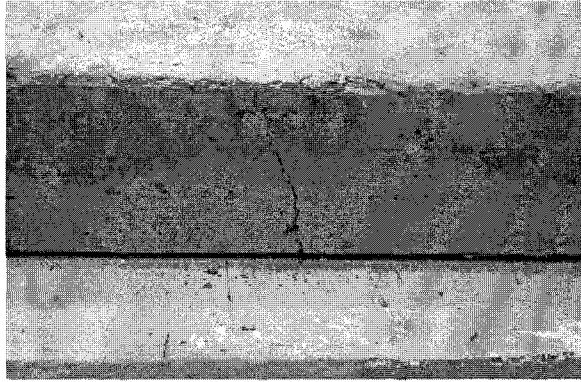
P1	Çatlak Genişliği (mm)				
YÜK (ton)	1A	1B	2A	3A	4A
10,50					
20,25	0,40			0,40	
30,65	0,40			0,75	
40,00	0,75		0,30	1,00	
50,75	1,00	0,30	0,50	1,25	0,30
56,25	1,20	0,50	0,70	1,75	0,50

3A Çatlağının görünümü Şekil 5.5’de verilmektedir.



Şekil 5.5 P1 Plağı 3A Çatlağı

1A Çatlağının görünümü Şekil 5.6’da verilmektedir.



Şekil 5.6 P1 Plağı 1A Çatlağı

P1 plağı kırılana kadar plak üst yüzeyinde çatlak gözlemlenmemiştir. Plak kırıldıktan sonra taşınırken, alt yüzeyde oluşan çatlakların doğrultuları üst yüzeyde de belirmiştir. Plak kırılıp taşındıktan sonra beliren, üst yüzeydeki çatlakların yayılış biçimi Şekil 5.7’de görülmektedir.



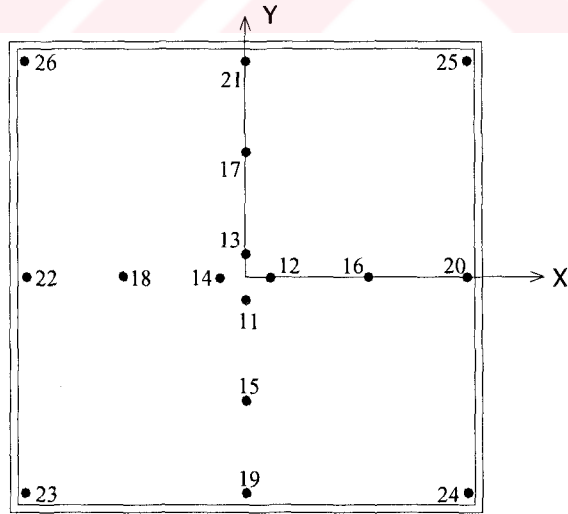
Şekil 5.7 P1 Plağı Üst Yüzeyi, Çatlak Yayılış Biçimi

5.2 P2 Plağı Deney Sonuçları

P2 plağı daha önce bahsedildiği gibi C30/S20 tipi ÇTDB'den üretilmiştir. Plağın oturduğu zemin, P1'inki ile aynıdır.

P2 plağı 15/01/2004 tarihinde üretilmiş ve 18/03/2004 tarihinde deney yapılmıştır. Dolayısıyla numune yaşı 63 gün dür. 71 günlük C30/S20'nin ortalama silindir basınç dayanımı $30,77 \text{ N/mm}^2$, elastisite modülü ise 29559 N/mm^2 dir.

P2 Plağı için transducerların kanal numaralarına göre yerleşim planı Şekil 5.8'de görülmektedir.



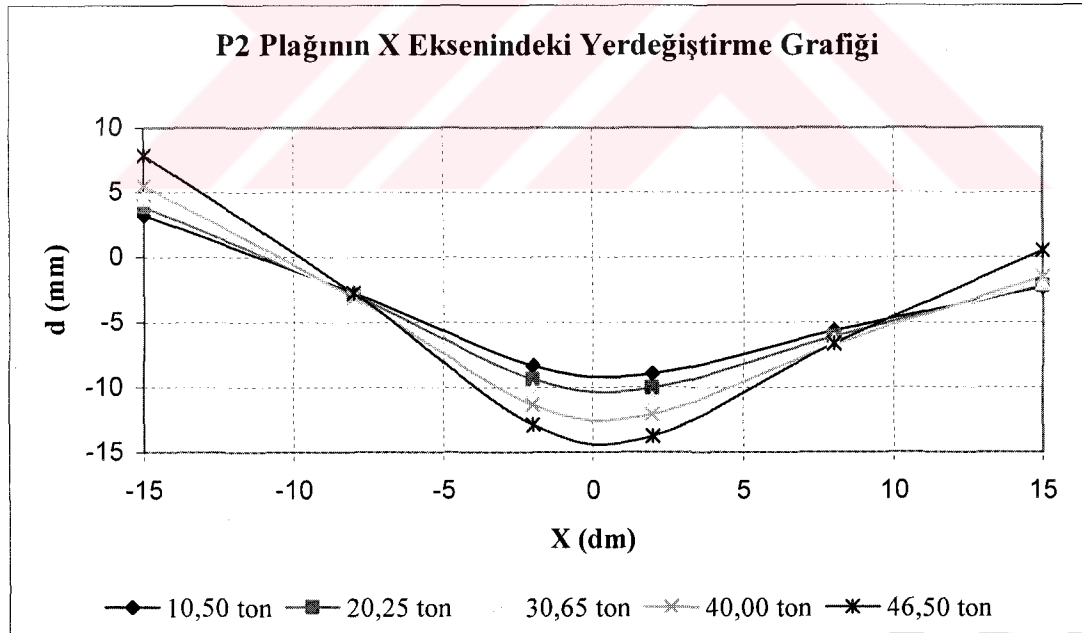
Şekil 5.8 P2 Plağı Transducer Yerleşim Planı

5.2.1 P2 Plağı Yerdeğiştirme Ölçümleri

Seçilen yük kademeleri için X ve Y doğrultularında kaydedilen yerdeğiştirme değerleri ve bu değerler için çizilen yerdeğiştirme grafikleri; X doğrultusu için Tablo 5.5 ve Şekil 5.9'da, Y doğrultusu için Tablo 5.6 ve Şekil 5.10'da görölmektedir. Yerdeğiştirme değerlerinden negatif (-) olanları o noktadaki çökmeyi, pozitif (+) olanları ise o noktadaki kalkmayı ifade etmektedir.

Tablo 5.5 P2 Plağı X Eksenini Yerdeğiştirme Değerleri

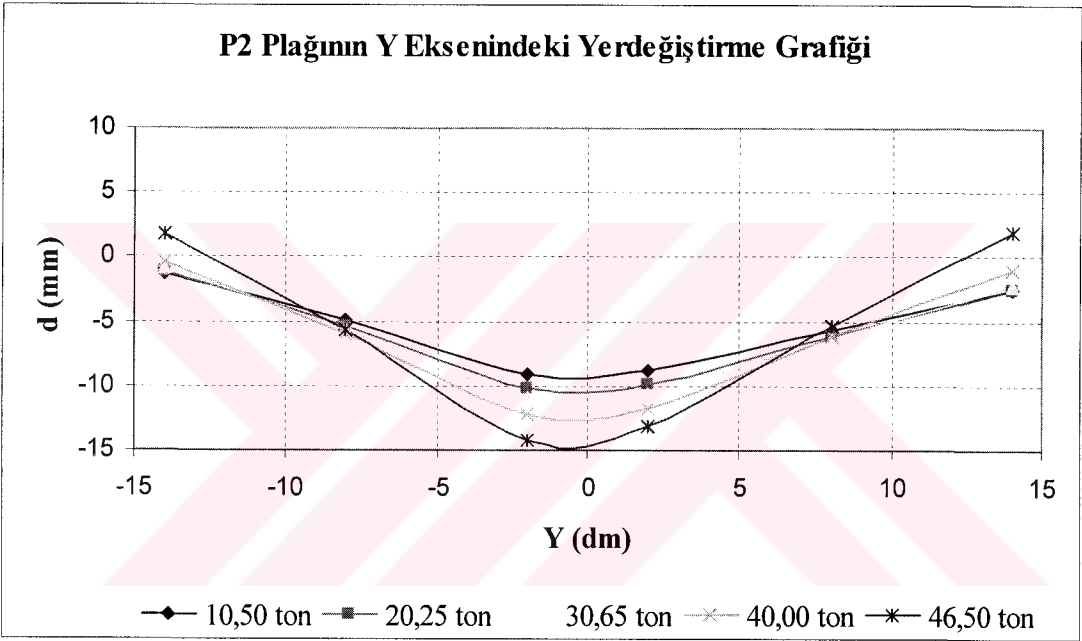
Yerdeğiştirme Değerleri (mm)								
			YÜK (ton)					
			0,00	10,50	20,25	30,65	40,00	46,50
X (dm)	-15	CH.022	0,00	3,25	3,93	4,52	5,49	7,88
	-8	CH.018	0,00	-2,74	-2,90	-3,03	-3,11	-2,76
	-2	CH.014	0,00	-8,34	-9,35	-10,22	-11,33	-12,88
	2	CH.012	0,00	-8,99	-10,04	-10,93	-12,08	-13,77
	8	CH.016	0,00	-5,65	-6,11	-6,45	-6,75	-6,66
	15	CH.020	0,00	-2,30	-2,18	-1,99	-1,52	0,51



Şekil 5.9 P2 Plağının X Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiğı

Tablo 5.6 P2 Plağı Y Eksenini Yerdeğiştirme Değerleri

Yerdeğiştirme Değerleri (mm)								
			YÜK (ton)					
			0,00	10,50	20,25	30,65	40,00	46,50
Y (dm)	-14	CH.019	0,00	-1,28	-1,13	-0,89	-0,42	1,73
	-8	CH.015	0,00	-4,97	-5,40	-5,67	-5,93	-5,68
	-2	CH.011	0,00	-9,08	-10,13	-11,02	-12,18	-14,20
	2	CH.013	0,00	-8,84	-9,83	-10,65	-11,72	-13,08
	8	CH.017	0,00	-5,69	-6,10	-6,26	-6,14	-5,34
	14	CH.021	0,00	-2,61	-2,56	-2,19	-1,03	1,89



şekil 5.10 P2 Plağının Y Eksenindeki Yerdeğiştirme Grağiği

Plak köşe noktalarının yerdeğiştirme değerleri Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7 P2 Plağı Köşe Noktalarının Yerdeğiştirme Değerleri

Yerdeğiştirme Değerleri (mm)						
	YÜK (ton)					
	0,00	10,50	20,25	30,65	40,00	46,50
CH.023	0,00	6,81	8,00	9,13	10,86	16,13
CH.024	0,00	1,83	2,73	3,63	5,02	8,93
CH.025	0,00	1,05	1,58	2,44	4,46	9,49
CH.026	0,00	8,18	9,61	11,09	13,99	20,22

Yerdeğiştirmeler beklendiği gibi, orta noktalarda çökme, kenarlarda ve köşe noktalarında ise kalkma şeklinde oluşmuştur. En fazla kalkma yine beklendiği gibi plak köşe noktalarında meydana gelmiştir. şekil 5.11’de 26 numaralı plak köşe noktasının deney esnasında kalkması görölmektedir.



şekil 5.11 P2 Plağının Köşe Noktasının Kalkması

Plağın Y eksenine göre sol tarafı, sağ tarafa göre daha çok kalkmıştır. Bu davranış şekil 5.9’da açık olarak görölmektedir. Tablo 5.7’de de 23 ve 26 numaralı kanallardan yapılan ölçümlerin, 24 ve 25 numaralı kanallardan yapılan ölçümlere göre daha büyük olduğu görölmektedir. 23 ve 26 numaralı noktalar Y ekseninin solunda kalan plak köşe noktalarını, 24 ve 25 numaralı noktalar da Y ekseninin sağında kalan plak köşe noktalarını göstermektedir.

P2 Plağı 46,50 ton yük değerine kadar yük almaya devam etmiş, bu değerden sonra yük almayarak tam göçme durumuna erişmiştir.

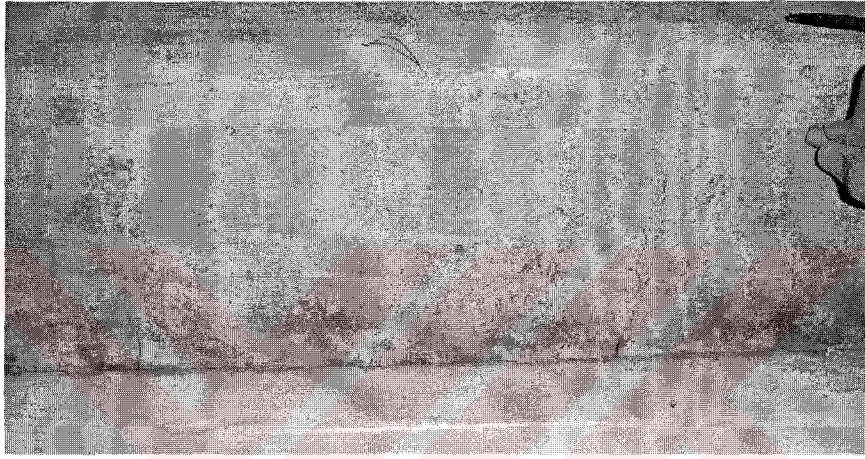
5.2.2 P2 Plağı Çatlak Ölçümleri

P2 plağının yükleme deneyinde de P1 plağındaki sistem kullanılarak çatlaklar gözlemlenmiş ve ölçümleri yapılmıştır. Plağın kenarlarının numaralandırılması P1’inki ile aynıdır. Oluşan çatlak genişlikleri Tablo 5.8’de verilmektedir.

