

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİLİNDİR, DAİRESEL VE ELİPSOİDAL KAYMA DONATILARIN BETON
YOL DERZLERDEKİ PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Moumouni ABDOUL HAYOU

OCAK 2022
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SİLİNDİR, DAİRESEL VE ELİPSOİDAL KAYMA DONATILARIN BETON YOL
DERZLERDEKİ PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI**

İnş. Yük. Müh. Moumouni ABDOUL HAYOU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10/12/2021
Tezin Savunma Tarihi : 10/01/2022**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

Bu tez, rijit kaldırımlarda kayma donatısı en uygun şekilde kullanılmasını ele almakta olup, çalışmanın deney aşaması Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) ulaştırma bakanlığı laboratuvarında HVS ağır vasıta simülatör ekipmanı ile gerçekleştirilmiştir. Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR'IN gözetiminde gerçekleştirilmiş olup, bana verdiği yardımlardan dolayı en içten teşekkürlerimi sunuyorum, bu tezin her aşamasında yanımda olmuştur. Ayrıca Dr. teşekkür ediyorum testlerin gerçekleştirilmesinde teknik yardımlarından dolayı Mehmet Tevfik SEFEROĞLU'na, laboratuvardaki tüm çalışmalar süresince yaptığı yardımlardan dolayı Hasan Tahsin SELİM'e ayrıca teşekkür ediyorum. Bu dönemde bana verdikleri manevi destek için Albeidou Yacouba ailesini unutmuyorum. Son olarak, Türkiye'de 5 yıllık eğitim için Türkiye bursları Bursu'na teşekkür ediyorum.

Moumouni ABDOUL HAYOU
Trabzon, 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora tezi olarak sunduğum “Geleneksel silindir kayma donatılarına alternatif dairesel ve elipsoidal kayma donatıların beton yol derzlerde yük transfer verimliliği, çekme ve basınç gerilmeleri açısından karşılaştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 10/01/2022

Moumouni ABDOUL HAYOU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	7
2.1. Yük Transfer Mekanizması	11
2.2. Kayma Donatı Yapımında Kullanılan Çeliklerin Mineralojik Bileşimi ve Özellikleri	15
2.3. Kayma Donatısı Çalışma Mekanizması.....	16
2.4. Kayma Donatısı Malzemeleri ve Şekilleri.....	19
2.5. Kayma Donatılarının Etrafındaki Gerilmeler	22
2.6.1. Derz Faylanması	24
2.6.2. Pompalama	25
2.6.3. Hacimsel Büzülmeden Dolayı Enine Çatlama	26
2.6.4. Kötü Kesim Nedeniyle Oluşan Çatlaklar	27
2.6.5. Hatalı Hizalama Nedeniyle Oluşan Çatlamalar	29
2.7. Hızlandırılmış Yol Testleri	29
2.7.1. Güney Afrika MKII, MK III HYT Sistemi	30
2.7.2. Kaliforniya HYT.....	31
2.7.3. Amerikan Hava İdaresi (FAA) HYT	32
2.7.4. Florida FDOT'un Ağır Araç Simülatörü (HVS)	33
2.7.5. Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) HYT	33
2.8. Aks Eşdeğerlik Faktörü (LEF: Yük Eşdeğerlik Faktörü).....	34
2.9. Literatürde Sonlu Eleman Yöntemi (FEM) Çalışması	37

3.	YÖNTEM	41
3.1.	Dairesel ve Elipsoidal Kayma Donatılarının Çapları ve Kalınlıklarının Belirlenmesi	42
3.1.1.	Silindir Kayma Donatısına Eşdeğer Dairesel Kayma Donatısı Boyutlarının Belirlenmesi	43
3.1.2.	Silindir Kayma Donatısına Eşdeğer Elipsoidal Kayma Donatısı Boyutlarının Belirlenmesi	45
3.1.3.	Dairesel Kayma Donatısı Optimal Çapı ve Kalınlığının Belirlenmesi	47
3.1.4.	Elipsoidal Kayma Donatısı Optimal Kalınlığının Belirlenmesi	49
3.2.	Silindir Kayma Donatı Boyutları Sonlu Elemanlar Modellemesinde.	51
3.3.	Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modellemesi	54
3.4.	Laboratuvar Çalışması için Kayma Donatılarının Hazırlanması	58
3.5.	Beton Dökme İşlemi ve Derz Kesimi	64
3.6.	Hızlandırılmış Yol Test Çalışma Aşamaları	66
3.6.1.	Ölçüm Cihazları	68
3.6.2.	Hızlandırıcı Kaplama Testi (APT) İçin Tekerlek Basıncının Uygulanması	69
3.6.3.	Beton Kaplama Mukavemet Ölçümleri	70
3.6.4.	Aks Eşdeğerlik Faktörü (LEF: Yük Eşdeğerlik Faktörü)	72
4.	BULGULAR VE İRDELEMELER	74
4.1.	Silindir Kayma Donatısına Eşdeğer Dairesel ve Elipsoidal Kayma Donatılarının Boyutlarının Belirlenmesi	74
4.2.	Dairesel Kayma Donatısı Optimum Kalınlık Analizleri	76
4.3.	Elipsoidal Kayma Donatısı Optimum Kalınlık Analizleri	78
4.4.	Kayma Donatılarının Şekillerinin, Çaplarının ve Uzunluklarının Yük Aktarım Verimliliği (LTE), Basınç ve Çekme Gerilmesi Üzerindeki Etkileri	80
4.4.1.	Silindir Kayma Donatısı, Çaplarının ve Uzunluklarının Yük Aktarım Verimliliği (LTE), Basınç ve Çekme Gerilmesi Üzerindeki Etkileri	80
4.4.2.	Silindir Kayma Donatısının Çapının ve Uzunluğunun Düşey Yer Değiştirme Üzerindeki Etkisi	84
4.4.3.	Dairesel Kayma Donatılarının Çaplarının Düşey Yer Değiştirme Üzerindeki Etkisi	86
4.4.4.	Elipsoidal Kayma Donatısı Ana Eksen Değişiminin Düşey Yer Değiştirme Üzerindeki Etkisi	87
4.4.5.	Kayma Donatıları Düşey Deplasmanlar Mukayesesi	89
4.4.6.	Silindir Kayma Donatısının Çapının ve Uzunluğunun Yük Aktarım Verimliliği (LTE) Üzerindeki Etkisi	91

4.4.7.	Dairesel Kayma Donatısının Çapının Yük Aktarım Verimliliği (LTE) Üzerindeki Etkisi	92
4.4.8.	Elipsoidal Kayma Donatısının Ana Eksen Yük Aktarım Verimliliği (LTE) Üzerindeki Etkisi	93
4.4.9.	Kayma Donatıları Yük Aktarım Verimliliği (LTE) Mukayesesi	94
4.4.10.	Silindir Kayma Donatı Kenarlarında Çekme Gerilmeleri	97
4.4.11.	Dairesel Kayma Donatı Kenarlarında Çekme Gerilmeleri	98
4.4.12.	Elipsoidal Kayma Donatı Kenarlarında Çekme Gerilmeleri	100
4.4.13.	Kayma Donatıları Çekme Gerilmeleri Mukayesesi.....	101
4.4.14.	Silindir Kayma Donatısının Üstündeki Basınç Gerilmeleri	106
4.4.15.	Dairesel Kayma Donatısının Üstündeki Basınç Gerilmeleri	107
4.4.16.	Elipsoidal Kayma Donatısının Üstündeki Basınç Gerilmeleri	109
4.4.17.	Kayma Donatıları Üstündeki Basınç Gerilmeleri Mukayesesi.....	110
4.4.18.	Silindir Kayma Donatısının Altındaki Basınç Gerilmeleri.....	115
4.4.19.	Dairesel Kayma Donatı Donatısının Altındaki Basınç Gerilmeleri	116
4.4.20.	Elipsoidal Kayma Donatısının Altındaki Basınç Gerilmeleri	118
4.4.21.	Kayma Donatıları Altındaki Basınç Gerilmeleri Mukayesesi	119
4.4.22.	Test Sonuçların Tablo Halinde Özeti	124
4.4.22.1.	Kayma Donatıların % LTE, Çekme Gerilmesi ve Basınç Gerilmeleri Toplu Sonuçları	124
4.4.22.2.	% LTE Mukayesesi.....	124
4.4.22.3.	Çekme Gerilmelerin Mukayesesi	125
4.4.22.4.	Basınç Gerilmelerin Mukayesesi	127
4.5.	Hızlandırılmış Yol Test Sonuçları	128
4.6.	Çatlak Genişliği Ölçümleri	130
4.6.1.	Derz 1’de. Silindirli Kayma Donatı.....	132
4.6.2.	Derz 2’de Dairesel Kayma Donatı.....	137
4.6.3.	Derz 3’de Ellipsoidal Kayma Donatı	141
4.7.	Beton Kaplama Mukavemet Ölçümleri	145
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	148
6.	KAYNAKLAR	151
7.	EKLER	158
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

SİLİNDİR, DAİRESEL VE ELİPSOİDAL KAYMA DONATILARIN BETON YOL
DERZLERDEKİ PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI.

Moumouni ABDOUL HAYOU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR
2022, 157 Sayfa, 31 Sayfa Ek

Bu tez çalışmasında, aynı demir malzeme ağırlığına sahip silindir, dairesel ve elipsoidal kayma donatılarının gerçek dingil yüklemesi altında beton yol derzlerdeki LTE, çekme ve basınç gerilme performansları karşılaştırılmıştır. Yük transfer ölçümlerinde, LVDT ölçümleri ve sonlu elemanlar çalışmasından faydalanmış basınç ve çekme gerilmelerin belirlenmesinde ise sonlu elemanlardan faydalanılmıştır.

Çalışmada piyasada beton yol inşaatı derzlerinde kullanılan çapları (31.75, 38,1, 44.45, 50.8) mm ve uzunlukları 30, 35, 40, 46, 50 cm silindir kayma donatıları çalışılmış. Sonra silindir kayma donatısına eşdeğer 2,5 cm kalınlığında çapları 11. ila 22.72 cm olan dairesel kayma donatıları ve boyutları 10.08 - 43.01 cm olan elipsoidal kayma donatıları değerlendirmeye alınmıştır.

Kayma donatıların uzunluklarının beton yol kaplamalarında derzlerde yük transferlerinin artmasında ciddi etkisinin olmadığı görülmüştür. Kayma donatıların çaplarındaki artışlarla beraber kayma donatı ile etrafını saran beton arasında oluşan çekme ve basınç gerilme değerlerinde önemli düşüşler görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kayma Donatısı, Yük Transfer Verimi, Çekme Gerilmesi, Basınç Gerilmesi
Boyut

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF CYLINDER, CIRCULAR AND ELIPSOIDAL DOWEL BAR REINFORCEMENT PERFORMANCE IN CONCRETE ROAD JOINTS.

Moumouni ABDOUL HAYOU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR
2022, 157 Pages, 31 Pages Appendix

In this thesis, the LTE, tensile and compressive stress performances of cylindrical, circular and ellipsoidal dowel bar reinforcements with the same iron material weight in concrete road joints under real axle loading were compared. In load transfer measurements, LVDT measurements and finite element studies were used, and finite elements were used in the determination of compressive and tensile stresses.

In the study, cylinder dowel bar reinforcements with diameters (31.75, 38.1, 44.45, 50.8) mm and lengths of 30, 35, 40, 46, 50 cm, which are used in the concrete road construction joints in the market, were studied. Then 2.5 cm thick diameters 10J.99, equivalent to roller dowel bar reinforcement. Circular dowel bar reinforcements with dimensions between 10.08 and 43.01 cm and ellipsoidal dowel bar reinforcements with dimensions of 10.08-43.01 cm were taken into consideration.

It has been observed that the length of the dowel bar reinforcements does not have a serious effect on the increase of load transfers in the joints of concrete pavements. With the increase in the diameters of the dowel bar reinforcement, significant decreases were observed in the tensile and compressive stress values formed between the dowel bar reinforcement and the surrounding concrete.

Key Words: Dowel Bar, Load Transfer Efficiency, Tensile Stress, Compressive Stress; Dimension

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Derzli düz beton kaplama (JPCP)	2
Şekil 1.2. Derzli betonarme kaplama (JRCP).....	3
Şekil 1.3. Silindir fiber FRP kayma donatısı.....	3
Şekil 1.4. Silindir GFRP kayma donatısı.....	4
Şekil 1.5. Silindir epoksi kaplı demir kayma donatısı.....	4
Şekil 1.6. Kayma donatısını kesitin ortasında tutmaya çalışan sepet düzeneği.....	5
Şekil 1.7. Asfalt yol üzerine yerleştirilen epoksi kaplamalı silindir kayma donatıları.....	5
Şekil 2.1. Yük transferin derz enine kesiti boyunca dağılımı.....	7
Şekil 2.2. Silindir kayma donatısında kayma kuvvetlerin derz boyunca dağılımı	7
Şekil 2.3. Kayma donatısında deformasyon	10
Şekil 2.4. Kayma donatısı kayma kuvvetlerine bağlı deformasyonlar	11
Şekil 2.5. Yük transfer mekanizması.....	12
Şekil 2.6. LTE mekanizması.....	13
Şekil 2.7. Rijit kaplama standart ve özel olmak üzere iki farklı kayma donatısı enine sahiptir	15
Şekil 2.8. Betonarme yollarda kayma donatısı çalışma prensibi.....	17
Şekil 2.9. Kayma donatısı boyunca gerilme dağılışı	18
Şekil 2.10. Epoksi kayma donatıları zamanla paslanabilir	18
Şekil 2.11. Farklı şekillerde kayma donatıları.....	20
Şekil 2.12. Konik kayma donatısının geometrik şekli.....	21
Şekil 2.13. Kayma donatısının her iki tarafındaki erken yatay doğrultudaki çatlaklar	23
Şekil 2.14. Kayma donatısı civarındaki basınç ve çekme gerilmeleri.....	24
Şekil 2.15. Derz faylanması.....	25
Şekil 2.16. Beton yollarda oluşan pompalama sorunu	26
Şekil 2.17. Hacimsel büzölmeye bağlı olarak oluşan çatlaklar	27
Şekil 2.18. Başarız derz kesimlerine bağlı oluşan çatlamlar	28
Şekil 2.19. Derz kesimine paralel dik şekilde gelişen çatlak	28
Şekil 2.20. Kayma donatılarının yanlış hizalanmasına bağlı oluşan çatlaklar	29
Şekil 2.21. Güney Afrika Hızlandırılmış Yol Testi MKII sistemi	30
Şekil 2.22. Güney Afrika Hızlandırılmış Yol Testi Mk III	31

Şekil 2.23.	Californiya Hızlandırılmış Yol Testi.....	32
Şekil 2.24.	FAA Hızlandırılmış Yol Testi.....	32
Şekil 2.25.	FDOT's Hızlandırılmış Yol Testi	33
Şekil 2.26.	Karadeniz Teknik Üniversitesi Hızlandırılmış Yol Testi.....	34
Şekil 3.1.	Yöntemin araşamaları	42
Şekil 3.2.	Silindir kayma donatısı.....	43
Şekil 3.3.	Dairesel kayma donatısı	44
Şekil 3.4.	Elipsoidal kayma donatısı	46
Şekil 3.5.	Silindir kayma donatılarının kesitte gösterimi	51
Şekil 3.6.	Dairesel kayma donatılarının kesitte gösterimi	52
Şekil 3.7.	Elipsoidal kayma donatılarının kesitte gösterimi	53
Şekil 3.8.	Plandan görünüş	55
Şekil 3.9.	Kesitten görünüş.....	55
Şekil 3.10.	Ellipsoidal kayma donatısı mesh.....	56
Şekil 3.11.	Dairesel kayma donatısı mesh.....	57
Şekil 3.12.	Silindir kayma donatı mesh.....	58
Şekil 3.13.	Dairesel ve ellipsoidal kayma donatıları	60
Şekil 3.14.	Kayma donatılarının sepette yerleştirilmesi.....	61
Şekil 3.15.	Derzlerde kullanılan polystyrene kalıplarının hazırlanması.....	62
Şekil 3.16.	Beton dökümü öncesi temel tabakası zemini	63
Şekil 3.17.	Kayma donatılarının beton dökümü öncesi son hali	63
Şekil 3.18.	Beton mikserleri	64
Şekil 3.19.	Derz donatıları ve beton döküm işlemi	65
Şekil 3.20.	Beton yüzeyini suyla kürlenmesi	65
Şekil 3.21.	Derz kesimi sonrası derzlerden çıkan artıkların basınçlı havayla temizlenme	66
Şekil 3.22.	Ağır Araç Simülatörü	67
Şekil 3.23.	Otomasyon kontrol sistemi.....	67
Şekil 3.24.	Ağır Araç Simülatörün sistemin yer değiştirilmesi.....	68
Şekil 3.25.	Derzin her iki tarafında yerleştirilen LVDT.....	69
Şekil 3.26.	LVDT ölçüm cihazının duvara sabitlenmesi.....	69
Şekil 3.27.	Veri toplama ünitesi ve tekerlek altına yerleştirilen basınç ölçerler	70
Şekil 3.28.	Beton mukavemetinin çekiç cihazıyla ölçülmesi	71
Şekil 3.29.	Test verilerinden beton mukavemetinin belirlenmesi için kalibrasyon grafiğı	71

Şekil 4.1.	Dairesel Kayma Donatısı, LTE - Kalınlık değışimi.....	76
Şekil 4.2.	Elipsoidal kayma donatısı kalınlığı LTE ilişkisi.....	80
Şekil 4.3.	Farklı çap ve uzunluktaki silindir kayma donatısı için çekme gerilmeler	81
Şekil 4.4.	Silindir kayma donatısı çap 19.05 mm yüklü olan kısımdaki çekme gerilme sonuçları	81
Şekil 4.5.	Silindir kayma donatısı çap 19.05 mm yüklü olan kısımdaki çekme gerilme sonuçları	82
Şekil 4.6.	Silindir kayma donatısı çap 25.4 mm yüklü olan kısımdaki çekme gerilme sonuçları	82
Şekil 4.7.	Silindir kayma donatısı çap 25.4 mm yüklü olan kısımdaki çekme gerilme sonuçları	83
Şekil 4.8.	Silindir kayma donatısının çap 31.75 mm beton plakla temas ettiği bölgede çekme gerilmeleri	83
Şekil 4.9.	Silindir kayma donatısının çap 31.75 mm beton plakla temas ettiği bölgede çekme gerilmeleri	84
Şekil 4.10.	Silindir kayma donatısı yüklü plaka düşey deplasmanı	85
Şekil 4.11.	Silindir kayma donatısı yüksüz plaka düşey deplasmanı	85
Şekil 4.12.	Dairesel kayma donatısı yüklü plaka düşey deplasmanları.....	86
Şekil 4.13.	Dairesel kayma donatısı yüksüz plaka düşey deplasmanları	87
Şekil 4.14.	Elipsoidal kayma donatısı yüklü plaka düşey deplasmanları.....	88
Şekil 4.15.	Elipsoidal kayma donatısı yüksüz plaka düşey deplasmanları.....	88
Şekil 4.16.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları düşey deplasmanlar (eşdeğer Silindir kayma donatı çapı 31.75 mm)	89
Şekil 4.17.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları düşey deplasmanlar (eşdeğer Silindir kayma donatı çapı 38,1 mm)	90
Şekil 4.18.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları düşey deplasmanlar (eşdeğer Silindir kayma donatı çapı 44.45 mm)	90
Şekil 4.19.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları düşey deplasmanlar (eşdeğer Silindir kayma donatı çapı 50,8 mm)	91
Şekil 4.20.	Silindir kayma donatısının çapının ve uzunluğunun varyasyon Yük Aktarım Verimliliği (LTE).....	92
Şekil 4.21.	Dairesel kayma donatısının çapının varyasyon Yük Aktarım Verimliliği (LTE)	93
Şekil 4.22.	Elipsoidal Kayma Donatısının Ana Eksen varyasyon Yük Aktarım Verimliliği (LTE)	94
Şekil 4.23.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları Yük Aktarım Verimliliği (LTE). (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm).....	95

Şekil 4.24.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları Yük Aktarım Verimliliği (LTE). (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm).....	95
Şekil 4.25.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatı Yük Aktarım Verimliliği (LTE). (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm).....	96
Şekil 4.26.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları Yük Aktarım Verimliliği (LTE). (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 50,8 mm).....	96
Şekil 4.27.	Silindir kayma donatısı çap ve uzunluğunun çekme gerilmeleri üzerindeki etkileri yüklü plaka	97
Şekil 4.28.	Silindir kayma Donatısı çap ve uzunluğunun çekme gerilmeleri yüksüz plaka	98
Şekil 4.29.	Dairesel kayma Donatısı çap çekme gerilmeleri yüklü plaka	99
Şekil 4.30.	Dairesel kayma Donatısı çap çekme gerilmeleri yüksüz plaka.....	99
Şekil 4.31.	Elipsoidal kayma donatısı ana eksen varyasyon çekme gerilmeleri yüklü plaka	100
Şekil 4.32.	Elipsoidal kayma donatısı ana eksen varyasyon çekme gerilmeleri yüksüz plaka	101
Şekil 4.33.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmeleri (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm) yüklü kısım	102
Şekil 4.34.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm) Yüksüz kısım.....	102
Şekil 4.35.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm) yüklü kısım.....	103
Şekil 4.36.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm) yüksüz kısım	103
Şekil 4.37.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm yüklü kısım.....	104
Şekil 4.38.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm) yüksüz kısım	104
Şekil 4.39.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50.8 mm) yüklü kısım.....	105
Şekil 4.40.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50,8 mm) yüksüz kısım.	105
Şekil 4.41.	Silindir kayma donatısı çap üstündeki basınç gerilmeleri, yüklü plaka	106
Şekil 4.42.	Silindir kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri, yüksüz plaka	107
Şekil 4.43.	Dairesel kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri, yüklü plaka	108
Şekil 4.44.	Dairesel kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri, yüksüz plaka	108
Şekil 4.45.	Ellipsoidal kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri, yüklü plaka	109
Şekil 4.46.	Ellipsoidal kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri, yüksüz plaka	110

Şekil 4.47.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm), yüklü kısım	111
Şekil 4.48.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm) Yüksüz kısım	111
Şekil 4.49.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm) Yüklü kısım	112
Şekil 4.50.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm) Yüksüz kısım	112
Şekil 4.51.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm), yüklü kısım	113
Şekil 4.52.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm), yüksüz kısım	113
Şekil 4.53.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50.8 mm), yüklü kısım	114
Şekil 4.54.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50.8 mm), yüksüz kısım	114
Şekil 4.55.	Silindir kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüklü plaka	115
Şekil 4.56.	Silindir kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüksüz plaka	116
Şekil 4.57.	Dairesel kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüklü plaka	117
Şekil 4.58.	Dairesel kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüksüz plaka	117
Şekil 4.59.	Elipsoidal kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüklü plaka	118
Şekil 4.60.	Elipsoidal kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüksüz plaka	119
Şekil 4.61.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm), yüklü kısım	120
Şekil 4.62.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm), yüksüz kısım	120
Şekil 4.63.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm), yüklü kısım	121
Şekil 4.64.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm), yüksüz kısım	121
Şekil 4.65.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm), yüklü kısım	122
Şekil 4.66.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm), yüksüz kısım	122
Şekil 4.67.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50,8 mm) yüklü kısım	123
Şekil 4.68.	Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50,8 mm), yüksüz kısım	123
Şekil 4.69.	Yorulmaya tabii derzler ve LVDT konumları	129

Şekil 4.70.	Derz derinliği boyunca çatlak ölçümleri	131
Şekil 4.71.	1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	132
Şekil 4.72.	30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	133
Şekil 4.73.	50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	134
Şekil 4.74.	1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	135
Şekil 4.75.	30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	136
Şekil 4.76.	50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	136
Şekil 4.77.	1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	137
Şekil 4.78.	30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	138
Şekil 4.79.	50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	139
Şekil 4.80.	1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	140
Şekil 4.81.	30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	140
Şekil 4.82.	50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	141
Şekil 4.83.	1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	142
Şekil 4.84.	30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	142
Şekil 4.85.	50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	143
Şekil 4.86.	1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	144
Şekil 4.87.	30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	144
Şekil 4.88.	50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi	145
Şekil 4.89.	Beton mukavemetinin çekiç cihazıyla ölçülmesi	146
Şekil 4.90.	Beton mukavemetinin kalibrasyon grafiği	146

TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 2.1.	Amerika çimento birliği tarafından (PCA) tavsiye edilen kayma donatısı boyutları.....	8
Tablo 2.2.	Amerikan hava kurumu tarafından tavsiye edilen silindir kayma donatıları ve boyutları	8
Tablo 2.3.	Amerika Birleşik Devletlerinde farklı eyaletlerde kullanılan kayma donatısı boyutları.....	9
Tablo 2.4.	Amerika hava kurumu FAA kurumu tarafından tavsiye edilen silindir kayma donatıları ve boyutları.....	9
Tablo 2.5.	Amerikan beton yol derneği derzli donatılı için kayma donatılarının boyutu kaldırımlar ve inşaat derzleri.....	9
Tablo 2.6.	Kayma donatısı çapları ve aralıkları, Çin Cumhuriyeti.....	9
Tablo 2.7.	Kayma donatısı boyutları ve diziliş aralıkları	10
Tablo 2.8.	Bazı çelik türlerinin mekanik özellikleri.....	16
Tablo 2.9.	Farklı Yüklerde Dingil Eşdeğerlik Faktörleri	36
Tablo 2.10.	Literatürde sonlu elemanlar çalışmaları	37
Tablo 3.1.	Silindir kayma donatısı hacmi hesaplanması	42
Tablo 3.2.	Silindir kayma donatısına eşdeğer dairesel kayma donatısı.....	45
Tablo 3.3.	Silindir kayma donatısına eşdeğer elipsoidal kayma donatısı.....	47
Tablo 3.4.	Dairesel kayma donatısı çap ve kalınlığı sonlu elemanlar sonuçları.....	48
Tablo 3.5.	Sonlu elemanlar sonuçları elipsoidal kayma donatısı ana eksen ve kalınlığını belirlemek için tipik silindir kayma donatısı boyutlarının kullanılması	50
Tablo 3.6.	Silindir kayma donatısı çap ve uzunluğu	51
Tablo 3.7.	Dairesel kayma donatı eşdeğer silindir kayma donatısı	52
Tablo 3.8.	Silindir kayma donatılarına eşdeğer elipsoidal kayma donatıları	53
Tablo 3.9.	Beton Kaplama için Yapısal ve Malzeme Parametreleri.	54
Tablo 3.10.	Kayma donatıları boyutları ve ağırlıkları	60
Tablo 3.11.	Beton geri tepme değeri	72
Tablo 3.12.	Beton mukavemet değerleri	72
Tablo 3.13.	Farklı Yüklerde Dingil Eşdeğerlik Faktörleri	73
Tablo 4.1.	Silindir kayma donatılarının boyutları (çapı, uzunluk, hacim).....	74
Tablo 4.2.	Farklı kalınlıklar için dairesel kayma donatısı çapları	75
Tablo 4.3.	Silindir kayma donatısına eşdeğer elipsoidal kayma donatısı.....	75

Tablo 4.4.	Dairesel kayma donatısı optimal kalınlık analizleri	77
Tablo 4.5.	Elipsoidal kayma donatısı optimal kalınlık analizleri	79
Tablo 4.6.	Silindir kayma donatısı çapının ve uzunluğu-LTE	125
Tablo 4.7.	Dairesel kayma donatısı çapı - LTE	125
Tablo 4.8.	Elipsoidal kayma donatısı ana eksen, küçük eksen ve kalınlığı (2.5 cm) - LTE	125
Tablo 4.9.	Silindir kayma donatısı kenarlarında çekme gerilmeleri.....	126
Tablo 4.10.	Dairesel kayma donatısı kenarlarında çekme gerilmeleri	126
Tablo 4.11.	Elipsoidal kayma donatısı kenarlarında çekme gerilmeleri	126
Tablo 4.12.	Silindir kayma donatısı üstündeki basınç gerilmeleri	127
Tablo 4.13.	Dairesel kayma donatısı üstündeki basınç gerilmeleri	127
Tablo 4.14.	Elipsoidal kayma donatısı ana eksen, küçük eksen ve kalınlığı 2.5 cm - Kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri	127
Tablo 4.15.	Silindir kayma donatısı çapının ve uzunluğu- kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri	128
Tablo 4.16.	Dairesel kayma donatısı çapının Kalınlığı 2.5 cm - Kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri	128
Tablo 4.17.	Elipsoidal kayma donatısı ana eksen, küçük eksen ve kalınlığı 2.5 cm - Kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri	128
Tablo 4.18.	Test başlangıç ve sonu derzlerde ölçülen deplasmanlar.....	130
Tablo 4.19.	Test başlangıç ve sonu derzlerde LTE değerleri	130
Tablo 4.20.	Test okumaları.....	146
Tablo 4.21.	Beton mukavemet değerleri	147

SEMBOLLER DİZİNİ

AASHTO	: American Association of State Highway Officials
ACPA:	: American Concrete Pavement Association
PCA	: Portland Cement Association.
FAA	: Amerika hava kurumu
ALF	: Accelerated Loading Facility
APT	: Accelerated Pavement Test
ACPA	: American Concrete Pavement Association
CATRANS	: California Department of Transportation
D	: Kayma donatısı çapı
E	: Elastik modulus
ESAL	: Equivalent Single Axle Load
FDOT	: Florida Department of Transportation
FWD	: Falling Weight Deflectometer
FEA	: Sonlu Elemanlar Analiz
FDOT	: Florida Department of Transportation
FAA	: Federal Havacılık İdaresi'nin
HYT	: Hızlandırılmış Yol Testi
JPCP	: Derzli düz beton kaplama
LEF	: Load Equivalency Factor
LTE	: Load Transfer Efficiency
LVDT	: Linear Variable Differential Transducer
LTE	: Yük transfer verimliliği
LEF	: Yük Eşdeğerlik Faktörü
l	: Kayma donatısı uzunluğu
SE	: Sonlu Elemanlar
kat	: Dingil Özelliklerini İfade Eden Katsayı
kwt	: Tekerlek Özelliklerini İfade Eden Katsayı
klt	: Süspansiyon Sisteminin Özelliklerini İfade Eden Katsayı
ktp	: Lastik Basıncından Gelen Katsayı
P	: Hesaplanacak Dingildeki Yük
P ₀	: Tek Dingilde Referans Yüğü
α	: Hasar Tiplerine Göre Değişen Katsayı

L_x	: ESAL Değerine Çevirdiğimiz Yük
L_{18}	: 18 lbs Yük (8.2 Ton)
L_{2x}	: Dingil Tipi (Tek Dingil: $L_{2x}=1$, Çift Dingil: $L_{2x}=2$, Üçlü Dingil $L_{2x}=3$
pt	: Nihai Servis İndeksi
SN	: Üstyapı Sayısı (İnç Cinsinden)
N_f	: Yorulma Gerilmeleri Nedeniyle İzin Verilen Yük Tekrar Sayısı
N_r	: Tekerlek İzi Oluşumu Nedeniyle İzin Verilen Yük Tekrar Sayısı
NHI	: National Highway Institute
S	: Kayma donatısı aralığı
Δu_l	: Maksimum sehiminin yüklü plakaninkine
δl	: Oranının yüzdesi olarak ifade edili
$\sigma_y^{basınç}$	: Kayma donatısı altındaki betonda basınç gerilmesi
$\sigma_y^{çekme}$	: Kayma donatısı kenarlarında betonda çekme gerilmesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyada ilk beton yol 1865 yılında İskoçya'nın Inverness kentinde yapıldı, 28 yıl sonra da 1893'te Amerika birleşik devletlerinde yapıldı. 1917 ve 1918 yılları arasında ise derzli beton yollarda derz bölgelerinde trafik yüklerini aktarmak için demirden kayma donatıları kullanılmaya başlandı [1].

Derzli beton yollar dünyada kullanılan en yaygın rijit kaplama türü olup, kaplamada oluşabilecek çatlamları kontrol amacıyla 3,5 -6 ve 7,5- 9 mt'de bir derz uygulamasını içeren yol üst yapısı kaplamalardır Şekil 1.1 ve 1.2 'te gösterildiği gibi. Derzli beton kaplamalarda (JPCP), uç panel geçişleri, drenaj girişleri ve rampa olukları gibi özel konumlar dışında tipik olarak herhangi bir takviye demirli kullanılmaz, ancak yük aktarım amacıyla silindir kayma donatısı ve bağlantı demirleri kullanılır. Derzin performansı rijit kaplamaların hizmet ömrü açısından kritik öneme sahip olup yük aktarma verimliliğinin, LTE, %75'ten fazla olması istenir [2, 3].

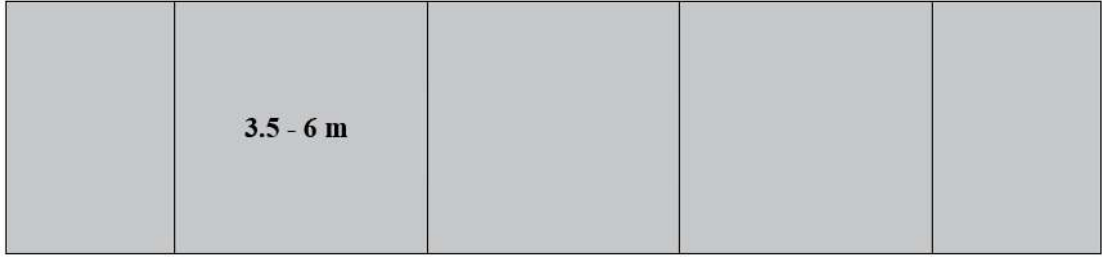
Silindir kayma donatıları, tipik olarak, bitişik beton plakalar arasında yük transferine yardımcı olmak için enine derzler boyunca yerleştirilir. Bağlantıları ise, tipik olarak, bitişik şerit beton kaplamaların temas halinde tutmak için boyuna yani uzunlamasına bağlantılarda kullanılır. Fiber güçlendirilmiş (FRP) kayma donatı malzemeleri üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır [4], ancak rijit kaplama uygulamalarında ekseriyetle kullanılan kayma donatılarının demirden imal edilmiştir [5]. Şekil 1.3, 1.4, 1.5 rijit kaplamalarda kullanılan farklı silindir kayma donatıları türlerini göstermektedir.

Silindir kayma donatıları, yük aktarma işlemi sırasında esas olarak tekerlek yükünü, kaplama derzleri ile çevreleyen beton arasında bir kesme kuvveti olarak aktarır [6]. Enine derzlerde silindir kayma donatılarının birincil avantajı, beton plakalarda sıcaklık, genleşme ve büzülme nedeniyle yatay hareketlerini kısıtlamadan yükü aktarmasıdır [7]. Kayma donatılarının sürtünmesiz olduğu varsayılır ve ortalama sıcaklık değişikliklerinden dolayı beton kaplamanın eksenel hareketine izin verir. Beton plakaların kayma donatılar üzerindeki serbest hareketinin kısıtlanması, yüksek çekme gerilmeleri üretebilir ve bu da plaka ortasında çatlamaya neden olabilir [8].

Kayma donatılarının faydaları sırasıyla;

- Kayama donatıları ayrıca sıcaklık değişimlerinde beton kaplamaların yatay ve dikey hizalarının korunmasına yardımcı olurlar [9, 10].
- Kayma donatısı hem dar hem de geniş derzlerde iyi çalışabilir [11, 12]. Kaplama kenarlarındaki düşey hareketleri ve faylanmayı azaltırlar [13].
- Beton kaplamaların yatay ve dikey hizalanmasını sağlamaya da yardımcı olurlar [14]. Gerilme ve deformasyondaki azalmanın büyüklüğü, yük transfer verimliliği (LTE, Load Transfer Efficiency) ile ilgilidir [15].
- Amerikan devlet karayolu ve ulaştırma yetkilileri birliği'nin, AASHTO, belirttiği gibi, kayma donatısı ile desteklenen kaplama derzleri, kayma donatısız derzlere göre daha uzun hizmet ömrüne sahiptir [16]. Şekil 1.6, ve 1.7 silindir kayma donatıları beton kaplamalara yerleştirilmesini göstermektedir.

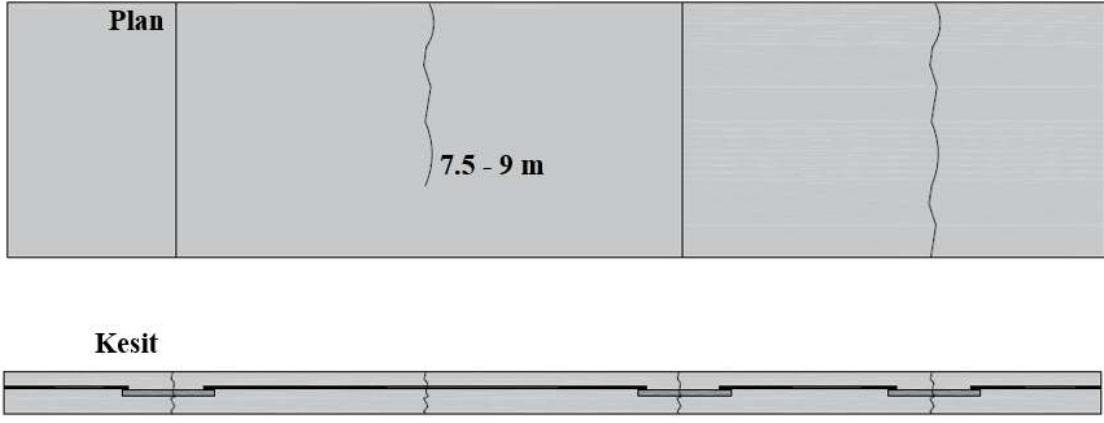
Plan



Kesit



Şekil 1.1. Derzli düz beton kaplama (JPCP) [2]



Şekil 1.2. Derzli betonarme kaplama (JRCP) [2]



Şekil 1.3. Silindir fiber FRP kayma donatısı [4]



Şekil 1.4. Silindir GFRP kayma donatısı [3,17]



Şekil 1.5. Silindir epoksi kaplı demir kayma donatısı



Şekil 1.6. Kayma donatısını kesitin ortasında tutmaya çalışan sepet düzeneği [17]

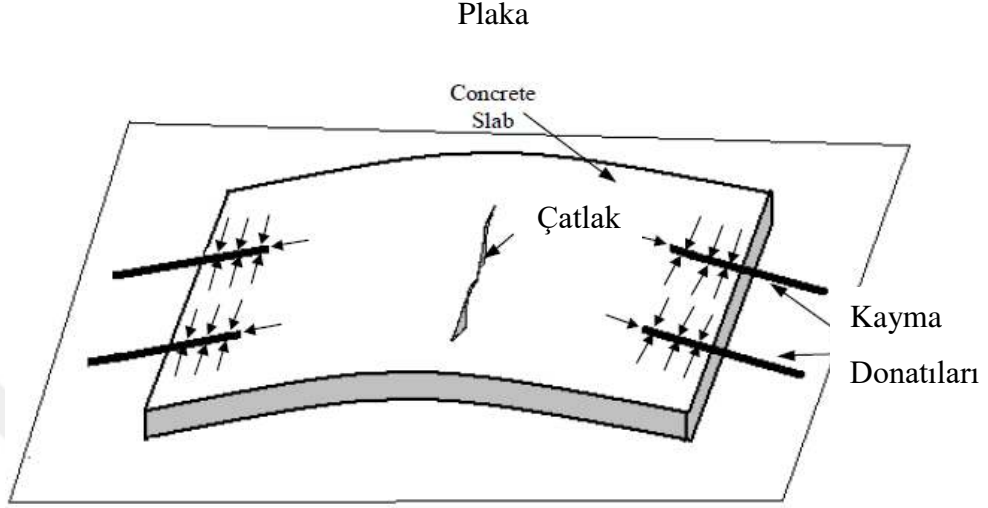


Şekil 1.7. Asfalt yol üzerine yerleştirilen epoksi kaplamalı silindir kayma donatıları [17]

Genel olarak, rijit kaplamalarda maksimum gerilmeler, doğrudan yük altında kenarda veya kaplamanın iç ortasında veya köşesinde gözlenir [18]. Bununla birlikte, farklı çalışmalar, maksimum basınç gerilmelerinin, kayma donatısı çevresinde betonun üstünde, altında ve yanlarında gözlemlendiğini göstermiştir [19].

Rijit üstyapıların en yaygın bozulması olan çatlak ve faylanma, beton kaplamanın hizmete girdikten sonra beklenenden çok hızlı bir şekilde meydana gelebilmektedir. Genel

anlamda çatlaklar çeşitli tiplerdedir, enine çatlaklar, boyuna çatlaklar, ve derzlerde oluşan çatlaklardır. Bu çatlaklara trafik, sıcaklık değişimi, çalışma koşulları ve derzlerdeki donatıların yanlış yerleştirilmesi hataları neden olabilmektedir [20]. Şekil 1.8'te gösterildiği gibi.



Şekil 1.8. Beton yol kritik gerilmeler [20]

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın hipotezi, dairesel ve ellipsoidal kayma donatılarının da en az silindirik kayma donatıları kadar iyi performans sergileyecekleri betonda kaplama ile olan temas yüzeylerinde çatlamaya sebep olan çekme gerilmelerini azalatacağıdır.

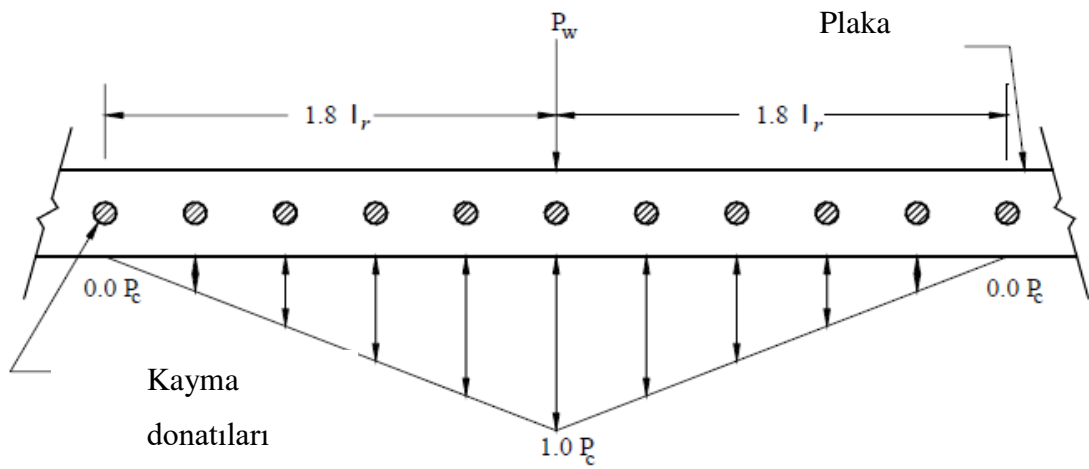
Bu amaçla doktora tez araştırmasında, beton yol kaplamalarında derz bölgelerinde kayma donatı şekillerinin (silindirik, dairesel ve ellipsoidal) ve uzunluklarının Yük Aktarım Verimliliği (LTE) ve çekme gerilmeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çalışmada derzli beton yollarda standard olarak kullanılan çapları (1.905, 2.54, 3.175, 3.81, 4.445, 5.08) cm ve uzunlukları (30, 35, 40, 45, 46, 50) cm olan silindirik kayma donatıları göz önünde bulundurularak aynı ağırlıkta (ekonomik değeri aynı) alternatif dairesel ve ellipsoidal kayma donatılarının performansları araştırılmıştır.