Tablo 5.8 P2 Plağı Kenar Çatlaklarının Genişlikleri

P2	Çatlak Genişliği (mm)					
YÜK (ton)	1A	1B	2A	2B	3A	4A
10,50	0,40	0,50	0,40		1,00	0,45
20,25	0,50	0,65	0,40		1,25	0,80
30,65	0,80	0,75	0,40		1,50	1,00
40,00	1,15	1,10	0,40		1,50	1,20
46,50	1,60	1,40	0,50	0,75	2,00	1,80

2A ve 2B Çatlaklarının görünümü Şekil 5.12’de verilmektedir.



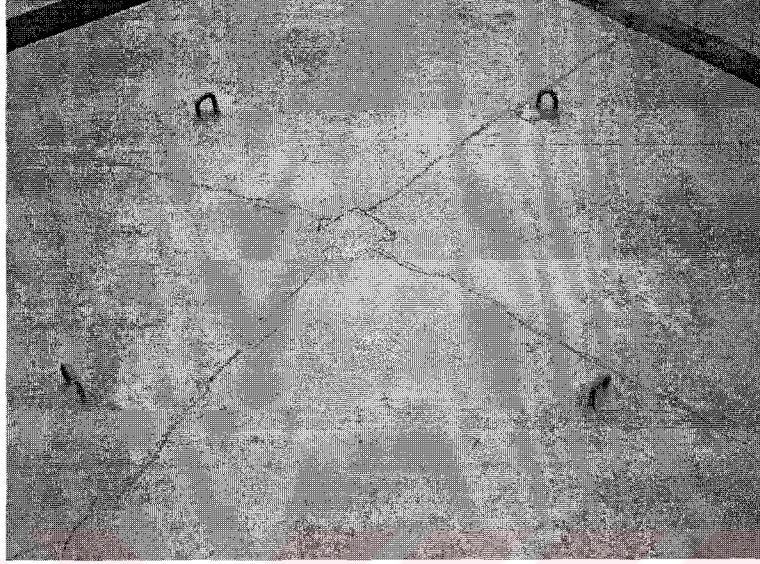
Şekil 5.12 P2 Plağı 2A ve 2B Çatlakları

3A Çatlağının görünümü Şekil 5.13’de verilmektedir.



Şekil 5.13 P2 Plağı 3A Çatlağı

P2 plağı kırılana kadar plak üst yüzeyinde çatlak gözlemlenmemiştir. Plak kırıldıktan sonra taşınırken, alt yüzeyde oluşan çatlakların doğrultuları üst yüzeyde de belirmiştir. Plak kırılıp taşındıktan sonra beliren, üst yüzeydeki çatlakların yayılış biçimi Şekil 5.14’de görülmektedir.



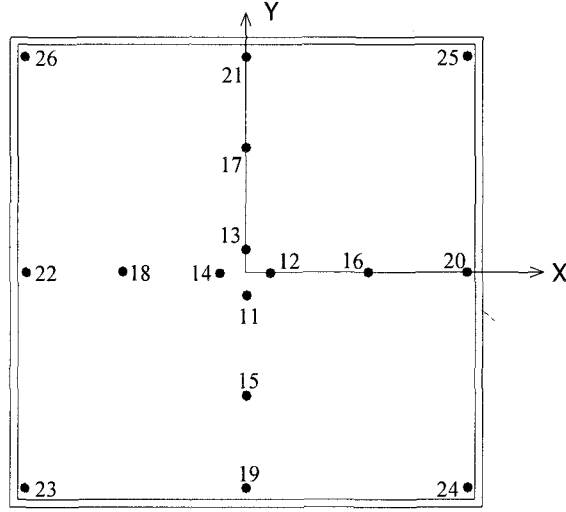
Şekil 5.14 P2 Plağı Üst Yüzeyi, Çatlak Yayılış Biçimi

5.3 P3 Plağı Deney Sonuçları

P3 plağı daha önce bahsedildiği gibi C30/S30 tipi ÇTDB’den üretilmiştir. Plağın oturduğu zemin, 80 mm kalınlığında ROOFMATE 300 SL dir. Bu zemin modeli için yatak katsayısı $0,04 \text{ N/mm}^3$ olarak hesaplanmış ve modelin “orta sıklıkta kum” türünde bir zemini temsil ettiği düşünülmüştür.

P3 plağı 04/11/2003 tarihinde üretilmiş ve 12/04/2004 tarihinde deney yapılmıştır. Dolayısıyla numune yaşı 160 gün dür. 130 günlük C30/S30’un ortalama silindir basınç dayanımı $34,59 \text{ N/mm}^2$, elastisite modülü ise 24044 N/mm^2 dir.

P3 Plağı için transducerların kanal numaralarına göre yerleşim planı Şekil 5.15’de görülmektedir.



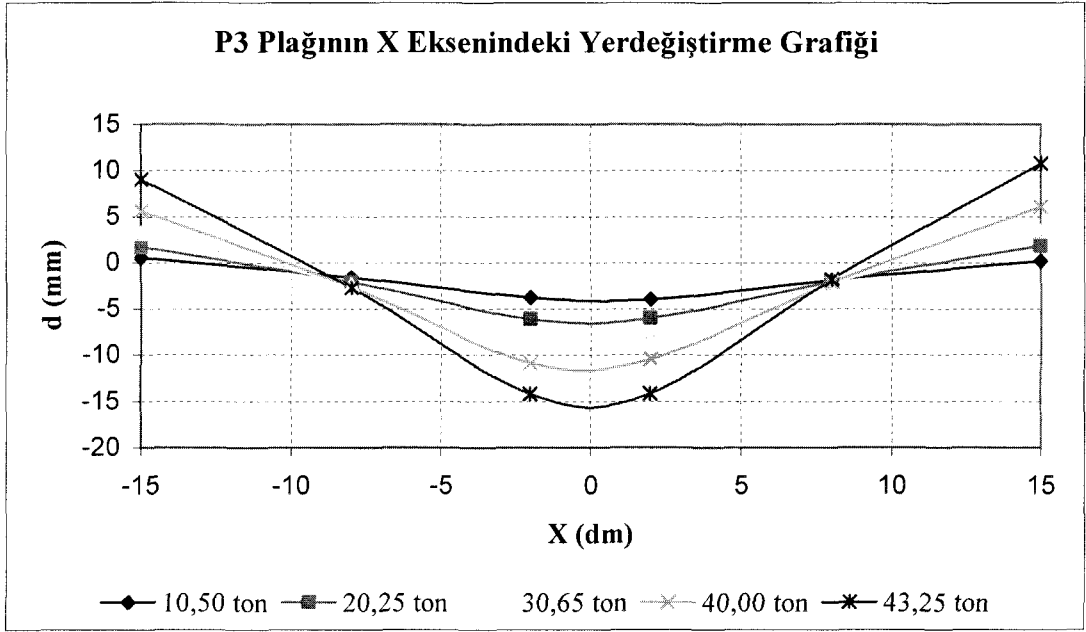
Şekil 5.15 P3 Plağı Transducer Yerleşim Planı

5.3.1 P3 Plağı Yerdeğiştirme Ölçümleri

Seçilen yük kademeleri için X ve Y doğrultularında kaydedilen yerdeğiştirme değerleri ve bu değerler için çizilen yerdeğiştirme grafikleri; X doğrultusu için Tablo 5.9 ve Şekil 5.16'da, Y doğrultusu için Tablo 5.10 ve Şekil 5.17'de görülmektedir. Yerdeğiştirme değerlerinden negatif (-) olanları o noktadaki çökmeyi, pozitif (+) olanları ise o noktadaki kalkmayı ifade etmektedir.

Tablo 5.9 P3 Plağı X Eksenli Yerdeğiştirme Değerleri

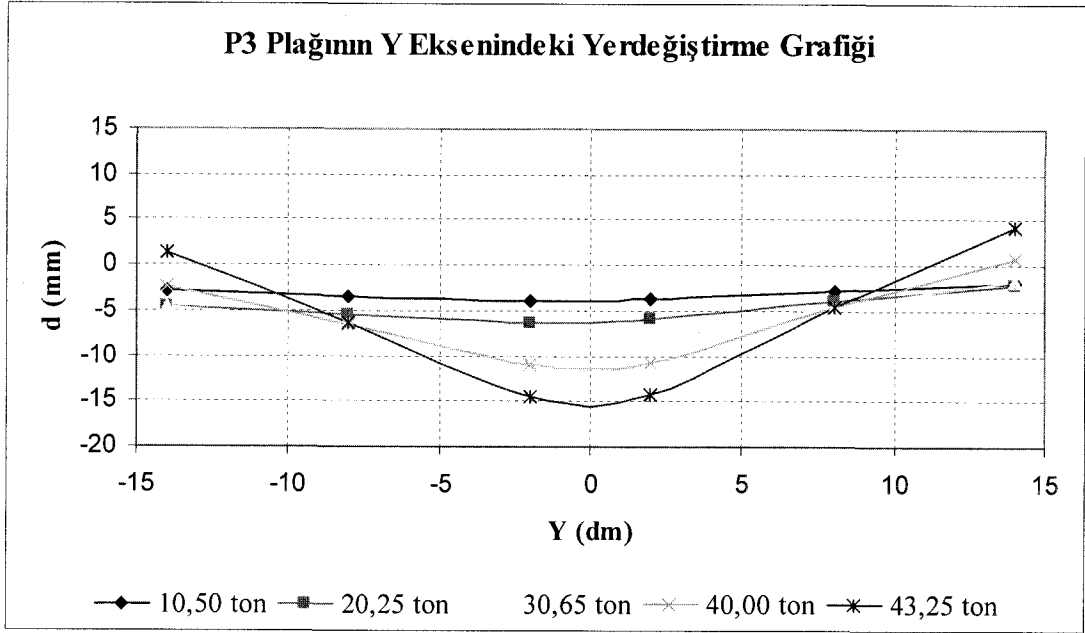
Yerdeğiştirme Değerleri (mm)								
			YÜK (ton)					
			0,00	10,50	20,25	30,65	40,00	43,25
X (dm)	-15	CH.022	0,00	0,51	1,73	3,25	5,57	9,05
	-8	CH.018	0,00	-1,59	-2,11	-2,33	-2,65	-2,73
	-2	CH.014	0,00	-3,74	-6,11	-8,13	-10,85	-14,20
	2	CH.012	0,00	-3,95	-6,05	-7,89	-10,48	-14,20
	8	CH.016	0,00	-1,87	-2,05	-2,13	-2,17	-1,79
	15	CH.020	0,00	0,19	1,83	3,45	6,05	10,76



Şekil 5.16 P3 Plağının X Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği

Tablo 5.10 P3 Plağı Y Eksenini Yerdeğiştirme Değerleri

Yerdeğiştirme Değerleri (mm)								
			YÜK (ton)					
			0,00	10,50	20,25	30,65	40,00	43,25
Y (dm)	-14	CH.019	0,00	-2,94	-4,63	-4,49	-2,42	1,28
	-8	CH.015	0,00	-3,49	-5,54	-6,37	-6,58	-6,46
	-2	CH.011	0,00	-4,03	-6,41	-8,37	-11,00	-14,61
	2	CH.013	0,00	-3,69	-6,02	-8,08	-10,76	-14,26
	8	CH.017	0,00	-2,78	-3,95	-4,65	-4,64	-4,52
	14	CH.021	0,00	-1,93	-2,11	-1,73	0,71	4,29



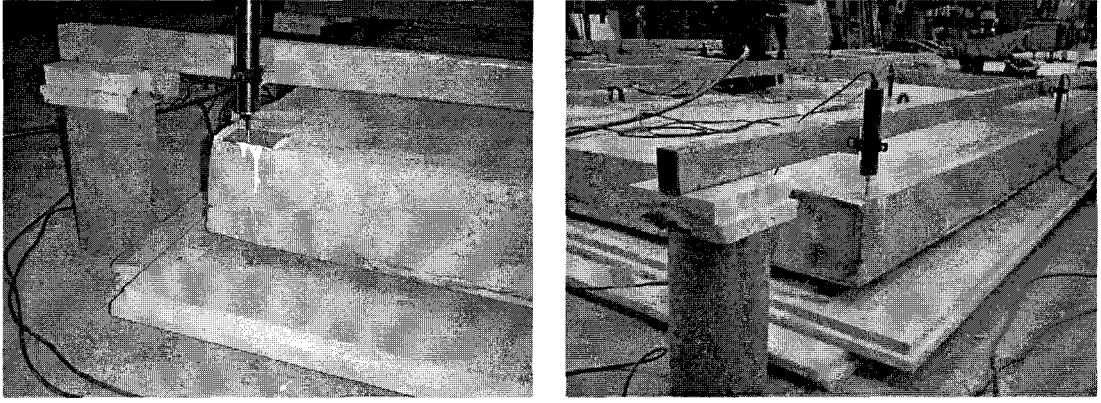
Şekil 5.17 P3 Plâğının Y Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği

Plak köşe noktalarının yerdeğiştirme değerleri Tablo 5.11’de verilmiştir.

Tablo 5.11 P3 Plâğı Köşe Noktalarının Yerdeğiştirme Değerleri

Yerdeğiştirme Değerleri (mm)						
	YÜK (ton)					
	0,00	10,50	20,25	30,65	40,00	43,25
CH.023	0,00	-1,08	-1,07	0,77	5,82	13,10
CH.024	0,00	1,64	3,63	6,80	12,14	22,17
CH.025	0,00	-0,81	1,20	4,34	10,32	19,68
CH.026	0,00	2,26	5,12	8,01	15,00	24,41

Yerdeğiştirmeler diğer plaklarda olduğu gibi, orta noktalarda çökme, kenarlarda ve köşe noktalarında ise kalkma şeklinde oluşmuştur. En fazla kalkma yine beklendiği gibi plak köşe noktalarında meydana gelmiştir. Şekil 5.18’de en fazla kalkma değerinin okunduğu (24,41 mm), 26 numaralı plak köşe noktasının deney esnasında kalkması görülmektedir.



Şekil 5.18 P3 Plağının Köşe Noktasının Kalkması

P3 Plağı 43,25 ton yük değerine kadar yük almaya devam etmiş, bu değerden sonra yük almayarak tam göçme durumuna erişmiştir.

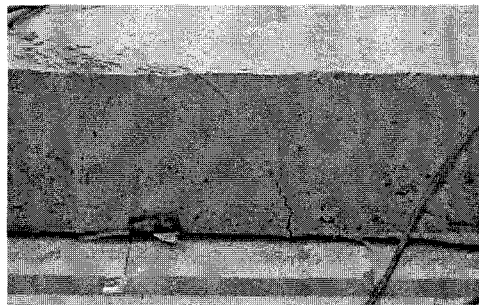
5.3.2 P3 Plağı Çatlak Ölçümleri

P3 plağının yükleme deneyinde de P1 ve P2 plaklarındaki sistem kullanılarak çatlaklar gözlemlenmiş ve ölçümleri yapılmıştır. Plağın kenarlarının numaralandırılması P1 ve P2 plaklarındaki gibidir (Şekil 5.4). Oluşan çatlak genişlikleri Tablo 5.12’de verilmektedir.

Tablo 5.12 P3 Plağı Kenar Çatlaklarının Genişlikleri

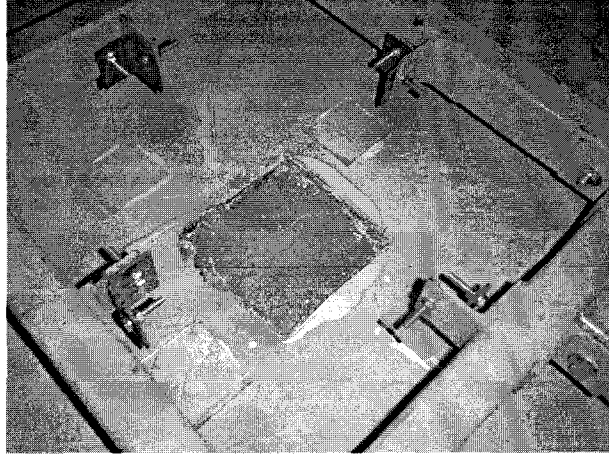
P3	Çatlak Genişliği (mm)			
YÜK (ton)	1A	2A	3A	4A
10,50	0,40			
20,25	0,75		0,40	
30,65	1,25		0,75	
40,00	2,00	0,75	1,00	0,20

3A Çatlağının görünümü Şekil 5.19’da verilmektedir.



Şekil 5.19 P3 Plağı 3A Çatlağı

P3 plağı kırılana kadar plak üst yüzeyinde çatlak gözlemlenmemiştir. Yükleme sonrası orta noktanın görünümü Şekil 5.20’de verilmektedir.



Şekil 5.20 P3 Plağı, Yükleme Sonrası Orta Noktanın Görünümü

Plak kırıldıktan sonra taşınırken, alt yüzeyde oluşan çatlakların doğrultusu ve şekli gözlemlenmiş ve fotoğraflanmıştır. P3 plağının kırılma sonrası alt yüzeyinin görünümü Şekil 5.21’de verilmektedir.



Şekil 5.21 P3 Plağının Alt Yüzeyinin Kırılma Sonrası Görünümü



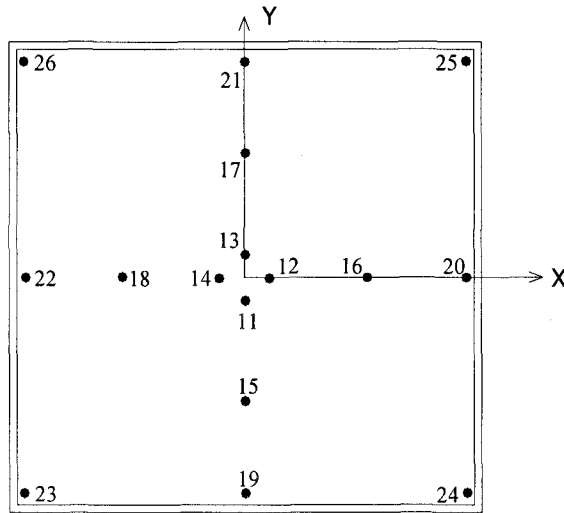
Şekil 5.22 P3 Plağının Orta Noktasının Altıtan Görünümü

5.4 P4 Plağı Deney Sonuçları

P4 plağı daha önce bahsedildiği gibi C30/S20 tipi ÇTDB'den üretilmiştir. Plağın oturduğu zemin P3'ünki ile aynıdır.

P4 plağı 15/01/2004 tarihinde üretilmiş ve 13/04/2004 tarihinde deney yapılmıştır. Dolayısıyla numune yaşı 89 gün dür. 71 günlük C30/S20'nin ortalama silindir basınç dayanımı $30,77 \text{ N/mm}^2$, elastisite modülü ise 29559 N/mm^2 dir.

P4 Plağı için transducerların kanal numaralarına göre yerleşim planı Şekil 5.23'de görülmektedir.



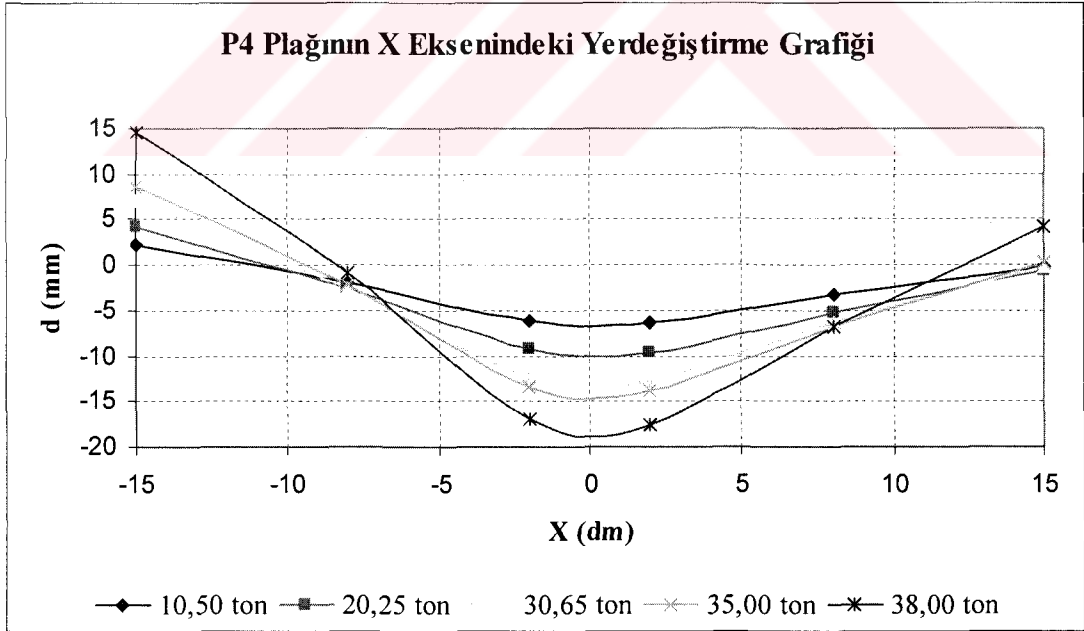
Şekil 5.23 P4 Plağı Transducer Yerleşim Planı

5.4.1 P4 Plağı Yerdeğiştirme Ölçümleri

Seçilen yük kademeleri için X ve Y doğrultularında kaydedilen yerdeğiştirme değerleri ve bu değerler için çizilen yerdeğiştirme grafikleri; X doğrultusu için Tablo 5.13 ve Şekil 5.24’de, Y doğrultusu için Tablo 5.14 ve Şekil 5.25’de görölmektedir. Yerdeğiştirme değerlerinden negatif (-) olanları o noktadaki çökmeyi, pozitif (+) olanları ise o noktadaki kalkmayı ifade etmektedir.

Tablo 5.13 P4 Plağı X Eksenı Yerdeğiştirme Değerleri

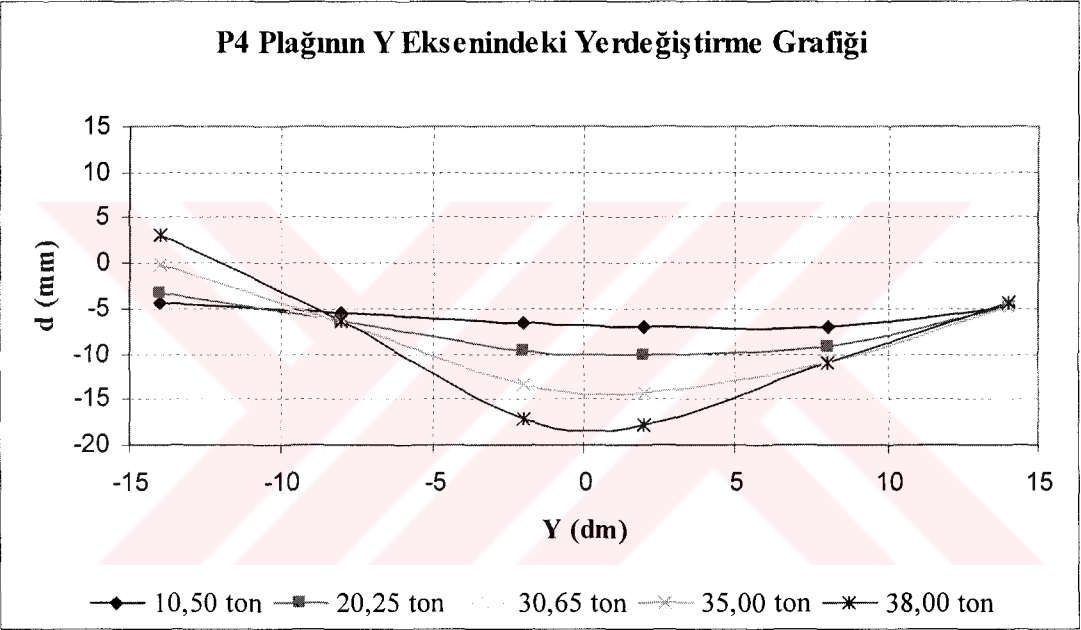
Yerdeğiştirme Değerleri (mm)								
			YÜK (ton)					
			0,00	10,50	20,25	30,65	35,00	38,00
X (dm)	-15	CH.022	0,00	2,25	4,26	7,02	8,59	14,65
	-8	CH.018	0,00	-1,97	-2,55	-2,54	-2,26	-0,80
	-2	CH.014	0,00	-6,16	-9,32	-12,29	-13,39	-16,86
	2	CH.012	0,00	-6,43	-9,71	-12,71	-13,78	-17,54
	8	CH.016	0,00	-3,24	-5,17	-6,46	-6,72	-6,70
	15	CH.020	0,00	-0,08	-0,63	-0,22	0,35	4,30



Şekil 5.24 P4 Plağının X Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiğı

Tablo 5.14 P4 Plağı Y Eksenli Yerdeğiştirme Değerleri

Yerdeğiştirme Değerleri (mm)								
			YÜK (ton)					
			0,00	10,50	20,25	30,65	35,00	38,00
Y (dm)	-14	CH.019	0,00	-4,37	-3,22	-1,29	-0,28	3,13
	-8	CH.015	0,00	-5,47	-6,26	-6,61	-6,57	-6,37
	-2	CH.011	0,00	-6,59	-9,55	-12,38	-13,43	-17,14
	2	CH.013	0,00	-6,91	-10,17	-13,14	-14,20	-17,77
	8	CH.017	0,00	-6,91	-9,30	-10,78	-10,92	-11,02
	14	CH.021	0,00	-4,77	-4,77	-4,77	-4,77	-4,39



şekil 5.25 P4 Plağının Y Eksenindeki Yerdeğiştirme Grafiği

Plak köşe noktalarının yerdeğiştirme değerleri Tablo 5.15’de verilmiştir.