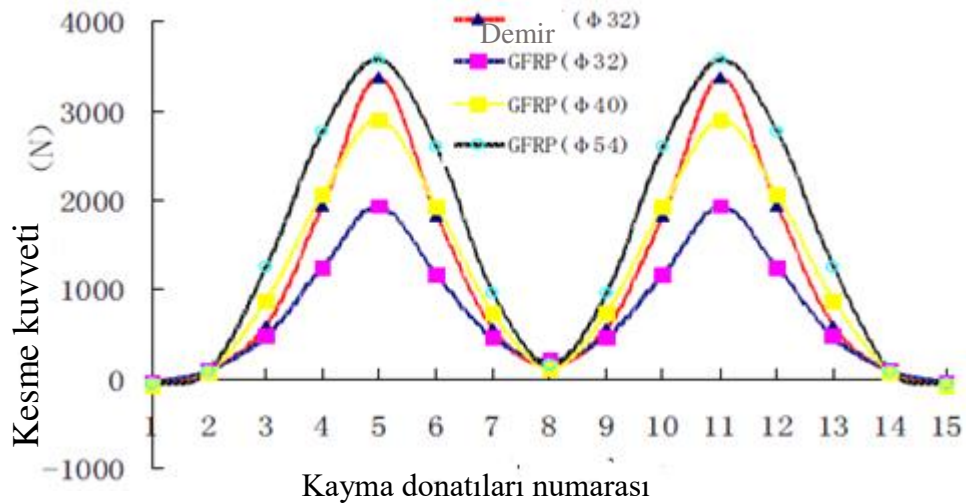
Çalışmanın ilk kısmında, ANSYS sonlu elemanlar yardımıyla optimum dairesel ve ellipsoidal yassı şekiller elde edildikten sonra ikinci kısmında KTÜ İnşaat Mühendisliği bölümü'nde bulunan hızlandırılmış yükleme test tesisinde kayma donatıların derzlerdeki performansları incelenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Derzli beton kaplamalarda, özellikle ağır trafik yüklerin fazla olduğu kaplamalarda tekerlek yüklerini enine derzler boyunca aktarmak için kayma donatıları yaygın olarak kullanılır. Kayma donatıları plakanın yüklü kısmından bitişik yüksüz olan kaplamaya aktarılır [6, 21, 22]. Şekil 2.1 ve 2. 2, bağlantıları üzerindeki yük dağılımını göstermektedir.



Şekil 2.1. Yük transferin derz enine kesiti boyunca dağılımı [23]



Şekil 2.2. Silindir kayma donatısında kayma kuvvetlerin derz boyunca dağılımı [24]

Dünyada derzli betonarme yol kaplamalarında farklı boyutlarda kayma donatıları kullanılabilmektedir. Tablo 2.1-2.7 piyasada kullanılan silindir kayma donatılarının boyutlarını göstermektedirler. Görüleceği gibi tek bir standard kayma donatısı ve diziliş aralıkları mevcut değildir.

Tablo 2.1. Amerika çimento birliği tarafından (PCA) tavsiye edilen kayma donatısı boyutları [25]

Kaplama kalınlığı (cm)	Kayma donatısı çapı (cm)	Min.uzunluk (cm)	Maksimum aralık (cm)
12.5	1.6	12.5	30
15	1.9	15	35
20	2.2	15	35
20	2.5	15	35
22	2.8	17.5	40
25	3.1	18.8	45
27.5	3.5	20	45
30	3.8	22.5	50

Tablo 2.2. Amerikan hava kurumu tarafından tavsiye edilen silindir kayma donatıları ve boyutları [25]

Kurum	Kaplama kalınlığı (cm)	Kayma donatı Çapı (cm)	Uzunluk (cm)	Aralıklar (cm)	Kayma donatısı
Kolarado Eyalet Mühendisleri	< 20	1.905	40	30.48	1.905 cm Silindir
	20-28	2.54	40	30.48	1 cm Silindir
	30-38	3.175	50	38.1	2.54cm Silindir
			50	38.1	2.54 cm eski. Güçlü boru
	40-50	3.81	50	45.72	3.81 cm Silindir
			50	45.72	3.81 cm güçlü boru
	53-63	5.08	60	45.72	5.08 cm Silindir
			60	45.72	5.08 cm güçlü boru
	>63	7.62	76	45.72	7.62 cm dairesel
			76	45.72	7.62 cm güçlü boru

Tablo 2.3. Amerika Birleşik Devletlerinde farklı eyaletlerde kullanılan kayma donatısı boyutları [25]

Eyalet	Çapı (cm)	Kayma donatı Uzunluk (cm)	Kayma donatı aralığı (cm)
Alabama	3.8	45.7	30.5
Florida	1.9–3.2	38.1	30.5
Minnesota	3.2–3.8	38.1	30.5
Indiana	3.2–4.4	30.5	30.5
New Jersey	3.2	43.2	20.3–30.5

Tablo 2.4. Amerika hava kurumu FAA kurumu tarafından tavsiye edilen silindirik kayma donatıları ve boyutları [25]

Kurum	Kaplama kalınlığı (cm)	Kayma donatı Çapı (cm)	Uzunluk (cm)	Aralıklar (cm)
FAA	16-18	1.905	40	30
	20-25	25.4	40	30
	28-38	31.75	50	38
	40-50	38.1	60	38

Tablo 2.5. Amerikan beton yol derneği derzli donatılı için kayma donatılarının boyutu kaldırımlar ve inşaat derzleri [26]

Kaplama kalınlığı, (mm)	Kayma donatısı çapı, mm	Kayma donatısı gömme uzunluğu, mm	Toplam Kayma donatısı uzunluğu, Mm
150	20	125	360
165	22	125	360
180	25	150	400
190	28	180	400
200	32	200	430

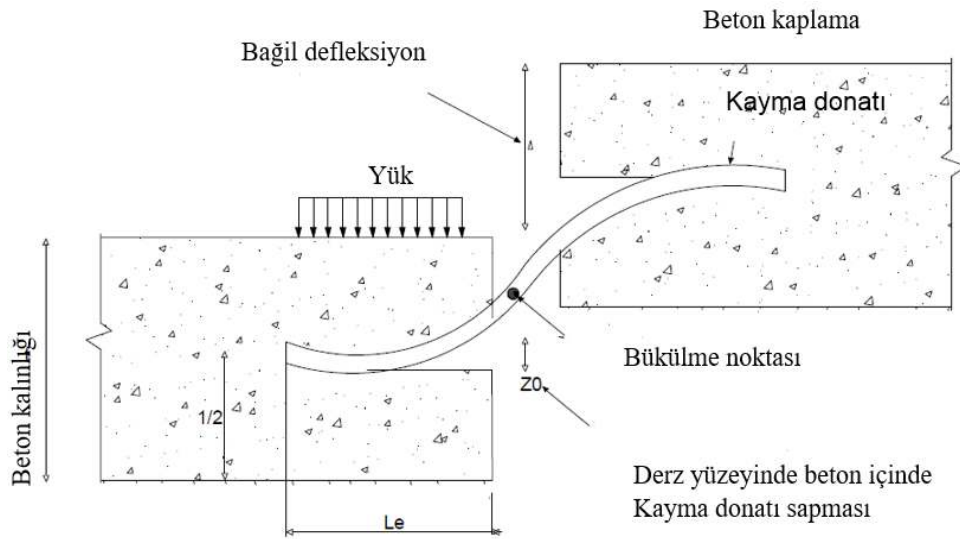
Tablo 2.6. Kayma donatısı çapları ve aralıkları, Çin Cumhuriyeti [27]

	Kaplama kalınlığı (cm)	Kayma donatı Çapı (cm)	Min. Uzunluk (cm)	Maksimum Aralıklar (cm)
JTG D40–2002	22	2.8	40	30
	24	3	40	30
	26	3.2	45	30
	28	3.5	45	30
	30	3.8	50	30
JTJ 012–94	<20	2	40	30
	21–25	2.5	45	30
	26–30	3	50	30

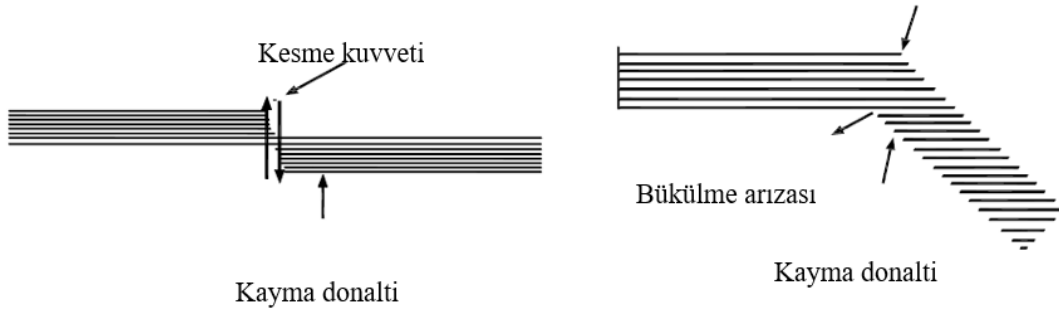
Tablo 2.7. Kayma donatısı boyutları ve diziliş aralıkları [6]

Ülke	Kayma donatısı Çapı (mm)	Uzunluk (mm)	Donatılar Arası mesafe (mm)	Kaplama kalınlığı (mm)
Çekoslovakya	25	500	250	-
Alamanya	25	500	250	-
Avusturya	25	500	250	-
USA	25	450	300	<200
	32	450	300	200-250
	38	450	300	>250
Fransa	20	400	300	130-150
	25	450	300	160-200
	30	450	300	210-280
	40	500	400	290-400
	45	550	450	410-500
Polanya	32	520	300-500	260-300
	40	640	300-500	300-400
	45	800	300-500	>400
Belçika	25	600	300	-
Slovakya	25	500	250-500	≤ 250
	30	500	250-500	> 250

Rijit kaplamalarda, kayma donatılar, trafik yüklerinden kaynaklanan deplasman, kesme, eğilme gerilmelerine ve kaplama plakalarındaki sıcaklık gradyanlarından kaynaklanan eğilme gerilmelerine maruz kalarak şekil değiştirebilmektedirler [28, 29]. Şekil 2.3- 2.4.'te gösterildiği gibi.



Şekil 2.3. Kayma donatısında deformasyon



Şekil 2.4. Kayma donatısı kayma kuvvetlerine bağlı deformasyonlar

2.1. Yük Transfer Mekanizması

AASHTO'ya göre, yük transferi terimi, LTE (Load Transfer Efficiency), derzlerde veya çatlaklar gibi süreksizlikler boyunca yükün dağılımını ifade eder [16]. Yük aktarım verimliliği (LTE), yüklü ve yüksüz plakaların kenarlarında maksimum düşey yer değiştirmenin karşılaştırılmasıyla belirlenir. %60'tan daha az bir (LTE) kaplamanın restorasyonun gerekebileceğini bildirilmiştir [30]. LTE, derzin yüklü plaka üzerine uygulanan yükün bir kısmını komşu yüksüz plakaya aktarma kabiliyetini ifade eder. Derzli bir kaplamanın sehim yükü transfer verimliliği (LTE_{δ}), yüklenmemiş plakanın (δ_u) maksimum sehiminin yüklü plakaninkine (δ_l) oranının yüzdesi olarak ifade edilir [31, 32,33].

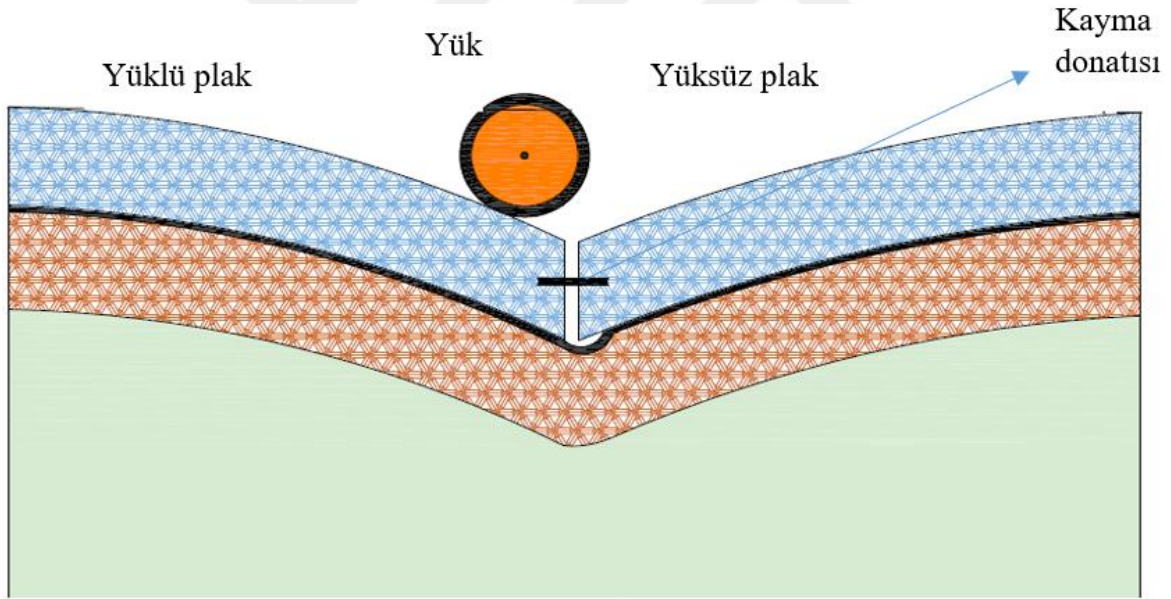
Beton yol kaplamalarda derzler arasında yük transferi, esas olarak agrega kenetlenmesi, kayma donatısı hareketi veya iki mekanizmanın bir kombinasyonu ile sağlanır. Agreganın kilitlenmesinde yük transfer mekanizması, 1.0 mm'lik küçük derz genişliğine ve kısa derz aralığına sahip plakalar için etkilidir [15]. Vahid Sadeghi, (2017) yılında yaptığı çalışma sonuçları, özellikle enine derzlerin yakınında ağır yükler uygulandığında agrega kilitlenmesinin yük aktarımı için yeterli olmadığını kayma donatılarına kıyasla yükü aktarmada iyi bir çözüm olmadığını göstermiştir.

Yük transfer verimliliğinin, yük konumu, yükleme süresi, plaka sıcaklığı ve kayma donatısı gibi birçok faktöre bağlı olan karmaşık bir parametreye bağlıdır. Yükleme süresi ve mevsimin, ölçülen yük transfer verimliliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Beton kaplamalar, kayma donatısı çapı, yük transfer verimliliği ölçümünde daha yüksek değişkenlik gösterebilir. Ortam sıcaklığı değiştikçe derz açıklığı günlük ve mevsimsel olarak değişebilmektedir. Kış aylarında plaka büzülmesi nedeniyle derz açıklıklarının sayısı

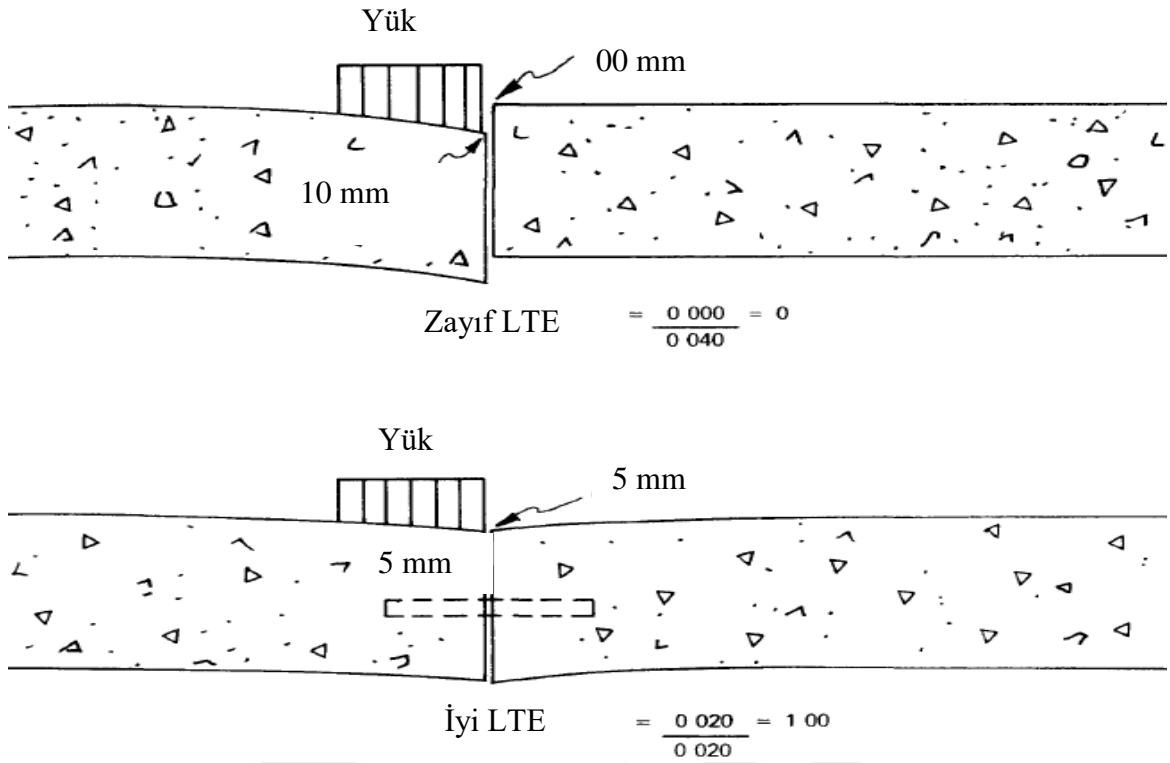
arttıkça, ölçülen yük transfer verimi genellikle azalabilmektedir [34]. Yük transferleri, kayma donatısı çapı, uzunluğu ve aralığı, zemin taşıma kapasitesi, kayma donatısı gevşekliği, beton kaplama kalınlığı gibi bir dizi parametreye bağlıdır [35].

Derzli beton kaplamada, bir derzin yanına trafik yükü uygulandığında, uygulanan yükün bir kısmı yüklü plakadan yüksüz plakaya aktarıldığından hem yüklü hem de yüksüz plaka beraber çalışarak sehim ve gerilmelerin azalmasına neden olurlar. Şekil 2.5, rijit kaplama yapılarına hareketli bir yük uygulandığında iki beton kaplama için yük transfer mekanizmalarının işlevini göstermektedir [32, 36].

Yük aktarılabilirliği düşük olan derzlerde yüksüz plakaların yer değiştirmesi, yüklü plakaların yer değiştirmesinden çok daha düşüktür ve bu derzlerde aktarılan yükler neredeyse sıfırdır. Genel olarak yük aktarılabilirliği yüksek olan derzler için, derzin her iki tarafındaki plakaların düşey yer değiştirmeleri birbirine yakındır ve LTE neredeyse 1'e eşittir [16].



Şekil 2.5. Yük transfer mekanizması



Şekil 2.6. LTE mekanizması [16]

Sehim yükü transfer verimini belirlemek için en yaygın denklem AASHTO (1993) tarafından verilmektedir.

$$\% \text{ LTE } \delta = \delta u / \delta l \quad (2.1)$$

Burada; δu ve δl , yüksüz ve yüklü plakaların sırasıyla plakaların üstündeki derzde ölçülen düşey yer değiştirmelerdir.

Teller ve Sutherland, 1936 [37]; Teller ve Cashell, 1959 [38], LTE'yi belirlemek için aşağıdaki denklemi önermiştir:

$$(\%) \text{ LTE} * \delta = 2\delta u / \delta u + \delta l \quad (2.2)$$

Federal havacılık idaresi'nin (FAA) rijit kaplama kalınlığı tasarım prosedürleri yük transfer verimliliği LTE değerini %70-90 olarak önermektedir [39]. American beton yol enstitüsü ACPA 1991, kaplama derzlerinde %75 LTE değerini önermektedir [30].

Sammed Patil vd. (2016), rijit kaplamada bazı parametrelerin Yük Transfer Verimliliği (LTE) üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlar, temel tabakasının rijitliğinin 40 dan 350 Mpa artması durumunda, yük transfer verimliliğinin %96'dan %83'e düştüğünü göstermektedir [40].

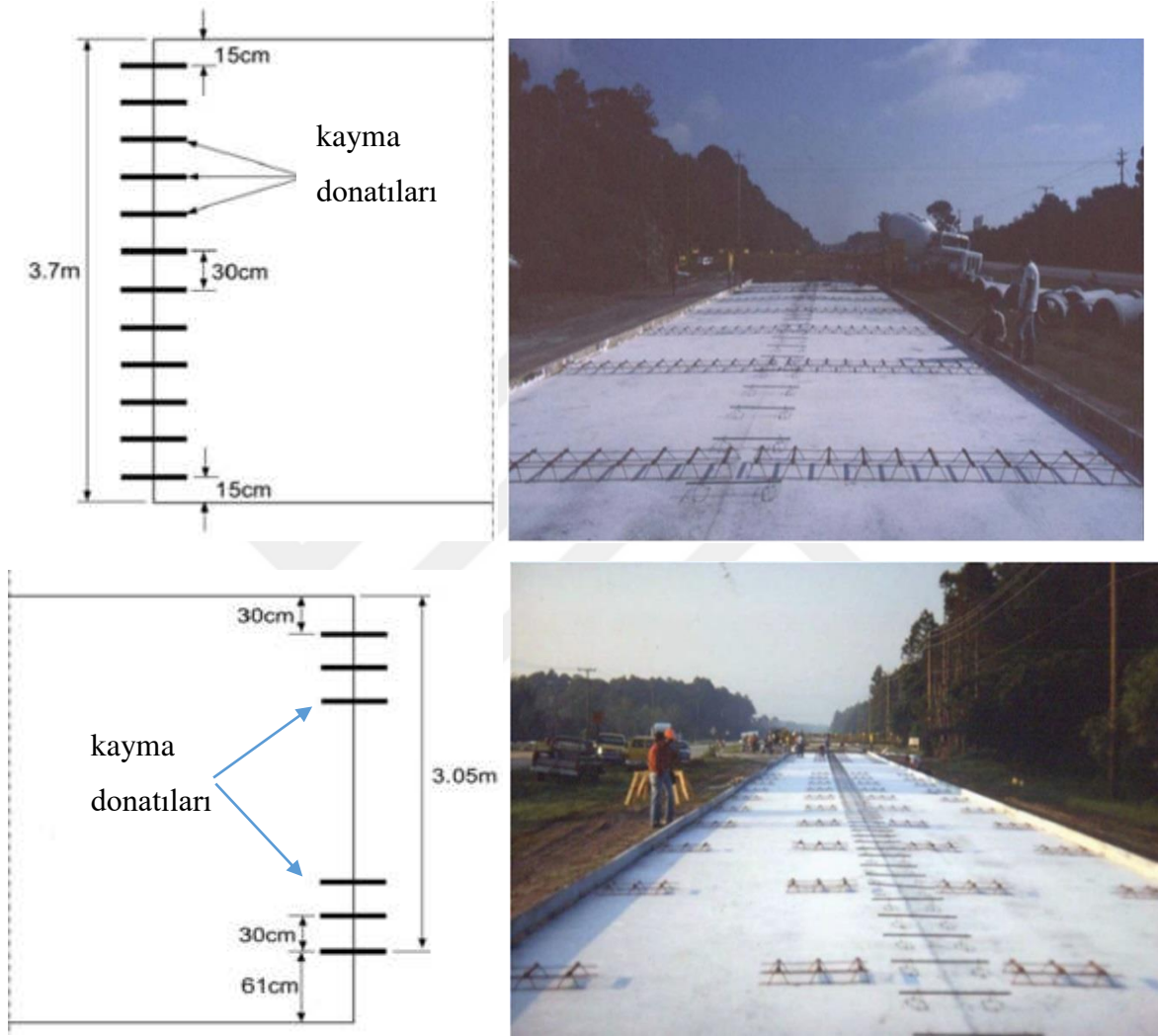
Vahid Sadeghi vd. (2017), LTE temel tabakasının elastik modülüs değerlerini artırılmasının, iki bitişik plaka arasındaki yük transferinin 97'den 99'a yükselmesine ve derzlerdeki düşey deplasmanlarının azaltılabileceğini göstermiştir. Plaka kalınlıkların 20 cm'den 23 cm'e çıkması durumunda, derzde beton kaplamalar arasındaki yük transferinin % 96,2 dan %97,2 değerine ulaşabildiğini göstermişler. Temel tabakası zeminle beton kaplama arasındaki sürtünme katsayısının 0,8'den 2'ye çıkarılması durumunda yük transferini % 96,7 dan % 97,1 çıkarılabileceğini göstermişler. LTE üzerindeki etkileri incelendiğinde; beton elastik modülün % 1,8, plaka kalınlığı artışın %1,3 sürtünme katsayısının %0.8 oranlarında pozitif etkilerinin olduğu tespit edilmiştir [15].

Mahmoud Reza Keymanesh (2017), ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak kayma donatısı ile beton plaka arasındaki sürtünme katsayısı, tekerlek yükü, kayma donatısı çapı ve kayma donatısı aralığı yük transferi üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Sürtünme katsayısının 1'den 0.1'e düşmesi durumunda LTE'nin % 96 dan % 93.33'e düştüğünü gözlemlenmiştir. 1 ila 12 tondan daha fazla yüklemelerin, LTE katsayısı önemli ölçüde değiştirmedigi; 22 mm kayma donatısı çapı için % 91 olan yük transferinin 36 mm kayma donatısı çapı için % 96,5'e yükseldiğini göstermiştir. Kayma donatısı aralığının 300 ila 900 mm artırmanın, Yük Aktarım Verimliliğini (LTE) %96'dan %84'e azalttığını belirtmiştir [35].

Zainab Ahmed Al-kaissi (2018), LTE üzerindeki etki eden parametreleri araştırdığında, sonuçlar göre, temel tabakası CBR değerininin % 5 den % 7 artırmasının LTE değerini % 79,64 den % 69,81'e düşürdüğünü göstermektedir. Kayma donatısı çapının 12'den 20 mm'ye artırması durumunda LTE değerinin % 69,82'den % 89,73 arttığını göstermiştir. Betonun mukavemetinin yük transfer verimliliği (LTE) üzerinde önemsiz bir etkisi olduğu gösterilmiştir. Plaka derz genişliğinin 10 mm'den 30 mm'ye çıkarılması durumunda Yük Aktarım Verimliliğini (LTE) % 79,64'den 60,48'e azalttığını göstermiştir [41].

Kuk joo Kim vd. (2018), kayma donatılar yerleştirme performans değerlendirme çalışmaları yapmıştır Şekil 2.7 gösterildiği gibi. Çalışmada 304,8 mm aralıklarla enine derz bounca kayma donatılar yerleştirildi özel kayma donatısı enlemesi için ise yalnızca tekerlek

yolları içinde 304,8 mm (12 inç) aralıklı üç kayma donatısı yerleştirildi. Standart kayma donatısı ve özel kayma donatısı enlemeleri ile bölümler arasında belirgin bir performans farkı gözlenmedi [7].



Şekil 2.7. Rijit kaplama standart ve özel olmak üzere iki farklı kayma donatısı enine sahiptir [7]

2.2. Kayma Donatı Yapımında Kullanılan Çeliklerin Mineralojik Bileşimi ve Özellikleri

Çelikler ve dökme demir, endüstrinin çeşitli dallarında en çok kullanılan metal malzemelerdir. Çelik, karbon içeriği $\leq \% 2$ olan bir demir ve karbon alaşımıdır. Kayma donatı karbon çeliğinin bileşimi aşağıdaki gibidir, Demir (Fe) karbon (C) $\% 0,05-1,7$, Fosfor (Ph) $\% 0,05$, max Silikon (Si) $\% 0,35$, max Kükürt (S) $\% 0,06$, max Manganez (Mn) $\% 0,8$

max. Karbon, demir ile alaşımlandığında herhangi bir element üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Çelikteki karbon içeriğinin artırılması, az miktarda karbon bile çeliğin mekanik özelliklerinde önemli gelişmeler sağlayacaktır. Çeliğin karbon içeriği % 0,3'ü aştığında çelik "sertleşebilir" hale gelir. [42]. Dökme demir aynı zamanda karbon içeriği $> \% 2$ olan bir demir ve karbon alaşımıdır. Kullanımlarına göre çelikler ve dökme demirler çeşitli gruplara ayrılır [43]. Dökme demir, demir, karbon ve silikonun bir alaşımıdır. Bazı dökme demir türlerinde diğer elementler eklenir. Dökme demirler, yüksek karbon içeriği nedeniyle çelikten daha düşük bir erime noktasına sahiptir. Kayma donatı dökme demirlerin bileşimi aşağıdaki gibidir. Karbon % 2,0 - 4,5, Silikon % 0,9 - 4,0, Demir kalıntısı [42]. İyi mekanik özelliklere ek olarak, bir yapı çeliği, şekillendirme (haddeleme, dövme, damgalama, vb.), işleme, kaynak yapma, yüksek su verme penetrasyonuna ve düşük deformasyon ve su verme yeteneğine sahip olma gibi iyi teknolojik özelliklere sahip olmalıdır [43]. Tablo 2.8 bazı çelik türlerinin mekanik özelliklerini göstermektedir.

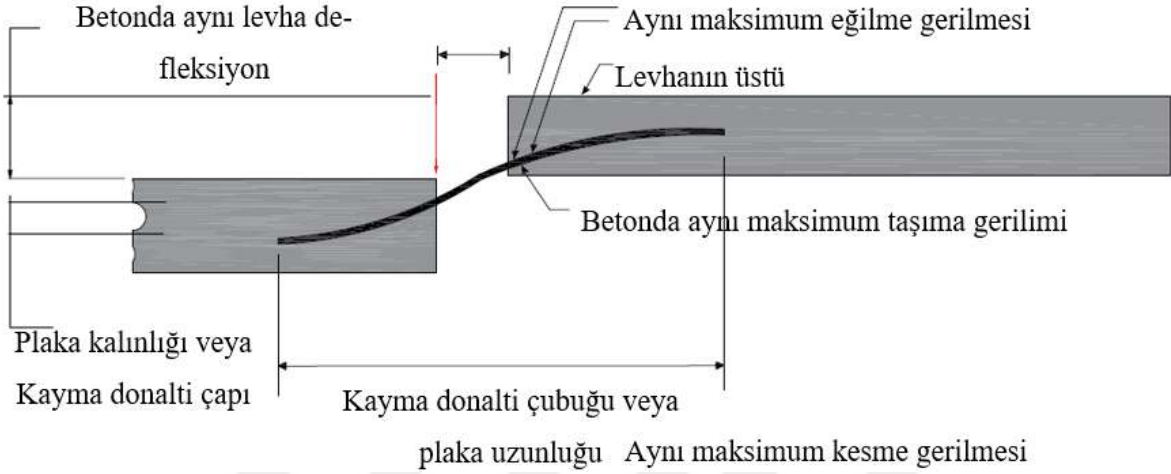
Tablo 2.8. Bazı çelik türlerinin mekanik özellikleri

Malzemeler	Aramid elyaf kompozit	Cam elyaf kompozit	Karbon fiber kompozit	Çelik	Paslanmaz çelik
Boyuna Young modülü (GPa)	68,6	45,4	130	200	200
Nihai gerilme gerilmesi (MPa)	1100	597	2300	500	500
Boyuna gerilimde maksimum deformasyon (-)	0,016	0,013	0,018	0,022	0,022

2.3. Kayma Donatısı Çalışma Mekanizması

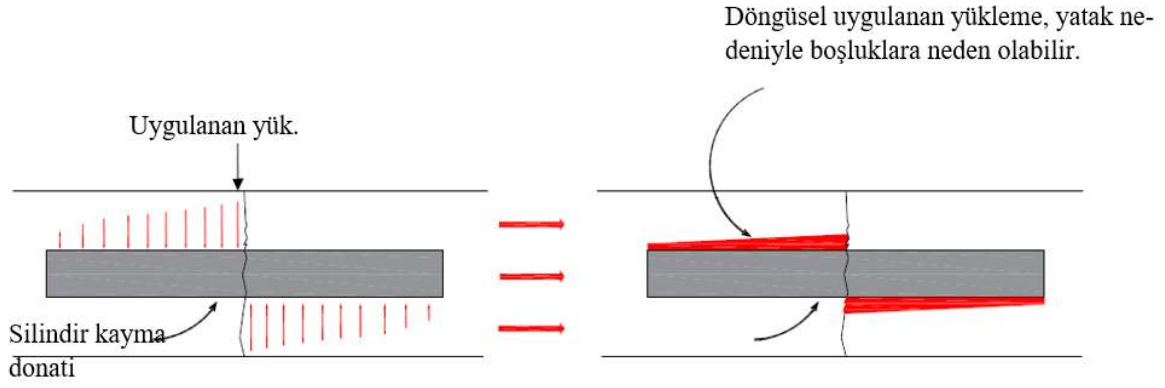
Demir kayma donatısı beton kaplamalarda en çok kullanılan kayma donatısı olup polymer bazlı fiber kayma donatılarından çok daha fazla mukavemet ve sertliğe sahiptir [44,45]. Küçük çaplı demir kayma donatılar, yüksek rijitlikleri nedeniyle kayma donatısı çevresinde betonda yüksek taşıma gerilmeleri oluşturur ve tekrarlanan tekerlek yükleri altında betonun yerel olarak ezilmesine ve parçalanmasına neden olabilmektedir [6,46]. Tekrarlanan ağır yükler altında kayma donatısı gevşekliğinin, yük aktarımı kaybı,

pompalama, derz desteği kaybı ve faylanma oluşumundan sorumlu olduğuna inanılmaktadır [47]. Beton kaplamaya kesme yükü uygulandığında, kuvvet yanlardan değil, sadece kayma donatısının üstü veya altı tarafından desteklenir. Kayma donatısının kenarları betondan kesme yükünün dağılımına yardımcı olmaz. Beton üzerindeki gerilme çok büyük olduğunda, beton, kayma donatısı çubuğuna temas ettiği yerden çatlamaya başlayacaktır [48].



Şekil 2.8. Betonarme yollarda kayma donatısı çalışma prensibi

Tekrarlı yükler, kayma donatısının beton içinde uzamasına yol açabilir. Uzama, gerilme yoğunlaşmasının bir sonucudur ve kayma donatısı çevresinde boşluklar oluşturur. Bu boşluk, kayma donatısı uygulanan yükü almaya başlamadan önce sistemde ek bir sapma oluşturur. Bu ek sapma, bağlantı boyunca yükü aktarmak için kayma donatısının verimliliğinde bir kayıp oluşturur tekrarlayan yüklemelerden sonra ortaya çıkan boşluk nedeniyle bir derz boyunca yük transferinde yüzde 5 ila 10'luk bir azalmaya sebep olabilir [49, 50]. Şekil 2.9 Kayma donatısı boyunca gerilme dağılışı göstermektedir.



Şekil 2.9. Kayma donatısı boyunca gerilme dağılışı [50]

Korozyona uğramış kayma donatıları betonun erken bozulmasının ana nedenlerinden biridir [26] Şekil 2.10'da görüleceği gibi. Kayma donatıların sürtünmesiz olduğu ve sıcaklık değişimlerinden dolayı beton kaplamaların serbest bağıl hareketine izin verdiği varsayıldığından, korozyon demir yüzeyin pul pul dökülmesine neden olabilirler [51].



Şekil 2.10. Epoksi kayma donatıları zamanla paslanabilir [52]

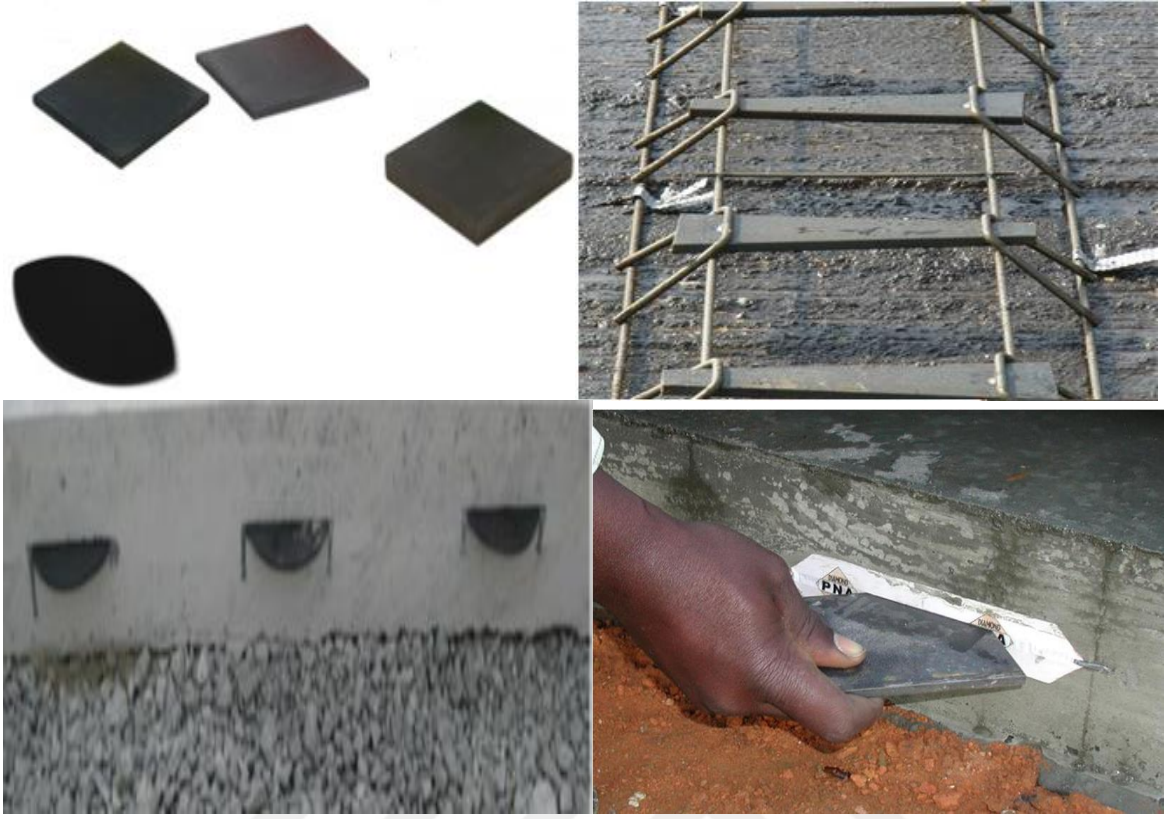
Korozyonu, kayma donatıların kesitini azaltır ve kesit kaybının etkisi kayma donatısının yük aktarma ve düşey hareketi engelleme kabiliyetini azaltır [53,28]. Ayrıca korozyon, demir kayma donatıların sıcaklık değişimlerinde serbest hareketini engelleyebilir. Plakların kayma donatılara göre serbest hareketinin kısıtlanması, yüksek çekme gerilmelerin oluşmasına neden olur ve bu da plaka ortasında çatlamaya neden olabilir [54]. Bağlantı çubuğunun korozyonu, bağlantıyı potansiyel olarak kilitlenmesine ve de ankastre davranış sergilemesine neden olabilir. derz kilitlendiğinde, ısı genleşmeye izin

vermez ve betondaki kayma donatılarının hemen arkasında derze paralel yeni çatlaklar oluşabilir. Sıcaklık düşükçe betonun büzülmesi yeni çatlakları genişleterek yük transferinin azalmasına neden olabilir. Derz boyunca aktarılan yük olmadığında, yük daha sonra alt zemine aktarılır ve bitişik plakalarda diferansiyel oturma meydana gelir [4].

2.4. Kayma Donatısı Malzemeleri ve Şekilleri

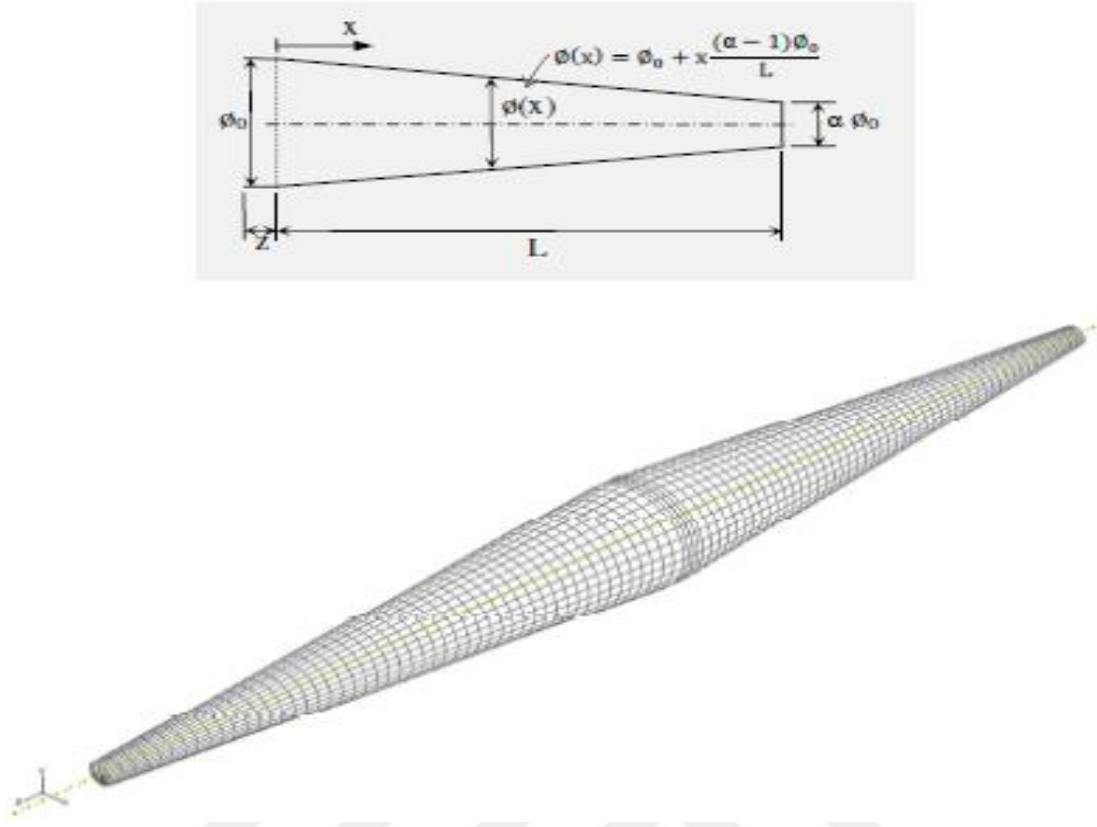
APCA (2008), Kayma donatıları-beton arayüzünde betondaki temas gerilmesini ve yanlış hizalamaya bağlı oluşan derz kilitlenmesini azaltmak için kayma donatısı üzerinde bir dizi şekil ve malzeme alternatifi geliştirmiştir. Baklava şeklindeki kayma donatıları derzlerde geleneksel silindir kayma donatılarına göre daha fazla taşıma sağladığını göstermişlerdir. Bu anlamda geleneksel silindir kayma donatılarına nazaranla daha az sıklıkta kullanma avantajı sağlayabileceğini göstermişlerdir [55].

James Mann, (2013) ağaç malzemesinden oluşan geleneksel silindir kayma donatısı, polymer bazlı plastik konik ve kırıış şeklinde kayma donatılarının LTE değerlerini karşılaştırmıştır. Ağaçtan oluşan geleneksel silindir kayma donatısı çubuğunun LTE değerlerinin %79,52, plastik kırıışli kayma donatısının %72.6, konik şeklindeki polymer kayma donatısının % 51.4 değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Silindir kayma donatısı çubuğunun (LTE) daha iyi olduğu sonucuna vardı [56].



Şekil 2.11. Farklı şekillerde kayma donatıları [57]

Ghauch Z, Karam G (2012), çift konik silindir kayma donatısı kullanarak betonla yanal boşluk oluşturarak kayma donatısının yanal hareket serbestliği sağlamışlardır. Büzülme dolayısıyla kayma donatısının daha iyi yük transferi sağlamasının, betonun en çok gerildiği bölgede daha yüksek bir taşıma alanı elde edildiğini göstermişlerdir. Konik kayma donatısının kullanılması durumunda, geleneksel silindir kayma donatısına kıyasla bağlantı yüzeyindeki gerilmeleri 2,2 kata kadar azaltabildiği gösterilmiştir. Konik kayma donatısının yük aktarma kapasitesinin silindir kayma donatılarına göre %116'ya kadar daha etkili olduğu bulunmuştur [58].



Şekil 2.12. Konik kayma donatısının geometrik şekli [58]

Ahmed Shalaby vd. (2001), 32 mm çaplı epoksi kaplı demir kayma donatısı ile 38 mm plastik kayma donatılarını karşılaştırmıştır. Düşen ağırlık FWD test sonuçları, plastik kayma donatıların demir kayma donatılarına göre %30 daha yüksek düşey deplasmanlar ürettiğini göstermiştir. Plastik kayma donatıların artan çap ve azaltılmış sertlikleriyle betonla kayma donatısı arasında daha düşük yatak taşıma kapasitelerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Artan çaplarıyla yatak taşıma gerilmelerini yarı yarıya indirdiklerini gösterilmişlerdir [59].

Brahim Benmokrane (2014), plastik kayma donatıların statik ve dinamik yükler altında performansını araştırmıştır. Sonuçlar, 28.6 mm çapındaki demir kayma donatıların 34.9 mm ve 38.1 mm çapındaki plastik kayma donatılara göre sırasıyla %7 ve %19 daha düşük LTE değerlerinin olabileceğini tespit etmişlerdir [30].

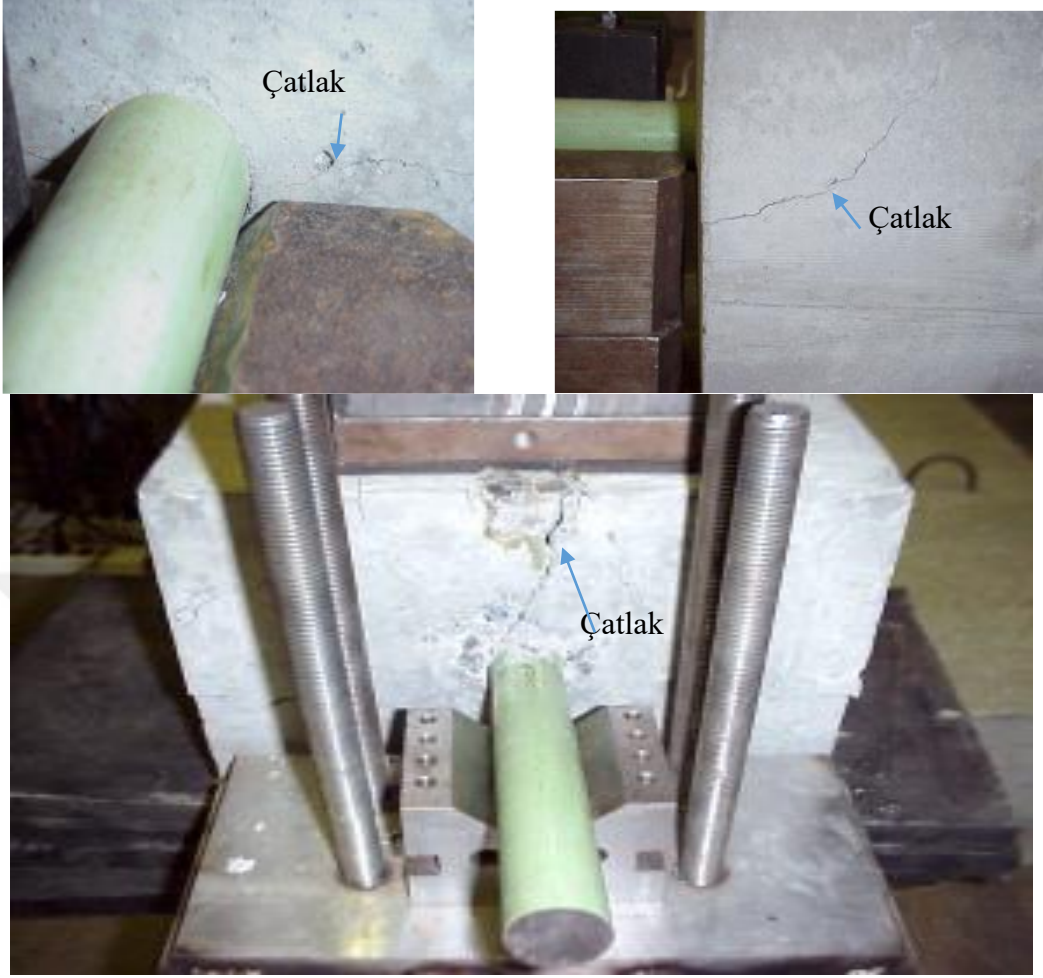
LI Luke vd. (2012) çalışmasında 30 mm çapındaki demir kayma donatısının aynı çapta GFRP kayma donatısına göre % LTE değerininin %9 daha fazla olduğunu göstermişlerdir. Ancak, 32 mm çapları için kayma donatısı için % 95,4 ve GFRF için % 95,1 LTE değerleri aldıklarını bulmuşlardır [60].

Keith W. Anderson vd. (2012), Cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) kayma donatılarının performansını değerlendirmiş. Sonuçlar göre, GFRP kayma donatılarının ortalama LTE değerlerinin % 35 ila 80 aralığında değiştiği ve epoksi kaplı kayma donatılarının LTE değerlerinin %50-%85 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Genel anlamda epoksi kaplı kayma donatılarının LTE değerlerini GFRP kayma donatılarına göre daha fazla olduğu anlamı taşımaktadır [61].

Scott Murison vd. (2002) çalışma sonuçlarına göre; 38 mm çaplı kayma demirin çekme gerilme değerlerinin 60 mm çaplı kayma demirine göre %55 daha fazla olduğunu göstermiştir. 38 mm çaplı fiber katkılı kayma donatılarının oluşturduğu basınç gerilmelerinin 30 mm çaplı demir kayma donatılardan %40 daha az olduğu tespit edilmiştir [62].

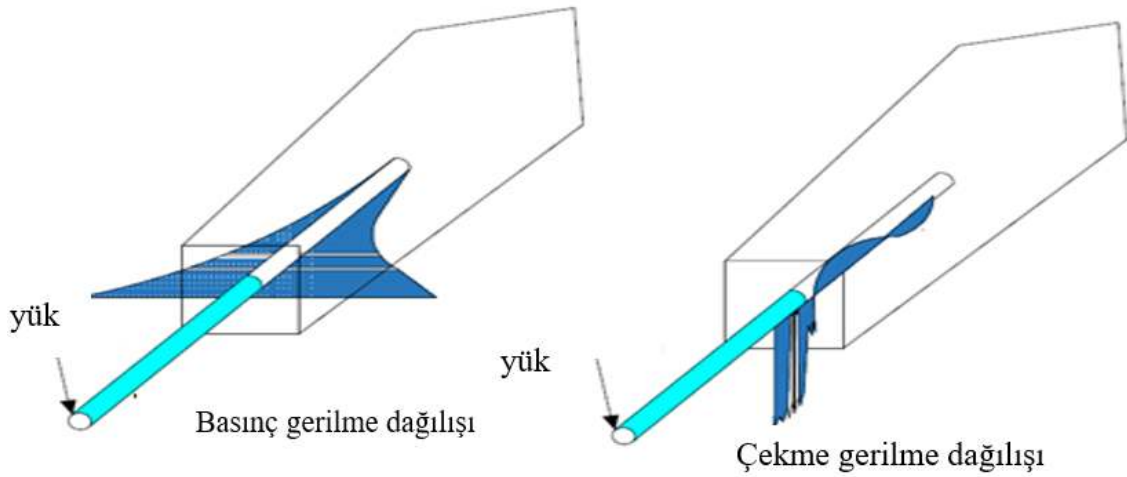
2.5. Kayma Donatılarının Etrafındaki Gerilmeler

Enine derzlerde yük aktarımını sağlayan kayma donatılarının etrafındaki en kritik gerilmeler, kayma donatısı üst ve alt kısmındaki basınç taşıma gerilmesi ve kayma donatısının her iki yanındaki çekme gerilmeleridir [6, 63].



Şekil 2.13. Kayma donatısının her iki tarafındaki erken yatay doğrultudaki çatlaklar [63]

Beton ile kayma donatısı arasında oluşan gerilmeler zamanla temas noktalarında boşluklar ve dolaysıyla yükün transfer verimliliğinde azalmalara sebep olabilmektedir. Şekil 2.14 gerilmelerin kayma donatısı boyunca dağılımı göstermektedir. Çekme ve basınç gerilmelerinin konsantrasyonların bağlantı yüzeyinden itibaren ilk 1.5 cm boyunca gerçekleştiğini ve bu noktadan sonra beton kaplamanın içinde kısa bir süre sonra azaldığını göstermektedir [63].



Şekil 2.14. Kayma donatısı civarındaki basınç ve çekme gerilmeleri

Piotr Mackiewicz (2015), farklı kayma donatısı çaplarının ve aralıklarının beton yol kaplamada kayma donatısı-beton ara yüzeyindeki gerilmeler üzerindeki etkisini inceledi. Kayma donatısı çapının 20 ila 40 mm'den daha fazla olmasının basınç gerilmesini %77 ve çekme gerilmesini %66'dan fazla azalttığını göstermiştir. Kayma donatısı aralığının 0,2 mt den 0,7 mt ye çıkarılması durumunda basınç gerilmesini %55 ve çekme gerilmesini % 57 artırdığı tespit edilmiştir. Kayma donatısının 0,5 m ve aralıklarını 0,30 m den az olması tavsiye edilmiştir [64].

Piotr Mackiewicz (2015), çalışmalarında küçük çaplı kayma donatıların, düşey basınç gerilmeleri konsantrasyonu büyük olması nedeniyle beton plakda hasarlara yol açabileceği sonucuna varmışlardır. 25 mm'den küçük çaplara sahip kayma donatılara sahip beton kaplamada 10 MPa gibi önemli basınç gerilmelerin ortaya çıktığı göstermişler [65].

LI Luoke vd. (2012), derz bölgesindeki kayma donatısını çevreleyen beton arasındaki temas gerilmelerini analiz etmişler. Basınç gerilme maksimum değerleri, kayma donatısı beton temas alanlarının üst bölgesinde meydana geldiği görülmüştür. Maksimum çekme gerilmeleri, kayma donatısı çevresinde her iki tarafta meydana gelmiştir [6].

2.6.1. Derz Faylanması

Faylanma, yük aktarımı kaybından dolayı bir kaplamadaki bir derz veya çatlak boyunca oluşan kot farkıdır. Normal olarak kayma donatılarının eksikliğinden kaynaklanan veya zemin altı desteğinin kaybının bir belirtisidir [68]. Faylanma zamanla artar ve sürüş

kalitesini bozmaya devam ederken trafiktten kaynaklanan dinamik yükleme beton kaplama derzlerinin çatlamasına neden olabilmektedir. LTE değerleri yükse ve derzlerdeki sehimler yüksekse, faylanma riski daha fazladır. Yüzde 85 veya daha düşük bir LTE'ye ve/veya 5 yıl veya daha kısa sürede beton plaklar arasındaki 0,13 mm'den fazla sapma farkına sahip bir derzin yeterli uzun vadeli kaplama performansı sağlaması olası değildir [50]. Şekil 2.15 derz faylanması göstermektedir.



Şekil 2.15. Derz faylanması [71]

2.6.2. Pompalama

Pompalama, trafik yükü nedeniyle beton plak altı zeminin, tabanın ve suyun derzden dışarı çıkmasıdır. Ağır kamyon trafiği, nem, ince malzemeler ve plakada yüksek dikey hareket varlığında, ince malzeme su ile plakanın altındaki diğer yerlere taşındığında veya derzler veya çatlaklardan zorlandığında oluşur. Şekil 2.16 Rijit kaplamalarda pompalamayı göstermektedir.



Şekil 2.16. Beton yollarda oluşan pompalama sorunu [71]

2.6.3. Hacimsel Büzülmeden Dolayı Enine Çatlama

Beton plakda meydana gelen ve tipik olarak plakanın tüm kalınlığı boyunca uzanan hacim değişikliklerinin bir sonucu olarak beton kaplamalarda enine çatlaklar gelişebilir. Hacimsel değişikliklerin neden olduğu çatlama, beton karışım özellikleri, çevresel etkiler, yüksek su/çimento oranı, yüksek çimento içeriği, yüksek erken dayanımlı çimento kullanımdan kaynaklanabilir. Isıl büzülme çatlama, inşaat sırasındaki çevre koşulları ile ilgilidir. Sıcaklıklar kritik bir rol oynayabilir, öyle ki yükseltilmiş ortam sıcaklıkları betonda erken bir prizlenmeye neden olabilir ve bu da daha sonra soğuduğunda önemli ölçüde büzülme (ve potansiyel olarak çatlama) yol açabilir. Daha düşük ortam sıcaklıkları, betonun dayanım kazanma oranını etkileyerek potansiyel olarak erken yaştaki çatlamlara karşı daha duyarlı hale gelebilir. Isıl büzülme çatlama, yerleştirmeden sonra bir gün ile birkaç hafta arasında herhangi bir yerde meydana gelebilir. Şekil 2.17 hacimsel büzülmeyle ilgili olarak oluşan çatlakları göstermektedir.



Şekil 2.17. Hacimsel büzölmeye bağlı olarak oluşan çatlaklar [71]

2.6.4. Kötü Kesim Nedeniyle Oluşan çatlaklar

Çoğu otoyol kaplaması için, beton kaplamada enine ve boyuna derzler oluşturmak yaygın yöntemidir. Testere kesimi, beton kaplamanın tüm kalınlığı boyunca değil, bir kısmı boyunca gerçekleşir, bu nedenle çatlağın o konumda oluşmasını sebep olur. Şekil 2.18 ve 2.19 başarız derz kesimlerine bağlı çatlamalar göstermektedir. Bir beton kaplamada testere ile kesme derinliği, genellikle enine derzler için beton kaplama kalınlığının dörtte biri ve boyuna derzler için beton kaplama kalınlığının üçte biri kadar olmuştur, ancak bazı kurumlar tüm derzleri üçte bir derinliğe kadar kesmeye yönelmiştir. Çok geç oluşturulan ve yeterince derin oluşturulmamış derzler, rastgele, kontrolsüz çatlama riski taşır. Derz oluşturma derinliği basit bir parametre olsa da, testere ile kesme işleminin zamanlamasını belirlemek biraz zordur. Genel olarak, derz kesme, beton kaplama yeterli dayanıma ulaştıktan sonra mümkün olan en kısa sürede başlamalıdır ve çoğu normal koşulda bu, yerleştirmeden sonra 4 ila 12 saat arasında olabilir [48]. Testlere kesme işleminin zamanlamasının amacı, betonun çatlamasına neden olacak şekilde çok erken kesmemek veya rastgele çatlamalara neden olabilecek çok geç kesmemektir. Kabul edilebilir süre genellikle "testere kesme penceresi" olarak adlandırılır.



Şekil 2.18. Başarız derz kesimlerine bağlı oluşan çatlamlar [72]



Şekil 2.19. Derz kesimine paralel dik şekilde gelişen çatlak [72]

2.6.5. Hatalı Hizalama Nedeniyle Oluşan Çatlamlar

Kayma donatılarının derz boyuncaki konumları, yük aktarımını sağlamak için önemlidir. Mevcut uygulamada, kayma donatıları ya önceden imal edilmiş kayma donatısı sepetleri ya da kayma donatısı yerleştirici aparat kullanılarak yerleştirilir. Kayma donatılarının merkezi ve simetrik konumlandırılmalıdır. Kayma donatıları hem yatay hem de dikey olarak yanlış hizalamaya neden olacak şekilde yerleştirilmediğinde, donatılar derzi kilitleyebilir ve beton büzülmesi yoluyla derzde sıkıştırmaya neden olabilir. Şekil 2.20 kayma donatılarının yanlış hizalanmasına bağlı oluşan çatlaklar göstermektedir.



Şekil 2.20. Kayma donatılarının yanlış hizalanmasına bağlı oluşan çatlaklar [72]

2.7. Hızlandırılmış Yol Testleri

Hızlandırılmış yol testi (HYT), sonlu elemanlar analizi (FEA) sayısal simülasyonlarında parametrik bir çalışma yaparak, yuvarlanma yükü altındaki yapısal

davranışı anlamak için doğru verilerin elde edilmesini sağlayan bire bir ölçekli gerçek test enegidir [73]. Hızlandırılmış Yol Testi, 1950'lerin sonlarında ABD'deki AASHO yol testi ile öne çıktı ve o zamandan beri yol yapımının büyük ölçüde rasyonel bir süreçte yükseltilmesinde önemli bir rol oynadı. Hızlandırılmış Yol Testi, laboratuvar ortamında elde edilen malzemelerin uzun vadeli kaplama performansı izleme ve mekaniksel-deneysel tasarım modellerin ihtiyaç duyduğu eksiklerinin gidermek için geliştirilmiştir [74]. Çevre koşullarının ve trafiğin üstyapıların performansı üzerindeki olumsuz etkilerini incelemek gerçek saha koşullarında yıllar alabilir [75].

2.7.1. Güney Afrika MKII, MK III HYT Sistemi

HYT sistemi Ekim 1970'de hizmete girdi. 30 tonluk makine, 6,2 m uzunluğundaki bir test bölümünde bir saatte 800'e kadar tekrarlı yük uygulayabilir. Kaplamaya uygulanan ilk maksimum yük 35 kN (1/2 dingil) idi ve daha sonraki model 75 kN'ye (1 dingil) yükseltildi [74]. Şekil 2.21 güney afrika hızlandırılmış yol testi MKII sistemi göstermektedir.



Şekil 2.21. Güney Afrika Hızlandırılmış Yol Testi MKII sistemi [74]

Temelde Mk II'ye benzeyen ikinci bir kez, Mk III makineleri, basit görünüm iyileştirmelerinin ötesinde önemli farklılıklara sahipti: test tekerlekli arabası artık normal çift kamyon tekerleklerini alacak şekilde tasarlandı, Mk II modelinde sadece tek tekerlekler

kullanıldı). Test sahası boyutları 8 x 1,4 m yükleme aralığı 40–150 KN, tekerleki hızı yaklaşık 9 km/sa, maksimum hız 10 km/sa idi, bu da yaklaşık günde 20.000 çift yönlü tekerlek yükü tekrarı anlamı taşımaktadır. Gezinme Kontrolü Mekanik Gezinme genişliği 1,4 m. 40 KN (yarım aks) test tekerleği yükünde günde 20.000 ESAL değeri üretmektedir. HVS'nin boyutları 23 m uzunluk 3.7 m genişlik 4.2 yükseklikte olup Mk III yaklaşık 57 ton ağırlığındadır [74]. Şekil 2.22 güney afrika hızlandırılmış yol testi MKIII sistemi göstermektedir.



Şekil 2.22. Güney Afrika Hızlandırılmış Yol Testi Mk III [74]

2.7.2. Califoriniya HYT

HYT sistemi ağırlığı yaklaşık 46 ton, yükseklik 3,9 m. Test tekerleği hızı, günde yaklaşık 26.000 çift yönlü tekerlek yüküne izin verecek şekilde yaklaşık (20 km/s)'ye yükseltildi. Gezinme kontrolü elektronik/programlanabilir, gezinme genişliği 1,4 m çift yönlü yükleme ve tek yönlü yükleme test bölümü boyutları 8 x1,4 m ve yükleme aralığı 20–205 KN [72]. Şekil 2.23 Califoriniya hızlandırılmış yol testi göstermektedir.



Şekil 2.23. Californiya Hızlandırılmış Yol Testi [74]

2.7.3. Amerikan Hava İdaresi (FAA) HYT

FAA tarafından geliştirilen HYT sistemi gezinme genişliği 2,0 m maksimum hız 20 km/s, çift yönlü yükleme, tek yönlü yükleme test bölümü boyutları 12,2 x 1,4 m yükleme aralığı 45–445 kN HVS-A, maksimum 100.000 lb 450 kN tekerlek yükü uygulama kapasitesine sahiptir. İlk olarak yüksek lastik basınçlarının (1.45 ve 1.75 MPa) etkilerini incelemek için kullanılmıştır [63]. Şekil 2.25 FAA hızlandırılmış yol testi göstermektedir.



Şekil 2.24. FAA Hızlandırılmış Yol Testi [74]

2.7.4. Florida FDOT'un Ağır Araç Simülatörü (HVS)

Üstyapı kritik tepkilerini ölçmek için tam ölçekli saha testleri için kullanılan HVS sistemde, yükleme, 44,5 kN'ye (10 kips) yüklenen ve 689,5 kPa'ya (100 psi) şişirilen çift lastikli (Goodyear G296 WHA LRL, 425/65R22.5) HVS (Mark IV modeli) kullanılarak uygulandı. Tek yönlü HVS yüklemesi, tüm test bölümleri için 12 km/sa (7.5 mph) tekerlek hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.25. FDOT's hızlandırılmış yol testi göstermektedir.



Şekil 2.25. FDOT's Hızlandırılmış Yol Testi [72]

2.7.5. Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) HYT

KTÜ-APT, Türkiye'nin ilk ve tek tam ölçekli hızlandırılmış üstyapı test tesisidir. Sistem PLC otomasyonu ile kontrol edilir. Test aracı ikiz lastiklerle donatılmıştır (Şekil 1.50). Hız, tek yönlü trafik modunda 16 km/saate kadar çıkarılabilmektedir. Dinamik simülatör 17.70 m uzunluğunda, 2.45 m genişliğinde ve 3.40 m yüksekliğindedir. Testler 6,5 m genişliğinde, 24 m uzunluğunda ve 6 m derinliğinde bir binada yapılmaktadır. 2009

yılında inşaatına başlanan ve 2011 yılında aktif olarak hizmete giren tesisin yükleme sistemi istenilen yol kesiminde mobil test imkanı sağlamaktadır. Ekim 2017'den bu yana iki doktora tezi tamamlanmış ve Haziran 2018'den bu yana bu tesiste bir TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) 1001 projesi yürütülmüştür [76,77]. Şekil 2.27 Karadeniz Teknik Üniversitesi Hızlandırılmış Yol Testi göstermektedir.



Şekil 2.26. Karadeniz Teknik Üniversitesi Hızlandırılmış Yol Testi

2.8. Aks Eşdeğerlik Faktörü (LEF: Yük Eşdeğerlik Faktörü)

Üstyapı tasarımı ve rehabilitasyonunda yük denklik faktörlerinin (Load equivalent faktor) belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Yollardaki aks yüklerinden kaynaklanan hasarın yanlış değerlendirilmesi, maliyetli ve erken arızalara yol açabilen durumlar oluşturabilmektedir. Eşdeğer tek dingil yüklerinin (ESAL'ler) fazladan tahmin edilmesi,

aşırı tasarlanmış üstyapılar dolayısıyla da finansmanı diğer projelerden uzaklaştırabilecek gereksiz harcamalara neden olacaktır. Belirli bir dingil için LEF, dingil ağırlığı, dingil sayısı (tek, tandem, tridem), üstyapı tipi (esnek üstyapılar için yapı numarası, rijit üstyapılar için beton beton kaplamanın kalınlığı) ve terminal servis kolaylığı dahil olmak üzere birçok değişkenin olduğu karmaşık bir fonksiyonudur. Trafik yükü tahmininde amaç, tasarım süresi boyunca proje sahasında beklenen trafiği olası en iyi temsil etmektir. Tek tasarımlı bir aks yükü açısından karışık aks yüklerini temsil etmek için LEF'lere ihtiyaç vardır. Belirli bir ağırlık kategorisi ve dingil çeşidi (tekli, ikili, tridem) içindeki dingil yüklerinin sayısı ile çarpılan LEF'ler, üstyapı yapılarının performansı üzerinde eşdeğer etkiye sahip olacak 18 kip'lik tek dingilli yük uygulamalarının sayısını verir. Tablo 2.9 Farklı Yüklerde Dingil Eşdeğerlik Faktörleri göstermektedir.

Bu çalışmada tüm ağırlık kategorileri ve aks tipleri için elde edilen 18 kiplik tek dingilli yük uygulamaları kullanılmıştır., AASHTO 18-kip LEF'lerini belirlemek için Denklem 2.2 kullanılmaktadır.

$$LEF_{L1} = \frac{N_{18}}{N_{L1}} \quad (2.5)$$

N 18 = L1=18 kip için t süresinin sonundaki aks yükü uygulama sayısı

N L1 = herhangi bir L1 yükü için t süresinin sonundaki aks yükü uygulamalarının sayısı.

Rijit kaplamalar için LEF'leri hesaplamak için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$\log Nt = 5.85 + 7.35 \cdot \log(D + 1) - 4.62 \cdot \log(L1 + L2) + 3.28 \cdot \log L2 + \frac{Gt}{\beta} \quad (2.6)$$

Gt = t zamanında hizmet verebilirlikteki kaybın, Pt=3 olduğu bir noktaya alınan potansiyel kayba oranının bir fonksiyonu (logaritması).

$$Gt = \log_{10} \left(\frac{4.5 - p_t}{4.5 - 1.5} \right) \quad (2.7)$$

β = tasarımın bir fonksiyonu ve şekli etkileyen yük değişkenleri p-versus-W servis edilebilirlik eğrisi.

$$\beta = \frac{3.63 * (L1 + L2)^{5.2}}{(D + 1)^{8.46} L2^{3.52}} \quad (2.8)$$

L1=18 ve tek dingil için Denklem (1.5) basitleştirilebilir:

$$\log Nt = 5.85 - 7.35 * \log(D + 1) - 4.62 * \log(18 + L) - 3.28 * \log L2 + \frac{Gt}{\beta} \quad (2.9)$$

Denklem 2.8 ve 2.11'i Denklem 2.2'de yerine koyarsak, aşağıdaki denklem şu şekilde olabilir : Sert kaplamalar için elde edilenler :

$$LEF_{L1} = \left[\frac{(L1 + L2)^{4.62}}{(18 + 1)^{4.62}} \right] * \left[\frac{10^{\frac{Gt}{\beta 18}}}{10^{\frac{Gt}{\beta L1}} * (L2)^{3.28}} \right] \quad (2.10)$$

Tek dingil: [P kips / 18 kips]⁴ Tandem Axle: [P kips / 30 kips]^{4.1} Tridem Axle:

$$[P \text{ kips} / 40 \text{ kips}]^{3.9} \quad (2.11)$$

Tablo 2.9. Farklı Yüklerde Dingil Eşdeğerlik Faktörleri [16]

Dingil Yük, Kips	AASHTO LEF	Basitleştirilmiş, LEF
2	0.002	0.000152
4	0.02	0.00244
6	0.01	0.01235
8	0.32	0.039
10	0.80	0.095
12	0.174	0.1975
14	0.337	0.3659
16	0.599	0.624
18	1.00	1.00
20	1.58	1.52
22	2.4	2.23
24	3.51	3.16
26	4.96	4.35
28	6.83	5.86

2.9. Literatürde Sonlu Eleman Yöntemi (FEM) Çalışması

Tablo 2.10. Literatürde sonlu elemanlar çalışmaları

Referans çalışma	Araştırma konusu	Kullanılan Teknikler	Bulgular
Vahid Sadeghi 2017	Enine bağlantıların yük transfer verimliliği (LTE).	(3D-FEM) ABAQUS	- Kaplama elastisite modülü 5 000 ila 30 000 MPa artması durumunda, yük transferini %97 den % 99 artış sağlanmış. - Temel tabkasının elastisite modülünü 100 den 800 MPa'dan artırması durumunda LTE değerlerinde %96,6 dan %97 artış sağlanmı. Elastisite modül değiştirmenin LTE üzerinde etkili olmadığı gösterilmiştir. - levha kalınlığı 9 cm den 11 cm ye artmasının, yük transferini %96,2'den %97,2'ye yükselttiği tespit edilmiş. - Zemin-Beton arası sürtünmesini 0,8'den 2'ye artırmak, yük aktarımı LTE'sini %96,7'den %97,1'e yükselttiği tespit edilmiş.
Mahmoud Reza Keymanesh 2017	Kayma donatısı ile beton arasındaki sürtünme, donatı aralığı ve kayma donatısı boyutlarının, LTE üzerindeki etkileri	ABAQUS	- kayma donatısı aralıklarının 30 cm den 90 cm çıkarılması durumunda LTE değerleri %96 dan % 84 e düştü. - Sürtünme katsayısının 1 den 0.1'e düşmesi durumunda LTE değerleri %96 dan % 93.33'e düşmüş. - Yüklerin 1 tondan 12 tona çıkması durumunda, LTE değerleri %96 dan 91% e düşmüş. Yük etkisinin ihmal edilebileceği belirtilmiştir. - Kayam donatısı çapının 22 mm'den 36 mm'ye çıkması durumunda LTE değerleri %91 den 96.5 % çıkmış. - Maksimum LTE miktarı, kayma donatısı plaka kalınlığının yarısına yerleştirildiğinde ortaya çıkmaktadır.
Gholam Ali Shafabakhsh 2017	Hareketli yüklerin derzli düz beton üstyapı tepkileri üzerindeki dinamik etkilerinin değerlendirilmesi	ABAQUS.	- Kayma donatısı çapı, kaplama eğilme rijitliği (EI) değerini artırır, bu da genel olarak beton kaplamanın sehiminin azalmasına neden olur. - Kayma donatısı çapının 12'den 20 mm'ye artırılması, yük transfer verimini (LTE) % 69.82'den %89.73'e ve derzin (E) etkinliğini %82.23'den %94.59'a arttırmaktadır. - Beton kaplama altındaki zeminin derzli beton kaplamanın sehimini üzerinde önemli bir etkiye sahip olup bu da yük transfer verimliliğinin artmasına yol açar. - Betonun basınç dayanımının, ($f_c=27$ MPa) yük transfer verimliliği (LTE) (%79.64 ve 79.94) ve derzin etkinliği (E) (%88.66 ve %88.85) üzerinde önemsiz bir etkisi vardır. - Derz genişliğini 10 mm'den 30 mm'ye artması, Yük Aktarım Verimliliğini (LTE) %79.64 dan %60.48'e düşürmüş, ve derz etkinliği %88.66'dan %75.37'ye düşürmüştür.

Tablo 2.10'un devamı

Referans çalışma	Araştırma konusu	Kullanılan Teknikler	Bulgular
Gholam Ali Shafabakhsh 2017	Hareketli yüklerin derzli düz beton üstyapı tepkileri üzerindeki dinamik etkilerinin değerlendirilmesi	ABAQUS.	- Kaplama kalınlığının 125 mm'den 250 mm'ye artması, yük transfer verimliliğini (LTE) %89.73'ten %64.24'e arttırmaktadır ve derz etkinliğini (E) %94.59'dan %78.23'e arttırmaktadır sebep olmuştur. Sonuçlar, kaplama kalınlığının LTE ve ortak Etkinlik üzerinde yüksek bir etkisi olduğunu göstermiştir. 12 mm'den 20 mm'ye kadar artan kayma donatısı çapı, test edilen numunelerin yük-sehim davranışı üzerinde çok az bir etkiye sahiptir ve kırılma yükünde sadece %5'lik bir artış vardır. - Beton kaplama altı zeminin CBR değerinin %7'den %5'e düşürülmesi, kırılma yükünü yaklaşık %33 oranında azaltır. - İç yükleme, maksimum sehim ve maksimum eğilme gerilmesi kayma donatısı çapından ve kayma donatısı aralığından etkilenmez. - İç yüklemelerde, maksimum eğilme gerilmesini azaltan etkiyi artıran levha kalınlığı, sehimini azaltan etkisinden daha belirgindir. - Kaplama kalınlığını 20 cm den 50 cm çıkması durumunda, maksimum yer değiştirmeler 28 den $18 \cdot 10^{-3}$ inç'e düşürmüş ve maksimum eğilmede çekme gerilmesini 460 den 150 PSI düşürmüştür. - Kayma donatısı çapını 0,75 den 1,75 inç'e çıkması durumunda, maksimum yer değiştirmeler $14 \cdot 10^{-3}$ den $12,5 \cdot 10^{-3}$ inç'e ve maksimum eğilmede çekme gerilmesinin 430 den 360 PSI düşürmüştür.
Piotr mackiewicz 2015	Donatı çapı, diziliş aralığının donatı-beton ekileşim bölgesindeki gerilmeler üzerindeki etkileri.	FEM ve Düşen ağırlık deflektometresi (FWD)	- Donatı çapının 20 mm'den 40 mm çıkarılması durumunda basınç mukavemetlerinin % 77, çekme gerilmelerinde ise % 66 azalmaya sebep olmuştur. - Kayma donatı aralığının 0.2 m to 0.7 m'ye çıkarılması durumunda basınç mukavemetlerinde %55 çekme gerilmelerinde ise %57 azalmaya sebep olmuştur. - Kayma donatısı uzunluğunun 50 cm den 80 cm'ye artırılması durumunda %3 basınç gerilmesinde azalmaya fakat çekme gerilmesinde %40 bir artışa sebep olabileceği gösterilmiştir. - Kayma donatılarının çaplarının <0,04 m den küçük olması, uzunlukları 0,5 m ve 0,30 m den daha fazla aralıklarla dizilmeleri durumunda betonda izin verilen çekme gerilmelerinin aşılabileceği de gösterilmiştir.

Tablo 2.10'un devamı

Referans çalışma	Araştırma konusu	Kullanılan Teknikler	Bulgular
Piotr Mackiewicz 2015	Kayma donatılarının etrafındaki gerilmeler analiz edildi.	3D-FEM Falling weight deflectomet	• 20 mm kayma donatılarının kullanıldığında LTE değerlerinin %65 den % 80 çıkması durumunda çekme gerilmelerinin 25 MPa dan 10 MPa (60% düşüş) basınç gerilmelerinde ise 6.5 MPa dan 4 MPa (%39 düşüş) kadar düşüşler ölçülmüş. • Düşük çaplı kayma donatılarının betonda daha fazla gerilme konsantrasyonlarına sebep olabileceği belirtilmiştir. 0.025 m'den daha küçük çaplı kayma donatılarının >10 MPa dan (LTE < 75%). daha büyük basınç gerilmelerine sebep olacağı belirtilmiştir.
LI Luoke 2012	Kayma donatısı-beton yüzey bölgesindeki gerilmeler	ABAQUS	• Max. asal ve basınç gerilmeleri kayma donatısının üstünde meydana gelmektedir. • Max. çekme gerilmeleri kayma donatısının alt ve üstünde değil yanlarında meydana gelmektedir. • Max. kayma gerilmeleri kayma donatısı-beton temas yüzeyi ile 45° and 135° açı yapmaktadır. • Kayma donatısı-beton temas yüzeyinde oluşan gerilmeler kaplama kalınlığının artmasıyla azalmaktadır. • Beton sınıfının (C20, C30, C40, and C50) kayma donatısı-beton temas yüzeyindeki gerilmeler üzerinde etkileri ihmal edilecek kadar azdır.
Samir N. Shoukry 2011	Kayma donatısı-beton yüzeyinde trafik ve ısı yüklemelerinin oluşturduğu gerilmeler	LS-DYNA	• Kayma donatısı üzerinde 7.18 MPa basınç gerilmeleri yanlarında ise 3.8 MPa çekme gerilmeleri hesaplanmış.
Chichun Hu 2016.	Optimum kayma donatısının belirlenmesi	ABAQUS	• Kayma donatısının çapının 28 den 38 mm çıkarılması donatının altındaki gerilmeleri 32.2 MPa dan 17.9 MPa düşürmüştür (%45 düşüş). Kayma donatısının üstündeki bölgede ise 3.72 MPa dan 3.44 MPa düşürmüştür.
Ahmed Shalaby 2001	Cam elyaf katkılı kayma donatılarının (GFRP) performansları	Labaratuar deneyleri ve Falling Weight Deflectometre (FWD) 3D-FEM	• FWD test sonuçları GFRP kayma donatılarının demir kayma donatılarına göre %30 daha fazla deformasyonlara sebep olduğu, ancak LTE değerlerinin daha iyi olduğunu göstermişler. • Kayma donatılarının çaplarını büyük olmasının derzlerde farklı oturumların azaltılmasında ve taşıma kapasitesinin artırılmasında avantajlı olduğunu belirtmişler. Büyük çaplı GFRP donatıların taşıma kapasitesini 2 kat artırdığı görülmüştür.
Ghauch Z 2012	DTR kayma donatılarının performansları	Abaqus (v6.11)	• DTR kayma donatıları donatı-beton yüzeyindeki taşıma kapasitesini geleneksel demir kayma donatılarına göre en az 2.2 kat daha fazla artırabilir. • LTE değerleride % 116 daha fazla sağlayabilir.

Tablo 2.10'un devamı

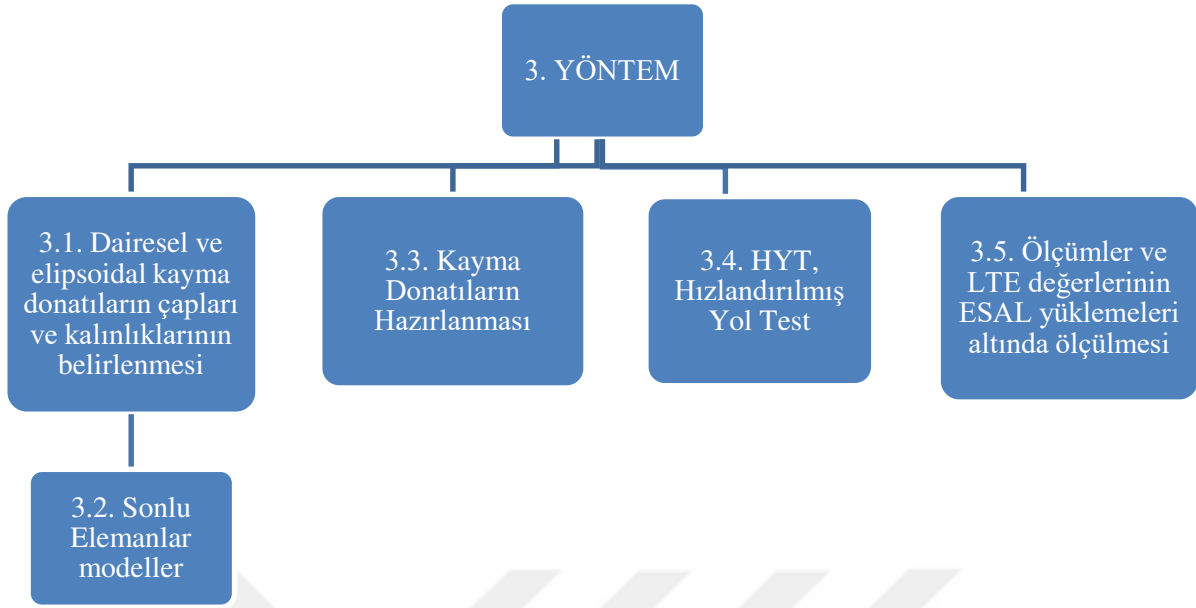
Referans çalışma	Araştırma konusu	Kullanılan Teknikler	Bulgular
Kukjoo Kim et al. 2018	Kayma donat serim aralığının donatısı-beton ara yüzündeki taşıma performansına etkisi	ADINA (version 9.1.1)	Temel tabkasını elastic modülünün derzlerin davranışında önemli bir rol oynadığı ve daha sert temel malzemelerin derz performansını önemli ölçüde iyileştirebileceği belirtildi. Farklı kayma donatı dizilişleri nedeniyle eklemde derzde sehim ve gerilmelerde çok az değişiklik olduğu görülmüştür.

3. YÖNTEM

Bu tezin amacı, rijit üstyapılarda performansını iyileştirmek için standard silindir kayma donatısı yerine yükü daha geniş alana yayabilecek dairesel ve ellipsoidal kayma donatılarının performansını incelemektir. Bu amaçla, yöntem olarak sonlu elemanlar ve hızlandırılmış yol testler seçilmiştir. Şekil 3.1 takip edilen yöntemin aşamalarını göstermektedir. Bu araştırmada, beton yollarda derz bölgesindeki kayma donatısı ve etrafını saran betonda oluşabilecek çatlaklar sonlu elemanlarla analiz edilmiştir. Bu araştırmanın ilk kısmında, literatürde bulunan tüm çap ve uzunluklar için geleneksel silindir kayma donatısı hacmi hesaplamıştır [79]. Gerilme analizlerine göre tespit edilen en uygun silindir kayma donatısına eşdeğer dairesel ve elipsoidal kayma donatı boyutları hesaplanmıştır.

Sonlu elemanlar çalışmasında betonun kenarlarındaki yer değiştirme, çekme gerilmeleri ve betonu çevreleyen kayma donatısının üstünde ve altında oluşan basınç gerilmeleri üzerinde yapılmıştır. Betonun kayma donatısı etrafındaki gerilmeler ve yer değiştirmelerin sonuçları incelenerek birbirleriyle karşılaştırılmış ve sonuçlar sonuçla bölümünde sunulmuştur.

Nihayetinde en sonunda karar verilen silindir, dairesel ve elipsoidal kayma donatıları hızlandırılmış yol test sisteminde kullanılmıştır. Hızlandırılmış Yol Test, (FEM) bulgularını doğrulamak için KTU Ağır Araç Simülatörü (HVS) kullanıldı. Tesler sonunda, plakaların mukavemetleri belirlendi, beton test çekici cihazı kullanıldı.