Tablo 5.15 P4 Plağı Köşe Noktalarının Yerdeğiştirme Değerleri

Yerdeğiştirme Değerleri (mm)						
	YÜK (ton)					
	0,00	10,50	20,25	30,65	35,00	38,00
CH.023	0,00	3,40	6,92	11,32	13,38	20,64
CH.024	0,00	2,12	6,02	11,92	14,81	26,46
CH.025	0,00	-0,44	0,07	2,03	4,13	13,74
CH.026	0,00	2,97	6,63	11,99	15,34	27,56

Yerdeğiştirmeler diğer plaklarda olduğu gibi, orta noktalarda çökme, kenarlarda ve köşe noktalarında ise kalkma şeklinde oluşmuştur. En fazla kalkma yine beklendiği gibi plak köşe noktalarında meydana gelmiştir. şekil 5.26'da 24 numaralı plak köşe noktasının deney esnasında kalkması görölmektedir.



şekil 5.26 P4 Plağının Köşe Noktasının Kalkması

P4 Plağı 38,00 ton yük değerine kadar yük almaya devam etmiş, bu değerden sonra yük almayarak tam göçme durumuna erişmiştir.

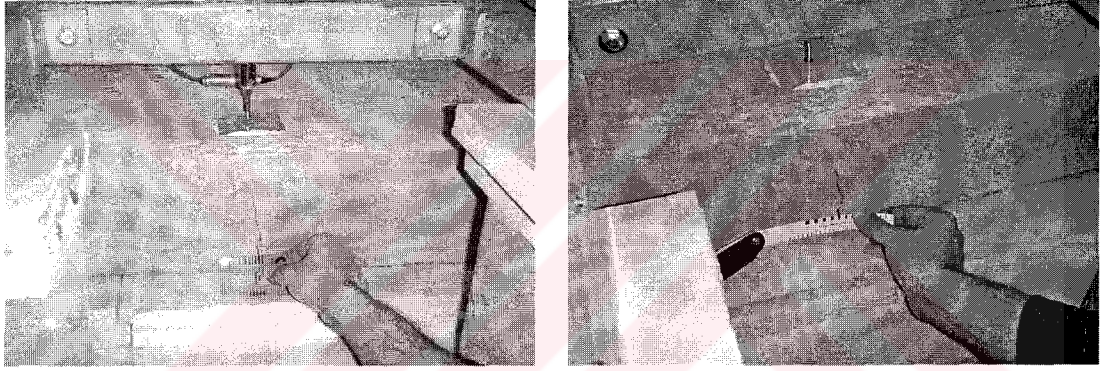
5.4.2 P4 Plağı Çatlak Ölçümleri

P4 plağının yükleme deneyinde de diğer plaklardaki sistem kullanılarak çatlaklar gözlemlenmiş ve ölçümleri yapılmıştır. Plağın kenarlarının numaralandırılması diğer plaklarla aynıdır (Şekil 5.4). Oluşan çatlak genişlikleri Tablo 5.16’da verilmektedir.

Tablo 5.16 P4 Plağı Kenar Çatlaklarının Genişlikleri

P4	Çatlak Genişliği (mm)			
YÜK (ton)	1A	2A	3A	4A
10,50	1,75		1,25	
20,25	2,00		1,50	0,40
30,65	2,25	0,50	1,75	1,00

3A Çatlağının iki ayrı yük kademesindeki görünümü Şekil 5.27’de verilmektedir.



Şekil 5.27 P4 Plağı 3A Çatlağı

P4 plağı kırılana kadar plak üst yüzeyinde çatlak gözlemlenmemiştir. Yükleme işlemi tamamlanıp, yük boşaltıldıktan sonra plak üst yüzeyinde kırılma çizgileri belirmiştir. Yük boşaltılmasından sonraki plak üst yüzeyinin görünümü Şekil 5.28’de verilmektedir.



Şekil 5.28 P4 Plağının Üst Yüzeyinin Kırılma Sonrası Görünümü

5.5 Deney Sonuçlarının Sayısal Modelle Karşılaştırılması

5.5.1 Sayısal Modelleme

Deney yapılan plaklar, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak çözüm yapan, “ANSYS” programında modellenmiştir. Çözüm, malzeme bakımından lineer olmayan analiz yöntemi ile yapılmıştır. ÇTDB’nin modellenmesinde “Solid 65” tipi eleman, plakların oturduğu elastik zeminin modellenmesinde ise “Link 10” tipi eleman kullanılmıştır. “Solid 65” tipi elemanın özelliklerini tanımlamak için gereken, lineer olmayan gerilme - şekil değiştirme diyagramı, plakların beton dökümü sırasında alınan silindir numunelerin test sonuçlarından alınmıştır. “Link 10” tipi eleman için de, plağın kenarlarında, köşelerinde ve diğer noktalarda olmak üzere 3 farklı tip tanımlanmış ve bu 3 farklı tip için gerilme – şekil değiştirme diyagramı girilmiştir.

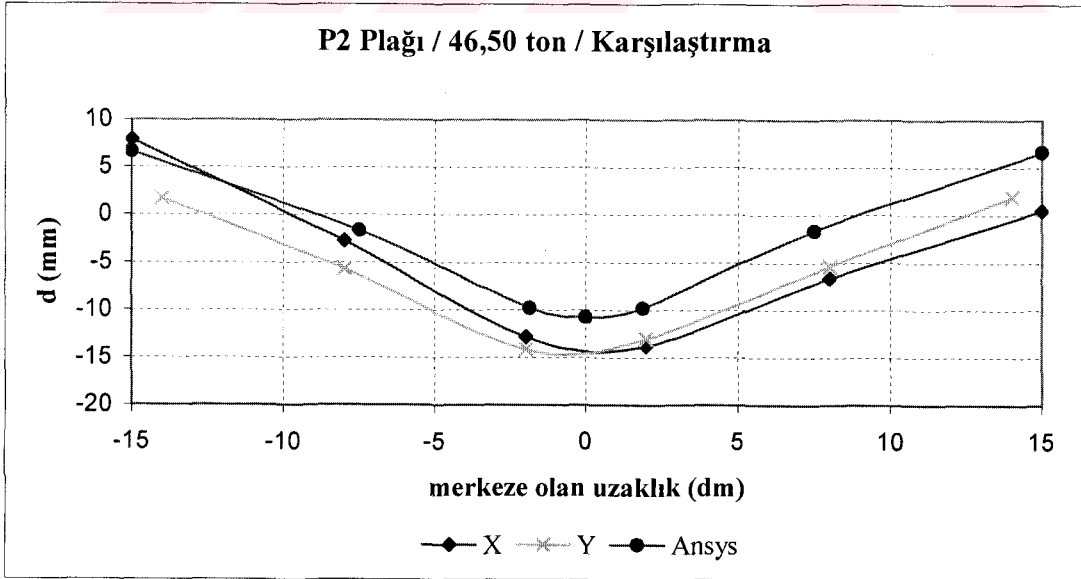
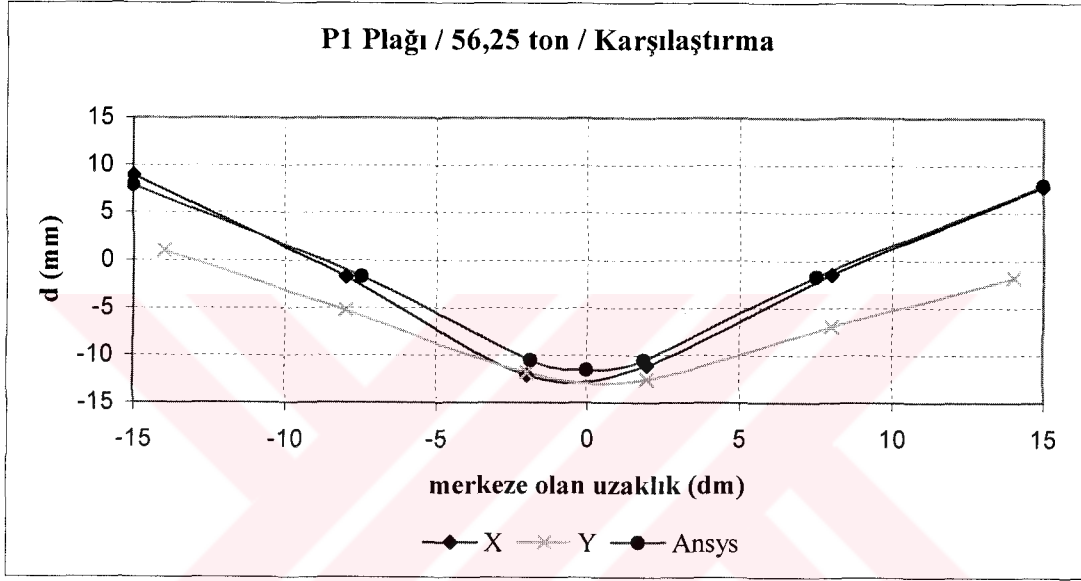
Plaklar önce tek bir hacim olarak ($3 \times 3 \times 0,15$ m boyutlarında) oluşturulmuş ve özellikleri önceden girilen “Solid 65” olarak tanımlanmıştır. Analizin yeterli ölçüde hassas olabilmesi için oluşturulan plaklar, X ve Y yönlerinde 16 parçaya, Z yönünde (kalınlık) ise 2 parçaya bölünmüştür. Daha sonra, plak altındaki düğüm noktalarına “Link 10” tipi elemanlar, etki alanlarına göre değişik 3 farklı tipte atanmışlardır.

Yükleme, deneyde olduğu gibi plak orta noktasında tanımlanan $0,15 \times 0,15$ m’lik alan üzerinde yayılı olarak yapılmıştır.

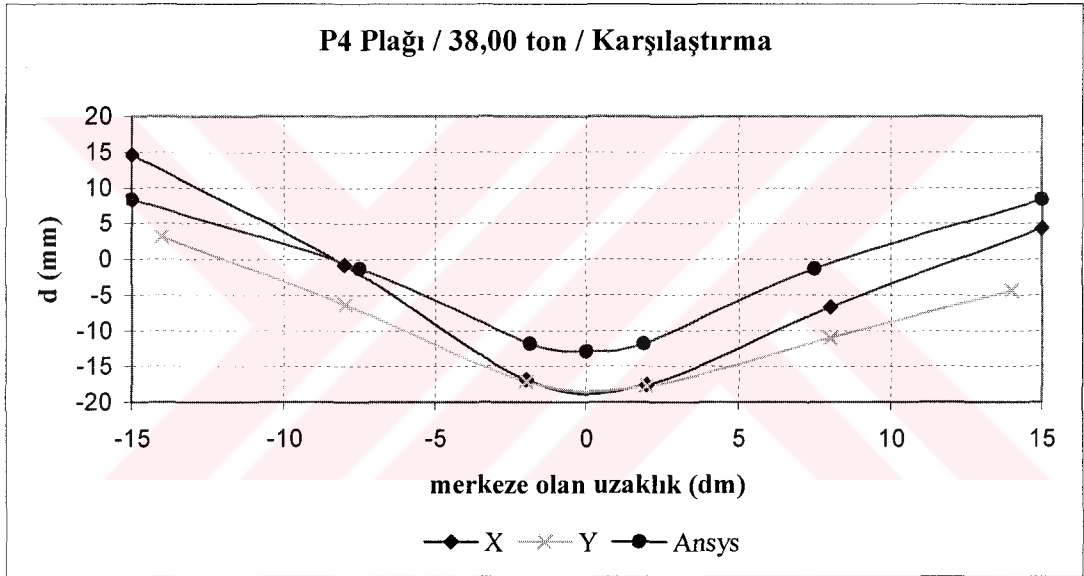
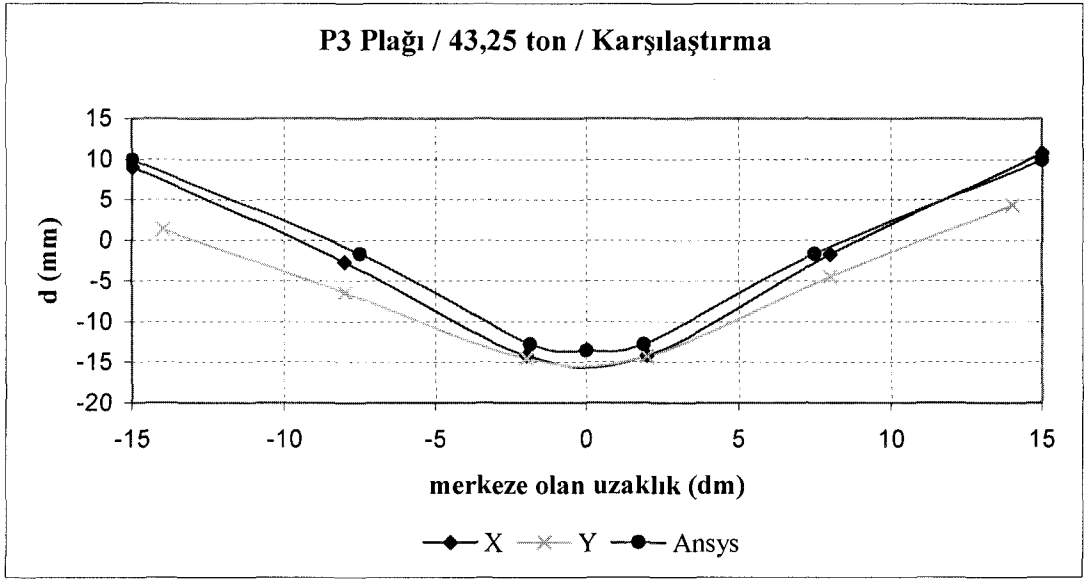
5.5.2 Sonuçların Karşılaştırılması

ANSYS programı ile deneyde kırılan 4 plak modellenmiş ve deneyde ulaşılan maksimum yük seviyesinde yüklenerek çözüm yapıp, düğüm noktalarının yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir.