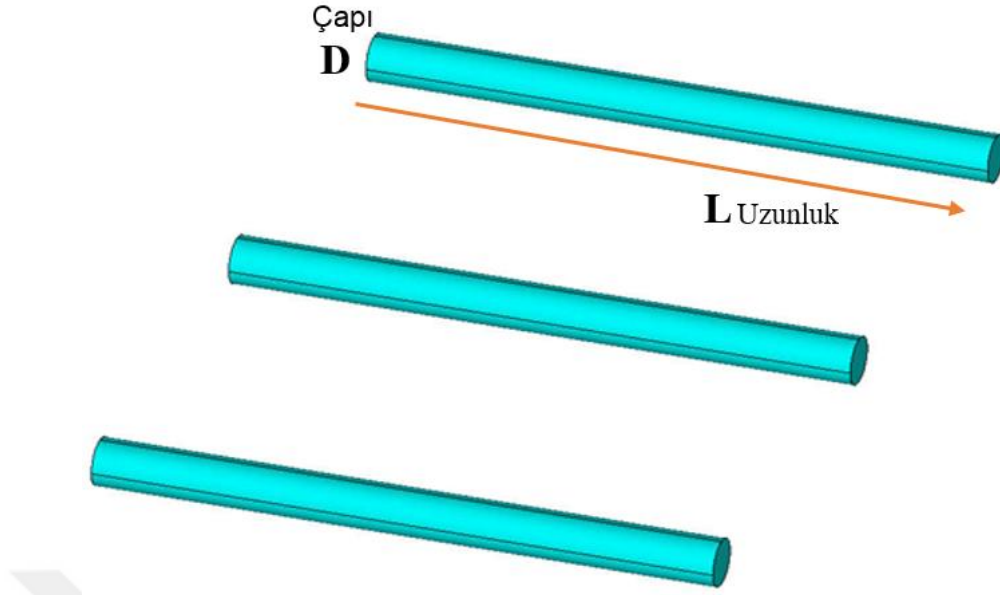
Şekil 3.1. Yöntemin araşmaları

3.1. Dairesel ve Elipsoidal Kayma Donatılarının Çapları ve Kalınlıklarının Belirlenmesi

Bu kısımda eşdeğer silindir kayma donatılara göre dairesel ve elipsoidaloidal kayma donatı boyutlarının belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürde bulunan silindir kayma donatı boyutları göz önüne alınarak, her silindir kayma donatısı hacmi için çap ve uzunluklarına göre elipsoidaloidal ve dairesel eşdeğer şekiller belirlenmiştir. Detaylı bilgiler Tablo 3.1 de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Silindir kayma donatısı hacmi hesaplanması

Silindir kayma donatısı Çap, cm	1,905	2,54	3,175	3,81	4,445	5,08	Uzunluk cm
Hacm cm ³ V= 3,14*(D /2) ² *L	85.46	151,353	237,3	341,8	465,3	607,7	30
	99.708	176,57	276,9	398,8	542,8	709,1	35
	113.9	201,8	316,5	455,8	620,4	810,3	40
	128.2	227,0	356,1	512,7	667,9	911,6	45
	131.1	232,9	364,1	524,1	713,4	931,8	46
	142.4	252,2	395,6	569,7	775,5	1012,9	50



Şekil 3.2. Silindir kayma donatısı.

$$V = \pi * (D/2)^2 * l \quad (3.1)$$

V: kayma donatısı hacmi;

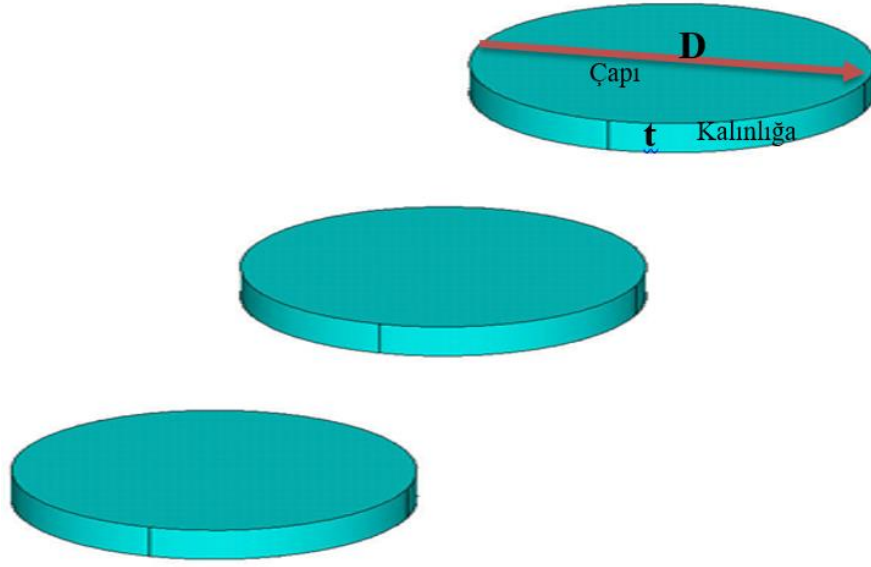
D: kayma donatısı çapı;

l: kayma donatısı uzunluğu.

Literatürdeki kayma donatısı çapları betonarme yollar için (1.95, 2.54, 3.11, ve 3.81 cm) ve havaalanları için (4.445 ve 5.8 cm) [78, 79].

3.1.1. Silindir Kayma Donatısına Eşdeğer Dairesel Kayma Donatısı Boyutlarının Belirlenmesi

Dairesel şeklindeki kayma donatısının hacmi formül 3.2 ile verilmektedir, bu işlem, dairesel kayma donatısının boyutunu belirlemek için de kullanılmıştır. Başlangıç hacmi her zaman silindir kayma donatılarının hacmidir. Detaylı bilgiler EK 1 Tablo.1. de gösterilmiştir. Ancak kesiti aşağıdaki gibi optimize etmek için kayma donatısı kalınlıkları (1, 1.5, 2, 2.5, 3) cm ile birkaç simülasyon gerçekleştirilmiştir. Formül 3.3 kullanılarak kayma donatı çapları belirlenmiş ve sonrada kalınlıkları hesaplanmış ve Tablo 3.2 gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Dairesel kayma donatısı

$$V = \pi D^2 t / 4 \quad (3.2)$$

V: kayma donatısı hacmi;

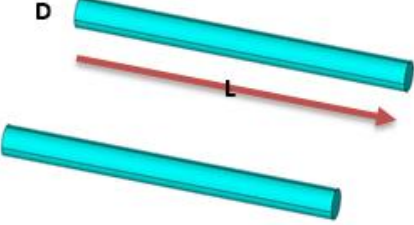
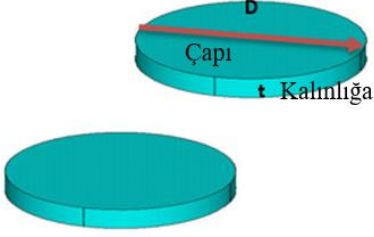
D: kayma donatısı çapı

t: kayma donatısı kalınlık.

$$D = \sqrt{4V / \pi t} \quad (3.3)$$

(3.3) formülünden seçilen kalınlığa karşılık gelen çap elde edilir.

Tablo 3.2. Silindir kayma donatısına eşdeğer dairesel kayma donatısı

Silindir Kayma donatısı çapı 3,81 cm 		Dairesel kayma donatısı cm 	
Uzunluğu cm	46		
$V \text{ cm}^3$ $t \text{ cm}$		524.18	$D = \sqrt{4V / \pi t}$
1		25.8408	
1.5		21.099	
2		18.2272	
2.5		16.3431	
3		14.9192	

3.1.2. Silindir Kayma Donatısına Eşdeğer Elipsoidal Kayma Donatısı Boyutlarının Belirlenmesi

Elipsoidal şeklindeki kayma donatısının hacmi formül 3.4 ile verilmektedir, aynı işlem, elipsoidal kayma donatısının boyutunu belirlemek için de kullanılmıştır. Başlangıç hacmi her zaman silindir kayma donatısının hacmidir. Detaylı bilgiler EK1 Tablo.1. de gösterilmiştir. Ancak elipsoidal kayma donatı aşağıdaki gibi optimize etmek için kayma donatısı kalınlıkları (1, 1.5, 2, 2.5, 3) cm, küçük eksen ayarlanır 12 cm ile birkaç simülasyon gerçekleştirilmiştir. Formülde 3.5, elipsoidal kayma donatı ana eksen belirlenir. Elipsoidal kayma donatı çaplarının kalınlığa bağlı olarak farklı değerleri tabloya 3.3 kaydedilmiştir.

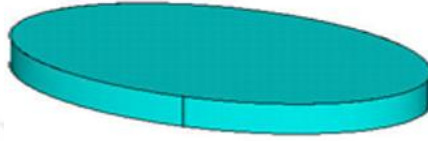
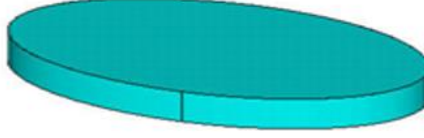
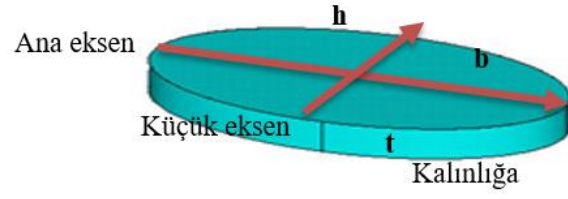
$$V = t \cdot b \cdot h \cdot \pi / 4 \quad (3.4)$$

V: kayma donatısı hacmi

t: kayma donatısı kalınlığı

b: Ana eksen

h: Küçük eksen



Şekil 3.4. Elipsoidal kayma donatısı

$$b = 4V / \pi ht \quad (3.5)$$

b: Ana eksen

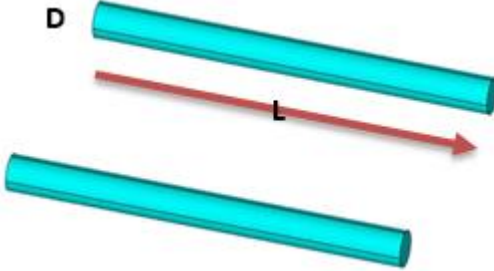
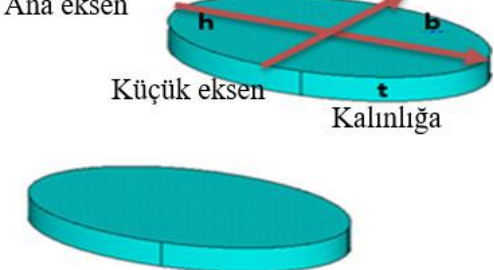
V: kayma donatısı hacmi

h: Küçük eksen

t: kayma donatısı kalınlığı

(3.5) formülünden seçilen kalınlığa karşılık gelen çap elde edilir.

Tablo 3.3. Silindirik kayma donatısına eşdeğer elipsoidal kayma donatısı

Silindir Kayma donatısı çapı 3,81 cm 		Elipsoidal kayma donatısı, b ana eksen 	
Silindir kayma donatısı uzunluğu cm	46	Ana eksen $b = 4V / \pi th$	
Silindir kayma donatısı hacmi V, cm^3	524.18		
Küçük eksen h cm			
Elipsoidal kayma kalınlığı t cm			
1			
1.5			
2			
2.5			
3			

3.1.3. Dairesel Kayma Donatısı Optimal Çapı ve Kalınlığının Belirlenmesi

Çalışma süresini azaltmak için, çapı 3.81 cm ve uzunluğu 46 cm olan silindirik kayma donatıları kullanıldı. Tablo 3.2 'de rapor edilen bu boyutlar daha sonra daireseli optimal kesiti belirlemek için kullanıldı. Yapılan sonlu elemanlar çalışmasında, dairesel kayma donatısı için bir sonraki bölümde sunulan en iyi performans 2,5 cm kalınlıkta elde edilmiş olup tüm modeller için bu değer kullanılmıştır. Detaylı bilgiler Tablo 3,4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Dairesel kayma donatısı çap ve kalınlığı sonlu elemanlar sonuçlar

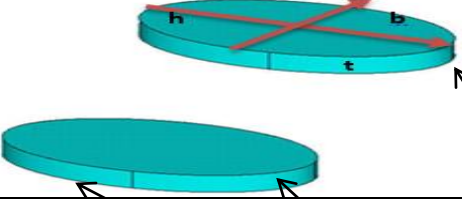
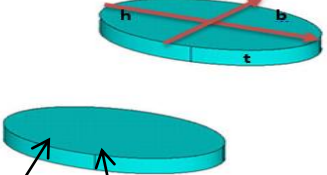
yüklü plaka						yüksüz plaka					
t cm		D cm	Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
				Kayma donatısı çevresinde betonun yanlarında	Kayma donatısı çevresinde betonun üstünde	Kayma donatısı çevresinde betonun altında		Kayma donatısı çevresinde betonun yanlarında	Kayma donatısı çevresinde betonun üstünde	Kayma donatısı çevresinde betonun altında	
				(+) σ_1 mMPa	(-) σ_3 (Mpa)	(-) σ_3 (Mpa)		((+) σ_1 (Mpa)	((-) σ_3 (Mpa)	((-) σ_3 (Mpa)	
1	25.84		0.657	44.6	25.7	2.35	0.592	40.5	2.42	27.9	90.11
1.5	21.1		0.652	28.9	24.0	1.96	0.594	25.3	1.89	24.5	91.10
2	18.22		0.651	26.6	22.0	3.35	0.595	26.9	3.09	18.1	91.4
2.5	16.34		0.649	22.3	20.2	4.97	0.597	27.0	3.77	18.1	92
3	14.92		0.650	25.5	20.4	6.28	0.597	25.2	5.25	20.6	91.85

3.1.4. Elipsoidal Kayma Donatısı Optimal Kalınlığının Belirlenmesi

Çalışma süresini azaltmak için, kayma donatılarının yeni şekillerinin kalınlığını belirlemek için silindirik tipik kayma donatısı boyutlarının çapı 3.81 cm ve uzunluğu 46 cm kullanıldı. Tablo 3.3'te rapor edilen bu boyutlar daha sonra elipsoidal optimal kesiti belirlemek için kayma donatısının modellenmesi için kullanıldı. Yapılan sonlu elemanlar çalışmalarında, elipsoidal için, bir sonraki bölümde sunulan en iyi performansın 2,5 cm kalınlıkta elde edilmiş olup tüm modeller için bu değer kullanılmıştır. Detaylı bilgiler Tablo 3.5'te gösterilmiştir.



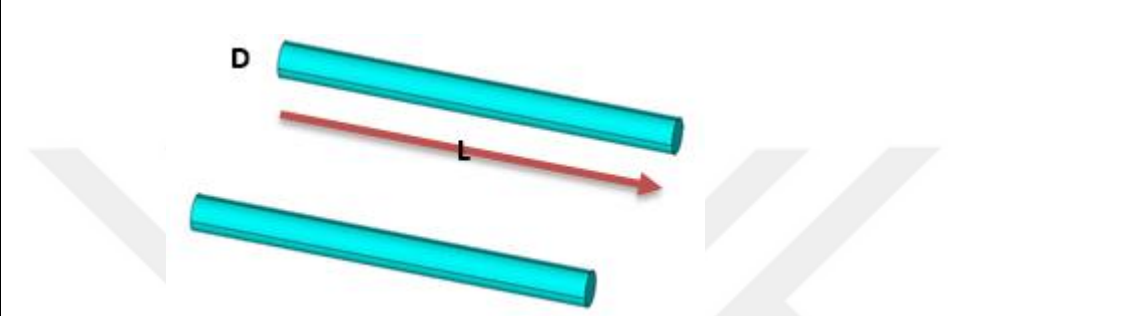
Tablo 3.5. Sonlu elemanlar sonuçları elipsoidal kayma donatısı ana eksen ve kalınlığını belirlemek için tipik silindir kayma donatısı boyutlarının kullanılması

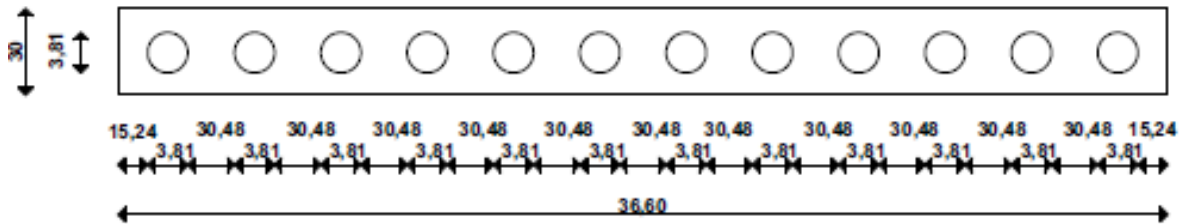
yüklü plaka						yüksüz plaka				
		Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)					Asal gerilme (Mpa)		
			Kayma donatısı çevresinde betonun yanlarında	Kayma donatısı çevresinde betonun üstünde	Kayma donatısı çevresinde betonun altında			Kayma donatısı çevresinde betonun yanlarında	Kayma donatısı çevresinde betonun üstünde	Kayma donatısı çevresinde betonun altında
			(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 (Mpa)	(-) σ_3 (Mpa)			(+) σ_1 (Mpa)	(-) σ_3 (Mpa)	(-) σ_3 (Mpa)
t Cm	b cm					Düşey yer değiştirenin mm				LTE %
1	55.6	0.662	42.8	38.7	13.7	0.587	42.0	33.7	39.1	88.6
1.5	37.1	0.656	31.2	27.9	3.81	0.591	28.9	3.26	28.9	90.1
2	27.8	0.653	30.4	24.1	3.41	0.594	29.6	4.22	22.5	90.9
2.5	22.2	0.651	29.3	21.2	3.01	0.595	29.6	2.26	21.1	91.4
3	18.52	0.650	23.8	20.4	5.1	0.596	30.1	4.6	24.4	91.7

3.2. Silindir Kayma Donatı Boyutları Sonlu Elelmanlar Modellemesinde.

Detaylı bilgiler Tablo 3.6’da gösterilmiştir, silindir kayma donatısı model için her çap (1.95 cm 2.54 cm 3.11 cm 3.81 cm 4.445 cm 5,8 cm) ve uzunluk (30, 35, 40, 45, 46, 50) kullanılan silindir kayma donatılar üzerinde durulmuştur.

Tablo 3.6. Silinidir kayma donatısı çap ve uzunluğu

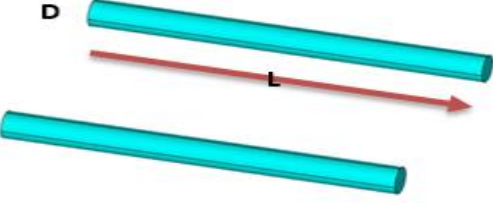
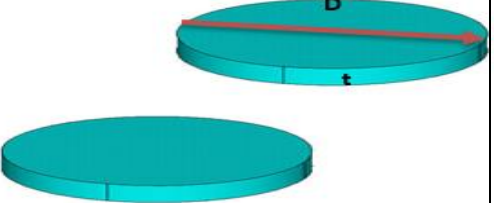
						
Çap, cm	1.95	2.54	3.11	3.81	4.445	5.8
Uzunluk, cm	30	30	30	30	30	30
	35	35	35	35	35	35
	40	40	40	40	40	40
	45	45	45	45	45	45
	46	46	46	46	46	46
	50	50	50	50	50	50

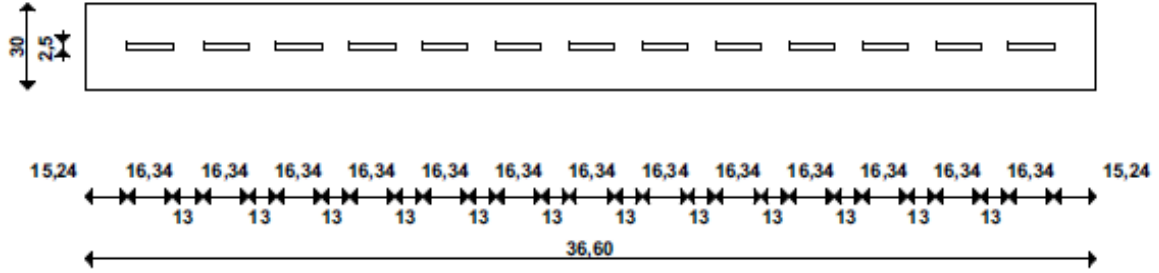


Şekil 3.5. Silindir kayma donatılarının kesitte gösterimi

Tablo 3,5’te, silindir kayma donatılarına karşılık gelen dairesel kayma donatısı çaplarını göstermektedir. Tablo 3.7’de silindir kayma donatısına karşılık gelen elipsoidoidal kayma donatısı çaplarını göstermektedir.

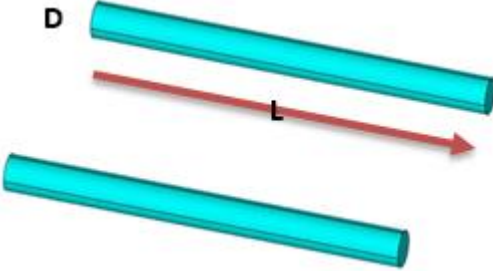
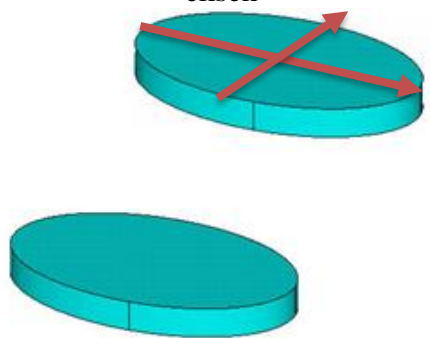
Tablo 3.7. Dairesel kayma donatı eşdeğer silindir kayma donatı

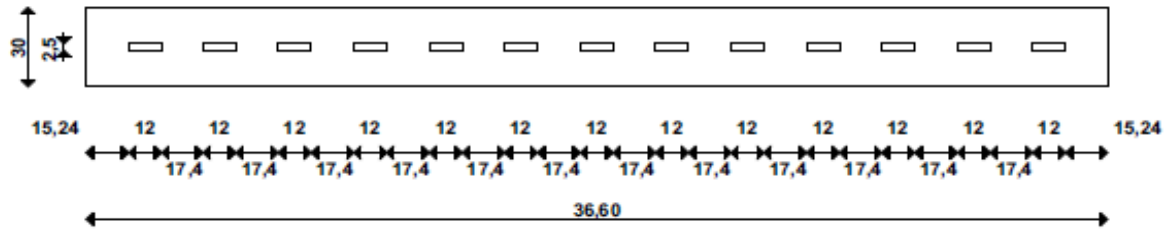
Silindir kayma donatısı					Dairesel kayma donatısı Çap cm		
							
Çap \ Uzunluk	1.95	2.54	3.11	3.81	4.445	5.8	$D = \sqrt{4V / \pi t}$ (cm)
30	6,6	8,79	11,00	13,20	15,40	17,60	
35	7,13	9,49	11,89	14,26	16,63	19,01	
40	7,62	10,1	12,70	15,24	17,78	20,32	
45	8,08	10,7	13,47	16,17	18,45	21,56	
46	8,17	10,9	13,62	16,34	19,07	21,79	
50	8,52	11,3	14,20	17,04	19,88	22,71	



Şekil 3.6. Dairesel kayma donatıların kesitte gösterimi

Tablo 3.8. Silindir kayma donatılarına eşdeğer ellipsoidal kayma donatıları

Silindir kayma donatısı 					Ellipsoidal kayma donatısı, b cm ana eksen 				
h (cm)		12							
Çap D cm	1.95	2.54	3.11	3.81	4.445	5.8	$b = 4V / \pi t h$ (cm)		
	Uzunluk cm								
30	3,63	6,43	10,08	14,52	19,76	25,81			
35	4,24	7,50	11,76	16,94	23,05	30,11			
40	4,84	8,57	13,44	19,36	26,34	34,41			
45	5,45	9,64	15,12	21,77	28,36	38,71			
46	5.57	9.89	15.46	22.26	30.30	39.57			
50	6,05	10,71	16,80	24,19	32,93	43,01			



Şekil 3.7. Ellipsoidal kayma donatılarının kesitte gösterimi

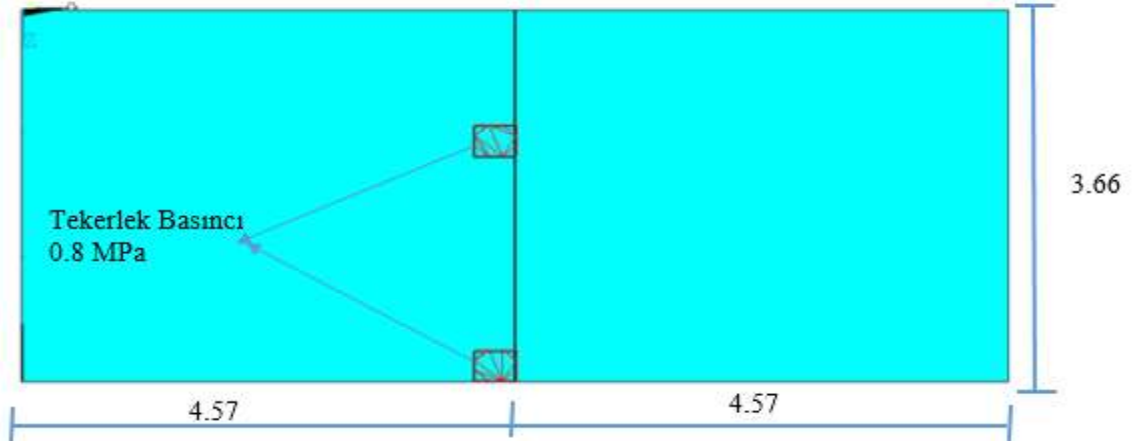
3.3. Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Modellenmesi

Aşağıdaki araştırma çalışması, silindir kayma donatıları çapını etrafındaki LTE, çekme ve basınç gerilimi üzerindeki etkisini araştırmak için doğrusal-elastik bir model varsayılarak üç boyutlu bir sonlu eleman (FE) kullanılarak yapılmıştır. Derzli düz beton kaplama (JPCP) modeli, üç boyutlu bir Kartezyen koordinat sisteminde çalışıldı. Tekerlek yükleri, Şekil.3.8'da görüldüğü gibi iki teker üzerine 0,8 MPa basınç yükü olarak uygulanmıştır. Şekil 3.9, kaldırımın farklı katmanlarını göstermektedir.

Tablo 3.9. Beton Kaplama için Yapısal ve Malzeme Parametreleri.

Tabakalar	Boyut (m)	Elastik modülü (MPa)	Poisson oranı	Yoğunluk
Beton	4.57 x 3.66 x 0.3	28000	0.15	2400
Temel	9.146 x 3.66 x 0.4	800	0.3	2000
Alt taban	9.146 x 3.66 x 2	120	0.35	2100
Kayma donatı	ϕ	210000	0.3	7800

Sonlu elemalar çalışmasında beton malzeme SOLID CONCRETE 65 kullanılarak modellenmiştir. Kayma donatısı yekpare BRICK 8 düğüm 185 ile modellenmiştir. Temel ve altı 20 düğüm 186 elamanlarıyla ile modellenmiştir [82,83]. Sınır koşulları, alt tabanın dibi her üç yönde de kısıtlandı, alt tabanın ve alt tabanın tüm dikey yüzleri x ve z doğrultusu engellendi. Hem beton teması hem de alt taban teması 1.5 sürtünme katsayısı ile modellenmiştir [16]. Betona gömülü kayma donatı çubuğu ile betonun teması 0.05 sürtünme katsayısı ile sağlandı [6, 51]. Şekil 3.10 3.11 3.12'e görüldüğü gibi donatılar civarında mesh işlemi yoğunlaştırıldı.



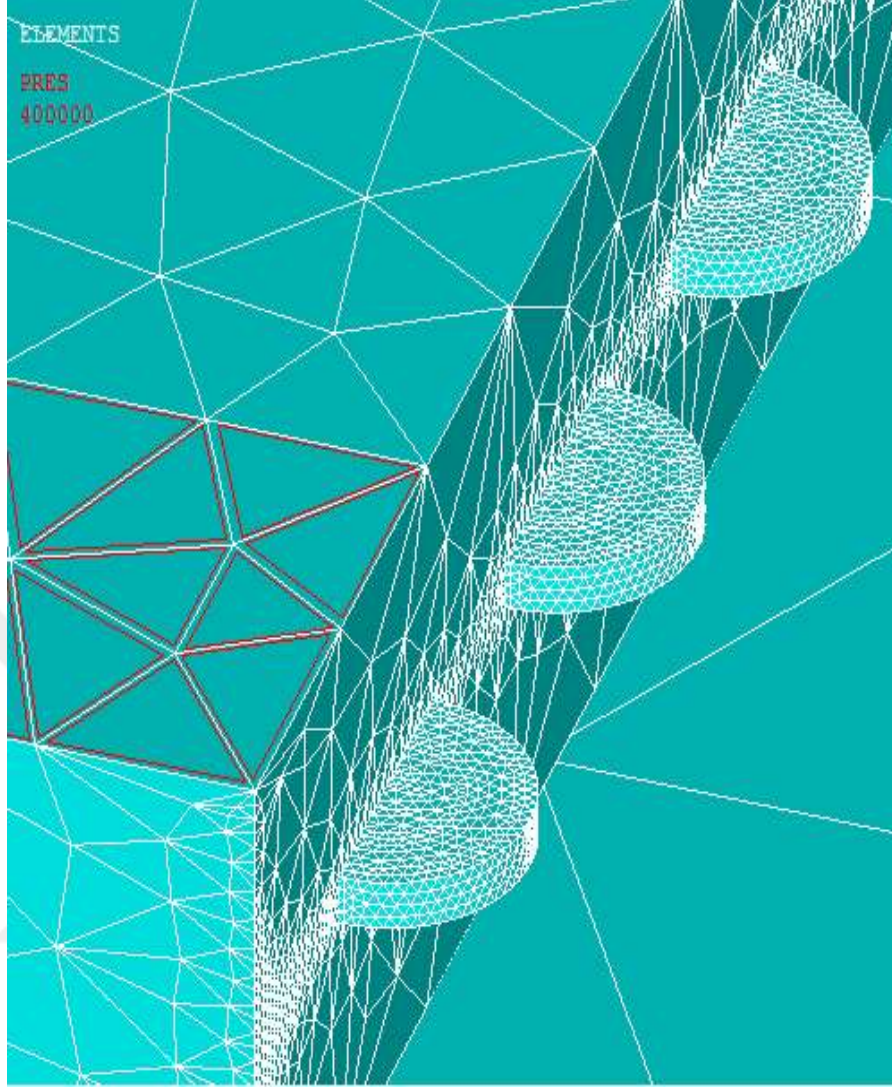
Şekil 3.8. Plandan görünüş

Beton tabakası	0.3	Derz
Alt taban katmanı	0.4	
Zemin	2	

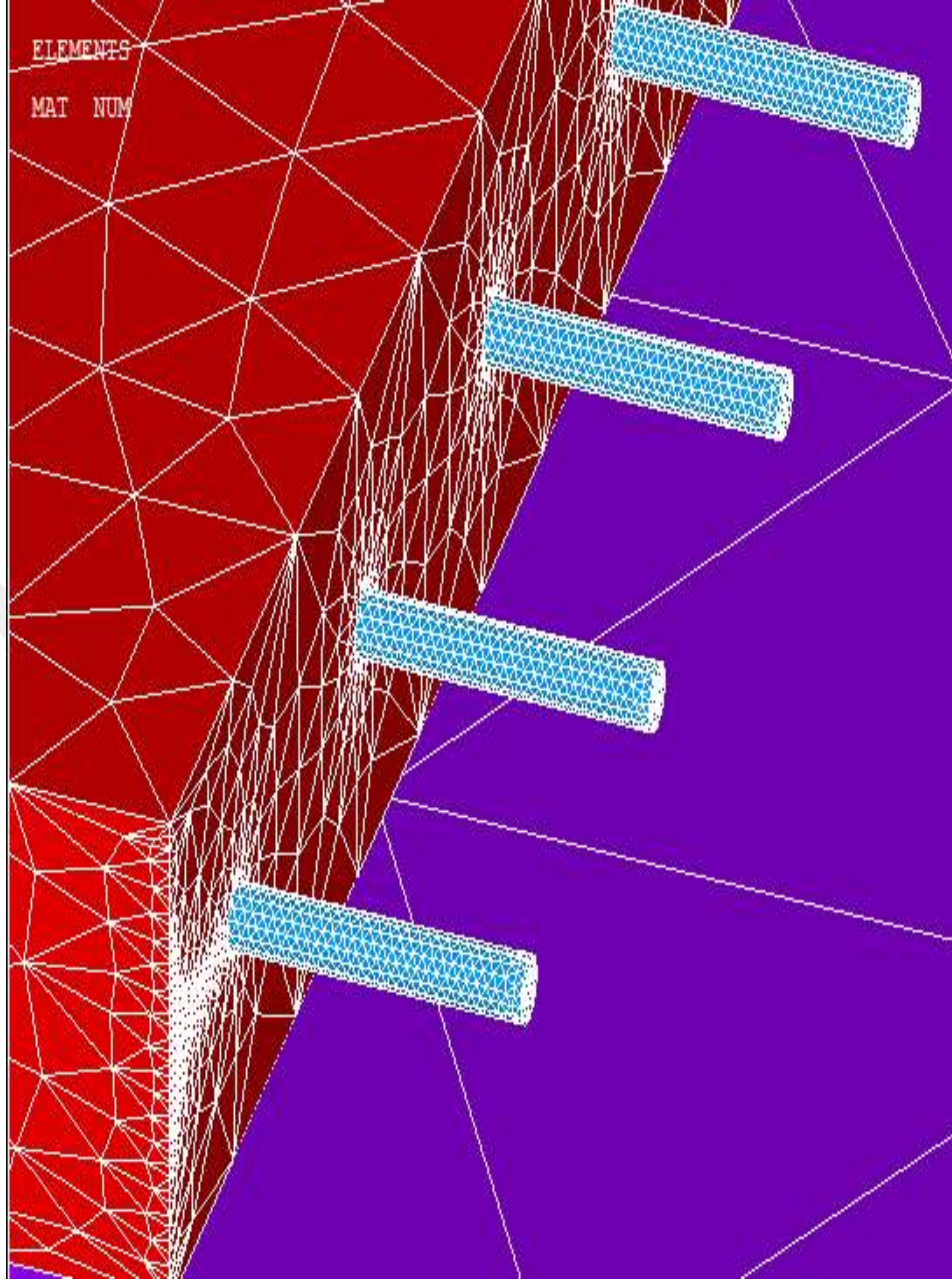
Şekil 3.9. Kesitten görünüş



Şekil 3.10. Ellipsoidal kayma donatısı mesh



Şekil 3.11. Dairesel kayma donatısı mesh



Şekil 3.12. Silindir kayma donatı mesh

3.4. Laboratuvar Çalışması için Kayma Donatılarının Hazırlanması

Laboratuvar testi için, tipik 12 silindir kayma donatısı (çap = 3,81 cm ve uzunluk 46 cm), 12 dairesel (çap =16.3431 cm, kalınlık 2.5 cm) ve 12 elipsoidal kayma donatısı (h=12 cm, b= 22.26 cm kalınlık = 2.5 cm) imal edilmiştir. Kullanılan kayma donatılarının ağırlıkları Tablo 3.10'da verilmiştir. Bu 3 tip kayma donatısı hızlandırılmış yol test sisteminde beton

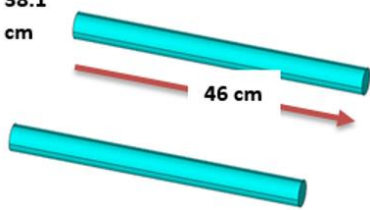
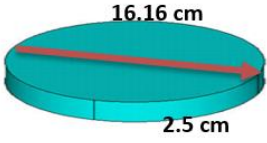
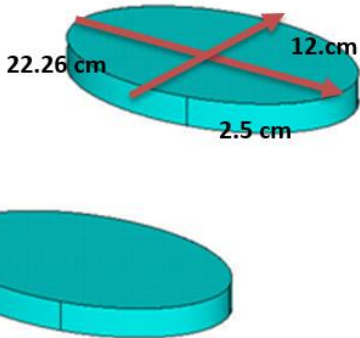
kaplama içersinde kullanıldı. Tablodaki **D** kayma donatısı çapı, **t** dairesel ve elipsoidal kayma donatısı kalınlık, **b** ana eksen elipsoidaloidal, **h** küçük eksen göstermektedir.

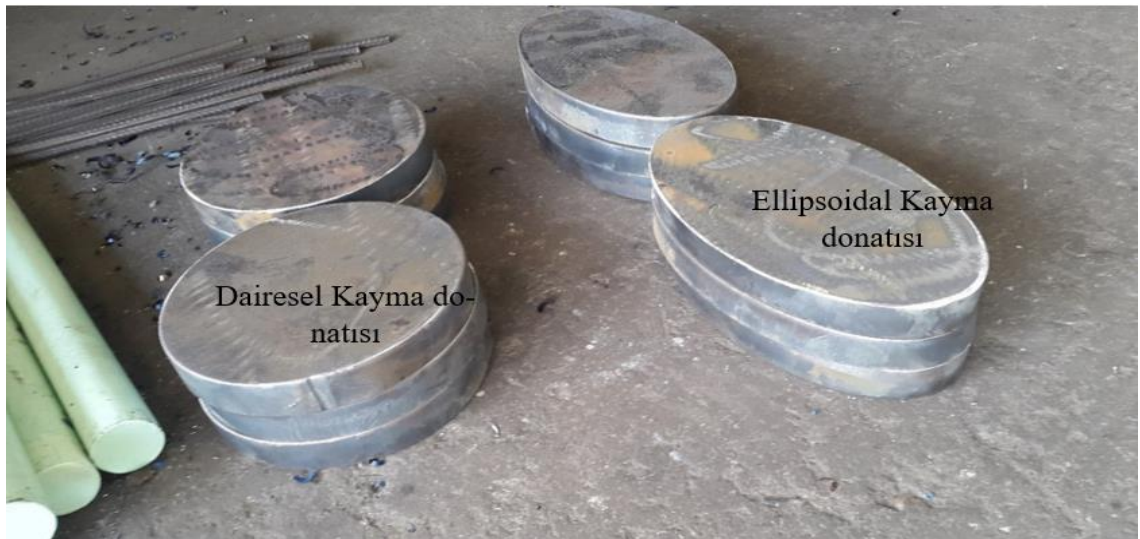
Kayma donatıları plakanının kalınlığının yarısı yükseklikte yerleştirildiler [81]. Silindir kayma donatılar için 12 çap 3.81 cm, 46 cm uzunluk, kaplamanın ortasına (kalınlığının yarısı) 15 cm derinlikte ve kaplamanının kenarından 15.24 cm sonra içe doğru 30.48 cm aralıkla sepette yerleştirilmiştirler. Montaj, 6 mm çapında demir ile tek parça halinde bağlanmıştır [76]. Dairesel kayma donatılarında 16,34 cm çapında ve 2,5 cm kalınlığında 12 adet kayma donatısı, beton kaplamanın orta yüksekliğine tekabül eden 15 cm derinliğe, birbirinden 13 cm ve 15,24 cm aralıkla yerleştirilmiştir. Son olarak, $h = 12\text{cm}$, $b = 22.26\text{ cm}$ 2.5cm kalınlığındaki elipsoidal kayma donatıları 17.4 cm aralıklarla beton kaplamanın orta yüksekliğine karşılık gelen 15 cm yükseklikte konumlandırılmış ve montajı 6 mm çapında demirlerle yapılmıştır.

Derz bölgelerinde 1 cm kalınlığında polistiren plaklar kullanılmıştır. Piyasadan polistiren plaklar 1,2 m uzunluğunda ve 30 cm genişliğinde ve 1 cm kalınlığında alınmıştır.

12 metrelik uzunluğundaki test sahamız üzerine 3 bölmeden oluşan 3.66 mt genişliğinde 0.3 mt kalınlığında beton kaplama yerleştirildi. Kalıptan önce, alanın şekilde Şekil 3.16. gösterildiği gibi tüm atık ve diğer malzemelerden temizlenmesi gerekiyordu.

Tablo 3.10. Kayma donatıları boyutları ve ağırlıkları

Kayma donatısı şekli	Kayma donatısı boyutları	Kayma donatısı ağırlık
Silindir  38.1 cm 46 cm	$D = 3.81 \text{ cm}$ $L = 46 \text{ cm},$	4085 g
Dairesel  16.16 cm 2.5 cm	$D = 16.3431 \text{ cm}$ $t = 2.5 \text{ cm}$	4105 g
Ellipsoidal  22.26 cm 12 cm 2.5 cm	$b = 22.26$ $h = 12 \text{ cm}$ $t = 2.5 \text{ cm}$	4135 g,



Şekil 3.13. Dairesel ve ellipsoidal kayma donatıları



Şekil 3.14. Kayma donatıların sepette yerleştirilmesi



Şekil 3.15. Derzlerde kullanılan polystyrene kalıpların hazırlanması



Şekil 3.16. Beton dökümü öncesi temel tabakası zemini

Mavi renkli polistrienin beton kaplamaya yapışmasını engellemek ve kalıbın sökülmesini kolaylaştırmak için yüzeyine kısmen yağ sürülmüştür.



Şekil 3.17. Kayma donatıların beton dökümü öncesi son hali

3.5. Beton Dökme İşlemi ve Derz Kesimi

Aşkale çimento firması tarafından sağlanan C25/30 sınıfı beton kalıpların içine mikser iş makineleriyle döküldü. 16 m³ yaş beton 3 transmikser ile teslim edildi. Şekil 3.18 beton döküm iş makinalarını Şekil 3.19 ise beton döküm işlemi gösterilmiştir. Beton döküldükten sonra suyla kürleme işlemi beton prizinden 4 saat sonra başlanmış ve sabah ve akşam olmak üzere 4 gün uygulamaya devam edilmiştir. Şekil 3.20, beton yüzeyinin suyla kürlenmesini göstermektedir.



Şekil 3.18. Beton mikserleri



Şekil 3.19. Derz donatıları ve beton döküm işlemi



Şekil 3.20. Beton yüzeyinini suyla kürlenmesi

Derz kesim işlemi şekil 3.21 de görülen 26 kW ila 36 beygir gücünde bir makine ile elde edildi. 3,66 genişliğinde üç enine derz alttaki kayma donatılarına zarar vermeyecek şekilde kesmiyecek şekilde 12 cm derinlikte kesilmiştirler. Makine, derzin kesilen kısmına su gönderiyor ve geri dönüyor, kesilen beton parçacıklarından çamuru dışarı atıyor, bu işlem beton kaplamayı kirletmek zorunda kaldığı için işlem bitiminden hemen sonra suyla temizlendi. Yüzey kuruduktan sonra dez yüzeylerini temizlemek için -12 ila 120°C sıcaklıkta üfleyen maksimum 12 bar basınçlı 50 litre hava kapasiteli kompresör kullanıldı [84,85].



Şekil 3.21. Derz kesimi sonrası derzlerden çıkan artıkların basınçlı havayla temizlenme

3.6. Hızlandırılmış Yol Test Çalışma Aşamaları

Beton kaplamada ciddi çatlaklar gözlemlenene kadar beton kaplaması üzerinde 64 KN'lık hareketli gerçek tekerlek yükü 5 km/saat yavaş modda çalıştırılarak tekeralı bir şekilde uygulanmıştır.

Tekerlek yüklemesini sağlayan Ağır Araç Simülatörü, ucunda bir elektrik motoru (A) ve redüksiyon dişlisi (B) ile hareket ettirilir. Yükleme sistemi, her biri bir hidrolik pompa ile bağlı oldukları tekerleğe eşdeğer kuvveti uygulayan iki pistondan (D) oluşur. Bu cihaz, el

modu ve otomatik mod olmak üzere iki modda çalışır. Ayrıca sensörler (G) tarafından hassasiyetle çalışan manuel frenlere ve çeşitli elektromanyetik frenlere sahiptir. Şekil 3.22. Ağır Araç Simülatörü gösterilmiştir.