Çözüm sonucu elde edilen yerdeğiştirmelerin grafiği, plak adlarına ve oluştukları yük seviyelerine göre, deney sonuçları ile karşılaştırmalı olarak, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da verilmiştir.



Şekil 5.29 Sonuçların Karşılaştırılması



Şekil 5.30 Sonuçların Karşılaştırılması

6. SONUÇLAR

Elastik zemine oturan çelik tel donatılı beton plakların, merkeze etkiyen tekil yük altındaki davranışını incelemek üzere yapılan, 4 adet 3,0 x 3,0 x 0,15 m boyutlarındaki plakla sürdürülen deneyde; sonuçlar iki farklı değişken için yorumlanabilir. Bu değişkenlerden ilki; plakların tel içeriği, diğeri ise plakların oturduğu elastik zeminin yatak katsayısıdır. Tüm plakların üretildiği beton sınıfı aynıdır ve C30 dur. Tüm plakların üretiminde tek tip (kancalı uçlu, RC 80/60 BN, dramix) çelik tel kullanılmıştır. Telin boyu L, çapı d ve narinliği L/d olmak üzere; L=60 mm, d=0,75 mm, L/d= 80 dir.

Tel içeriğinin etkisini incelemek için; farklı miktarlardaki tel içeriklerine sahip, aynı tür zemine oturan P1, P2 ve P3, P4 plaklarının deney sonuçları karşılaştırılmalıdır.

P1 ve P2 Plaklarının deney sonuçları karşılaştırması :

P1 plağı 30 kg/m³ tel içermektedirken, P2 plağı 20 kg/m³ tel içermektedir. İki plak da yatak katsayısı 0,08 N/mm³ olarak hesaplanan ve sıkı kum türündeki zemini temsil eden floormate 500 SL-T malzemesine oturmaktadır.

P1 plağının göçme yükü 56,25 ton, P2 plağının 46,50 ton'dur.

P1 ve P2 plaklarında, aynı yük seviyesi için yerdeğiştirme değerleri karşılaştırıldığında; P1 plağının yerdeğiştirmelerinin belirgin derecede daha küçük olduğu görülmüştür.

P1 plağının göçme yükünde orta noktasındaki çökmelerin ortalama değeri 11,90 mm, köşe noktalarındaki kıvrılmaların ortalama değeri 15,66 mm'dir. P2 plağı için bu değerler sırasıyla; 13,48 mm ve 13,69 mm dir.

P1 ve P2 plaklarında, aynı yük seviyesi için çatlak genişlikleri karşılaştırıldığında; P1 plağında oluşan çatlak genişliklerinin belirgin derecede daha küçük olduğu görülmüştür. Plakların göçme yükünde oluşan en büyük çatlak genişlikleri ise P1 için 1,75 mm, P2 için 2,00 mm dir.

P3 ve P4 Plaklarının deney sonuçları karşılaştırması :

P3 plağı 30 kg/m³ tel içermekteyken, P4 plağı 20 kg/m³ tel içermektedir. İki plak da yatak katsayısı 0,04 N/mm³ olarak hesaplanan ve orta sıklıkta kum türündeki zemini temsil eden roofmate 300 SL malzemesine oturmaktadır.

P3 plağının göçme yükü 43,25 ton, P4 plağının 38,00 ton'dur.

P3 ve P4 plaklarında, aynı yük seviyesi için yerdeğiştirme değerleri karşılaştırıldığında; P3 plağının yerdeğiştirmelerinin belirgin derecede daha küçük olduğu görülmüştür.

P3 plağının göçme yükünde orta noktasındaki çökmelerin ortalama değeri 14,32 mm, köşe noktalarındaki kıvrılmaların ortalama değeri 19,84 mm'dir. P4 plağı için bu değerler sırasıyla; 17,33 mm ve 22,10 mm dir.

P3 ve P4 plaklarında, aynı yük seviyesi için çatlak genişlikleri karşılaştırıldığında; P3 plağında oluşan çatlak genişliklerinin belirgin derecede daha küçük olduğu görülmüştür. Plakların göçme yükünde oluşan en büyük çatlak genişlikleri ise P3 için 2,00 mm, P4 için 2,25 mm dir.

Tel içeriği etkisi :

Yukarıda özetlenen deney sonuçlarına göre, tel içeriğinin artması plaklarda şu sonuçları doğurmaktadır.

- Tel içeriği fazla olan plaklar az olanlara göre daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir.
- Aynı yük seviyeleri için; tel içeriği fazla olan plaklar az olanlara göre daha az yerdeğiştirme yapmaktadır.
- Aynı yük seviyeleri için; tel içeriği fazla olan plaklardaki çatlak genişlikleri az olanlardakilere göre daha küçüktür.
- Plakların göçme yükünde oluşan en büyük çatlak genişlikleri; tel içeriği fazla olan plaklarda az olanlara göre daha küçüktür.

Elastik zeminin yatak katsayısı değerinin etkisini incelemek için; farklı yatak katsayısı değerlerine sahip zeminlere oturan, aynı miktarda tel içeren P1, P3 ve P2, P4 plaklarının deney sonuçları karşılaştırılmalıdır.

P1 ve P3 Plaklarının deney sonuçları karşılaştırması :

P1 plağı “sıkı kum” türü zemini temsil eden, $0,08 \text{ N/mm}^3$ yatak katsayısına sahip, floormate 500 SL-T malzemesine oturmaktadır. P3 plağı ise “orta sıklıkta kum” türü zemini temsil eden, $0,04 \text{ N/mm}^3$ yatak katsayısına sahip, roofmate 300 SL malzemesine oturmaktadır.

P1 plağının göçme yükü 56,25 ton, P3 plağının 43,25 ton’dur.

P1 ve P3 plaklarında, aynı yük seviyesi için yerdeğiştirme değerleri karşılaştırıldığında; P1 plağının yerdeğiştirmelerinin daha küçük olduğu görülmüştür.

P1 plağının göçme yükünde, orta noktasındaki çökmelerin ortalama değeri 11,90 mm, köşe noktalarındaki kıvrılmaların ortalama değeri 15,66 mm’dir. P3 plağı için bu değerler sırasıyla; 14,32 mm ve 19,84 mm dir.

P1 ve P3 plaklarında, aynı yük seviyesi için çatlak genişlikleri karşılaştırıldığında; P1 plağında oluşan çatlak genişliklerinin belirgin derecede daha küçük olduğu görülmüştür. Plakların göçme yükünde oluşan en büyük çatlak genişlikleri ise P1 için 1,75 mm, P3 için 2,00 mm dir.

P2 ve P4 Plaklarının deney sonuçları karşılaştırması :

P2 plağı “sıkı kum” türü zemini temsil eden, $0,08 \text{ N/mm}^3$ yatak katsayısına sahip, floormate 500 SL-T malzemesine oturmaktadır. P4 plağı ise “orta sıklıkta kum” türü zemini temsil eden, $0,04 \text{ N/mm}^3$ yatak katsayısına sahip, roofmate 300 SL malzemesine oturmaktadır.

P2 plağının göçme yükü 46,50 ton, P4 plağının 38,00 ton’dur.

P2 ve P4 plaklarında, aynı yük seviyesi için yerdeğiştirme değerleri karşılaştırıldığında; P2 plağının yerdeğiştirmelerinin daha küçük olduğu görülmüştür.

P2 plağının göçme yükünde, orta noktasındaki çökmelerin ortalama değeri 13,48 mm, köşe noktalarındaki kıvrılmaların ortalama değeri 13,69 mm’dir. P4 plağı için bu değerler sırasıyla; 17,33 mm ve 22,10 mm dir.

P2 ve P4 plaklarında, aynı yük seviyesi için çatlak genişlikleri karşılaştırıldığında; P2 plağında oluşan çatlak genişliklerinin belirgin derecede daha küçük olduğu görülmüştür. 30,65 ton yük seviyesinde oluşan en büyük çatlak genişlikleri; P2 için 1,50 mm, P4 için 2,25 mm dir.

Plakların göçme yükünde oluşan en büyük çatlak genişlikleri ise P2 için 2,00 mm, P4 için yine 2,25 mm dir. (30,65 ton P4 plağının göçme yükü)

Zemin yatak katsayısı etkisi :

Yukarıda özetlenen deney sonuçlarına göre, plakların oturduğu zeminin yatak katsayısı değişimi, şu sonuçları doğurmaktadır.

- Yatak katsayısı değerinin büyümesi, plağın yük taşıma kapasitesini artırmaktadır.
- Aynı yük seviyeleri için; yatak katsayısı büyük olan zemine oturan plaklar diğerlerine göre daha az yerdeğiştirme yapmaktadır.
- Aynı yük seviyeleri için; yatak katsayısı büyük olan zemine oturan plaklardaki çatlak genişlikleri diğerlerine göre daha küçüktür.
- Plakların göçme yükünde oluşan en büyük çatlak genişlikleri; yatak katsayısı büyük olan zemine oturan plaklarda diğerlerine göre daha küçüktür.

KAYNAKLAR

- [1] **Aydöner, T.**, 2002. Çelik tel takviyeli betonların mekanik davranışı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Falkner, H. and Teutsch, M.**, 1993. Comparative investigations of plain and steel fibre reinforced industrial ground slabs, INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRAND SCHUTZ, Brunswick.
- [3] **Taşdemir, M.A. ve Yerlikaya, M.**, 2002. Çelik tel donatılı betonlar semineri, İnşaat Mühendisleri Odası, Harbiye.
- [4] **Taşdemir, M.A. ve Bayramov, F.**, 2002. Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı, İTÜ Mühendislik dergisi, İstanbul.
- [5] **BEKAERT.**, 1997. Design guidelines for dramix steel wire fibre reinforced concrete, Belgium.
- [6] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2001. Betonarme Yapılar, Rehber matbaacılık, İstanbul.
- [7] **Taşdemir, M.A., Yerlikaya, M. ve Şengül, Ö.**, 2004. Endüstriyel Zemin Betonları, baskıda.
- [8] **Gençoğlu, M.**, 2000. Çelik telle güçlendirilmiş kiriş ve kolonların davranışı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **TS-10513**, 1992. Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

EKLER

Bu kısımda, yapılan deney sonucu elde edilen, her bir yükleme adımına karşı gelen yerdeğiştirme değerlerinden oluşan, deney datalarının tamamı verilmiştir.

Ekteki tablolar sırası ile P1, P2, P3 ve P4 plaklarına ait deney datalarıdır ve sırası ile Tablo A.1, Tablo A.2, Tablo A.3 ve Tablo A.4 şeklinde sunulmuştur.