Otomasyon sistemi, Ağır Araç Simülatörünün tüm hareketlerini kontrol etmek için kullanılmıştır Şekil 3.23. Otomasyon kontrol sistemi gösterilmiştir. Sistem ve otomasyon kontrol panosu, taşıma, yükleme, hız ve zamanlama değişim işlemlerini takip edebilmektedir. Panel ile çeşitli modlarda sistem yükleme/frenleme girilebilir ve gerektiğinde ek modlar eklenebilir. Ayrıca panel gerektiğinde manuel uygulamalara da izin verilebilir. Hız aralığı ince bir ayar ile 2 ile 15 km/saat arasında ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.22. Ağır Araç Simülatörü [76, 88]



Şekil 3.23. Otomasyon kontrol sistemi [76,]

Ağır Araç Simülatörün boylamasına ve enine hareket için yükleme tekerleklerinin yanı sıra sisteme dört adet ilave tekerlek takılmıştır. Şekil 3.24 de gösterildiği gibi, Ağır Araç Similatörünü kolon ayaklarındaki tekerlekler farklı yönde monte edilelerek doğrultunun yönü değiştirilebilir.



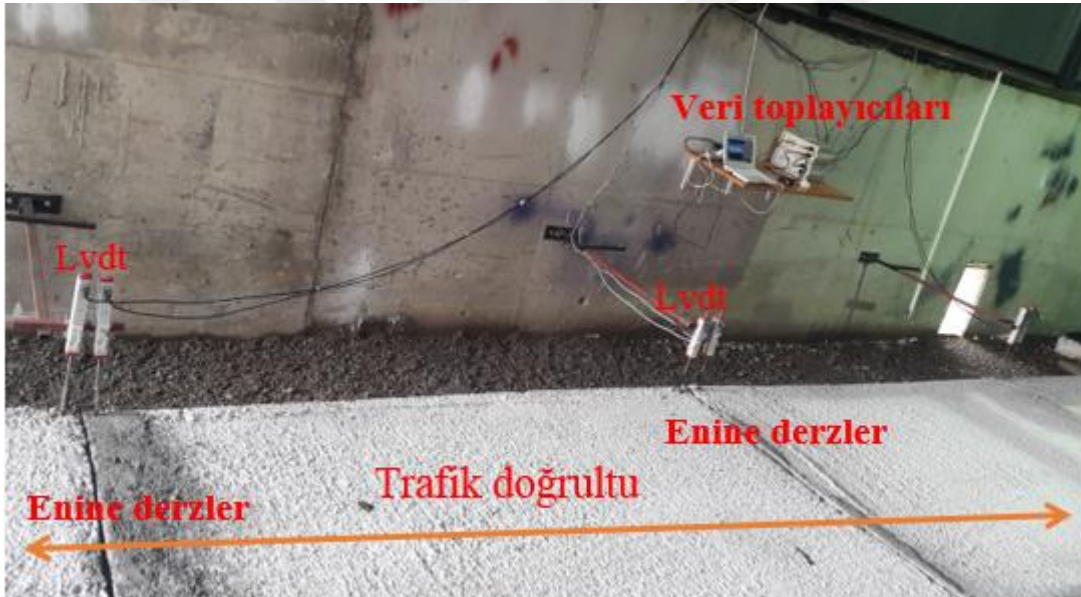
Şekil 3.24. Ağır Araç Simülatörün sistemin yer değiştirilmesi

3.6.1. Ölçüm Cihazları

Lineer değişken deplasmanlı transistör (lvdt) kurulumu hızlandırıcı kaplama testi (APT) başlamadan önce, Yük Aktarım Verimliliğini (LTE) hesaplamak için her bir derz her iki tarafına Lineer değişken deplasmanlı transistör (LVDT) cihazlar yerleştirildi Şekil: 3.25 görüldüğü gibi. Testte düşey yer değiştirme ölçüm için OPKON markası (LVDT) LPS 150 D 10K modeli kullanılmıştır. Lvdt ölçüm cihazın göreceli hareketi sırasında ölçüm cihazının bir dereceye kadar hareketsizliğini sağlamak için cihaz duvara sabitlenmiştir Şekil 3. 26 görüldüğü gibi [84].



Şekil 3.25. Derzin her iki tarafında yerleştirilen LVDT



Şekil 3.26. LVDT ölçüm cihazın duvara sabitlenmesi

3.6.2. Hızlandırıcı Kaplama Testi (APT) İçin Tekerlek Basıncının Uygulanması

Uygulama sırası maddeler halinde:

- Hızlandırıcı yol testinde, tekerleklere bağlı milin her iki tarafındaki pistonlar aracılığıyla beton kaplamaya basınç uygulanır.
- Pistonlara yağ basıncı sağlayan hidrolik ünite iki tekerleğin altına yerleştirilen basınç sensörlerden okunan basınç değerlerine göre kalibre edilir.

- Veri toplama ünitesi VW DTA very kutusundan alınan veriler excel ortmına aktarılır.
- Basınç ölçer cihazı Şekil:3. 27 'te gösterildiği gibi Ağır Araç Simülatörünün (HVS) dönen tekerleğinin altına yerleştirilir.



Şekil 3.27. Veri toplama ünitesi ve tekerlek altına yerleştirilen basınç ölçerler

Doğru bir ölçüm sağlamak için toplam basınç hücresinin gövdesinin gün bir yüzeye sahip olması gerekir. Bazen iki tekerlek arasında basınç değerlerinde farklılıklar olabilmektedir. Bunun nedeni beton yüzeyinin çok pürüzlü olması ve birkaç mm'lik çıkıntıların toplam basınç hücresinin basınç değerini değiştirmesidir. Bu nedenle, homojen bir yüzey sağlamak için toplam basınç hücresinin altına bir kauçuk veya karton yerleştirmek gerekebilir. Gerekli 0.8 MPA basınç değeri elde edildikten sonra basınç değerine eşdeğer olan piston yüksekliği ölçülür. Her 3 veya 4 günde bir, testler başlamadan önce kalibrasyon işlemi yapılır.

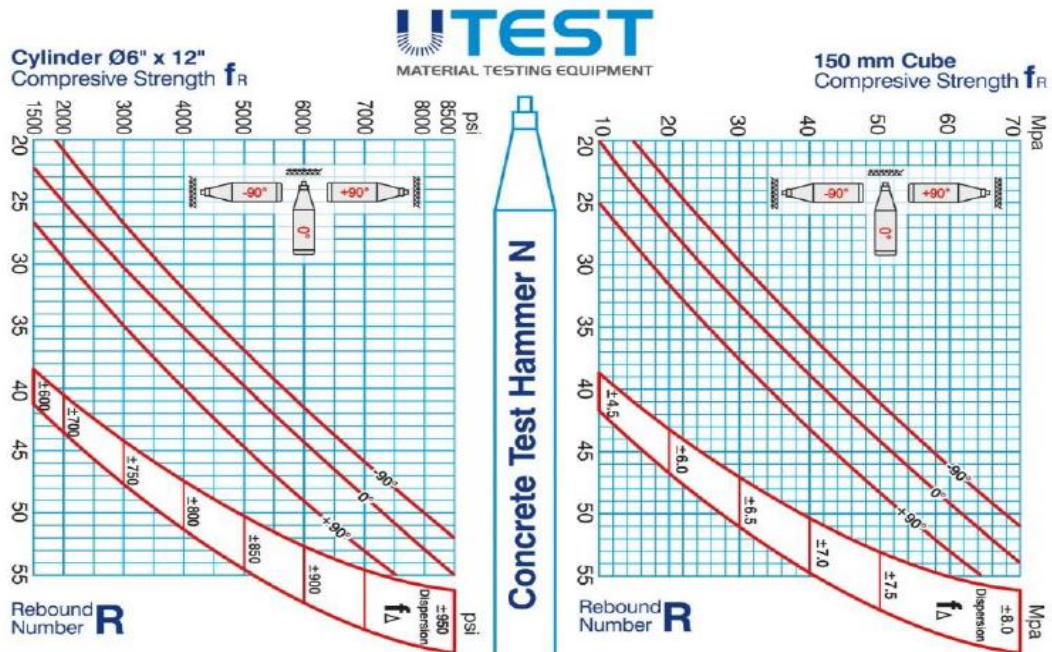
3.6.3. Beton Kaplama Mukavemet Ölçümleri

Beton dayanımını kontrol etmek için N UTC-3028 beton test çekici rijit kaplamanın 3 derz bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.28 görüldüğü gibi. Beton basınç dayanımını belirlemek için beton Test Çekici N UTC-3028'e basılıp geri tepme değerinin R okunmaları

alınmıştır. Şekil 3.29, test verilerinden beton mukavemetinin belirlenmesi için kalibrasyon grafiği gösterilmiştir. Beton kaplama üzerinde yapılan testler için, geri tepme değerleri Tablo 3.11'de verilmiştir ve mukavemet değerleri tabloda Tablo 3.12 verilmiştir.



Şekil 3.28. Beton mukavemetinin çekiç cihazıyla ölçülmesi



Şekil 3.29. Test verilerinden beton mukavemetinin belirlenmesi için kalibrasyon grafiği [86]

Tablo 3.11. Beton geri tepme değeri

R değeri	Derz 1		Derz 2		Derz 3	
	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
1	28	25	30	30	26	27
2	27	26	30	30	24	28
3	25	30	29	28	29	30
4	30	28	25	28	30	30
5	29	30	28	30	30	25

Tablo 3.12. Beton mukavemet değerleri

	Derz 1		Derz 2		Derz 3	
	Sol	Sağ	Sol	Sol	Sağ	Sol
1	28MPa	24 MPa	32 MPa	32 MPa	25 MPa	26 MPa
2	27 MPa	26 MPa	32 MPa	32 MPa	23 MPa	28 MPa
3	24 MPa	32 MPa	30 MPa	28 MPa	31 MPa	32 MPa
4	32MPa	29MPa	24 MPa	28 MPa	32 MPa	32 MPa
5	31 MPa	32 MPa	28 MPa	32 MPa	32 MPa	24 MPa

3.6.4. Aks Eşdeğerlik Faktörü (LEF: Yük Eşdeğerlik Faktörü)

Laboratuvar deneylerinde yükler, her biri bir pistonla birbirine bağlı 3,2 tonluk yük uygulayan 2 tekerlek tarafından uygulanmaktadır. Deneyler için uygulanan toplam yük 6,4 tondur. Dolu aks 12,8 tonluk bir yüke karşılık gelmektedir. Basitleştirilmiş Aks Eşdeğerliği Faktör formülü kullanılarak 12,8 tonluk bir yükün ESAL değeri 5,93 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.14 görüleceği gibi. Bu durumda yüklerin her biri 5,93 ile çarpılarak ESAL değerine dönüştürülmüş ve beton kaplamamıza günde 1000 geçiş yükleme uygulanmıştır.

Karayolu geçiş sayısı (ESAL) = LEF*12,8 ton * HYT * Bir güzergah boyunca toplam 50.000 geçiş gidiş-dönüş uygulanmıştır.

$$\text{ESAL miktarı} = 50.000 * 5.93 * 2 = 593.000 \text{ ESAL.} \quad (3.6)$$

Tablo 3.13. Farklı Yüklerde Dingil Eşdeğerlik Faktörleri [16]

Dingil Yük Kips (1000 pound=500 Kgf)	AASHTO LEF	Basitleştirilmiş, LEF
2	0.002	0.000152
4	0.02	0.00244
6	0.01	0.01235
8	0.32	0.039
10	0.80	0.095
12	0.174	0.1975
14	0.337	0.3659
16	0.599	0.624
18	1.00	1.00
20	1.58	1.52
22	2.4	2.23
24	3.51	3.16
26	4.96	4.35
28	6.83	5.86

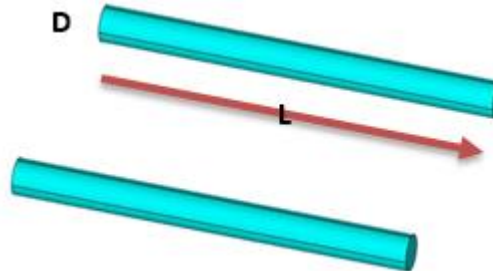
4. BULGULAR VE İRDELEMELER

4.1. Silindir Kayma Donatısına Eşdeğer Dairesel ve Elipsoidal Kayma Donatılarının Boyutlarının Belirlenmesi

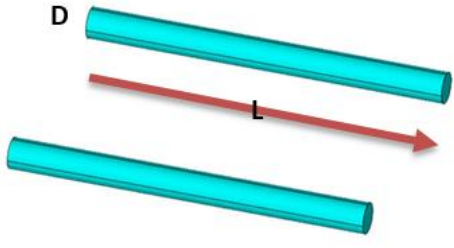
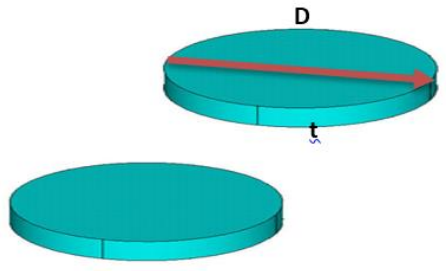
Bu tez çalışmasında 1918'den beri rijit üstyapı kaplamalarda kullanılan silindir kayma donatısı yerine ağırlıkça eşdeğer dairesel ve elipsoidal kayma donatıları tasarlanmaya çalışılmıştır. Bu kısımdaki çalışmanın amacı, en az gerilme ve yer değiştirmeyi veren dairesel ve elipsoidal kayma donatı kalınlıklarını belirlemek ve çalışmanın geri kalanı için bu kalınlığı seçmektir.

Tablo 4.1 Silindir kayma donatısının literatürde kabul görmüş çap ve uzunluk değerlerini göstermektedir. Detaylı bilgiler EK 2.Tablo.1 de gösterilmiştir. Bu değerler, silindir kayma donatısına karşılık gelen ağırlıkça eşdeğer dairesel ve elipsoidal kayma donatılarının boyutlarını hesaplanmasında kullanılmıştır. Çap - Kalınlık ilişkisi detaylı bilgiler Tablo 4.2- 4.3 gösterilmiştir.

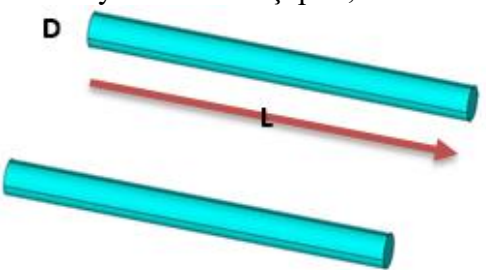
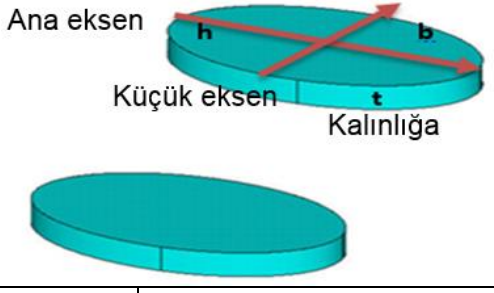
Tablo 4.1. Silindir kayma donatıları boyutları (çapı, uzunluk, hacim)

Silindir kayma donatısı 							
Silindir kayma donatısı Çap, cm	1,905	2,54	3,175	3,81	4,445	5,08	Uzunluk cm
Hacim cm ³ $V = 3,14 * (D/2)^2 * L$	85,46	151,353	237,3	341,8	465,3	607,7	30
	99,708	176,57	276,9	398,8	542,8	709,1	35
	113,9	201,8	316,5	455,8	620,4	810,3	40
	128,2	227,0	356,1	512,7	667,9	911,6	45
	131,1	232,9	364,1	524,1	713,4	931,8	46
	142,4	252,2	395,6	569,7	775,5	1012,9	50

Tablo 4.2. Farklı kalınlıklar için dairesel kayma donatısı çapları

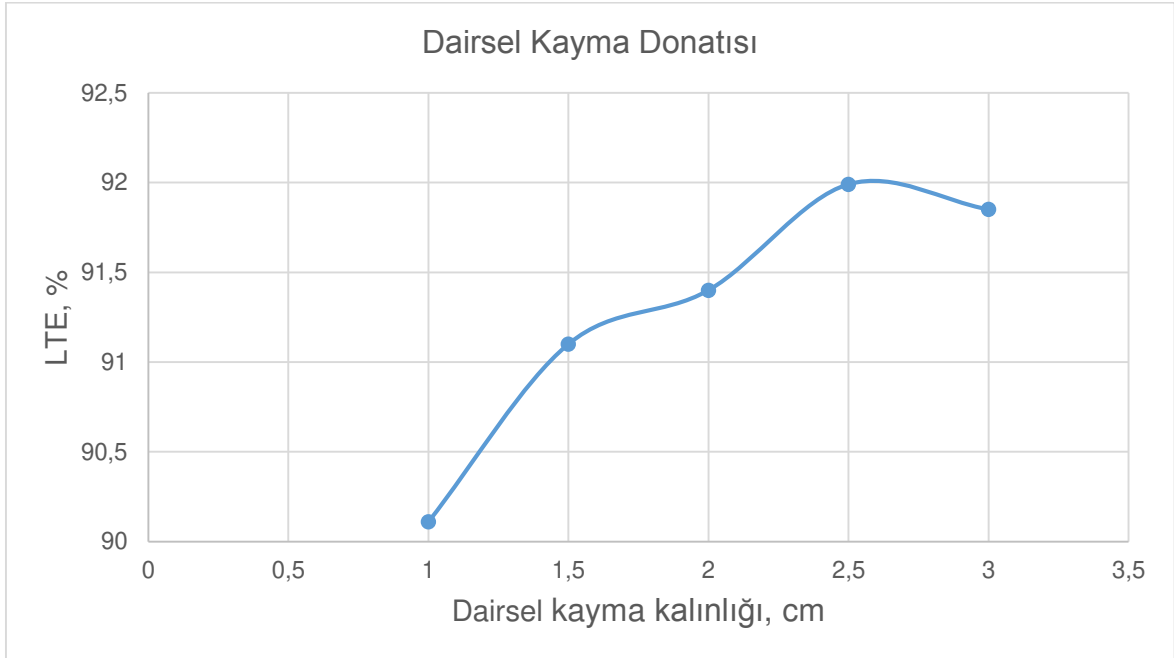
Silindir typical kayma donatısı çapı 3,81 cm 		Dairesel kayma donatısı çapı cm 	
Silindir kayma donatısı uzunluğu cm	46		
Kayma donatısı hacmi V cm ³		524.18	$D = \sqrt{4V / \pi t} \text{ cm}$
Dairesel kayma kalınlığa t cm			
1		25.8408	
1.5		21.099	
2		18.2272	
2.5		16.3431	
3		14.9192	

Tablo 4.3. Silindirik kayma donatısına eşdeğer elipsoidal kayma donatısı

Silindir Kayma donatısı çapı 3,81 cm 		Elipsoidal kayma donatısı, b ana eksen 	
Silindir kayma donatısı uzunluğu cm	46		
Silindir kayma donatısı hacmi V, cm ³	524.18		
Küçük eksen h cm		12	Ana eksen cm $b = 4V / \pi t h$
Elipsoidal kayma kalınlığa t cm			
1		55.6454	
1.5		37.0969	
2		27.8227	
2.5		22.26	
3		18.5485	

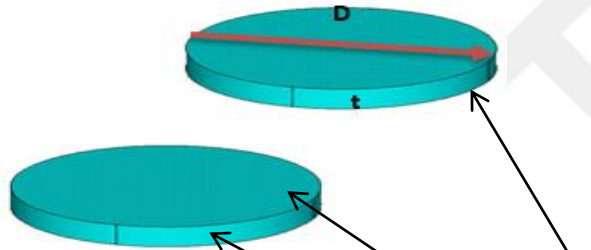
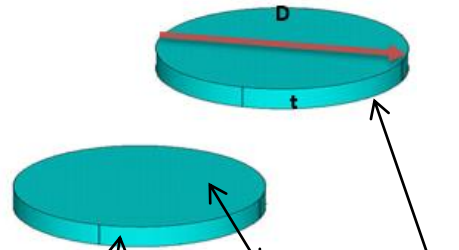
4.2. Dairesel Kayma Donatısı Optimum Kalınlık Analizleri

Tablo 4.4'de sunulan sonlu elemanlar yönteminin sonuçları, dairesel kayma donatısının optimum kalınlığının ve çapı belirlenmesini mümkün kılmıştır. Dairesel kayma donatısı kalınlığının ve çapı değişimine göre sunulan sonuçlar aşağıdaki gibidir. Şekil 4.1, kayma donatısı kalınlığının, 1cm kalınlık için % 90, 2,5 cm kalınlıkta % 92 sonrası kalınlıklar için ise düşüş şeklinde LTE üzerinde bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, kayma donatılar artan çapı nedeniyle çok daha yüksek eğilme ve bükülme sertliği nedeniyle. LTE ve düşey deplasman sonuçlarından dairesel kayma donatısı için uygun kalınlığın 2,5 cm olduğu tespit edilmiştir. Kalınlığın 1 cm den 2,5 cm çıkması durumunda asal gerilme değerlerin yaklaşık %50 azaldığı dolayısıyla da beklenildiği üzere kalınlığın artmasının gerilmeler üzerinde pozitif etkisi olmuştur. Ayrıca, Tablo 4.4 den maksimum asal gerilmelerin dairesel kayma donatısının üst ve alt kısmından ziyade belirgin bir şekilde kenarlarında oluşabileceği tespit edilmiştir. Asal gerilme değeri 44,6, 25,7 MPa çekme ve basınç mukevemet değerlerinin çok üstünde olduğu da açıktır. Detaylı bilgiler tablo 4.4 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Dairesel Kayma Donatısı, LTE - Kalınlık değişimi

Tablo 4.4. Dairesel kayma donatısı optimal kalınlık analizleri

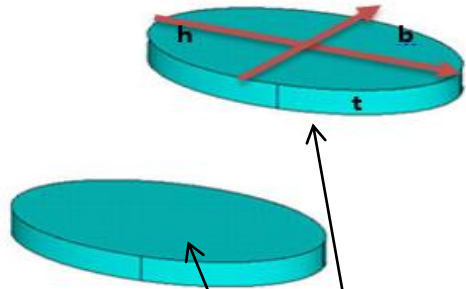
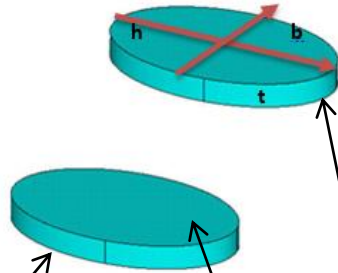
										
		Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
			Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
			((+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 (Mpa)	(-) σ_3 (Mpa)		(+) σ_1 Mpa	((-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
Kalınlık t cm	D cm									
11	25.84	0.657	44.6	25.7	2.35	0.592	40.5	2.42	27.9	90.11
11.5	21.1	0.652	28.9	24.0	1.96	0.594	25.3	1.89	24.5	91.10
22	18.22	0.651	26.6	22.0	3.35	0.595	26.9	3.09	18.1	91.4
22.5	16.34	0.649	22.3	20.2	4.97	0.597	27.0	3.77	18.1	92
33	14.92	0.650	25.5	20.4	6.28	0.597	25.2	5.25	20.6	91.85

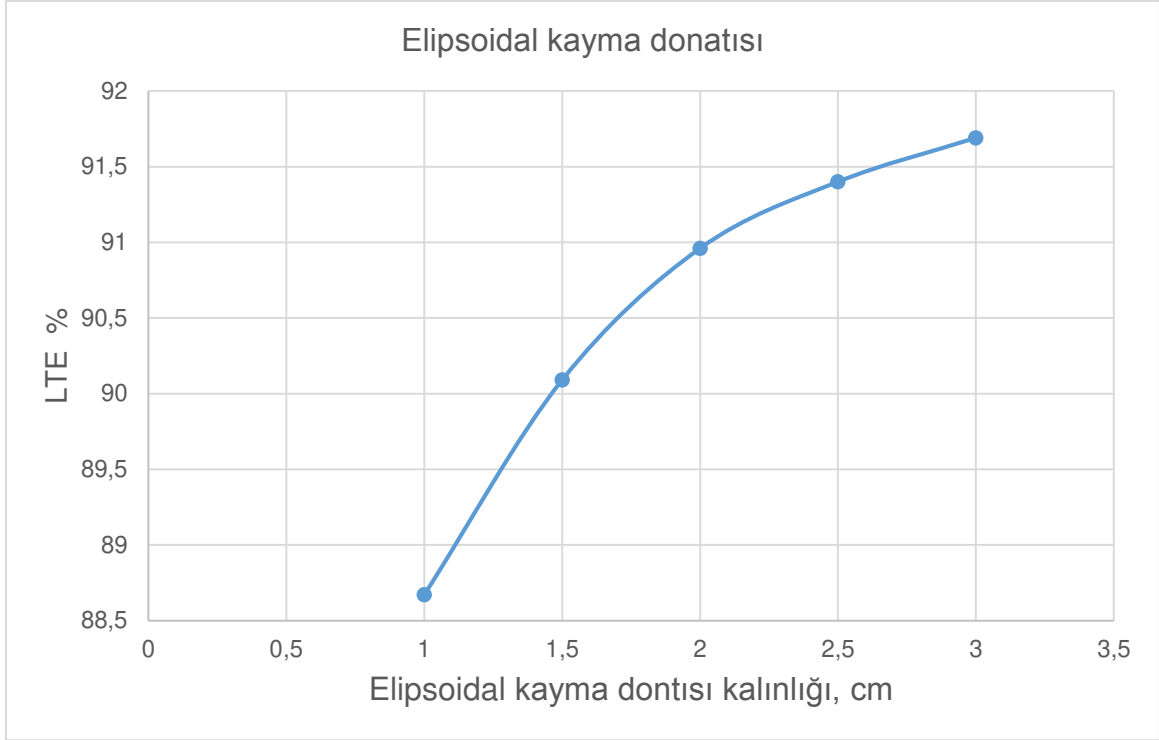
4.3. Elipsoidal Kayma Donatısı Optimum Kalınlık Analizleri

Çalışmalar elipsoidal kayma donatıları için en uygun kalınlığın 2,5 cm kalınlık olduğunu göstermektedir, bu nedenle çalışmanın geri kalanında tüm modeller için 2,5 cm. kalınlık göz önünde bulundurulmuştur. Detaylı bilgiler Tablo 4.5 de gösterilmiştir.

Tablo 4.5'te kaydedilen sonlu elemanlar yönteminin sonuçları, elipsoidal kayma donatısının optimal kalınlığının ve ana eksen belirlenmesini mümkün kılmıştır. Elipsoidal kayma donatıların kullanıldığında düşey yer değiştirmelerinin 0,66 ila 0,65 mm arasında değiştiğini, 2,5 cm kalınlık için düşey yer değiştirmenin ise 0,651 mm olduğu görülmektedir. 2.5 cm kalınlığın en düşük düşey deplasmanı veren 2.ci kalınlık olduğu görülmektedir. Tablo 4,5'teki sonuçlar, elipsoidal kayma donatısı kalınlığının ve ana eksenin düşey yer değiştirmelerinin azaltılmasında önemli bir etken olmadığı tespit edilmiştir. Tablo 4.5'den maksimum asal gerilmelerin, dairesel kayma donatısı sonuçlarında olduğu gibi, ellipsoidal kayma donatasının üst ve alt kısmından ziyade belirgin bir şekilde kenarlarında oluşabileceği tespit edilmiştir. 2.5 cm kalınlık için %88.6'dan %91.4'e ve 3 cm kalınlık için %91.7'ye değişen kayma donatısı kalınlığının artmasıyla LTE'nin arttığını göstermektedir. Bunun nedeni, kayma donatılar artan çapı nedeniyle çok daha yüksek bükülme sertliği nedeniyle. Elipsoidal kayma dontasında 3 cm kalınlıkdaki donatı en fazla LTE değerini vermekle beraber 2.5 cm kalınlığın da % 91.4 mertebeleri istenilen %75 değerini fazlasıyla sağlamaktadır.

Tablo 4.5. Elipsoidal kayma donatısı optimal kalınlık analizleri

Yüklü plaka 						Yüksüz plaka 				
		Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
			Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstüne	Altında	
t Cm	b cm		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
1	55.64	0.662	42.8	38.7	13.7	0.587	42.0	33.7	39.1	88.67
1.5	37.1	0.656	31.2	27.9	3.81	0.591	28.9	3.26	28.9	90.09
2	27.82	0.653	30.4	24.1	3.41	0.594	29.6	4.22	22.5	90.96
2.5	22.26	0.651	29.3	21.2	3.01	0.595	29.6	2.26	21.1	91.40
3	18.55	0.650	23.8	20.4	5.1	0.596	30.1	4.6	24.4	91.69



Şekil 4.2. Elipsoidal kayma donatısı kalınlığı LTE ilişkisi

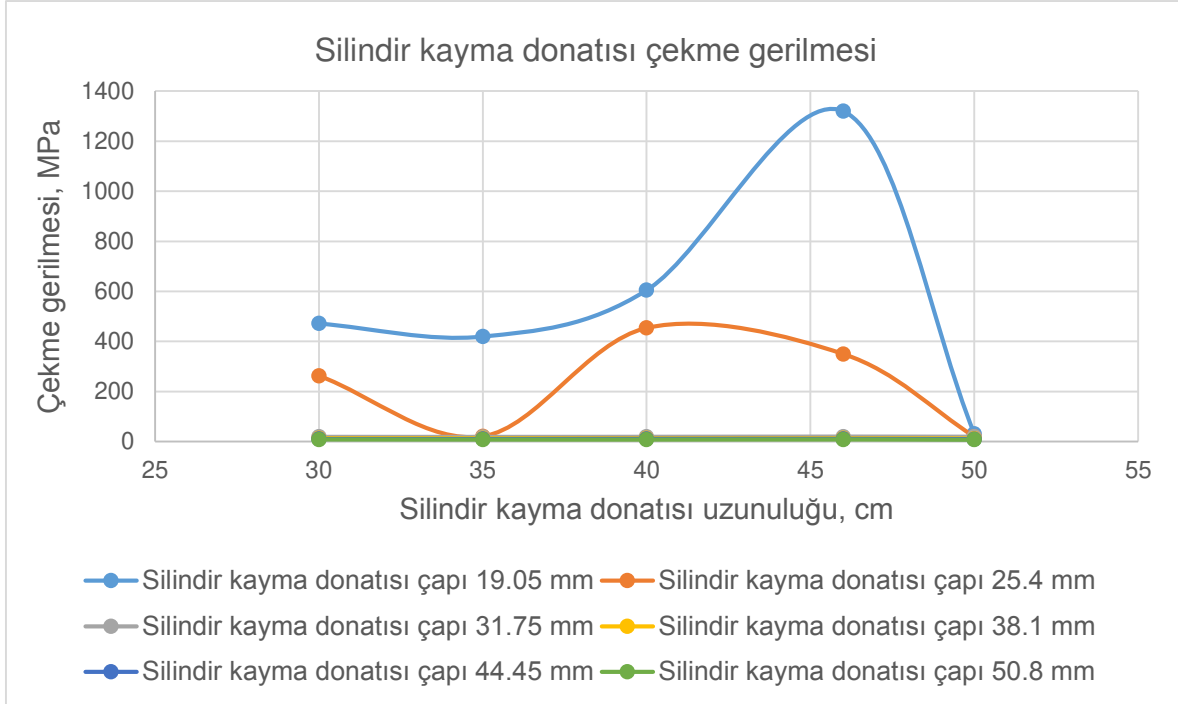
4.4. Kayma Donatılarının Şekillerinin, Çaplarının ve Uzunluklarının Yük Aktarım Verimliliği (LTE), Basınç ve Çekme Gerilmesi Üzerindeki Etkileri

Bu bölümde, bir önceki bölümde belirlenen optimal kalınlığa karşılık gelen 2.5 cm kalınlığındaki, dairesel ve elipsoidal donatıların modellenmesinin sonuçları sunulmuştur. Farklı şekil ve uzunluklardaki kayma donatılarının sonuçları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Buradaki amaç, yüklü ve yüksüz beton kaplama için her bir çap ve uzunluk için, kayma donatısı etrafındaki çekme gerilmesi ile kayma donatısının üst ve alt kısmındaki basınç gerilmelerin ve düşey yer değiştirmeler üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır.

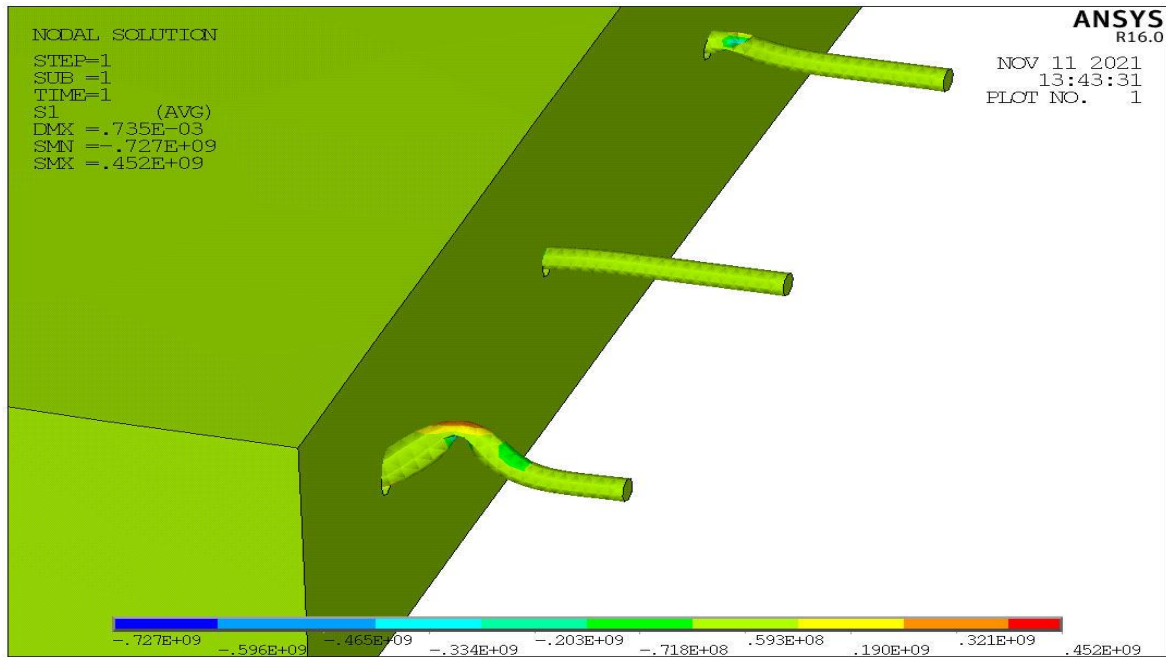
4.4.1. Silindir Kayma Donatısı, Çaplarının ve Uzunluklarının Yük Aktarım Verimliliği (LTE), Basınç ve Çekme Gerilmesi Üzerindeki Etkileri

Şekil 4.3’de gösterilen 30 cm kalınlıkdaki beton kaplamada 19.25 ve 25,4 mm çap için kayma donatısı kenarlarındaki çekme gerilmelerinin 500 MPa ve 1300 MPa’ya ulaştığı donatıların aşırı deforme olduğu görülmektedir. Şekil 4,8 ve 4,9’de gösterilen 31.75 mm çapından itibaren silindir kayma donatısında ciddi deformasyonların olmadığını

göstermektedir. Bu sonuçlara göre, silindir kayma donatıları için 19.05 ve 25,4 mm çaplarının 65 KN yükler için uygun olmadığı görülmektedir.



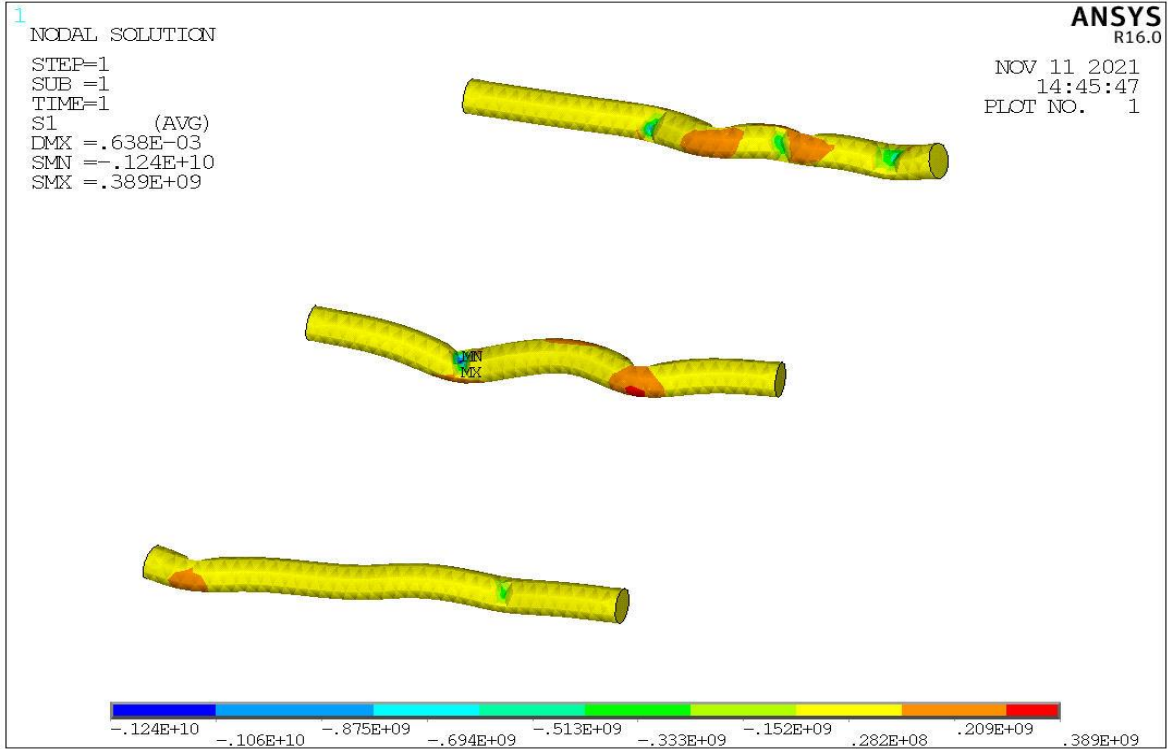
Şekil 4.3. Farklı çap ve uzunluktaki silindir kayma donatısı için çekme gerilmeler



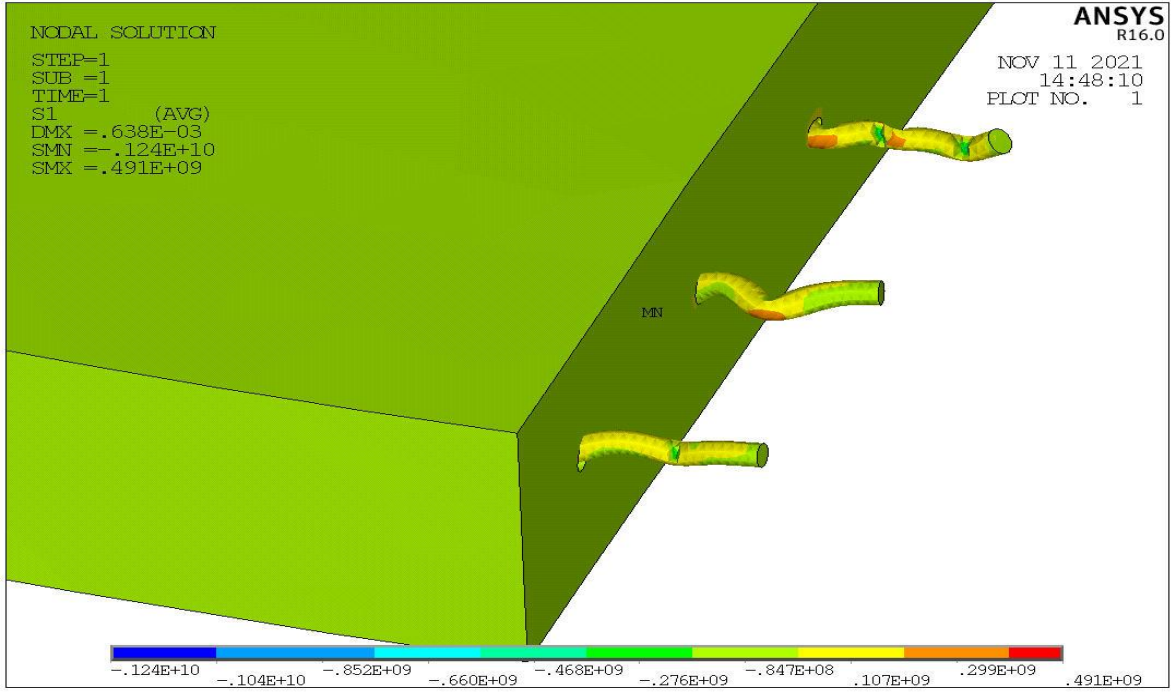
Şekil 4.4. Silindir kayma donatısı çap 19.05 mm yüklü olan kısımdaki çekme gerilme sonuçları



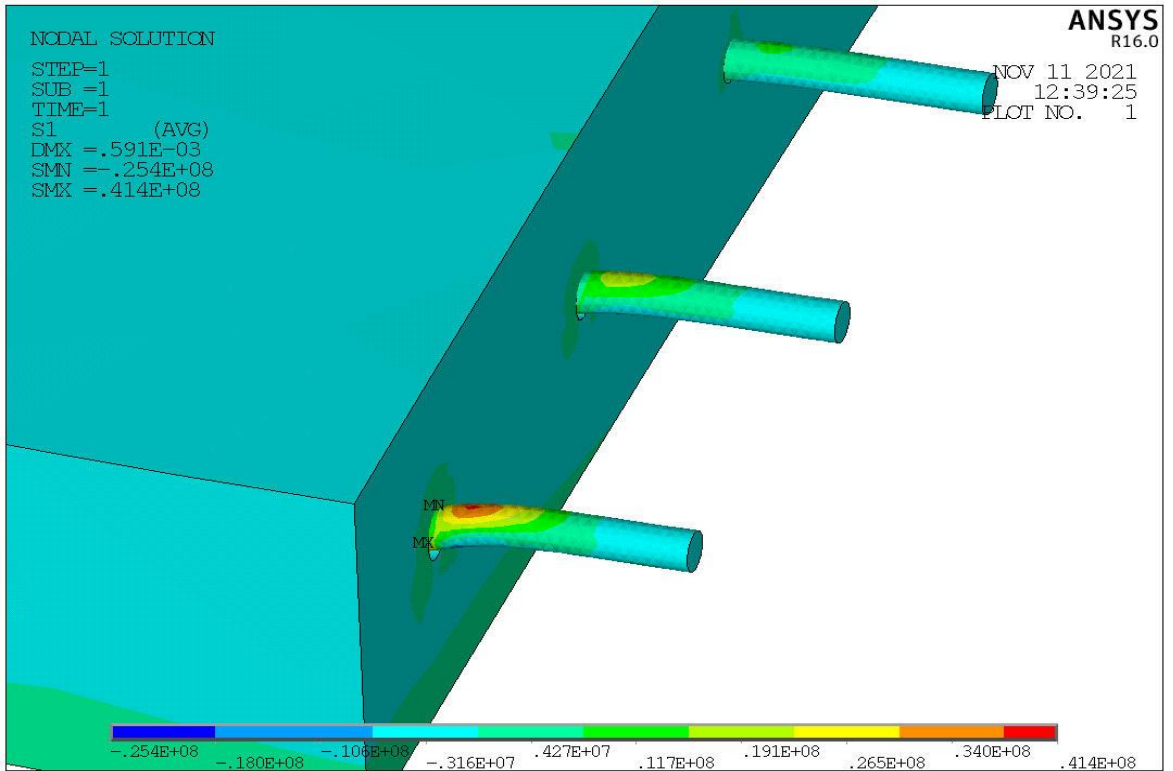
Şekil 4.5. Silindir kayma dontası çap 19.05 mm yüklü olan kısımdaki çekme gerilme sonuçları



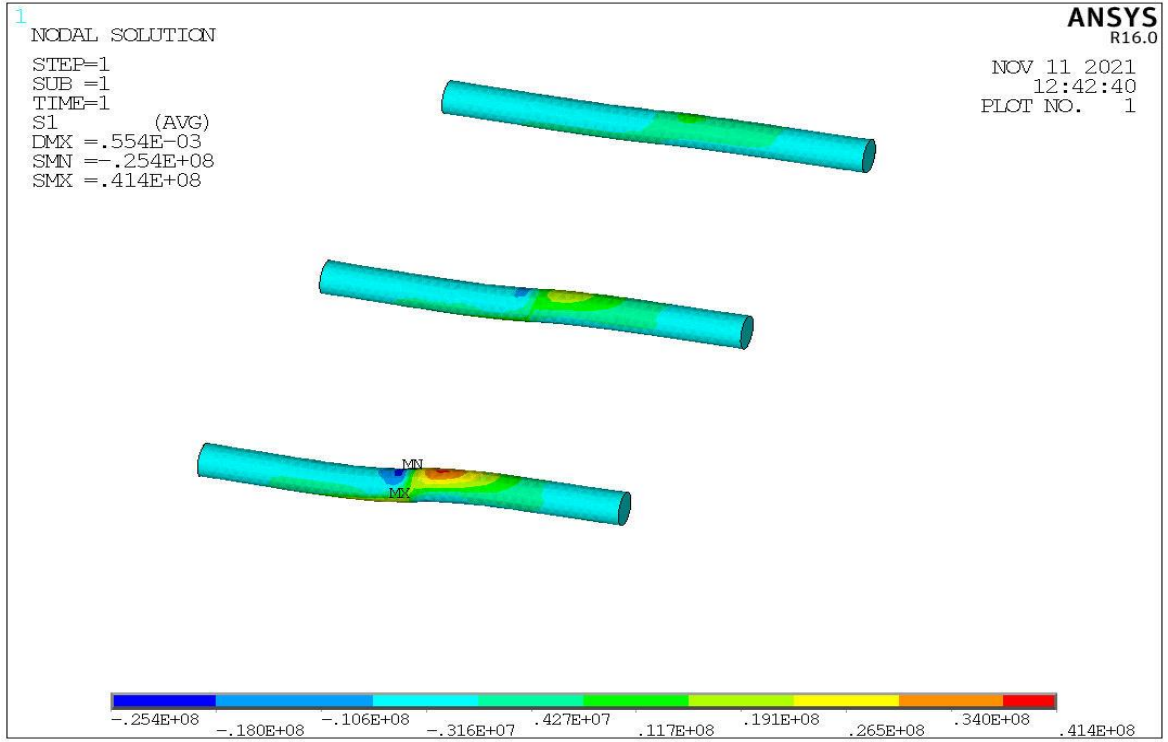
Şekil 4.6. Silindir kayma dontası çap 25.4 mm yüklü olan kısımdaki çekme gerilme sonuçları



Şekil 4.7. Silindir kayma dontası çap 25.4 mm yüklü olan kısımdaki çekme gerilme sonuçları



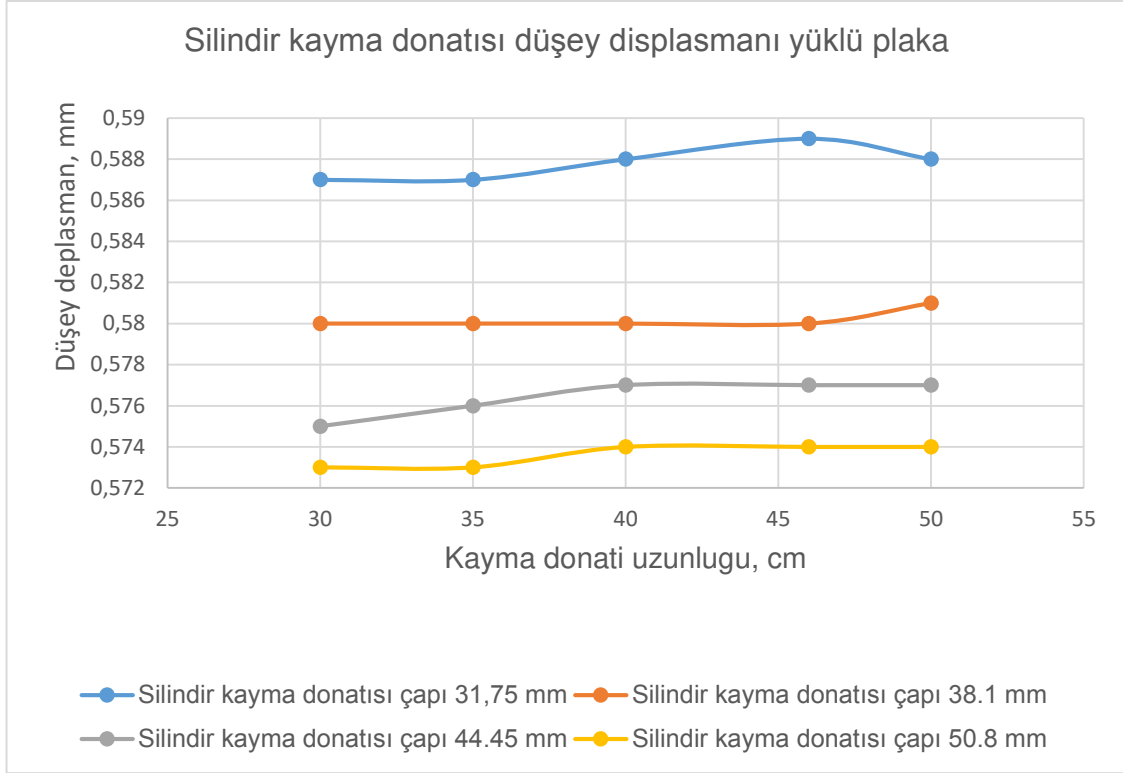
Şekil 4.8. Silindir kayma donatısının çap 31.75 mm beton plakla temas ettiği bölgede çekme gerilmeleri



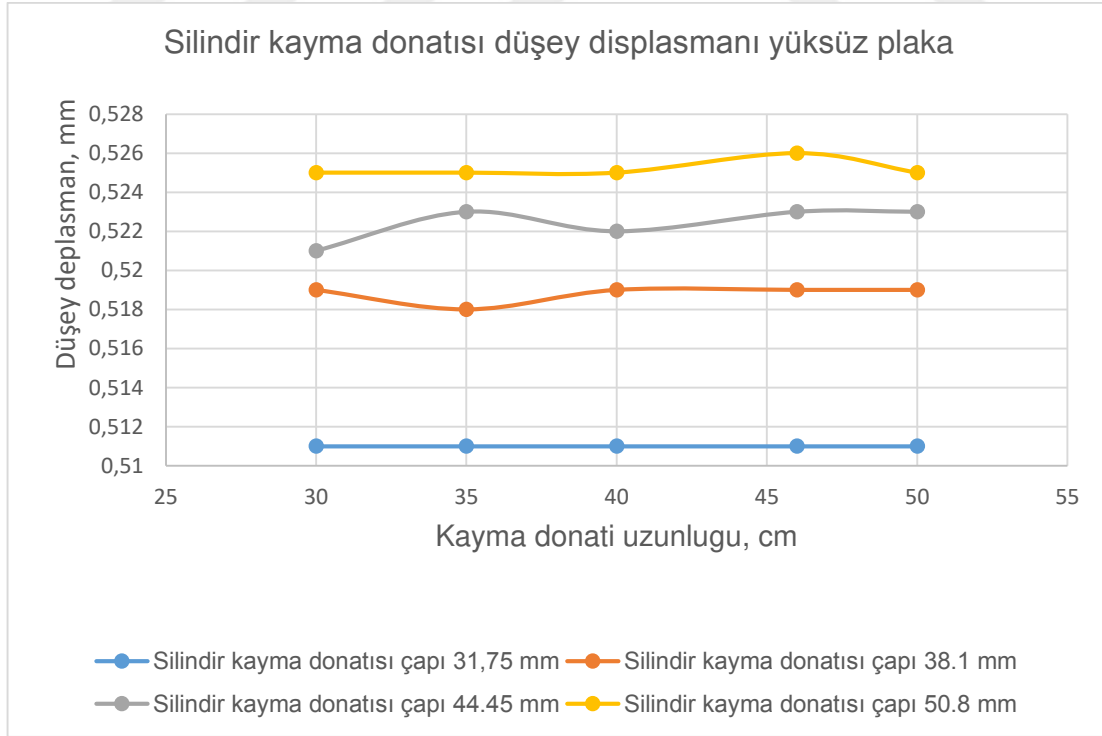
Şekil 4.9. Silindir kayma donatısının çap 31.75 mm beton plakla temas ettiği bölgede çekme gerilmeleri

4.4.2. Silindir Kayma Donatısının Çapının ve Uzunluğunun Düşey Yer Değiştirme Üzerindeki Etkisi

Şekil 4.10'da gösterilen yüklü plakanın sonuçlarından, silindir kayma donatı çapı 31,75'ten 50,8 mm'ye çıkarsa, düşey yer değiştirmenin 0,586'dan 0,574 mm'ye düştüğü (%2,05 azalma) görülebilir. Aynı şekilde, incelenen tüm silindir kayma çaplar (31.75 ila 50,8 mm) için düşey yer değiştirme değerlerinin tüm uzunluklar için (30 ila 50 cm) sabit kaldığı görülmektedir. Yüksüz plaka ile ilgili olarak, şekil 4.11'de sunulan sonuçlar, silindir kayma çapının 31,75'ten 50,8 mm'ye artması durumunda, düşey yer değiştirmenin %2,7 arttığını (yani 0,511'den 0,525 mm'ye arttığını) göstermektedir. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir. Şekil 4.10 ve 4.11 göre, silindir kayma donatısı uzunluğunun yer değiştirme değeri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını söyleyebiliriz. Diğer yandan aynı uzunluklarda silindir kayma donatılarının çaplarının artmasıyla düşey deplasmanların azaldığı fakat bu azalmanın önemli olmadığı anlaşılmıştır. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir.



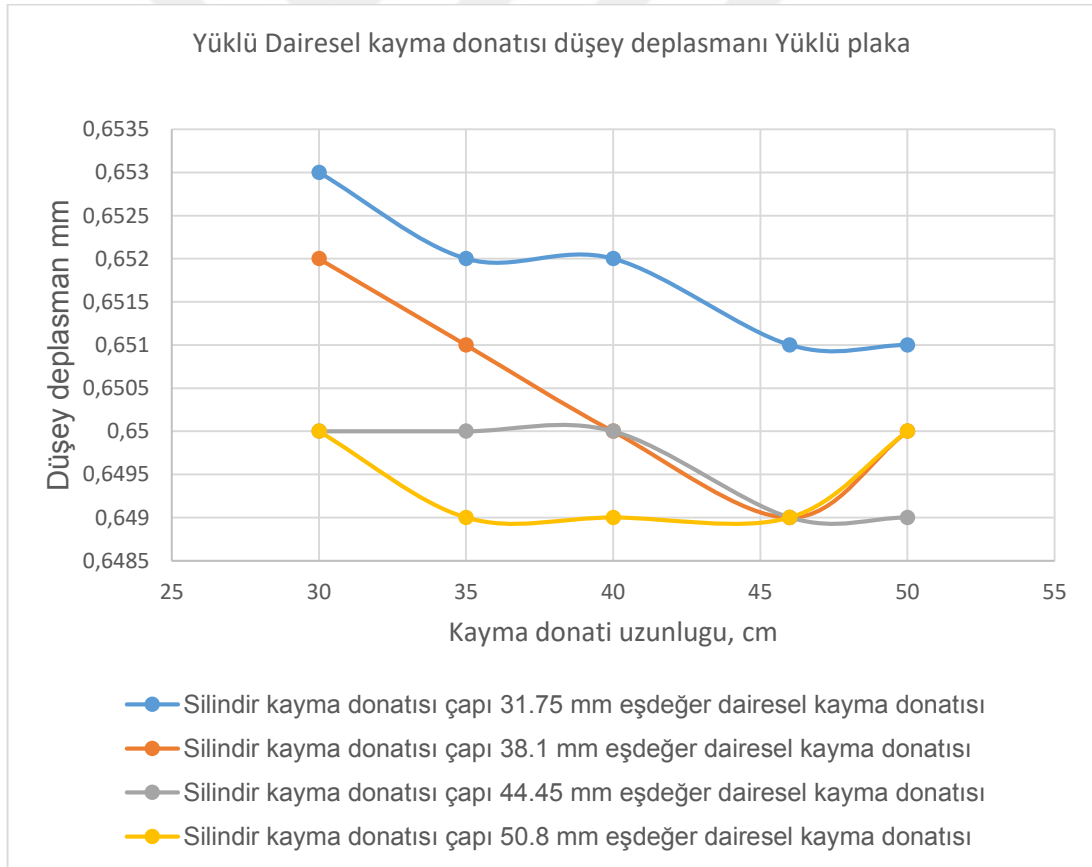
Şekil 4.10. Silindir kayma donatısı yüklü plaka düşey deplasmanı



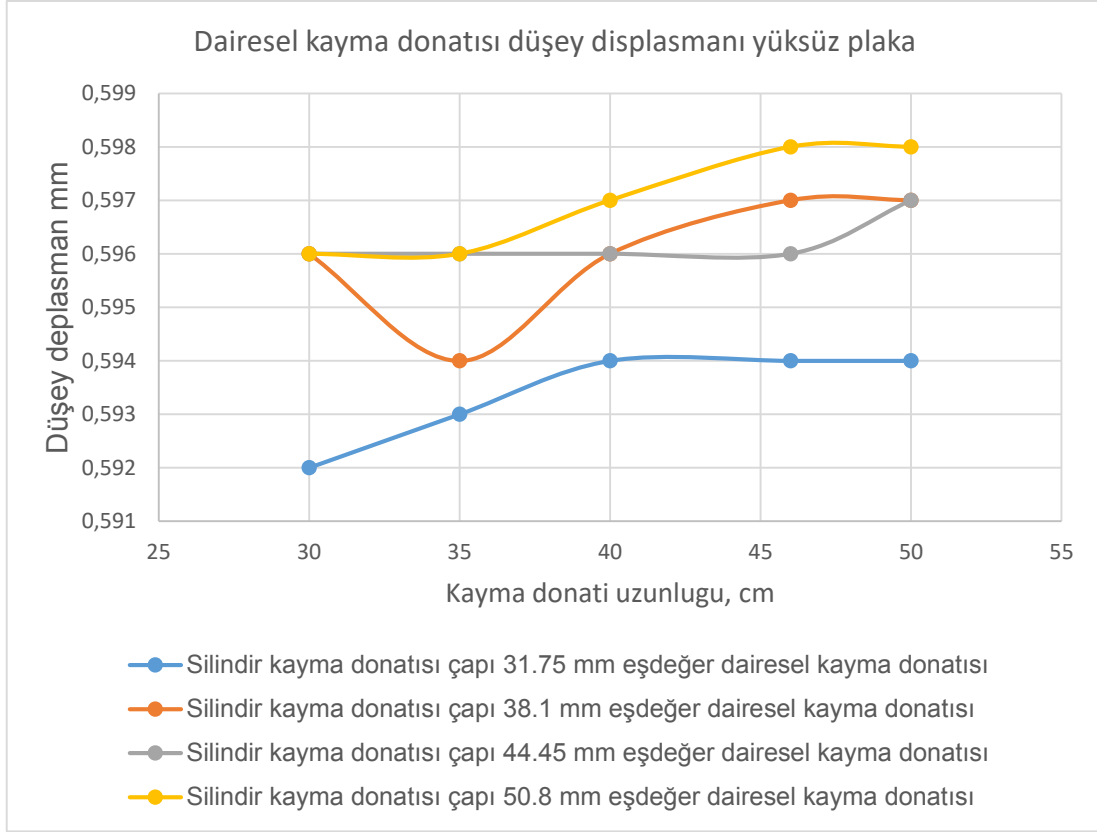
Şekil 4.11. Silindir kayma donatısı yüksüz plaka düşey deplasmanı

4.4.3. Dairesel Kayma Donatılarının Çaplarının Düşey Yer Değiştirme Üzerindeki Etkisi

Şekil 4.12'da gösterilen yüklü plakanın sonuçlarından, dairesele kayma donatı çapı 11'ten 22.72 cm'ye çıkarsa, düşey yer değiştirmenin 0,653'dan 0,649 mm'ye düştüğü (% 0,6 azalma) görülebilir. Yüksüz plaka ile ilgili olarak, şekil 4.13'de sunulan sonuçlar, dairesele kayma donatı çapının 11'ten 22.72 cm'ye artması durumunda, düşey yer değiştirmenin % 0,8 arttığını (yani 0,592'den 0,597 mm'ye arttığını) göstermektedir. Detaylı bilgiler EK 2. Tablo. 5. de gösterilmiştir. Diğer yandan dairesele kayma donatılarının çaplarının artmasıyla düşey deplasmanların azaldığı fakat bu azalmanın önemli etkilerinin olmadığı söylenebilir. Bunun nedeni, tüm dairesele kayma donatısı çaplar aynı kalınlığa sahip olmasıdır. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 5 - 8. de gösterilmiştir



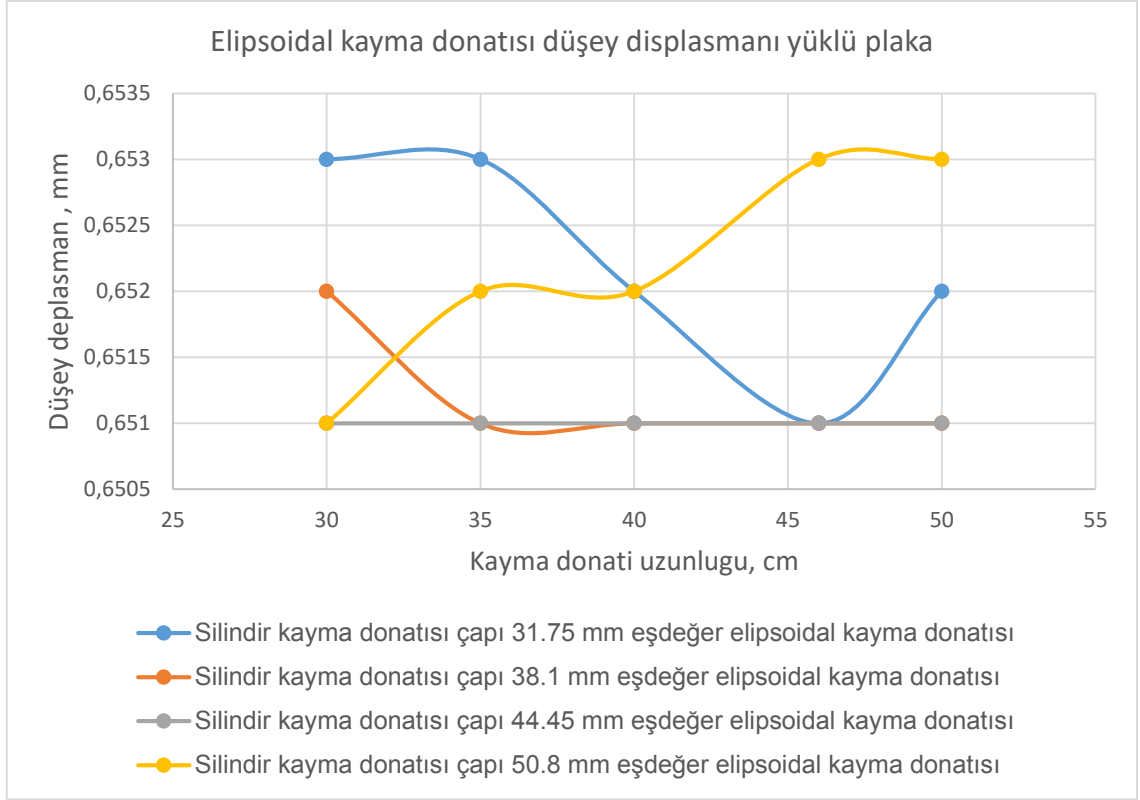
Şekil 4.12. Dairesel kayma donatısı yüklü plaka düşey deplasmanları



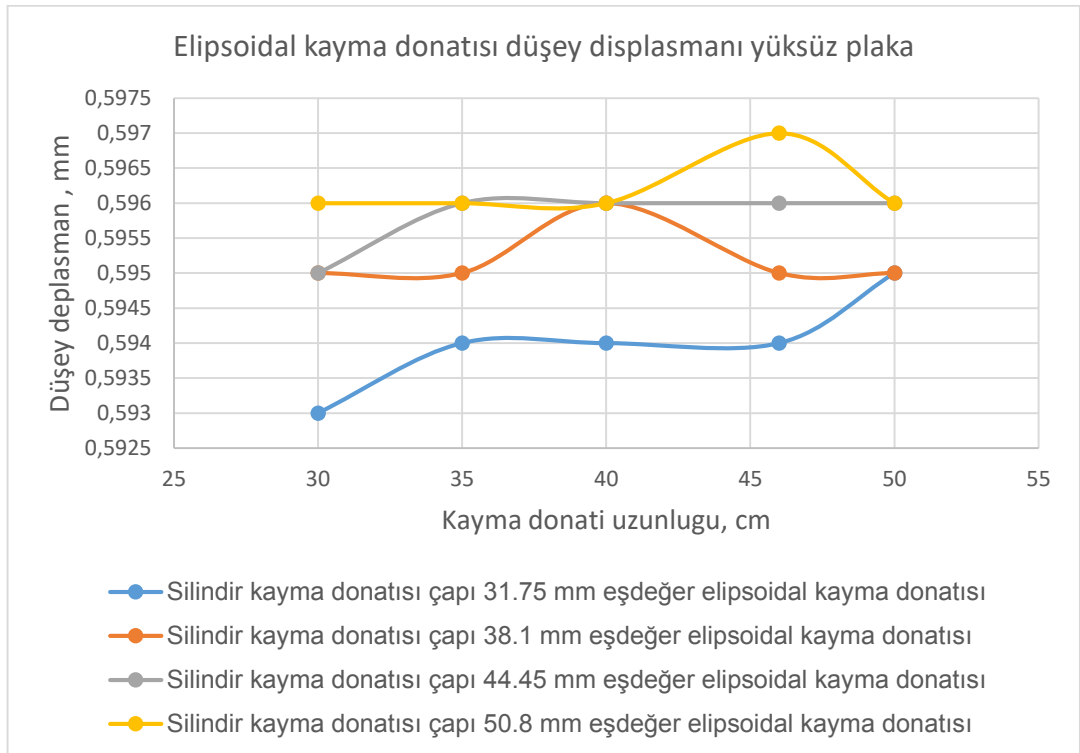
Şekil 4.13. Dairesel kayma donatısı yüksüz plaka düşey deplasmanları

4.4.4. Elipsoidal Kayma Donatısı Ana Eksen Değişiminin Düşey Yer Değiştirme Üzerindeki Etkisi

Şekil 4.14'da gösterilen yüklü plakanın sonuçlarından, elipsoidal kayma donatı ana eksen 10,08 'ten 43.01 cm'ye çıkarsa, düşey yer değiştirmenin 0,653'dan 0,651 mm'ye düştüğü (% 0,3 azalma) görülebilir. Yüksüz plaka ile ilgili olarak, şekil 4.15'de sunulan sonuçlar, elipsoidal kayma donatı ana eksen 10,08 'ten 43.01 cm'ye artması durumunda, düşey yer değiştirmenin % 0,7 arttığını (yani 0,593'den 0,597 mm'ye arttığını) göstermektedir. Diğer yandan aynı elipsoidal kayma donatı ana eksen artmasıyla düşey deplasmanların azaldığı fakat bu azalmanın önemli etkilerinin olmadığı söylenebilir. Bunun nedeni, tüm dairesel kayma donatısı çaplar aynı kalınlığa sahiptir. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 9 - 12'de gösterilmiştir



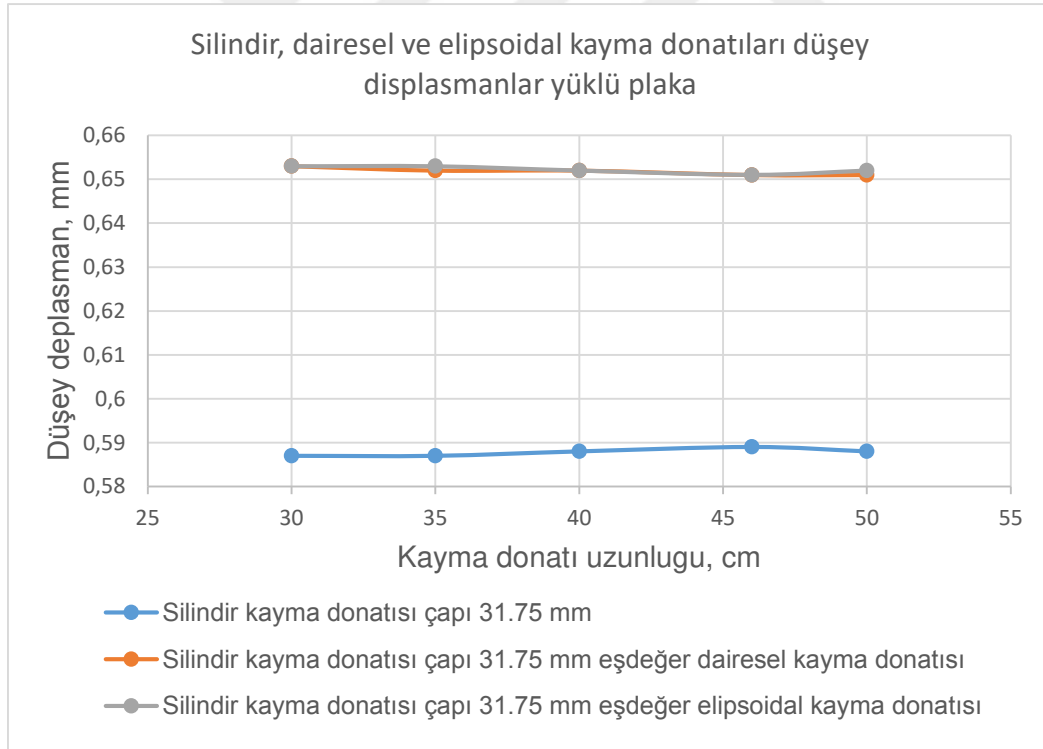
Şekil 4.14. Elipsoidal kayma donatısı yüklü plaka düşey deplasmanları



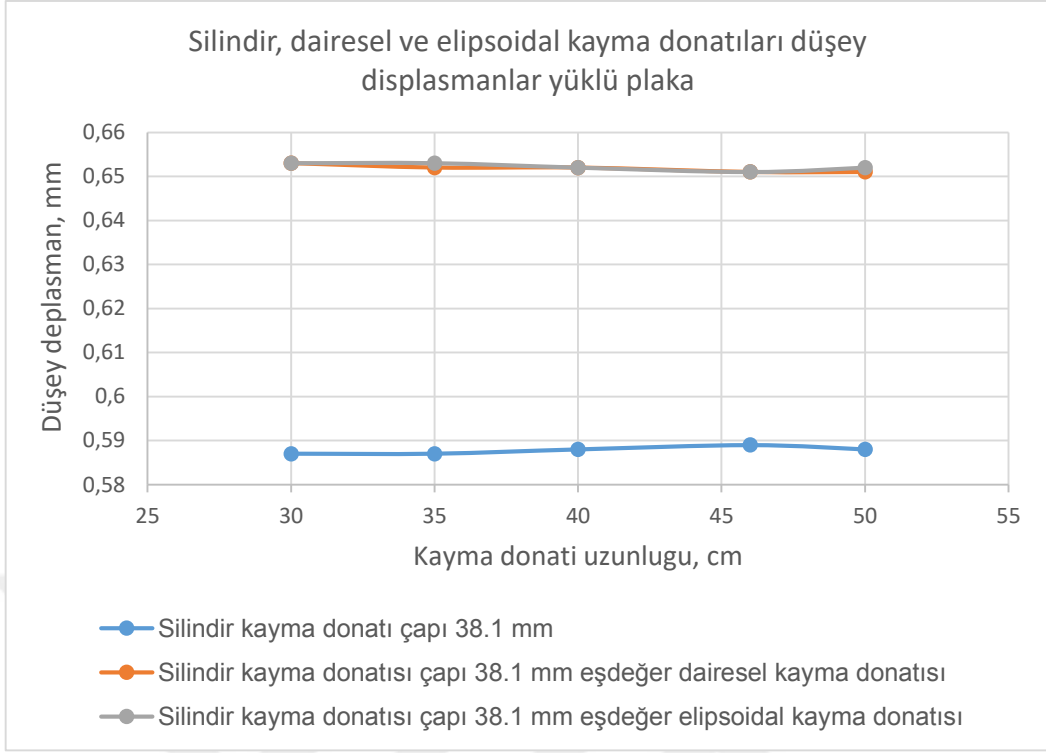
Şekil 4.15. Elipsoidal kayma donatısı yüksüz plaka düşey deplasmanları

4.4.5. Kayma Donatıları Düşey Deplasmanlar Mukayesesi

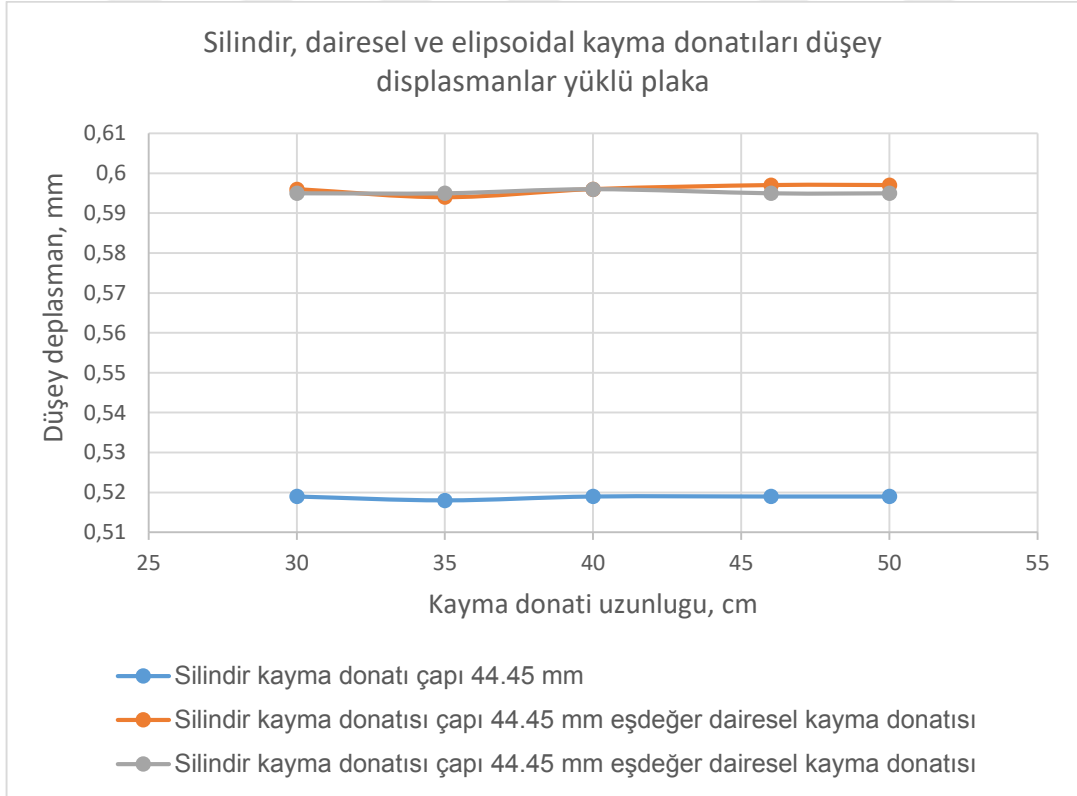
Şekil 4.16 ila 4.19 üç modelinin kayma donatı düşey yer değiştirme göstermektedir. İncelenen tüm silindir kayma donatı çaplarına (31,75 ila 50,8 mm) ve eşdeğer dairesel, elipsoidal kayma donatısı göre, dairesel ve elipsoidal kayma donatı için aynı düşey yer değiştirme değeri sahip olmakla beraber silindir kayma donatı yer değiştirmesi farklıdır. Silindir kayma donatı eşit malzeme hacmiyle dairesel ve elipsoidal kayma donatılarına göre düşey yer değiştirme değerini % 8,18'den % 11,48'e kadar azalmaktadır. Bunun nedeni, silindir kayma donatılar artan çapı nedeniyle çok daha yüksek bükülme sertliği olarak açıklanabilir, oysa tüm dairesel ve elipsoidal kayma donatılar çaplar ve ana eksenler aynı kalınlığa sahiptir. Bu anlamda silindir kayma donatılarının dairesel ve elipsoidal kayma donatılara göre daha avantajlı oldukları açıktır. Detaylı bilgiler EK 5. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir



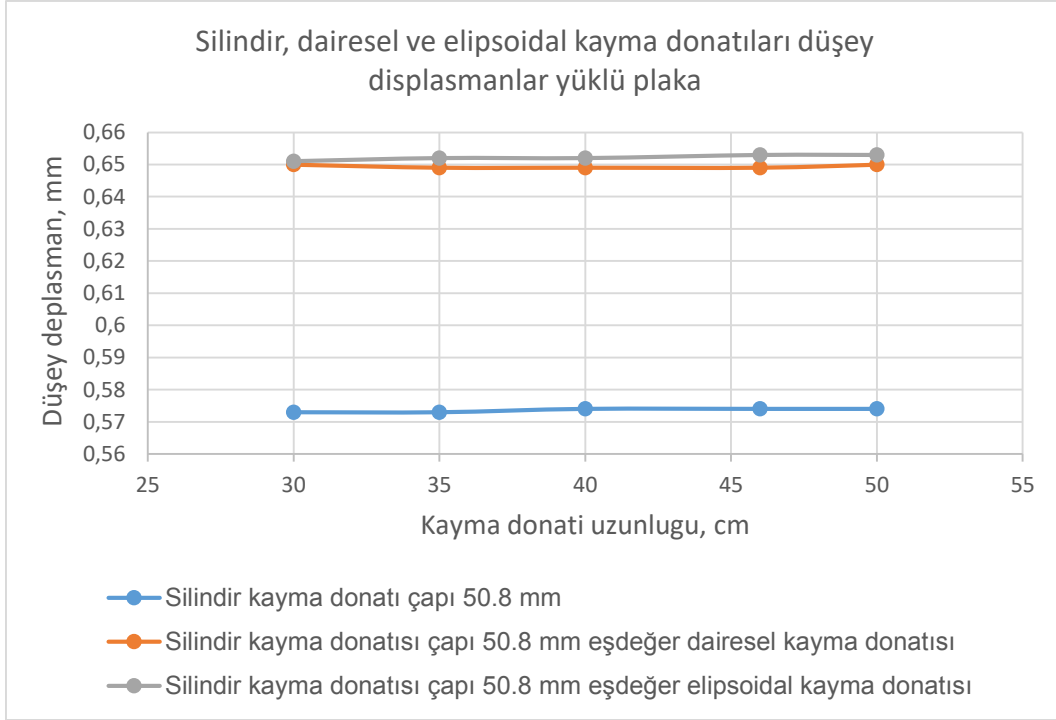
Şekil 4.16. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları düşey deplasmanlar (eşdeğer Silindir kayma donatı çapı 31.75 mm)



Şekil 4.17. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları düşey deplasmanlar (eşdeğer Silindir kayma donatı çapı 38,1 mm)



Şekil 4.18. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları düşey deplasmanlar (eşdeğer Silindir kayma donatı çapı 44.45 mm)

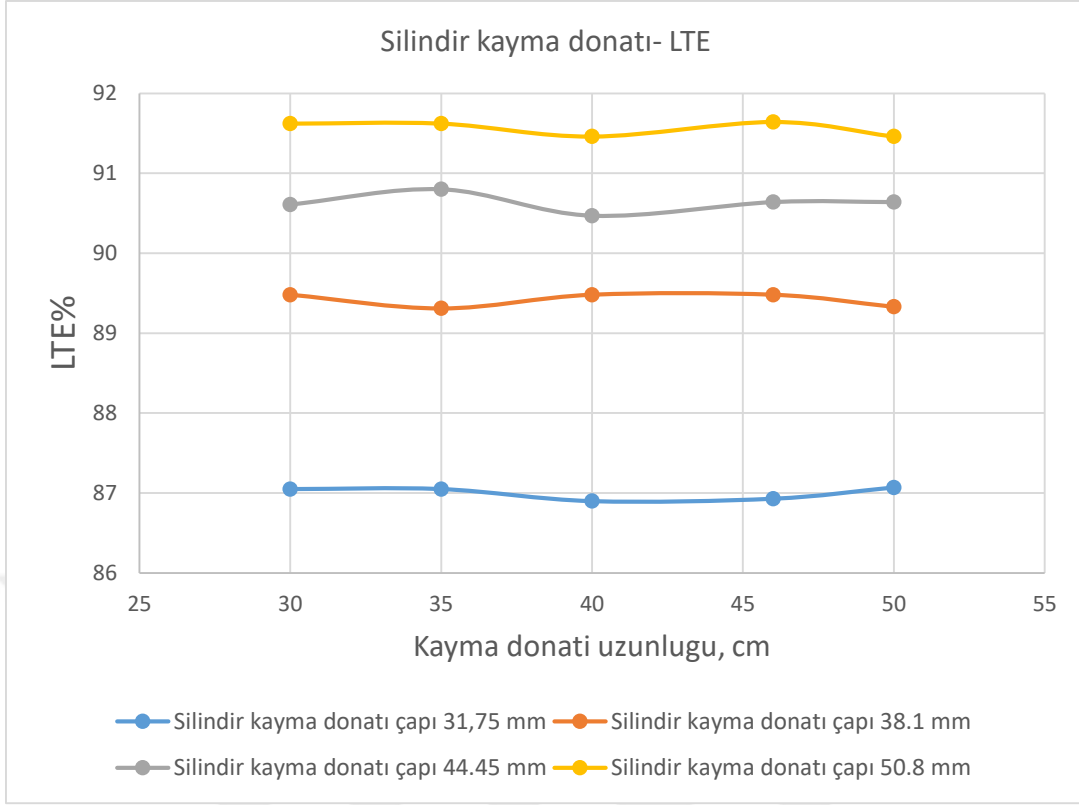


Şekil 4.19. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları düşey deplasmanlar (eşdeğer Silindir kayma donatı çapı 50,8 mm)

4.4.6. Silindir Kayma Donatısının Çapının ve Uzunluğunun Yük Aktarım Verimliliği (LTE) Üzerindeki Etkisi

Silindir kayma donatısı çapının 31.75 mm'den 50,8 mm'ye yükselmesi durumunda (LTE) değerleri 87'den 91,7'ye (%5,13) azaldığı görüldüğü Dolyasıyla da silindir kayma donatısı çapının LTE üzerinde önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, kayma donatılar artan çapı nedeniyle çok daha yüksek bükülme sertliği olarak açıklanabilir. Şekil 4.20'te görülebileceği gibi, silindir kayma donatısı uzunluğunun 30 cm'den 50 cm'ye çıkarılması (LTE)'yi önemli ölçüde artırmamıştır. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir

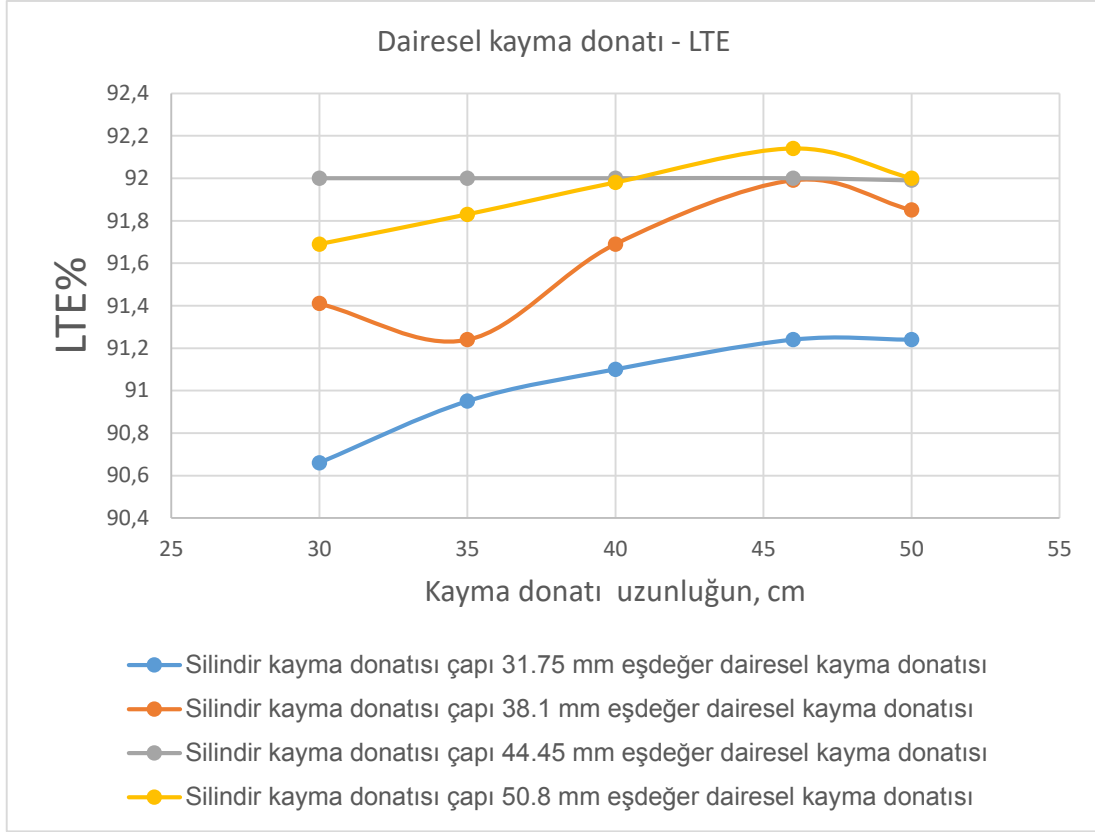
Chichun Hu vd. (2017), 50 kN yüklü 26 cm kalınlığındaki beton tabakasını kullanan sonlu elemanlar çalışmasında benzer eğilimler gözlemlendi ve kayma donatısı çapının yük transfer verimliliği üzerindeki etkisini incelemek için sonuçlar gösterdi. 35,42 ve 56 mm çapında çelik kayma donatısı bağlantılar ortalama LTE %91, %93,1 ve %96,6.