Tablo A.1 P1 PLAĞINA AİT DENEY DATASI																	
YÜK(bar)	YÜK (ton)	CH.011	CH.012	CH.013	CH.014	CH.015	CH.016	CH.017	CH.018	CH.019	CH.020	CH.021	CH.022	CH.023	CH.024	CH.025	CH.026
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
5	1,50	0,02	0,11	0,17	0,18	0,13	0,05	0,19	0,18	0,18	0,18	0,16	0,15	0,02	0,08	0,06	0,09
10	2,00	0,03	0,20	0,31	0,33	0,24	0,09	0,32	0,32	0,33	0,33	0,29	0,27	0,04	0,16	0,10	0,15
15	3,00	0,05	0,31	0,49	0,52	0,38	0,14	0,48	0,49	0,52	0,52	0,47	0,45	0,07	0,26	0,14	0,19
20	4,00	0,05	0,37	0,60	0,63	0,47	0,17	0,56	0,58	0,63	0,64	0,58	0,56	0,09	0,32	0,16	0,19
25	5,00	0,06	0,50	0,84	0,86	0,64	0,22	0,72	0,77	0,87	0,88	0,82	0,80	0,13	0,46	0,20	0,19
30	6,15	0,06	0,57	0,96	0,99	0,72	0,24	0,79	0,86	0,99	1,02	0,94	0,92	0,16	0,52	0,21	0,17
35	7,30	0,03	0,67	1,18	1,22	0,87	0,27	0,92	1,06	1,27	1,31	1,21	1,20	0,18	0,65	0,22	0,08
40	8,50	0,00	0,74	1,36	1,40	0,97	0,28	1,00	1,18	1,43	1,48	1,37	1,33	0,18	0,69	0,22	0,01
45	9,55	-1,15	1,31	3,71	3,77	1,96	-0,03	3,32	3,75	4,10	4,17	4,02	2,79	-0,71	0,29	-0,33	-2,31
50	10,50	-1,66	1,47	4,56	4,63	2,24	-0,26	4,11	4,67	5,07	5,12	4,88	2,79	-1,17	-0,26	-0,61	-3,31
55	11,70	-2,03	1,56	5,11	5,14	2,38	-0,44	4,57	5,23	5,67	5,68	5,35	2,79	-1,40	-0,63	-0,80	-3,91
60	12,75	-2,55	1,63	5,70	5,65	2,49	-0,66	4,57	5,81	6,29	6,23	5,75	2,79	-1,66	-1,11	-1,00	-4,65
65	14,00	-2,85	1,67	6,05	5,94	2,55	-0,80	4,56	6,11	6,66	6,54	5,95	2,79	-1,77	-1,44	-1,18	-5,20
70	15,00	-2,98	1,69	6,24	6,11	2,57	-0,91	4,56	6,30	6,93	6,78	6,09	2,79	-1,83	-1,64	-1,34	-5,46
75	16,00	-3,09	1,73	6,42	6,26	2,59	-1,00	4,57	6,39	7,05	6,90	6,16	2,79	-1,86	-1,76	-1,46	-5,63
80	17,00	-3,20	1,75	6,56	6,36	2,60	-1,06	4,56	6,44	7,14	6,97	6,20	2,79	-1,87	-1,85	-1,54	-5,74
90	19,20	-3,24	1,76	6,62	6,41	2,60	-1,09	4,56	6,47	7,20	7,03	6,23	2,79	-1,87	-1,92	-1,60	-5,82
95	20,25	-3,30	1,78	6,72	6,49	2,62	-1,14	4,56	6,52	7,29	7,12	6,28	2,79	-1,89	-2,01	-1,70	-5,94

100	21,50	-3,34	1,80	6,79	6,55	2,62	-1,17	4,56	6,55	7,36	7,18	6,32	2,79	-1,91	-2,11	-1,80	-6,05
105	22,30	-3,38	1,81	6,86	6,62	2,63	-1,22	4,56	6,60	7,46	7,28	6,36	2,79	-1,95	-2,20	-1,89	-6,15
110	23,32	-3,43	1,83	6,94	6,69	2,64	-1,26	4,56	6,63	7,52	7,33	6,38	2,79	-1,96	-2,27	-1,96	-6,22
115	24,25	-3,48	1,84	7,02	6,76	2,64	-1,31	4,56	6,66	7,59	7,40	6,41	2,79	-1,98	-2,35	-2,04	-6,31
120	25,38	-3,53	1,86	7,12	6,85	2,66	-1,36	4,56	6,71	7,69	7,50	6,45	2,79	-2,02	-2,48	-2,17	-6,44
125	26,25	-3,58	1,87	7,19	6,91	2,66	-1,41	4,56	6,74	7,76	7,57	6,48	2,79	-2,06	-2,57	-2,26	-6,54
130	27,40	-3,64	1,89	7,28	6,99	2,67	-1,46	4,56	6,77	7,84	7,64	6,50	2,79	-2,09	-2,68	-2,37	-6,62
135	28,50	-3,68	1,90	7,35	7,04	2,67	-1,50	4,56	6,80	7,91	7,70	6,52	2,79	-2,13	-2,77	-2,48	-6,73
140	29,50	-3,73	1,91	7,44	7,12	2,68	-1,55	4,56	6,84	8,00	7,78	6,55	2,79	-2,17	-2,88	-2,59	-6,81
145	30,65	-3,78	1,93	7,53	7,20	2,68	-1,61	4,56	6,87	8,08	7,87	6,57	2,79	-2,22	-3,01	-2,72	-6,92
150	31,75	-3,85	1,95	7,64	7,31	2,69	-1,68	4,56	6,91	8,19	7,98	6,59	2,79	-2,29	-3,21	-2,94	-7,07
155	32,75	-3,88	1,96	7,70	7,36	2,70	-1,73	4,56	6,93	8,25	8,03	6,59	2,79	-2,33	-3,31	-3,04	-7,14
160	33,85	-3,93	1,98	7,80	7,45	2,71	-1,78	4,56	6,95	8,35	8,13	6,60	2,79	-2,39	-3,56	-3,28	-7,26
165	35,00	-3,98	2,00	7,90	7,56	2,73	-1,83	4,56	6,96	8,45	8,22	6,59	2,79	-2,46	-3,85	-3,55	-7,39
170	36,00	-4,04	2,02	8,01	7,66	2,74	-1,89	4,56	6,98	8,56	8,32	6,58	2,79	-2,53	-4,11	-3,77	-7,52
175	37,00	-4,10	2,03	8,09	7,74	2,75	-1,95	4,56	7,01	8,65	8,40	6,58	2,79	-2,60	-4,34	-3,98	-7,66
180	38,00	-4,16	2,04	8,20	7,84	2,75	-2,04	4,56	7,04	8,75	8,49	6,58	2,79	-2,67	-4,58	-4,18	-7,79
185	39,25	-4,21	2,05	8,26	7,89	2,74	-2,09	4,56	7,05	8,80	8,54	6,58	2,79	-2,71	-4,73	-4,29	-7,87
190	40,00	-4,33	2,08	8,45	8,07	2,73	-2,26	4,56	7,11	9,00	8,72	6,56	2,79	-2,87	-5,23	-4,71	-8,17
195	41,25	-4,38	2,10	8,53	8,14	2,73	-2,33	4,56	7,13	9,07	8,78	6,56	2,79	-2,94	-5,42	-4,87	-8,29
200	42,25	-4,45	2,12	8,63	8,23	2,72	-2,43	4,56	7,15	9,17	8,87	6,55	2,79	-3,04	-5,68	-5,09	-8,47
205	43,25	-4,48	2,13	8,69	8,28	2,71	-2,48	4,56	7,16	9,23	8,93	6,54	2,79	-3,10	-5,85	-5,24	-8,59

210	44,50	-4,51	2,24	8,87	8,43	2,70	-2,62	4,56	7,10	9,38	9,06	6,48	2,79	-3,44	-6,24	-5,69	-9,13
215	45,50	-4,57	2,28	8,99	8,53	2,69	-2,74	4,56	7,07	9,50	9,17	6,45	2,79	-3,62	-6,58	-6,05	-9,46
220	46,50	-4,69	2,32	9,17	8,69	2,66	-2,94	4,56	7,07	9,68	9,33	6,41	2,79	-3,85	-7,12	-6,57	-9,95
225	47,50	-4,80	2,34	9,33	8,83	2,63	-3,12	4,54	7,07	9,83	9,47	6,38	2,79	-4,04	-7,58	-7,01	-10,35
230	48,75	-4,91	2,36	9,47	8,96	2,60	-3,31	4,41	7,07	9,98	9,61	6,34	2,79	-4,24	-8,07	-7,48	-10,76
235	49,75	-5,07	2,37	9,65	9,13	2,56	-3,56	4,23	7,06	10,15	9,77	6,29	2,79	-4,46	-8,64	-8,02	-11,23
240	50,75	-5,20	2,38	9,79	9,26	2,52	-3,76	4,12	7,07	10,29	9,89	6,25	2,79	-4,64	-9,05	-8,43	-11,59
245	51,75	-5,37	2,38	9,96	9,41	2,47	-4,00	3,98	7,08	10,45	10,03	6,21	2,70	-4,86	-9,56	-8,94	-12,04
250	53,00	-5,69	2,37	10,24	9,66	2,38	-4,43	3,73	7,08	10,74	10,27	6,13	2,30	-5,28	-10,48	-9,86	-12,90
255	54,00	-6,01	2,34	10,50	9,89	2,28	-4,85	3,47	7,08	11,02	10,52	6,05	1,90	-5,74	-11,41	-10,77	-13,78
260	55,00	-6,64	2,25	10,91	10,24	2,11	-5,56	3,08	7,08	11,43	10,88	5,91	1,26	-6,61	-12,70	-12,21	-15,18
265	56,25	-7,14	2,16	11,20	10,49	1,98	-6,10	2,80	7,08	11,73	11,14	5,78	0,72	-7,38	-13,61	-13,28	-16,23
265	56,25	-8,92	1,77	12,10	11,09	1,53	-7,69	1,86	7,01	12,57	11,83	5,30	-0,98	-10,05	-16,50	-16,37	-19,72

Tablo A.2 P2 PLAĞINA AİT DENEY DATASI																	
YÜK(bar)	YÜK (ton)	CH.011	CH.012	CH.013	CH.014	CH.015	CH.016	CH.017	CH.018	CH.019	CH.020	CH.021	CH.022	CH.023	CH.024	CH.025	CH.026
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
5	1,50	0,21	0,23	0,20	0,20	0,18	0,22	0,18	0,15	0,14	0,21	0,14	0,08	-0,07	0,21	0,03	0,09
10	2,00	0,41	0,43	0,40	0,40	0,36	0,45	0,35	0,29	0,29	0,44	0,26	0,13	-0,13	0,42	0,06	0,11
15	3,00	0,73	0,75	0,70	0,69	0,62	0,76	0,57	0,45	0,49	0,73	0,39	0,17	-0,22	0,70	0,09	0,09
20	4,00	0,98	1,01	0,94	0,92	0,82	1,01	0,73	0,58	0,64	0,95	0,48	0,18	-0,30	0,91	0,11	0,04
25	5,00	1,29	1,31	1,23	1,17	1,02	1,25	0,89	0,69	0,77	1,12	0,54	0,18	-0,37	1,06	0,11	-0,04
30	6,15	1,65	1,67	1,59	1,50	1,28	1,55	1,10	0,84	0,94	1,34	0,60	0,14	-0,51	1,26	0,10	-0,18
35	7,30	2,08	2,09	2,00	1,86	1,55	1,85	1,30	0,97	1,10	1,51	0,66	0,07	-0,66	1,42	0,07	-0,35
40	8,50	2,90	2,84	2,77	2,53	2,13	2,28	1,85	1,10	1,44	1,49	0,98	-0,39	-1,25	1,46	-0,09	-1,13
45	9,55	6,57	6,47	6,36	6,04	3,66	4,37	4,10	2,53	1,17	2,14	1,84	-1,20	-4,23	0,05	-0,59	-5,06
50	10,50	8,81	8,72	8,58	8,09	4,85	5,50	5,56	2,68	1,29	2,31	2,60	-3,11	-6,56	-1,59	-0,99	-7,88
50	10,50	9,08	8,99	8,84	8,34	4,97	5,65	5,69	2,74	1,28	2,30	2,61	-3,25	-6,81	-1,83	-1,05	-8,18
55	11,70	9,20	9,12	8,97	8,47	5,04	5,71	5,77	2,77	1,27	2,29	2,64	-3,35	-6,98	-1,95	-1,11	-8,41
60	12,75	9,33	9,24	9,09	8,58	5,09	5,76	5,82	2,78	1,26	2,28	2,65	-3,40	-7,07	-2,01	-1,13	-8,49
65	14,00	9,45	9,35	9,20	8,69	5,14	5,81	5,87	2,80	1,25	2,27	2,66	-3,49	-7,20	-2,11	-1,18	-8,66
70	15,00	9,58	9,47	9,32	8,81	5,19	5,87	5,93	2,82	1,24	2,26	2,66	-3,57	-7,34	-2,21	-1,23	-8,81

75	16,00	9,69	9,59	9,43	8,93	5,24	5,92	5,97	2,83	1,22	2,25	2,66	-3,65	-7,47	-2,31	-1,29	-8,97
80	17,00	9,78	9,68	9,51	9,01	5,27	5,96	6,00	2,85	1,21	2,23	2,65	-3,71	-7,57	-2,39	-1,34	-9,09
85	18,00	9,91	9,81	9,62	9,13	5,32	6,01	6,04	2,87	1,19	2,22	2,62	-3,78	-7,72	-2,51	-1,42	-9,26
90	19,20	10,01	9,91	9,72	9,23	5,36	6,06	6,07	2,88	1,17	2,20	2,60	-3,85	-7,84	-2,60	-1,49	-9,41
95	20,25	10,12	10,01	9,81	9,33	5,39	6,10	6,10	2,90	1,15	2,19	2,57	-3,91	-7,97	-2,70	-1,56	-9,57
95	20,25	10,13	10,04	9,83	9,35	5,40	6,11	6,10	2,90	1,13	2,18	2,56	-3,93	-8,00	-2,73	-1,58	-9,61
100	21,50	10,30	10,20	9,98	9,51	5,45	6,18	6,14	2,94	1,10	2,16	2,52	-4,02	-8,19	-2,88	-1,69	-9,85
105	22,30	10,35	10,25	10,02	9,56	5,47	6,20	6,15	2,95	1,09	2,15	2,50	-4,05	-8,24	-2,92	-1,73	-9,92
110	23,32	10,41	10,31	10,08	9,62	5,49	6,22	6,16	2,96	1,07	2,14	2,48	-4,08	-8,32	-2,98	-1,78	-10,01
115	24,25	10,48	10,38	10,14	9,68	5,51	6,25	6,17	2,96	1,05	2,13	2,45	-4,13	-8,40	-3,05	-1,84	-10,12
120	25,38	10,56	10,46	10,22	9,76	5,54	6,28	6,19	2,98	1,03	2,11	2,42	-4,18	-8,51	-3,13	-1,92	-10,26
125	26,25	10,65	10,55	10,30	9,85	5,57	6,31	6,20	2,99	1,00	2,09	2,38	-4,24	-8,62	-3,22	-2,00	-10,40
130	27,40	10,74	10,65	10,39	9,94	5,59	6,35	6,22	3,00	0,97	2,07	2,34	-4,31	-8,75	-3,32	-2,11	-10,57
135	28,50	10,82	10,72	10,46	10,02	5,61	6,38	6,23	3,01	0,95	2,05	2,30	-4,36	-8,85	-3,40	-2,19	-10,71
140	29,50	10,92	10,83	10,56	10,11	5,64	6,41	6,24	3,02	0,92	2,02	2,25	-4,44	-8,99	-3,51	-2,31	-10,90
145	30,65	11,00	10,92	10,64	10,20	5,66	6,44	6,25	3,03	0,89	2,00	2,20	-4,50	-9,11	-3,61	-2,42	-11,06
145	30,65	11,02	10,93	10,65	10,22	5,67	6,45	6,26	3,03	0,89	1,99	2,19	-4,52	-9,13	-3,63	-2,44	-11,09
150	31,75	11,29	11,21	10,92	10,48	5,74	6,54	6,29	3,06	0,79	1,91	2,04	-4,71	-9,51	-3,93	-2,78	-11,61
155	32,75	11,33	11,25	10,96	10,52	5,75	6,55	6,29	3,07	0,78	1,90	2,01	-4,74	-9,57	-3,97	-2,84	-11,70
160	33,85	11,39	11,30	11,00	10,57	5,76	6,56	6,29	3,08	0,76	1,88	1,97	-4,78	-9,64	-4,03	-2,92	-11,81
165	35,00	11,46	11,38	11,07	10,64	5,77	6,58	6,29	3,09	0,73	1,85	1,90	-4,83	-9,75	-4,12	-3,05	-11,98
170	36,00	11,56	11,47	11,16	10,74	5,80	6,61	6,28	3,09	0,69	1,82	1,80	-4,91	-9,89	-4,23	-3,21	-12,21

175	37,00	11,71	11,62	11,30	10,88	5,83	6,65	6,26	3,10	0,63	1,75	1,64	-5,04	-10,12	-4,43	-3,50	-12,61
180	38,00	11,87	11,77	11,44	11,03	5,86	6,69	6,23	3,11	0,56	1,68	1,46	-5,18	-10,36	-4,62	-3,80	-13,04
185	39,25	12,02	11,92	11,57	11,18	5,89	6,72	6,19	3,11	0,50	1,61	1,27	-5,32	-10,60	-4,81	-4,11	-13,49
190	40,00	12,18	12,08	11,72	11,33	5,93	6,75	6,14	3,11	0,42	1,52	1,03	-5,49	-10,86	-5,02	-4,46	-13,99
195	41,25	12,76	12,62	12,22	11,86	6,04	6,85	6,01	3,09	0,14	1,17	0,32	-6,10	-11,88	-5,82	-5,67	-15,71
200	42,25	12,84	12,69	12,28	11,93	6,04	6,85	5,97	3,08	0,08	1,11	0,20	-6,18	-12,03	-5,93	-5,84	-15,93
205	43,25	12,93	12,77	12,36	12,02	6,04	6,86	5,93	3,06	0,01	1,03	0,04	-6,30	-12,25	-6,10	-6,09	-16,27
210	44,50	13,08	12,90	12,48	12,15	6,03	6,86	5,86	3,03	-0,13	0,90	-0,20	-6,49	-12,64	-6,36	-6,49	-16,79
215	45,50	13,27	13,07	12,64	12,32	5,99	6,85	5,77	2,99	-0,37	0,72	-0,51	-6,77	-13,26	-6,71	-7,01	-17,48
220	46,50	13,60	13,35	12,92	12,61	5,89	6,81	5,63	2,90	-0,87	0,33	-1,06	-7,31	-14,52	-7,49	-8,04	-18,83
220	46,50	13,84	13,52	12,92	12,73	5,78	6,75	5,51	2,86	-1,29	-0,01	-1,38	-7,48	-15,24	-8,10	-8,63	-19,24
220	46,50	14,20	13,77	13,08	12,88	5,68	6,66	5,34	2,76	-1,73	-0,51	-1,89	-7,88	-16,13	-8,93	-9,49	-20,22

Tablo A.3 P3 PLAĞINA AİT DENEY DATASI																	
YÜK(bar)	YÜK (ton)	CH.011	CH.012	CH.013	CH.014	CH.015	CH.016	CH.017	CH.018	CH.019	CH.020	CH.021	CH.022	CH.023	CH.024	CH.025	CH.026
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1,50	0,15	0,18	0,17	0,15	0,09	0,14	0,20	0,09	0,05	0,08	0,23	0,00	-0,03	-0,05	0,23	0,06
10	2,00	0,25	0,29	0,28	0,24	0,16	0,22	0,33	0,14	0,09	0,13	0,37	-0,01	-0,05	-0,07	0,37	0,11
15	3,00	0,42	0,47	0,45	0,40	0,27	0,37	0,53	0,25	0,16	0,22	0,62	0,02	-0,06	-0,11	0,59	0,19
20	4,00	0,57	0,63	0,61	0,55	0,37	0,49	0,70	0,34	0,22	0,28	0,79	0,05	-0,05	-0,13	0,73	0,26
25	5,00	0,75	0,82	0,81	0,73	0,51	0,63	0,89	0,46	0,33	0,36	0,99	0,10	0,00	-0,15	0,89	0,33
30	6,15	0,96	1,04	1,02	0,94	0,68	0,78	1,09	0,61	0,48	0,42	1,19	0,17	0,10	-0,16	1,01	0,40
35	7,30	1,22	1,30	1,27	1,19	0,89	0,93	1,30	0,76	0,67	0,47	1,36	0,24	0,25	-0,17	1,09	0,41
40	8,50	1,47	1,55	1,50	1,43	1,11	1,07	1,48	0,90	0,86	0,49	1,49	0,29	0,39	-0,20	1,13	0,36
45	9,55	1,90	1,98	1,90	1,83	1,47	1,26	1,78	1,08	1,17	0,46	1,68	0,27	0,56	-0,34	1,16	0,04
40	8,50	2,76	2,80	2,62	2,57	2,26	1,52	2,22	1,23	1,82	0,21	1,82	-0,14	0,61	-0,95	1,10	-0,95
45	9,55	3,47	3,45	3,23	3,22	2,95	1,74	2,56	1,44	2,44	0,02	1,91	-0,34	0,86	-1,32	0,98	-1,66
50	10,50	4,03	3,95	3,69	3,74	3,49	1,87	2,78	1,59	2,94	-0,19	1,93	-0,51	1,08	-1,64	0,81	-2,26
55	11,70	4,57	4,43	4,16	4,25	4,01	1,99	3,01	1,75	3,43	-0,41	1,93	-0,64	1,32	-1,92	0,58	-2,83
60	12,75	4,76	4,60	4,34	4,44	4,19	2,02	3,09	1,80	3,59	-0,53	1,92	-0,72	1,37	-2,09	0,45	-3,05
60	12,75	4,99	4,79	4,55	4,66	4,39	2,04	3,18	1,85	3,76	-0,69	1,92	-0,81	1,40	-2,28	0,32	-3,32
65	14,00	5,16	4,95	4,71	4,82	4,54	2,06	3,26	1,90	3,89	-0,79	1,92	-0,87	1,45	-2,41	0,22	-3,50
70	15,00	5,31	5,09	4,85	4,98	4,68	2,07	3,32	1,95	4,01	-0,91	1,90	-0,93	1,48	-2,56	0,09	-3,69

75	16,00	5,49	5,24	5,02	5,16	4,84	2,07	3,38	1,99	4,14	-1,05	1,88	-1,01	1,50	-2,73	-0,07	-3,91
80	17,00	5,68	5,41	5,21	5,36	5,01	2,07	3,47	2,03	4,28	-1,22	1,87	-1,10	1,51	-2,94	-0,25	-4,17
85	18,00	5,88	5,58	5,43	5,56	5,17	2,06	3,60	2,05	4,40	-1,41	1,94	-1,29	1,42	-3,13	-0,55	-4,49
90	19,20	6,15	5,81	5,74	5,84	5,36	2,04	3,79	2,08	4,53	-1,64	2,03	-1,53	1,23	-3,38	-0,93	-4,83
95	20,25	6,41	6,05	6,02	6,11	5,54	2,05	3,95	2,11	4,63	-1,83	2,11	-1,73	1,07	-3,63	-1,20	-5,12
100	21,50	6,53	6,15	6,14	6,23	5,61	2,05	4,00	2,13	4,66	-1,92	2,11	-1,81	1,01	-3,75	-1,34	-5,26
105	22,30	6,65	6,26	6,27	6,35	5,68	2,04	4,06	2,15	4,69	-2,03	2,11	-1,90	0,93	-3,88	-1,49	-5,42
110	23,32	6,80	6,40	6,44	6,51	5,77	2,04	4,13	2,17	4,72	-2,16	2,11	-2,01	0,82	-4,05	-1,69	-5,62
115	24,25	6,93	6,52	6,57	6,64	5,83	2,04	4,19	2,18	4,74	-2,26	2,12	-2,11	0,73	-4,18	-1,85	-5,79
120	25,38	7,07	6,65	6,72	6,78	5,90	2,04	4,25	2,19	4,75	-2,38	2,11	-2,22	-6,68	-4,35	-2,03	-5,97
125	26,25	7,21	6,79	6,88	6,94	5,98	2,04	4,32	2,21	4,77	-2,50	2,11	-2,33	0,50	-4,53	-2,23	-6,18
130	27,40	7,35	6,92	7,03	7,08	6,05	2,04	4,38	2,22	4,77	-2,62	2,10	-2,44	0,38	-4,69	-2,41	-6,38
135	28,50	7,52	7,08	7,21	7,26	6,12	2,04	4,45	2,23	4,14	-2,78	2,08	-2,58	0,23	-4,89	-2,65	-6,62
140	29,50	7,70	7,24	7,39	7,45	6,19	2,04	4,51	2,25	4,76	-2,94	2,05	-2,72	0,07	-5,14	-2,93	-6,89
145	30,65	7,89	7,42	7,58	7,63	6,26	2,03	4,57	2,26	4,74	-3,12	2,00	-2,87	-0,12	-5,39	-3,22	-7,17
145	30,65	8,37	7,89	8,08	8,13	6,37	2,13	4,65	2,33	4,49	-3,45	1,73	-3,25	-0,77	-6,80	-4,34	-8,01
150	31,75	8,50	8,02	8,20	8,27	6,39	2,15	4,64	2,38	4,40	-3,53	1,58	-3,33	-1,04	-6,51	-4,61	-8,44
155	32,75	8,57	8,09	8,27	8,35	6,39	2,17	4,62	2,40	4,33	-3,58	1,48	-3,38	-1,20	-6,66	-4,79	-8,71
160	33,85	8,75	8,27	8,45	8,54	6,39	2,19	4,59	2,45	4,18	-3,71	1,26	-3,51	-1,54	-7,02	-5,23	-9,25
165	35,00	8,99	8,50	8,69	8,79	6,41	2,20	4,57	2,48	4,00	-3,92	1,01	-3,72	-1,98	-7,52	-5,80	-9,90
170	36,00	9,22	8,73	8,92	9,02	6,44	2,22	4,57	2,50	3,84	-4,12	0,81	-3,92	-2,36	-7,98	-6,28	-10,45
175	37,00	9,41	8,92	9,12	9,23	6,46	2,22	4,58	2,52	3,70	-4,30	0,64	-4,10	-2,72	-8,40	-6,72	-10,96