Şekil 4.20. Silindir kayma donatısının çapının ve uzunluğunun varyasyon Yük Aktarım Verimliliği (LTE)

4.4.7. Dairesel Kayma Donatısının Çapının Yük Aktarım Verimliliği (LTE) Üzerindeki Etkisi

Şekil 4.21'te gösterildiği gibi, dairesel kayma donatısı çapı (10.99 ila 22.72) cm arasında değiştiğinde, yük transfer veriminin (LTE) %90,6'dan %92,1'e yükseldiği de görülebilir. 22,72 cm çapında dairesel kayma donatısı, 10,99 cm çapa kıyasla LTE'yi yaklaşık %1,66 oranında artırır. Diğer yandan dairesel kayma donatılarının çaplarının artmasıyla yük transfer veriminin (LTE) arttığını fakat bu azalmanın önemli etkilerinin olmadığı söylenebilir. Bunun nedeni, tüm dairesel kayma donatısı çaplar aynı kalınlığa sahiptir. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 5 - 8. de gösterilmiştir

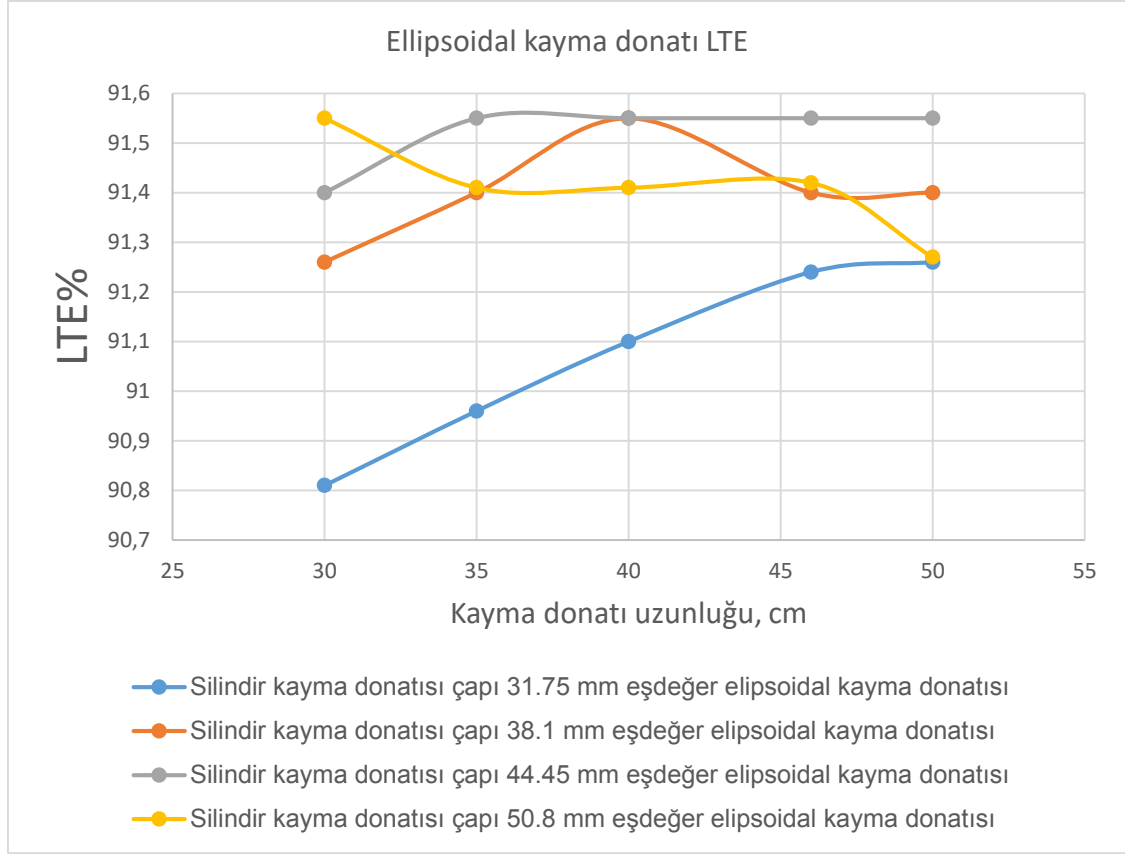


Şekil 4.21. Dairesel kayma donatısının çapının varyasyon Yük Aktarım Verimliliği (LTE)

4.4.8. Elipsoidal Kayma Donatısının Ana Eksen Yük Aktarım Verimliliği (LTE) Üzerindeki Etkisi

Şekil 4.22'de görüldüğü gibi, elipsoidal kayma donatısı ana eksenini (10,08'den 43,01'e) cm arttığında, yük transfer veriminin (LTE) arttığı (%90,8 ila %91,5) görülmüştür. 43,01 cm'lik elipsoidal kayma donatısı ana eksenini, 10,08 cm'lik ana eksene kıyasla LTE'yi %0,77 artırmıştır. Diğer yandan aynı elipsoidal kayma donatı ana eksen artmasıyla yük transfer veriminin (LTE) arttığını fakat bu azalmanın önemli etkilerinin olmadığı söylenebilir. Bunun nedeni, tüm elipsoidal kayma donatısı çapları aynı kalınlığa sahiptir. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 9 - 12. de gösterilmiştir

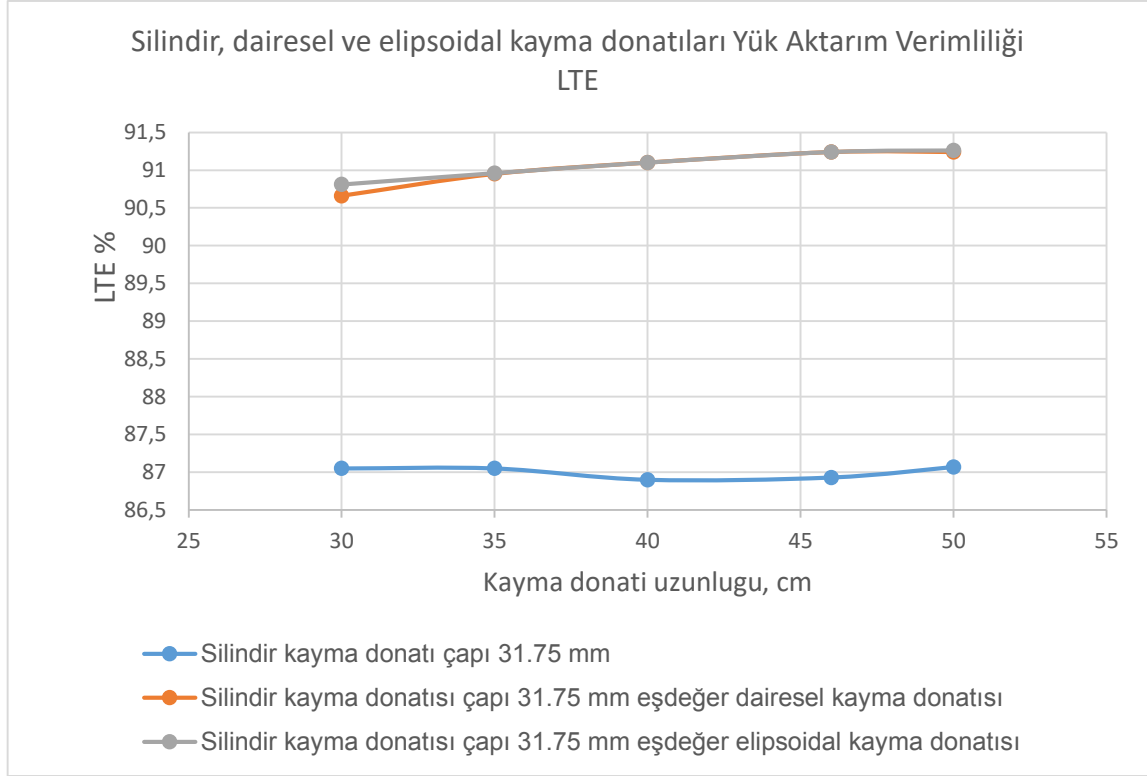
Chichun Hu vd. (2017), aynı çapa sahip farklı şekillerdeki üç kayma donatısı karşılaştırdılar ve sonuçlar ayrıca ortalama LTE silindir kayma donatı çapının 35 mm, elipsoidal 35 mm ve Kare 35 mm'nin sırasıyla yaklaşık % 91,0, % 91,6 olduğunu gösteriyor. % ve % 92,6.



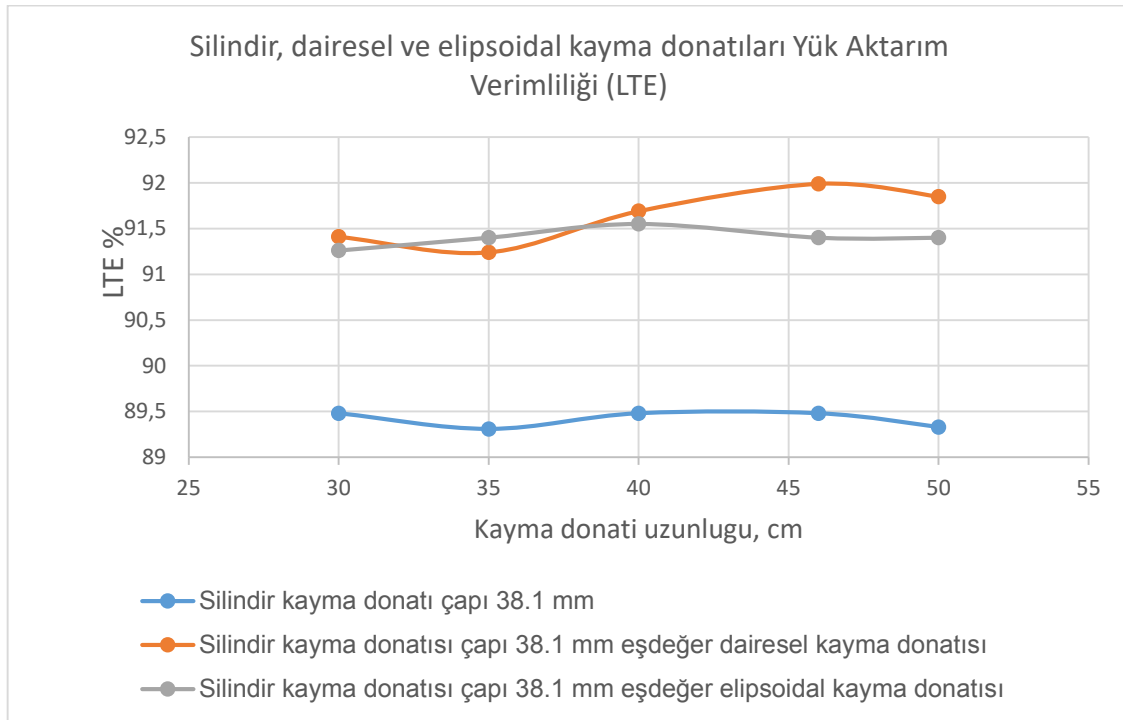
Şekil 4.22. Elipsoidal Kayma Donatısının Ana Eksen varyasyon Yük Aktarım Verimliliği (LTE)

4.4.9. Kayma Donatıları Yük Aktarım Verimliliği (LTE) Mukayesesi

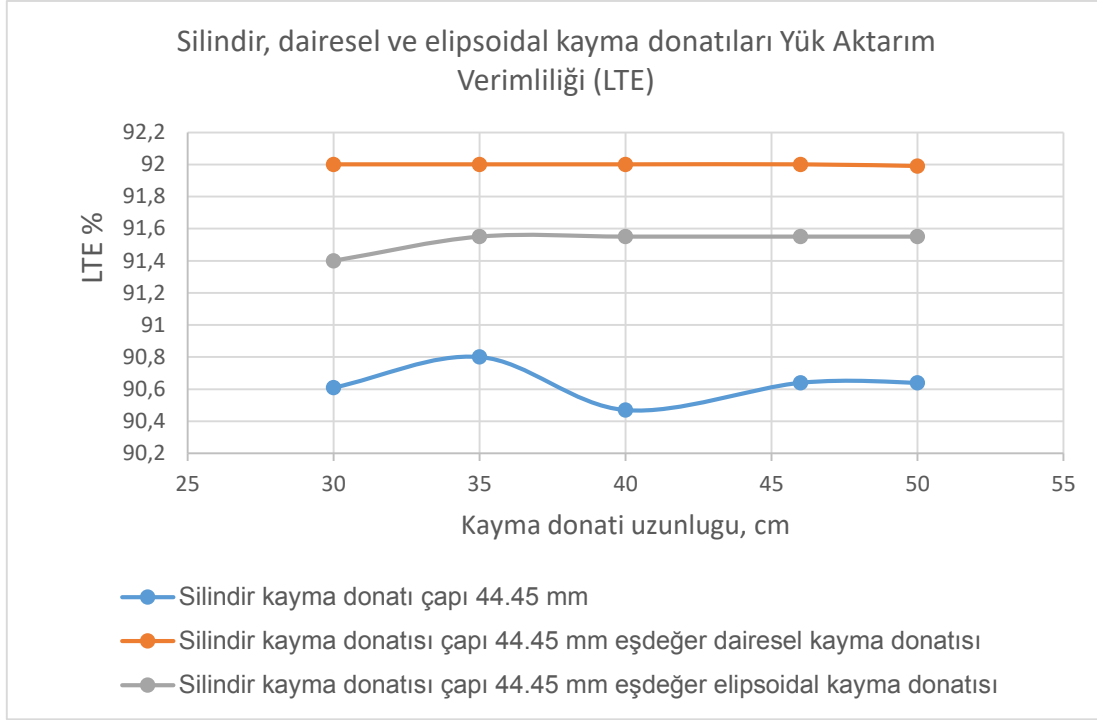
Şekil 4.23 ila 4.26 üç modelinin kayma donatı yük aktarım verimliliğini (LTE) göstermektedir. İncelenen tüm silindir kayma donatı çapları (31,75 ila 50,8 mm) ve eşdeğer dairesel, elipsoidal kayma donatılarının LTE değerleri karşılaştırıldığında dairesel ve elipsoidal kayma donatılarının yük aktarım verimlilikleri (LTE) % 91-92 civarındayken silindir kayma donatı yük aktarım verimliliği (LTE) % 87-89 kalmıştır. Bu anlamda silindir kayma donatılarının dairesel ve elipsoidal kayma donatılara göre daha avantajlı oldukları açıktır. Detaylı bilgiler EK 4. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir



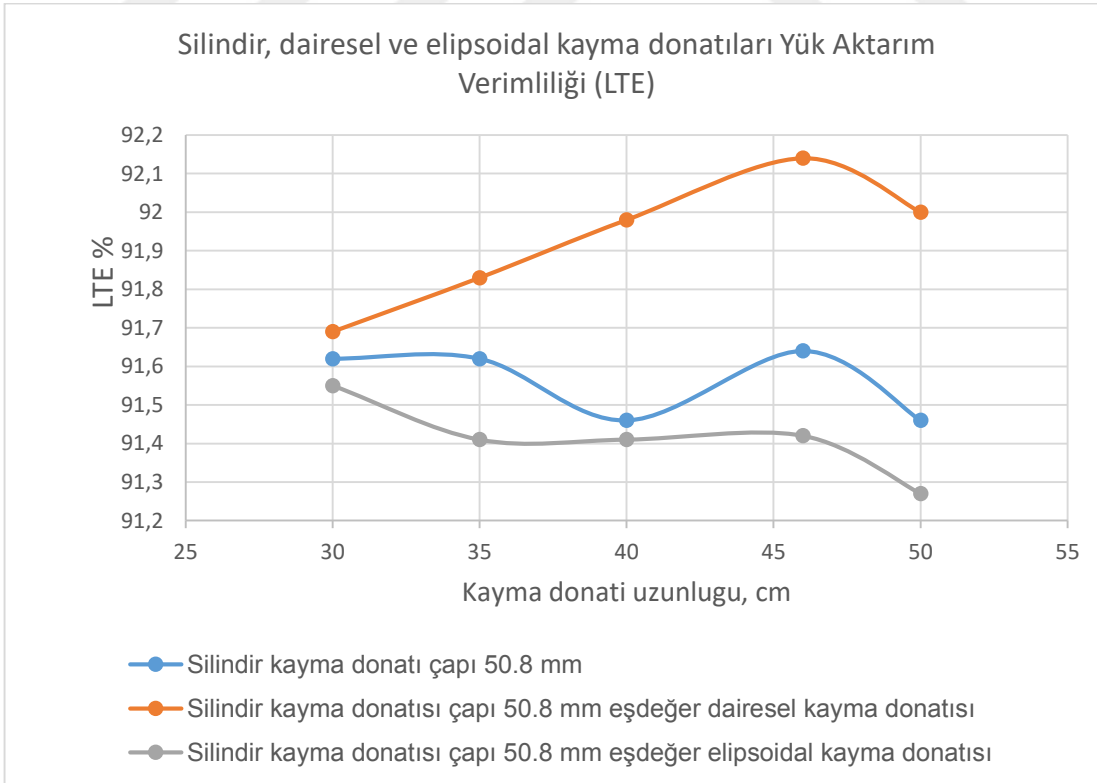
Şekil 4.23. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları Yük Aktarım Verimliliği (LTE).
(eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm)



Şekil 4.24. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları Yük Aktarım Verimliliği (LTE).
(eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm)



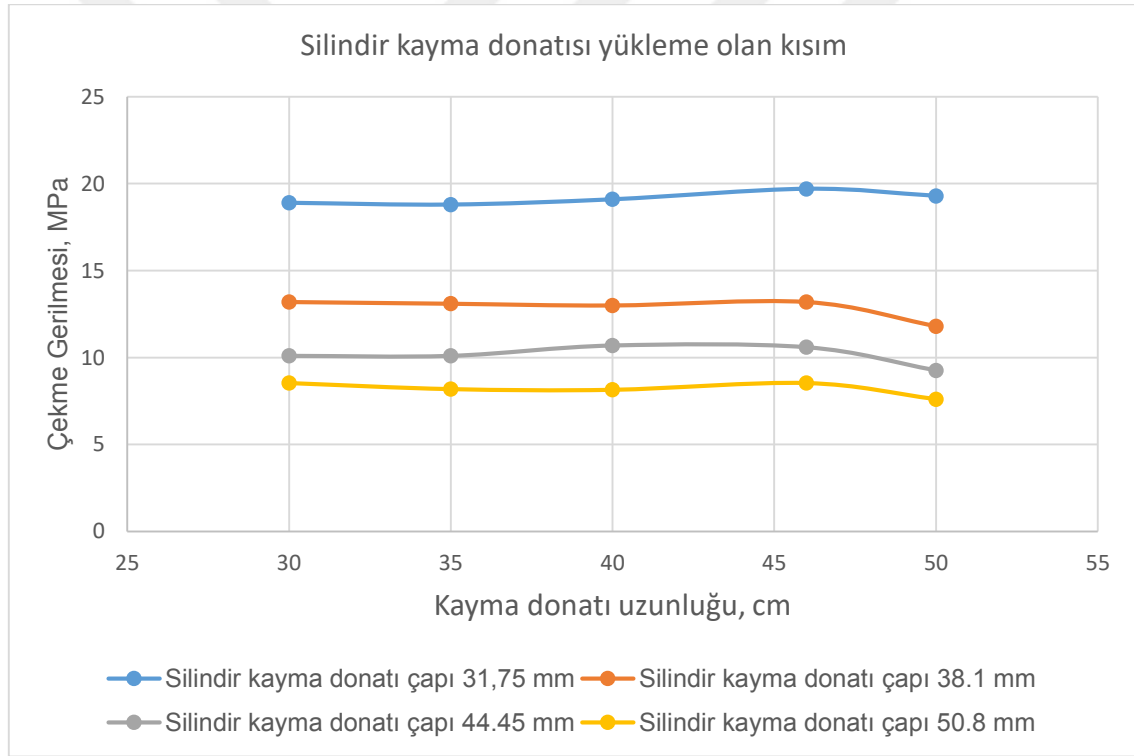
Şekil 4.25. Dairesel ve elipsoidal kayma donatı Yük Aktarım Verimliliği (LTE). (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm)



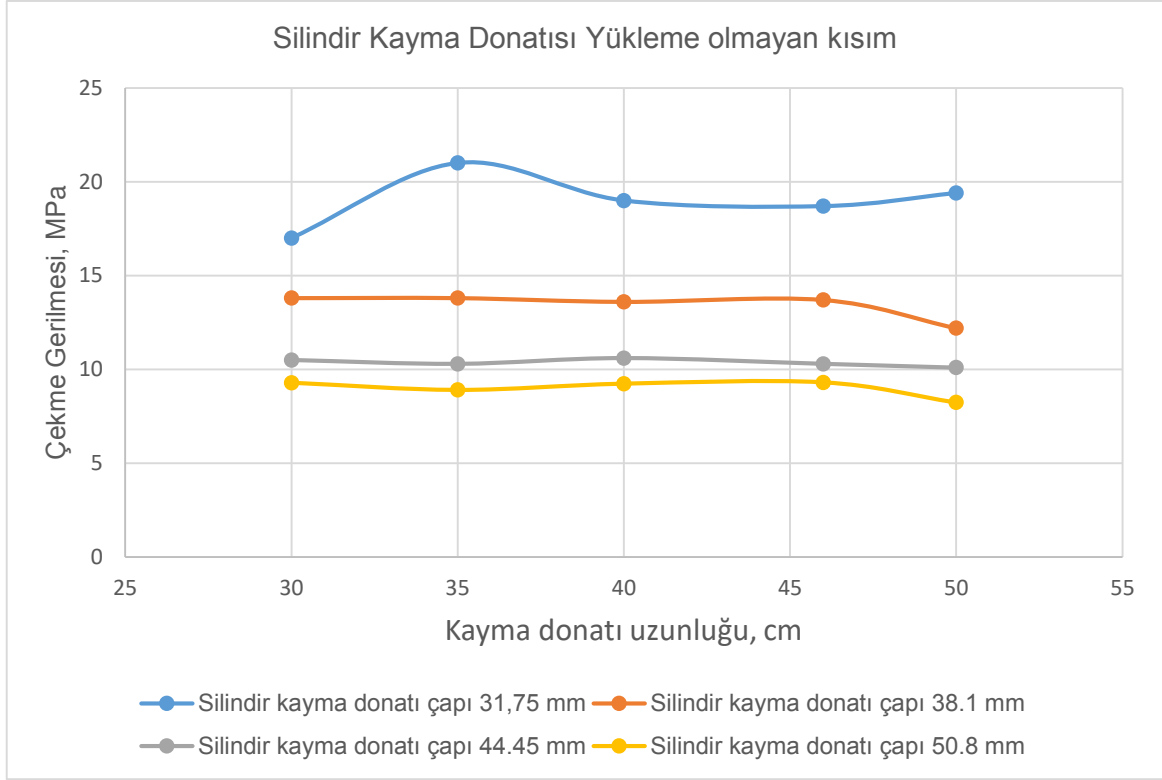
Şekil 4.26. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları Yük Aktarım Verimliliği (LTE). (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 50,8 mm)

4.4.10. Silindir Kayma Donatı Kenarlarında Çekme Gerilmeleri

Şekil 4.27 ve 28'e göre, silindir kayma donatı çapı 31,75 mm'den 50,8 mm'ye yükseldiğinde, yüklü plaka için çekme gerilmeleri 21 MPa'dan 9 MPa'ya düşmüştür. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir. Diğer yandan silindir kayma donatısı uzunluğunun 30 cm'den 50 cm'ye çıkarılmasının çekme gerilmeleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Silindir kayma donatısı çapının 31,75 mm'den 50,8 mm'ye yükselmesi durumunda çekme gerilmelerinde %57'lik önemli bir azalma olmuştur. Bunun nedeni, kayma donatılar artan çapı nedeniyle çok daha yüksek bükülme sertliği olarak açıklanabilir. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 1 - 4 de gösterilmiştir



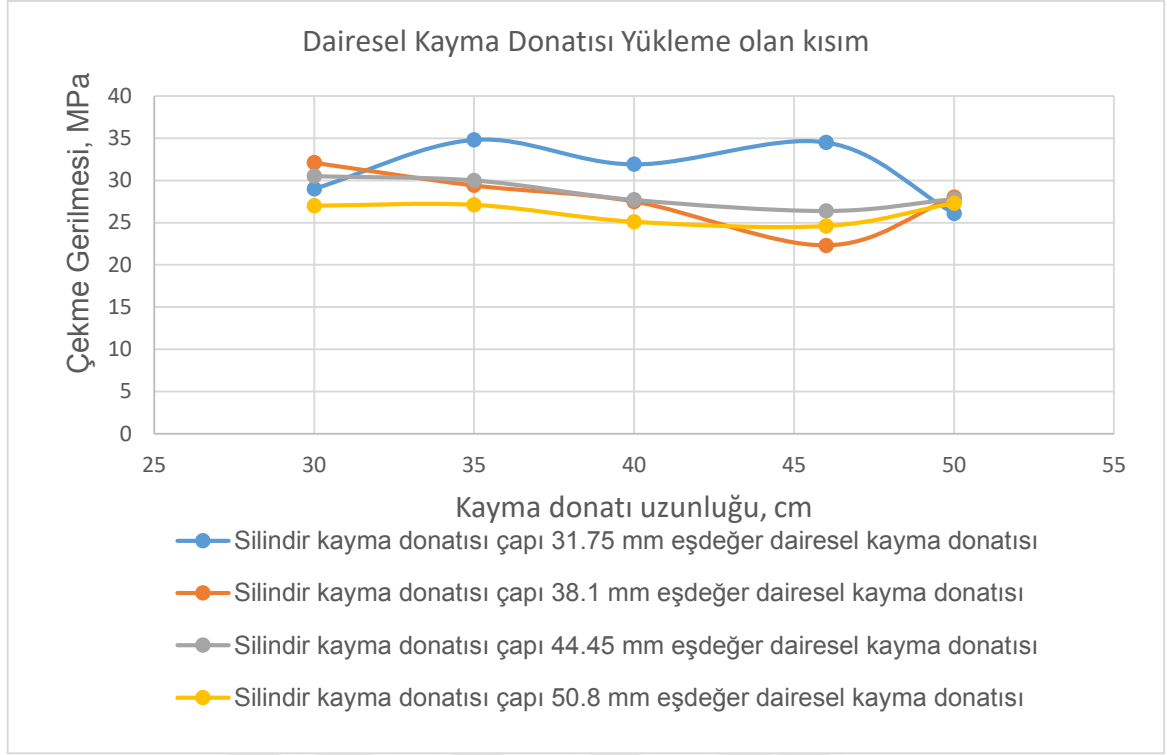
Şekil 4.27. Silindir kayma donatısı çap ve uzunluğunun çekme gerilmeleri üzerindeki etkileri yüklü plaka



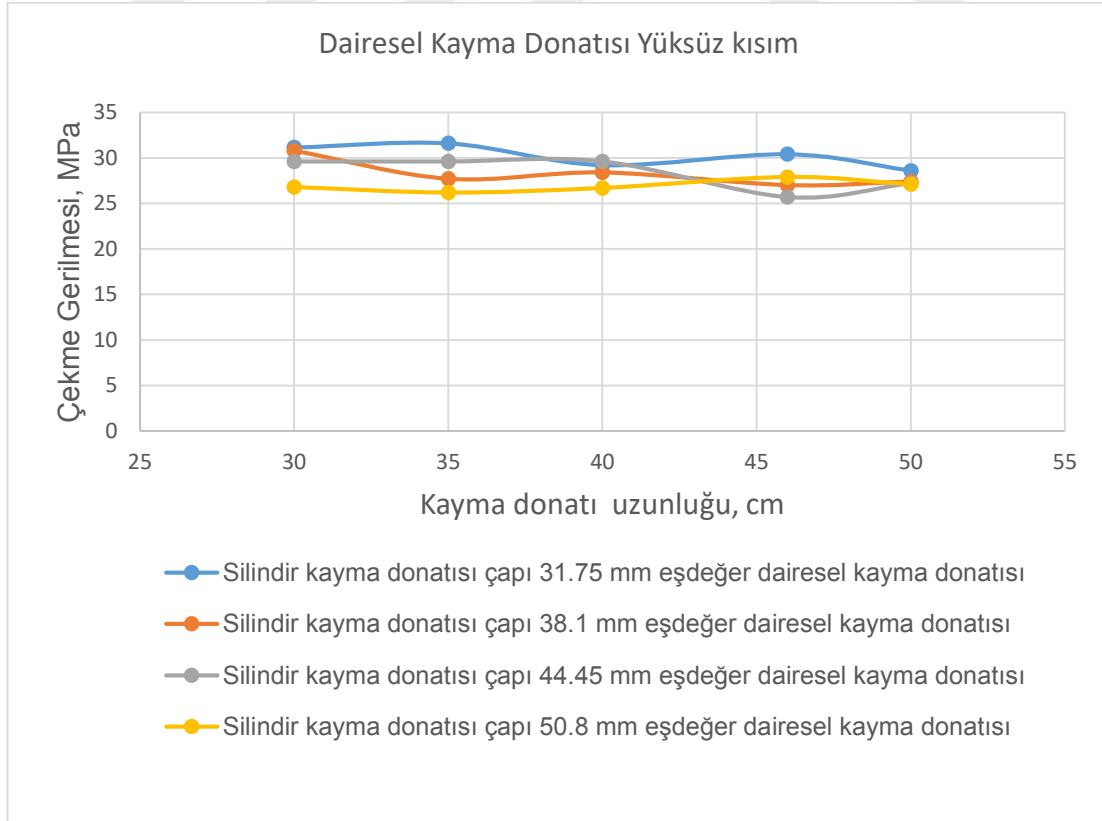
Şekil 4.28. Silindir kayma Donatısı çap ve uzunluğunun çekme gerilmeleri yüksüz plaka

4.4.11. Dairesel Kayma Donatı Kenarlarında Çekme Gerilmeleri

Şekil 4.29 ve 4.30'e göre, dairesel kayma donatısının kenarlarında oluşan çekme gerilme değerleri (35-22 MPa) silindir kayma donatılarınınkinden (21- 09 MPa) yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni dairesel kayma donatısının kesit kalınlığının silindir kesit kalınlığına göre daha az olması sebepleri arasında olabilir. Diğer sebep ise silindir kesitin şekli itibarıyla gelen gerilemeleri her yere homojen olarak dağıtmasıdır. Dairesel kayma donatısı herneke kadar yatay düzlemde homogeny gözükse de düşey doğrultuda dikdörtgen olduğu için kenarlarında köşe kısımlarında gerilmelerin daha fazla olduğu anlamı taşımaktadır. Benzer durum elipsoidal kayma donatıları için de geçerlidir. Silindir kayma donatısında olduğu gibi dairesel kayma donatısı çapının artmasıyla donatının sol ve sağ tarafındaki çekme gerilmelerinde bir azalmanın olmadığı görülmektedir. Dairesel kayma donatısının çapının artırılmasının çekme gerilmeleri üzerindeki etkinliği silindir kayma donatısında olduğu gibi net değildir. Bunun nedeni, tüm dairesel kayma donatısı çapları aynı kalınlığa sahiptir. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 5 - 8. de gösterilmiştir



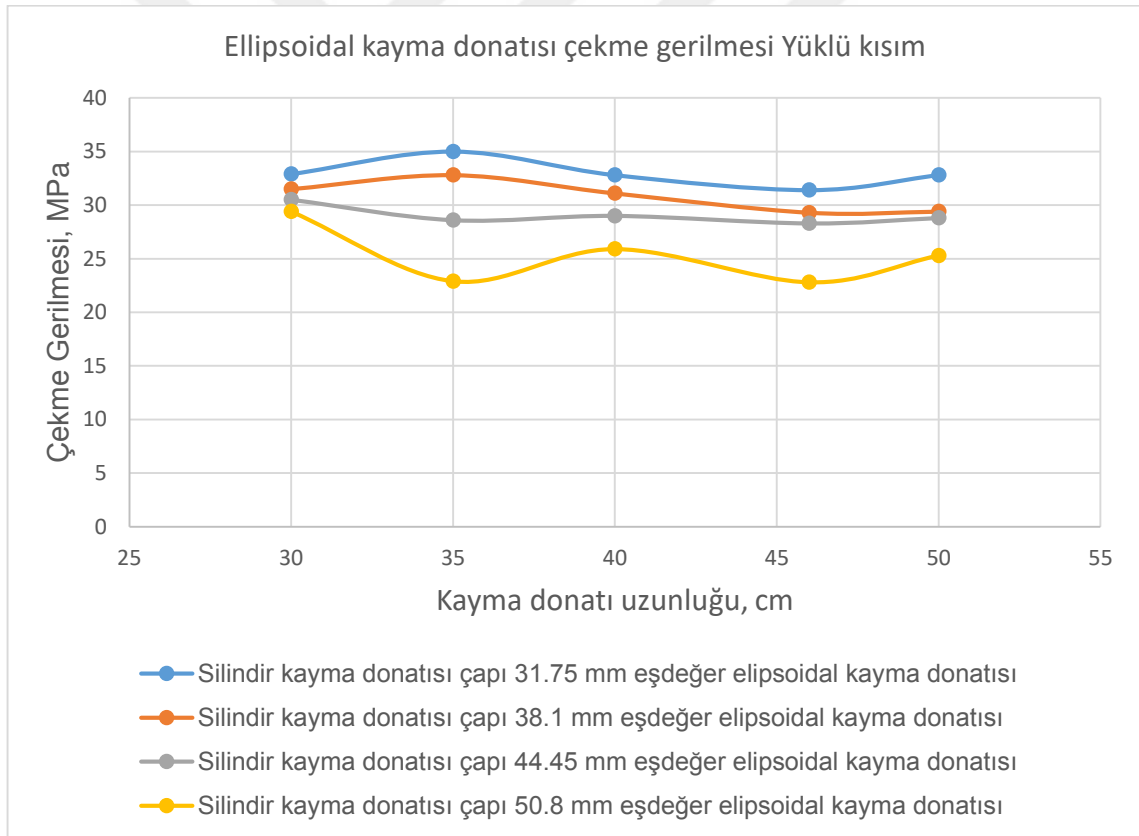
Şekil 4.29. Dairesel kayma Donatısı çap çekme gerilmeleri yüklü plaka



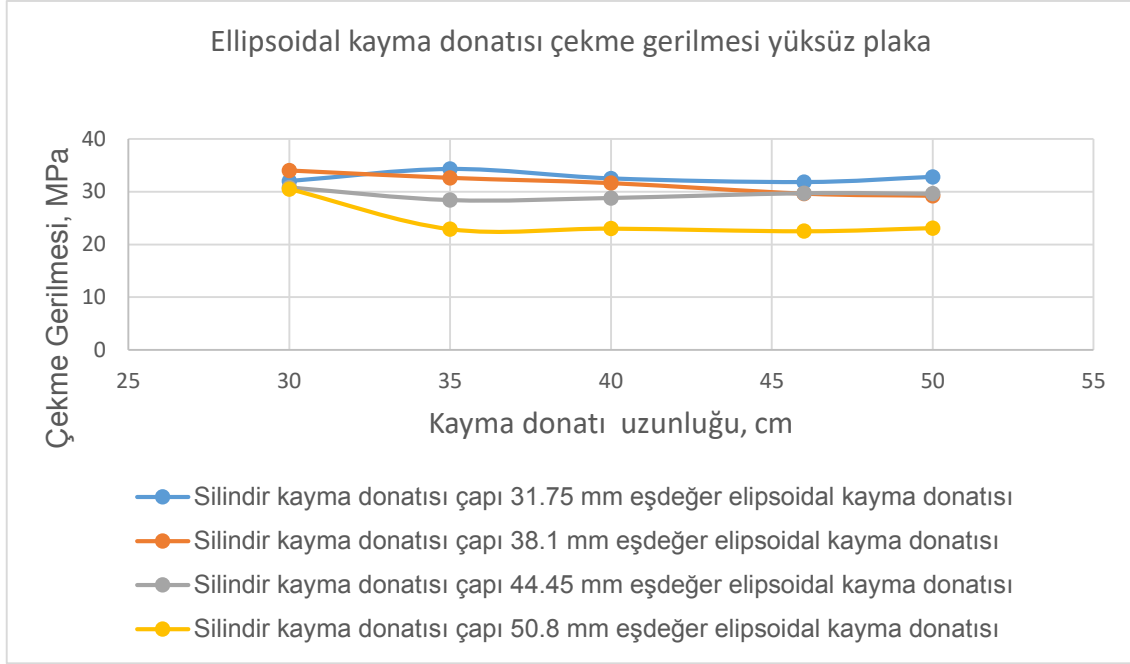
Şekil 4.30. Dairesel kayma Donatısı çap çekme gerilmeleri yüksüz plaka

4.4.12. Elipsoidal Kayma Donatı Kenarlarında Çekme Gerilmeleri

Şekil 4. 31 ve 4.32 ya göre, Elipsoidal kayma donatısının kenarlarında oluşan çekme gerilme değerleri (35-23 MPa) silindir kayma donatılarınınkinden (9-21 MPa) yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Benzer durum dairesel kayma donatılarında da gözlenlenmişti. Bununun nedeni olarak elipsoidal kayma donatısının kesit kalınlığının silindir kesit kalınlığına göre daha az olması ve şekillerinin dikdörtgene benzer olması sebepler arasında gösterilebilir. Elipsoidal kayma donatısının ana eksen artırılmasının çekme gerilmeleri üzerindeki etkinliği silindir kayma donatısında olduğu gibi net değildir. Bunun nedeni, tüm elipsoidal kayma donatısı çaplar aynı kalınlığa sahiptir. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 9 - 12’de gösterilmiştir



Şekil 4.31. Elipsoidal kayma donatısı ana eksen varyasyon çekme gerilmeleri yüklü plaka

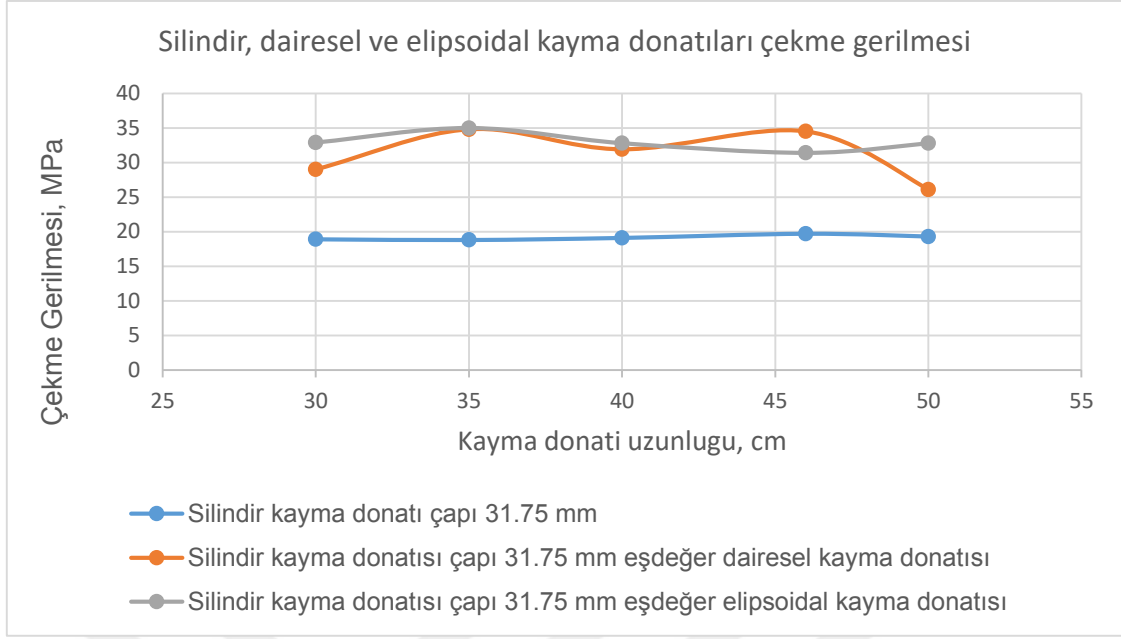


Şekil 4.32. Elipsoidal kayma donatısı ana eksen varyasyon çekme gerilmeleri yüksüz plaka

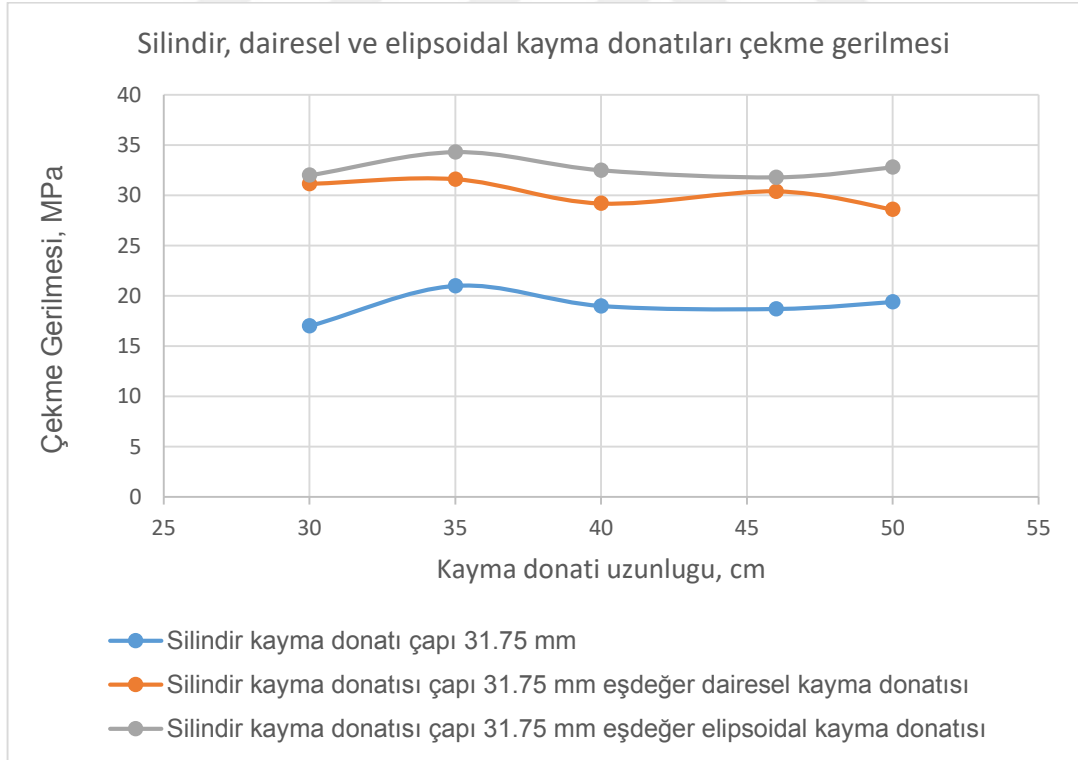
4.4.13. Kayma Donatıları Çekme Gerilmeleri Mukayesesi

Şekiller 4.33-4.40, üç modelinin kayma donatı çekme gerilmeleri göstermektedir. İncelenen tüm silindir kayma donatı çapları (31,75 ila 50,8 mm) ve eşdeğer dairesel, elipsoidal kayma donatısı göre, dairesel ve elipsoidal kayma donatıların çekme gerilmeleri benzer olup 35-22 MPa mertebelerindedir. Diğer yandan silindir kayma donatı çekme gerilmeleri daha düşük olup 21 -8 MPa değerlerinde mertebelerindedir. Bunun nedeni, silindir kayma donatılar artan çapı nedeniyle çok daha yüksek bükülme sertliği olarak açıklanabilir, oysa tüm dairesel ve elipsoidal kayma donatılar çaplar ve ana eksenler aynı kalınlığa sahiptir. Bu anlamda silindir kayma donatıların dairesel ve elipsoidal kayma donatılara göre daha avantajlı oldukları açıktır. Detaylı bilgiler EK 6. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir

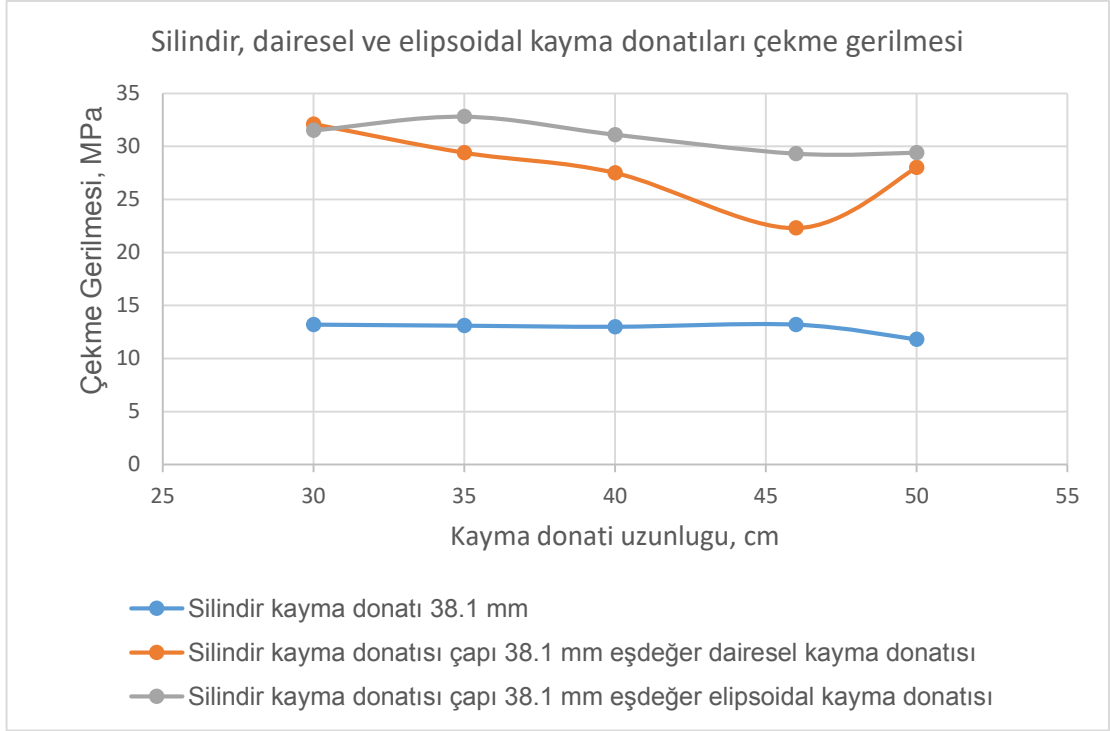
LI Luo vd. (2012), kayma donatısı çapının çekme gerilimi üzerindeki etkisini incelemiş, 40 mm çapındaki silindir kayma donatısının 26 mm çapa kıyasla çekme gerilmelerinde %35'ten daha az bir azalma sağladığını göstermiştir. Piotr Mickiewicz (2015), derzli düz beton kaplamalarda silindir kayma donatısı 40 mm ve 50 mm çapları için sırasıyla çekme gerilmelerini 6 MPa ve 4.2 MPa olarak bulmuştur. Bu çalışma da benzer şekilde çapların artmasıyla basınç gerilmelerinde düşüşlerin sağlanadığını göstermektedir.