175	37,00	9,75	9,25	9,47	9,56	6,50	2,24	4,60	2,54	3,46	-4,61	0,39	-4,41	-3,31	-9,10	-7,41	-11,75
180	38,00	9,95	9,45	9,67	9,76	6,52	2,24	4,62	2,56	3,32	-4,81	0,24	-4,60	-3,65	-9,53	-7,83	-12,23
185	39,25	10,26	9,76	9,99	10,10	6,54	2,22	4,61	2,59	3,04	-5,19	-0,08	-4,90	-4,37	-10,37	-8,66	-13,18
190	40,00	10,63	10,12	10,38	10,48	6,55	2,19	4,62	2,62	2,72	-5,62	-0,41	-5,23	-5,10	-11,23	-9,48	-14,08
190	40,00	11,00	10,48	10,76	10,85	6,58	2,17	4,64	2,65	2,42	-6,05	-0,71	-5,57	-5,82	-12,14	-10,32	-15,00
195	41,25	12,90	12,34	12,62	12,75	6,67	2,06	4,73	2,78	0,80	-8,22	-2,25	-7,27	-9,49	-16,76	-14,52	-19,55
200	42,25	13,08	12,52	12,80	12,93	6,66	2,03	4,71	2,78	0,58	-8,49	-2,46	-7,48	-9,91	-17,34	-15,03	-20,10
205	43,25	13,26	12,69	12,97	13,11	6,64	1,99	4,69	2,78	0,38	-8,74	-2,66	-7,66	-10,30	-17,88	-15,52	-20,59
205	43,25	13,58	13,02	13,27	13,40	6,61	1,95	4,65	2,77	0,00	-9,19	-3,03	-7,99	-11,00	-18,90	-16,47	-21,52
205	43,25	13,75	13,19	13,41	13,50	6,59	1,93	4,63	2,77	-0,19	-9,42	-3,20	-8,11	-11,25	-19,36	-16,92	-21,86
205	43,25	13,96	13,40	13,58	13,63	6,57	1,91	4,61	2,76	-0,41	-9,69	-3,41	-8,31	-11,62	-19,97	-17,47	-22,39
205	43,25	14,30	13,81	13,94	13,93	6,51	1,83	4,56	2,74	-0,87	-10,27	-3,89	-8,71	-12,41	-21,14	-18,66	-23,46
205	43,25	14,47	14,01	14,11	14,08	6,48	1,81	4,54	2,73	-1,09	-10,53	-4,11	-8,90	-12,79	-21,70	-19,20	-23,98
205	43,25	14,61	14,20	14,26	14,20	6,46	1,79	4,52	2,73	-1,28	-10,76	-4,29	-9,05	-13,10	-22,17	-19,68	-24,41

Tablo A.4 P4 PLAĞINA AİT DENEY DATASI																		
YÜK(bar)	YÜK (ton)	CH.011	CH.012	CH.013	CH.014	CH.015	CH.016	CH.017	CH.018	CH.019	CH.020	CH.021	CH.022	CH.023	CH.024	CH.025	CH.026	
0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	1,50	0,20	0,21	0,21	0,20	0,18	0,16	0,18	0,13	0,17	0,07	0,16	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	
10	2,00	0,42	0,43	0,44	0,42	0,39	0,34	0,38	0,28	0,35	0,14	0,33	0,09	0,10	0,10	0,12	0,06	
15	3,00	0,68	0,69	0,69	0,67	0,61	0,53	0,60	0,46	0,55	0,24	0,52	0,18	0,18	0,16	0,19	0,11	
20	4,00	0,94	0,95	0,96	0,93	0,84	0,73	0,84	0,64	0,75	0,34	0,72	0,27	0,28	0,22	0,27	0,17	
25	5,00	1,36	1,35	1,37	1,32	1,18	0,99	1,18	0,87	1,03	0,45	1,01	0,34	0,35	0,27	0,37	0,19	
20	4,00	3,04	2,88	3,07	2,81	2,88	1,62	3,03	1,23	2,62	0,26	2,87	-0,43	-0,64	-0,22	0,33	-0,67	
25	5,00	3,91	3,71	3,99	3,62	3,64	2,00	4,05	1,44	3,26	0,20	3,89	-0,84	-1,19	-0,54	0,36	-1,14	
30	6,15	4,59	4,36	4,70	4,21	4,17	2,28	4,78	1,58	3,66	0,15	4,61	-1,14	-1,62	-0,82	0,40	-1,49	
35	7,30	5,06	4,82	5,22	4,66	4,53	2,48	5,33	1,68	3,92	0,12	4,77	-1,39	-1,98	-1,08	0,43	-1,79	
40	8,50	5,49	5,24	5,69	5,07	4,83	2,67	5,80	1,76	4,11	0,09	4,77	-1,62	-2,34	-1,33	0,45	-2,10	
45	9,55	5,95	5,75	6,22	5,56	5,12	2,92	6,32	1,87	4,24	0,09	4,77	-1,89	-2,82	-1,69	0,45	-2,48	
50	10,50	6,30	6,12	6,60	5,89	5,30	3,08	6,64	1,93	4,31	0,08	4,77	-2,06	-3,10	-1,90	0,44	-2,72	
50	10,50	6,59	6,43	6,91	6,16	5,47	3,24	6,91	1,97	4,37	0,08	4,77	-2,24	-3,40	-2,12	0,44	-2,97	
50	10,50	6,59	6,43	6,91	6,16	5,47	3,24	6,91	1,97	4,37	0,08	4,77	-2,25	-3,40	-2,12	0,43	-2,97	
55	11,70	6,82	6,68	7,17	6,40	5,59	3,38	7,16	2,02	4,41	0,09	4,77	-2,38	-3,63	-2,30	0,44	-3,16	
60	12,75	6,99	6,86	7,37	6,58	5,66	3,48	7,32	2,06	4,39	0,11	4,77	-2,48	-3,81	-2,46	0,42	-3,33	

65	14,00	7,29	7,22	7,71	6,92	5,70	3,73	7,58	2,14	4,18	0,24	4,77	-2,72	-4,27	-2,90	0,36	-3,77
65	14,00	7,56	7,54	8,03	7,23	5,73	3,95	7,78	2,22	4,01	0,34	4,77	-2,87	-4,55	-3,20	0,32	-4,05
70	15,00	7,75	7,75	8,24	7,43	5,77	4,08	7,94	2,26	3,93	0,39	4,77	-2,99	-4,76	-3,42	0,29	-4,27
75	16,00	8,00	8,02	8,52	7,69	5,84	4,24	8,15	2,31	3,83	0,43	4,77	-3,16	-5,05	-3,74	0,26	-4,58
80	17,00	8,27	8,33	8,82	7,99	5,92	4,42	8,38	2,36	3,72	0,49	4,77	-3,35	-5,38	-4,12	0,21	-4,93
85	18,00	8,51	8,60	9,09	8,26	5,98	4,58	8,58	2,40	3,62	0,52	4,77	-3,54	-5,70	-4,50	0,17	-5,26
90	19,20	8,75	8,87	9,34	8,50	6,04	4,72	8,75	2,44	3,51	0,55	4,77	-3,69	-5,98	-4,85	0,12	-5,58
95	20,25	9,06	9,20	9,67	8,82	6,12	4,90	8,97	2,48	3,38	0,58	4,77	-3,92	-6,36	-5,31	0,06	-5,98
95	20,25	9,55	9,71	10,17	9,32	6,26	5,17	9,30	2,55	3,22	0,63	4,77	-4,26	-6,92	-6,02	-0,07	-6,63
100	21,50	9,63	9,80	10,26	9,41	6,28	5,21	9,35	2,56	3,18	0,63	4,77	-4,32	-7,02	-6,14	-0,09	-6,74
105	22,30	9,71	9,88	10,34	9,49	6,29	5,25	9,41	2,57	3,13	0,63	4,77	-4,38	-7,13	-6,29	-0,11	-6,87
110	23,32	9,81	9,99	10,45	9,60	6,30	5,31	9,48	2,58	3,06	0,63	4,77	-4,47	-7,28	-6,48	-0,13	-7,03
115	24,25	9,98	10,18	10,64	9,78	6,31	5,40	9,60	2,59	2,93	0,63	4,77	-4,61	-7,54	-6,82	-0,18	-7,30
120	25,38	10,15	10,37	10,83	9,98	6,32	5,49	9,72	2,60	2,77	0,62	4,77	-4,79	-7,85	-7,25	-0,24	-7,65
125	26,25	10,40	10,65	11,11	10,26	6,33	5,62	9,89	2,61	2,54	0,60	4,77	-5,05	-8,30	-7,90	-0,35	-8,14
130	27,40	10,64	10,91	11,35	10,50	6,34	5,73	10,01	2,62	2,34	0,57	4,77	-5,26	-8,66	-8,42	-0,47	-8,58
135	28,50	10,92	11,21	11,65	10,81	6,35	5,87	10,18	2,62	2,10	0,54	4,77	-5,53	-9,09	-9,04	-0,63	-9,09
140	29,50	11,19	11,50	11,94	11,09	6,36	5,98	10,31	2,62	1,89	0,49	4,77	-5,79	-9,50	-9,61	-0,80	-9,61
145	30,65	11,48	11,80	12,25	11,41	6,38	6,12	10,47	2,60	1,62	0,43	4,77	-6,15	-10,04	-10,36	-1,07	-10,35
145	30,65	12,38	12,71	13,14	12,29	6,61	6,46	10,78	2,54	1,29	0,22	4,77	-7,02	-11,32	-11,92	-2,03	-11,99
150	31,75	12,48	12,80	13,24	12,38	6,62	6,48	10,80	2,53	1,22	0,18	4,77	-7,13	-11,48	-12,16	-2,20	-12,28
155	32,75	12,59	12,91	13,35	12,50	6,61	6,51	10,82	2,50	1,11	0,13	4,77	-7,30	-11,70	-12,44	-2,38	-12,56

160	33,85	12,72	13,05	13,49	12,64	6,61	6,55	10,84	2,46	0,99	0,06	4,77	-7,49	-11,96	-12,80	-2,63	-12,95
165	35,00	12,92	13,25	13,68	12,85	6,59	6,60	10,86	2,41	0,79	-0,04	4,77	-7,80	-12,38	-13,39	-3,07	-13,70
165	35,00	13,08	13,43	13,86	13,03	6,57	6,65	10,88	2,36	0,58	-0,15	4,77	-8,09	-12,76	-13,93	-3,45	-14,29
165	35,00	13,24	13,59	14,02	13,20	6,57	6,68	10,90	2,31	0,44	-0,24	4,77	-8,34	-13,06	-14,35	-3,78	-14,79
165	35,00	13,43	13,78	14,20	13,39	6,57	6,72	10,92	2,26	0,28	-0,35	4,77	-8,59	-13,38	-14,81	-4,13	-15,34
170	36,00	13,58	13,93	14,35	13,55	6,56	6,75	10,93	2,22	0,15	-0,45	4,77	-8,81	-13,63	-15,19	-4,44	-15,79
170	36,00	13,68	14,03	14,45	13,65	6,57	6,76	10,94	2,19	0,07	-0,54	4,77	-9,00	-13,89	-15,60	-4,76	-16,24
170	36,00	13,80	14,15	14,57	13,78	6,56	6,78	10,95	2,15	-0,03	-0,63	4,77	-9,15	-14,06	-15,87	-5,00	-16,61
170	36,00	14,00	14,35	14,78	14,00	6,57	6,80	10,97	2,08	-0,21	-0,83	4,77	-9,50	-14,44	-16,48	-5,51	-17,30
175	37,00	14,30	14,65	15,06	14,27	6,56	6,82	10,98	2,00	-0,41	-1,06	4,77	-9,92	-14,93	-17,33	-6,27	-18,36
175	37,00	14,48	14,84	15,25	14,46	6,56	6,83	10,99	1,91	-0,62	-1,30	4,77	-10,29	-15,33	-17,95	-6,77	-18,97
175	37,00	14,68	15,03	15,43	14,63	6,56	6,84	11,01	1,86	-0,74	-1,44	4,77	-10,51	-15,60	-18,44	-7,23	-19,56
175	37,00	14,94	15,29	15,70	14,91	6,55	6,84	11,02	1,75	-1,01	-1,77	4,77	-10,97	-16,13	-19,33	-7,91	-20,42
175	37,00	15,60	15,96	16,34	15,51	6,52	6,82	11,05	1,52	-1,61	-2,48	4,77	-12,01	-17,41	-21,52	-9,66	-22,68
180	38,00	16,25	16,61	17,00	16,11	6,46	6,78	11,07	1,25	-2,22	-3,18	4,77	-13,01	-18,56	-23,36	-11,16	-24,65
180	38,00	16,43	16,80	17,18	16,29	6,45	6,77	11,08	1,14	-2,47	-3,50	4,77	-13,51	-19,16	-24,32	-11,93	-25,71
180	38,00	16,78	17,16	17,49	16,59	6,41	6,73	11,08	0,99	-2,75	-3,84	4,77	-13,97	-19,69	-25,23	-12,67	-26,59
180	38,00	17,14	17,54	17,77	16,86	6,37	6,70	11,02	0,80	-3,13	-4,30	4,39	-14,65	-20,64	-26,46	-13,74	-27,56

ÖZGEÇMİŞ

İsmail Gökarp 1979 yılında Kayseri’de doğmuştur. Orta okul ve lise öğrenimini Kayseri’de Nuh Mehmet Baldöktü Anadolu Lisesi’nde tamamladıktan sonra 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmiştir. 2002 yılında lisans öğrenimini tamamlamış ve aynı yıl yüksek lisans programı için İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’ne kayıt olmuştur. O tarihten itibaren yüksek lisans çalışmasını sürdürmektedir.