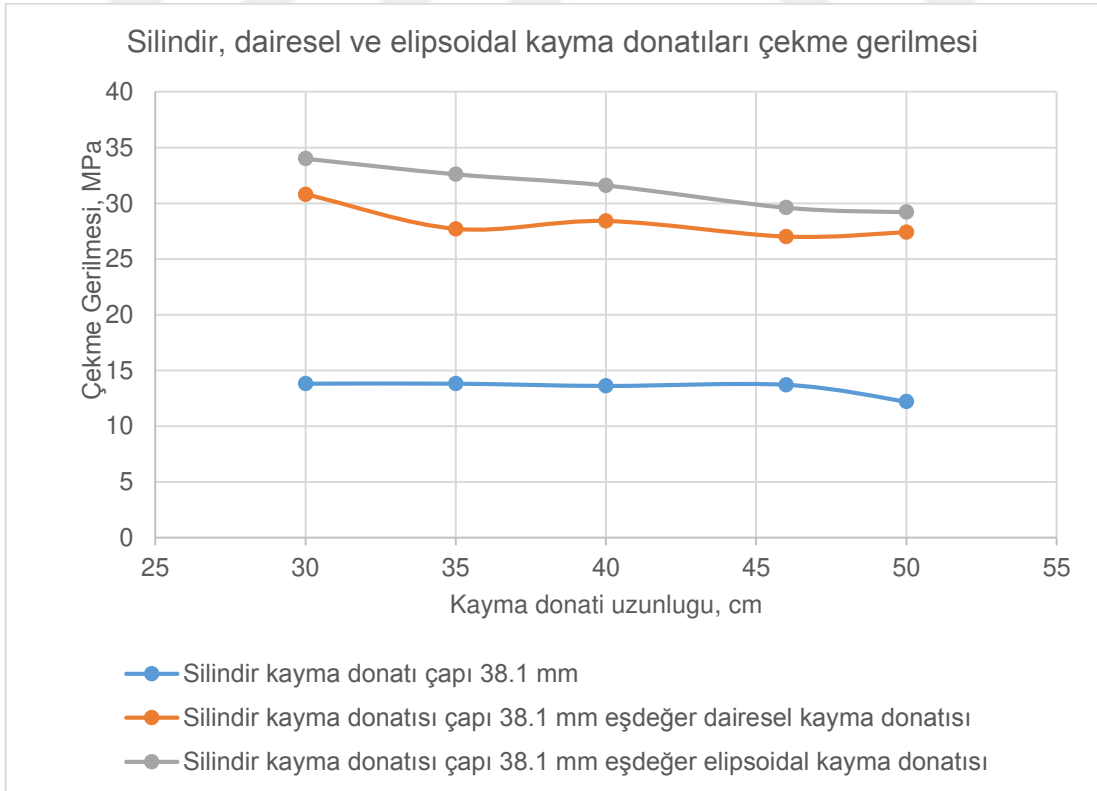
Şekil 4.33. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmeleri (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm) yüklü kısım



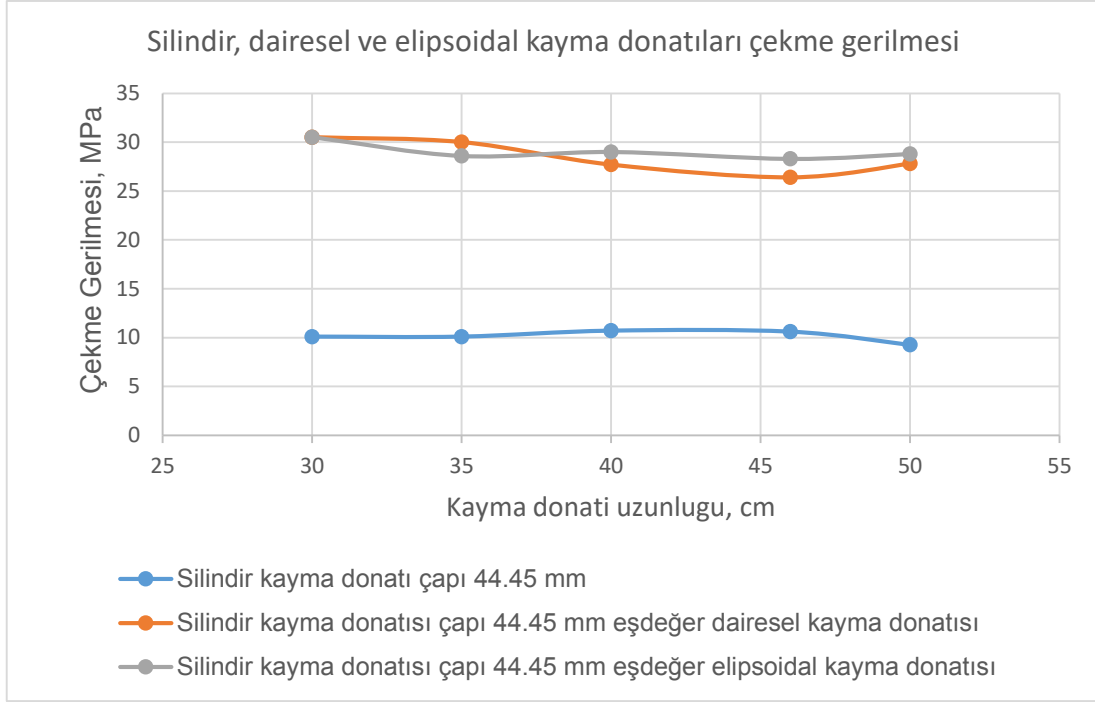
Şekil 4.34. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm) Yüksüz kısım



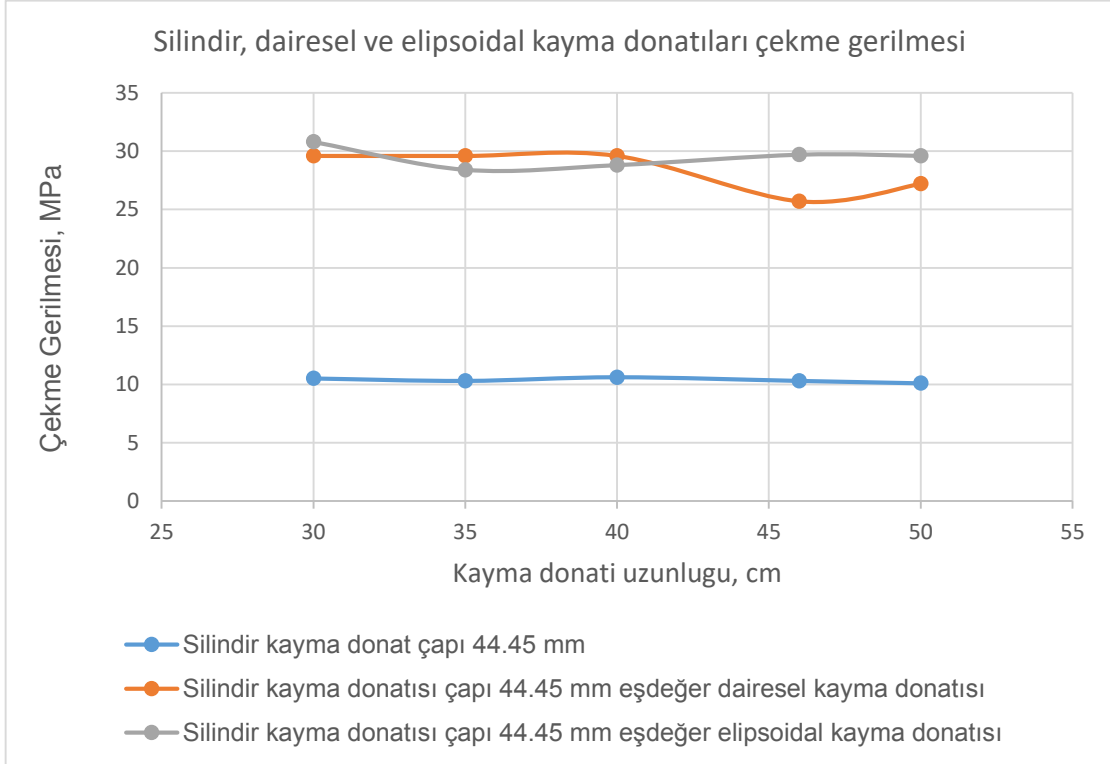
Şekil 4.35. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm) yüklü kısım



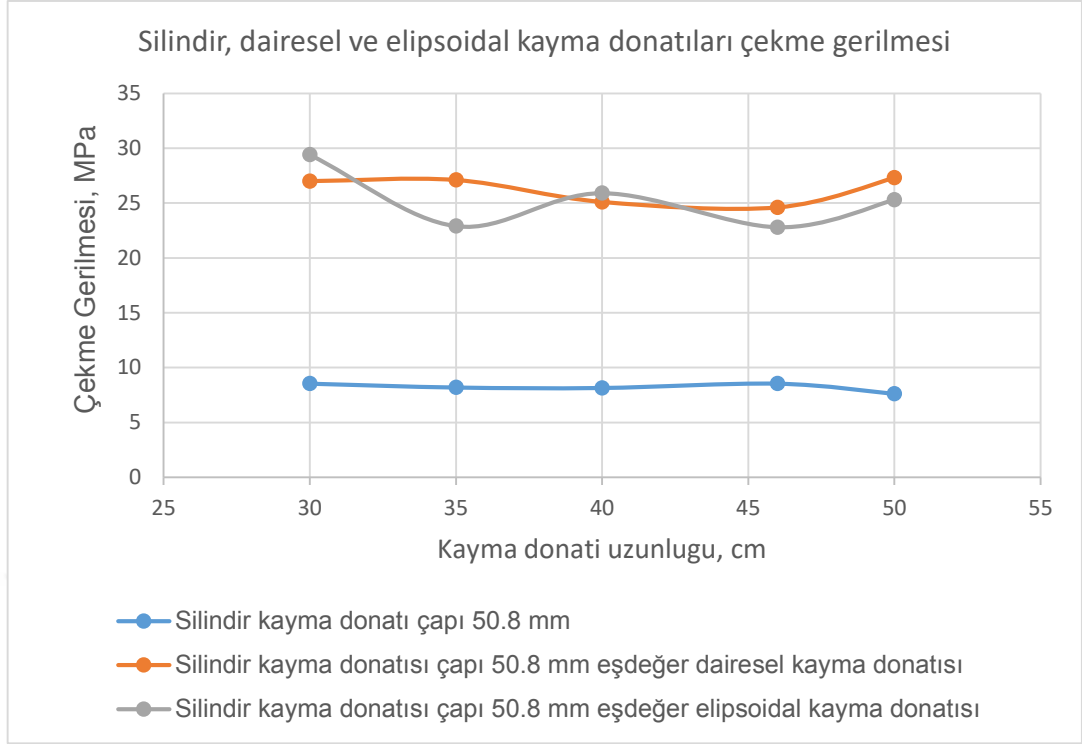
Şekil 4.36. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm) yüksüz kısım



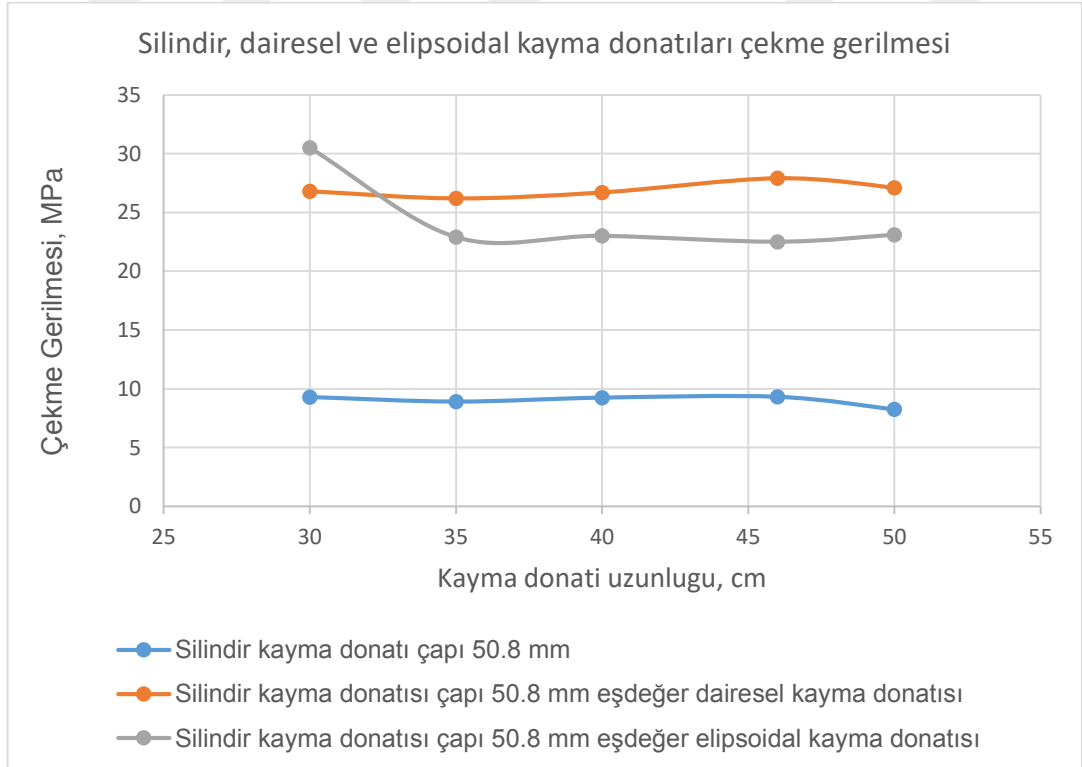
Şekil 4.37. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm yüklü kısım)



Şekil 4.38. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm) yüksüz kısım



Şekil 4.39. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50.8 mm) yüklü kısım

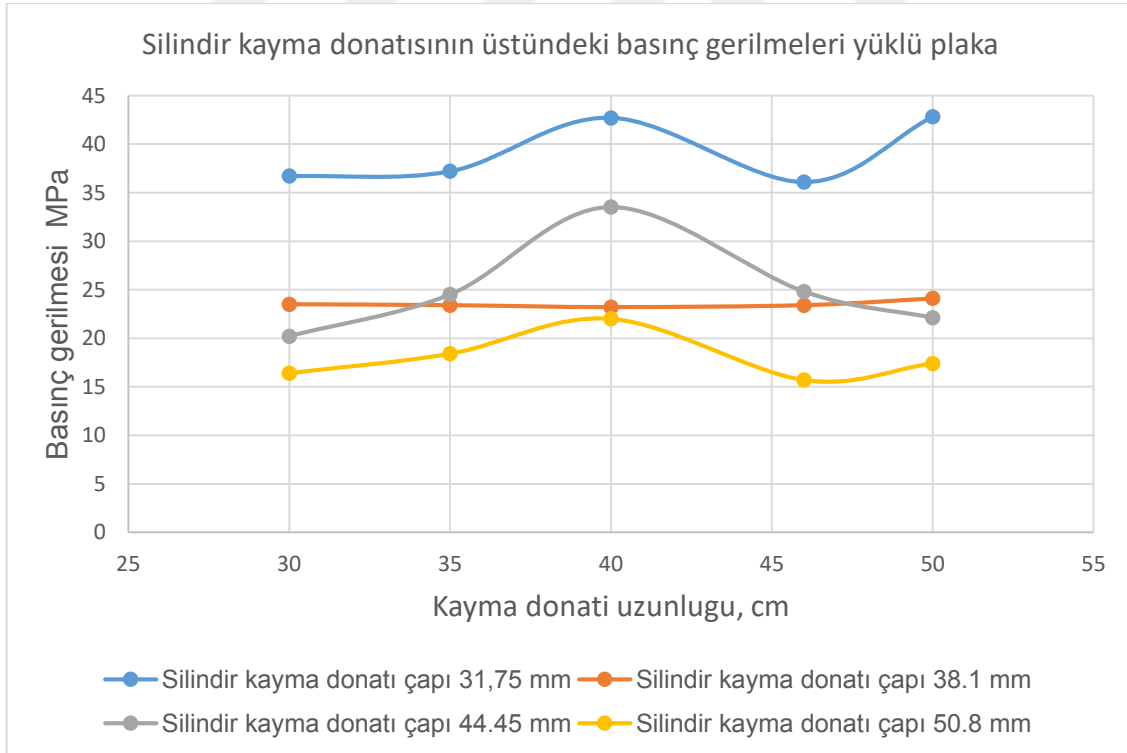


Şekil 4.40. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları çekme gerilmesi (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50,8 mm) yüksüz kısım.

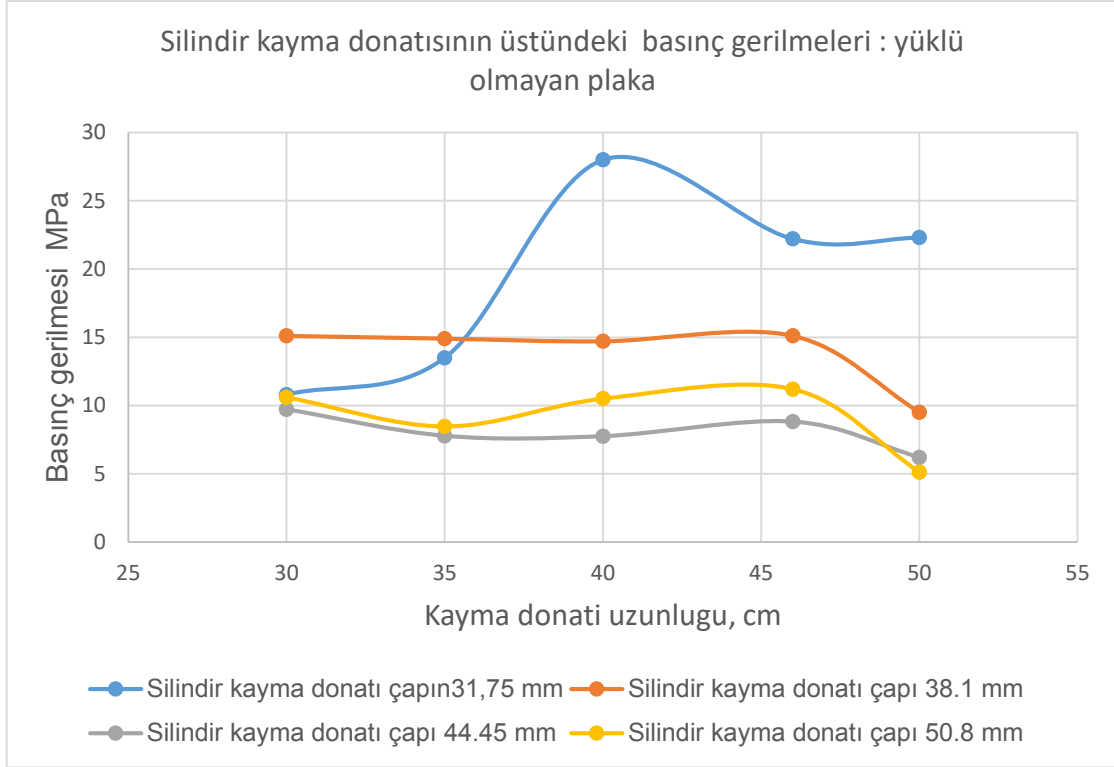
4.4.14. Silindir Kayma Donatısının Üstündeki Basınç Gerilmeleri

Şekil 4.41 ve 4.42'e göre, silindir kayma donatısının çapının artırılmasının basınç gerilmeleri üzerindeki etkinliği net değildir. 50,8 mm çapındaki silindir kayma donatı, 31,75 mm çapa kıyasla kayma donatı üst kısmındaki betondaki basınç gerilmesinde %55,81 azalma sağlamıştır. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir. Basınç gerilmeleri 43 MPa dan 15 MPa düşmüştür. Bunun nedeni, kayma donatılar artan çapı nedeniyle çok daha yüksek bükülme sertliği olarak açıklanabilir. Kayma donatısının yükleme kısmındaki gerilmeleri yükleme yapılmayan kısma aktarılmasında ciddi kayıpların olmadığı anlamı taşımaktadır. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir

Chichun Hu vd. (2016), benzer şekilde artan donatı çaplarında betondaki gerilmelerin azaldığını göstermişlerdir. Çalışmalarında 28 mm, 30 mm, 32 mm, 35 mm, 38 mm için kayma donatısı üst kısmındaki betondaki gerilmelerini sırasıyla 32,2 MPa, 28,5 MPa, 25,4 MPa, 21,2 MPa, 17,9 MPa olarak bulmuştur.



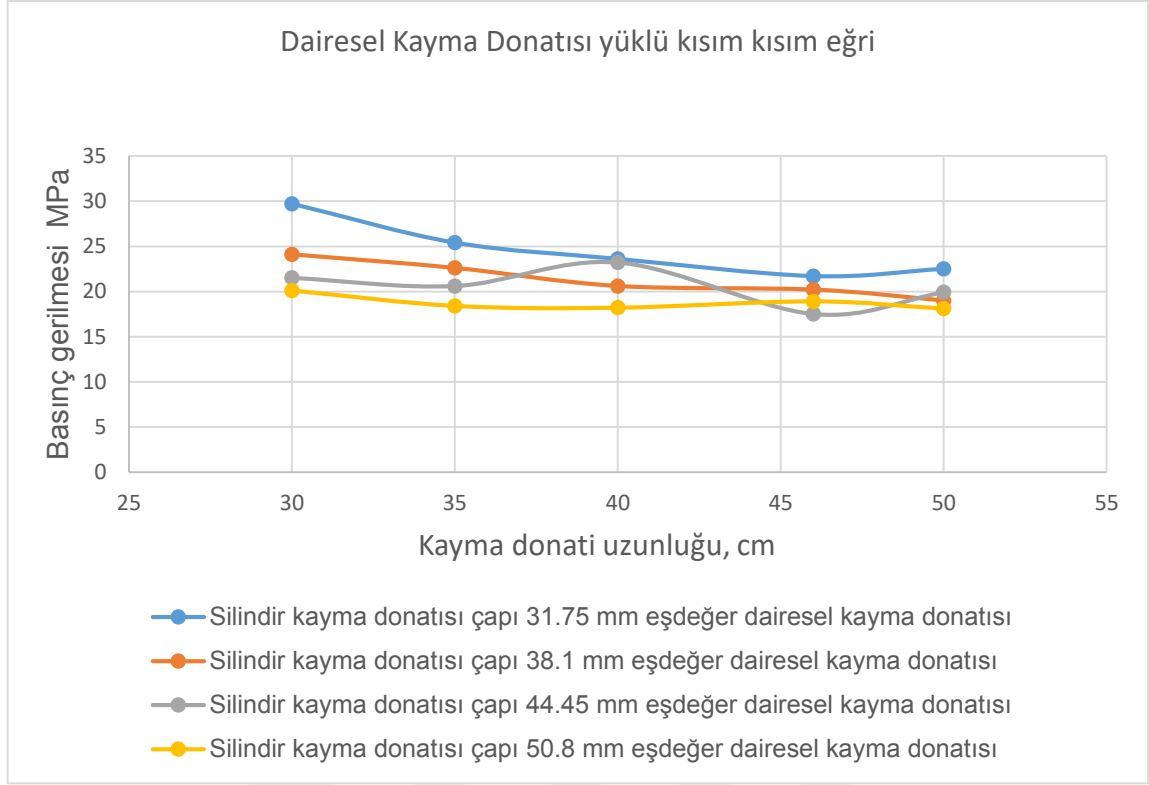
Şekil 4.41. Silindir kayma donatısı çap üstündeki basınç gerilmeleri, yüklü plaka



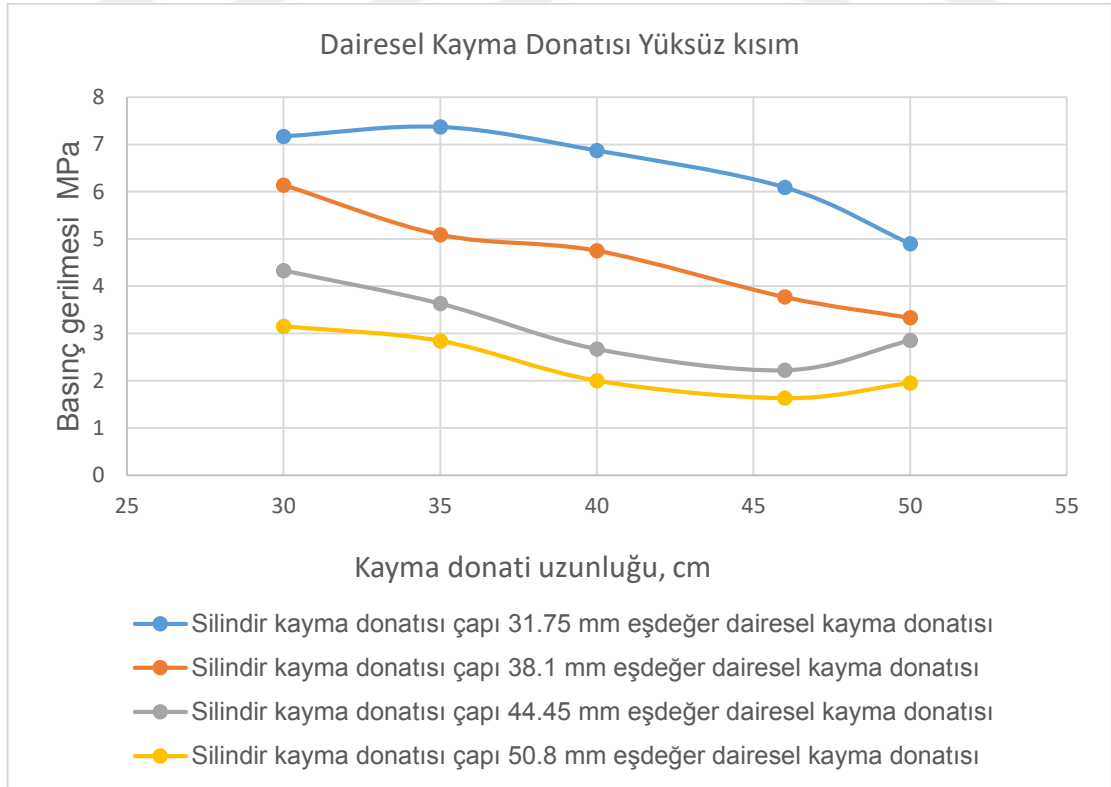
Şekil 4.42. Silindir kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri, yüksüz plaka

4.4.15. Dairesel Kayma Donatısının Üstündeki Basınç Gerilmeleri

Şekil 4.43 ve 44'e göre, dairesel kayma donatısı çapının, üst kısmındaki betondaki basınç gerilmesi üzerinde bir etkisi olduğu açıkça görülmektedir. 22,72 cm'lik dairesel kayma donatısı çapının, 10,99 mm çap'a sahip kayma donatısına göre basınç gerilmesinde % 43,33 'lük bir azalma sağlamıştır. Dairesel kayma donatısının üstündeki oluşan basınç gerilme değerleri 30- 17 MPa silindir kayma donatılarınınkinden 41-15 MPa yaklaşık % 26. 83 daha az olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni dairesel kayma donatısının kesit sebepleri arasında olabilir geniş bir alana dağıtabileceği ve böylece kayma donatılarının betonla temas ettikleri yüzeylerde gerilmeleri azaltabileceğidir. Benzer durum ellipsoidal kayma donatıları için de geçerlidir. Silindir kayma donatısında olduğu gibi dairesel kayma donatısı çapının artmasıyla donatının sol ve sağ tarafındaki basınç gerilmelerinde bir azalmanın olmadığı görülmektedir. Dairesel kayma donatısının çapının artırılmasının basınç gerilmeleri üzerindeki etkinliği silindir kayma donatısında olduğu gibi net değildir. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 5 - 8. de gösterilmiştir.



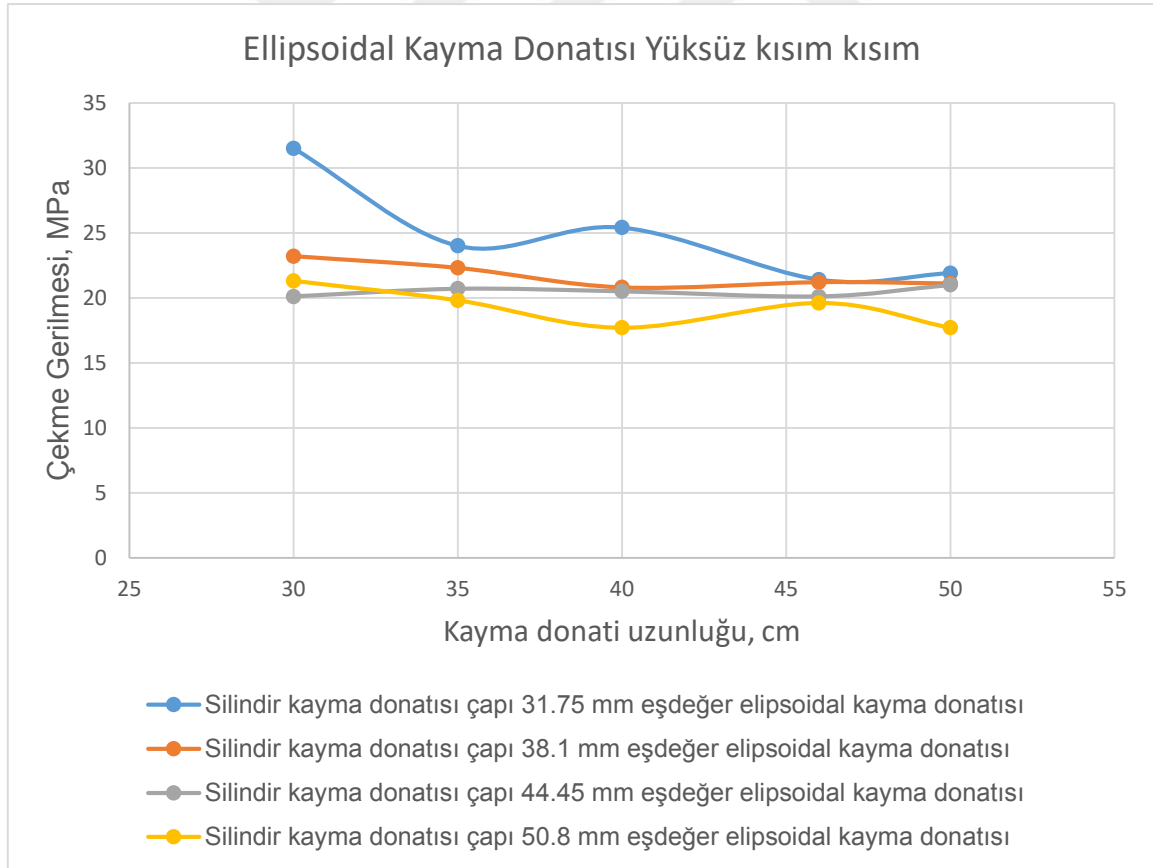
Şekil 4.43. Dairesel kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri, yüklü plaka



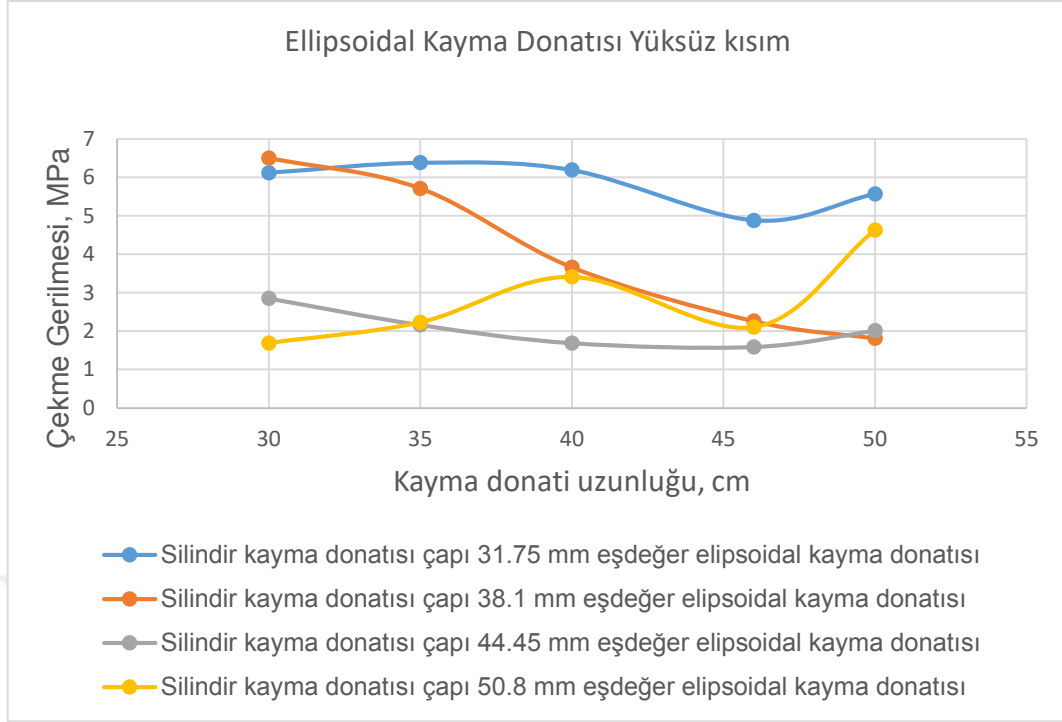
Şekil 4.44. Dairesel kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri, yüksüz plaka

4.4.16. Elipsoidal Kayma Donatısının Üstündeki Basınç Gerilmeleri

Şekil 4. 45 ve 46' e göre, elipsoidal kayma donatısı ana ekseninin, elipsoidal kayma donatısının üst kısmındaki temas ettiği betonda yüzeyinde oluşan basınç gerilmesi üzerinde etkisi olduğu açıkça gösterilebilir. Elipsoidal kayma donatısının ana eksen uzunluğunun 43,01 cm'den 10,08 cm düşmesi durumunda çekme gerilmesinde % 43,75 azalma sağlanmıştır. Elipsoidal kayma donatısının üstündeki oluşan basınç gerilme değerleri (30-17 MPa) silindir kayma donatılarının (41-15 MPa) yaklaşık % 26.83 daha az olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni elipsoidal kayma donatı gerilmelerin yüzeye dağılması için daha fazla alan sağlamasıdır. Benzer durum dairesel kayma donatıları için de geçerlidir. Elipsoidal kayma donatısı ana eksen uzunluğunun artmasıyla donatının sol ve sağ tarafındaki basınç gerilmelerinde bir azalmanın olmadığını ve silindir kayma donatısında olduğu gib net bir şekilde söylemek zor. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 9 - 12. de gösterilmiştir.



Şekil 4.45. Ellipsoidal kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri, yüklü plaka



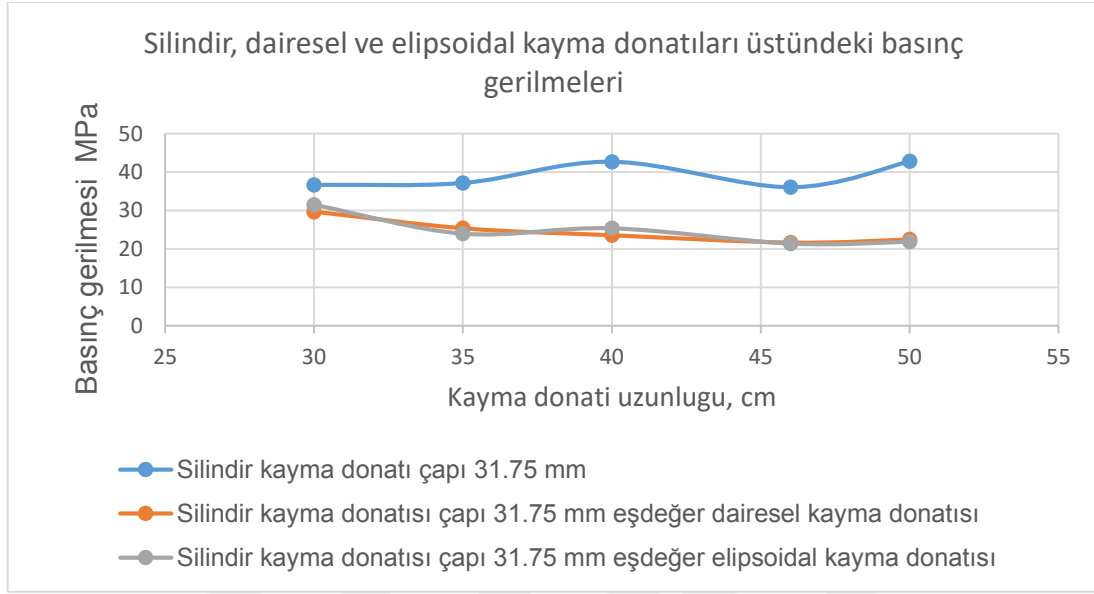
Şekil 4.46. Elipsoidal kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri, yüksüz plaka

4.4.17. Kayma Donatıları Üstündeki Basınç Gerilmeleri Mukayesesi

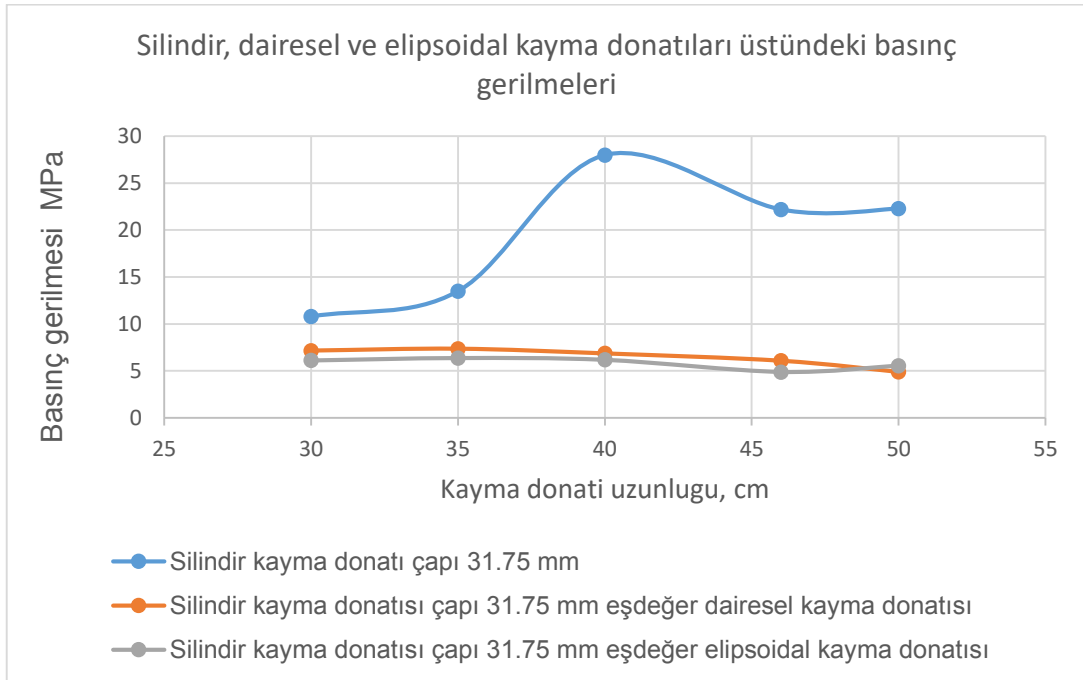
Şekil 4.47 ila 4.54 üç modelin kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri göstermektedir. İncelenen tüm silindir kayma donatı çapları (31,75 ila 50,8 mm) ve eşdeğer dairesel, elipsoidal kayma donatıların üstündeki basınç gerilmeleri değerlerini yüklü ve yüksüz kısımlarda göstermektedir. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıların üstündeki basınç gerilmeleri benzer olup 32-18 MPa mertebelerindedir. Diğer yandan silindir kayma donatı üstündeki basınç gerilmeleri daha artar olup 42 -25 MPa değerlerinde mertebelerindedir. Bunun nedeni dairesel ve elipsoidal kayma donatısının kesit sebepler arasında olabilir geniş bir alana dağıtabileceği ve böylece kayma donatılarının betonla temas ettikleri yüzeylerde gerilmeleri azaltabileceğidir Bu anlamda dairesel ve elipsoidal kayma donatıların silindir kayma donatılara göre daha avantajlı oldukları açıktır. Detaylı bilgiler EK 7. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir

Jiri Grosek vd. (2019), 26 mm çap ve 50 cm uzunluk için kayma donatısı etrafındaki basınç gerilmeleri 30,3 MPa olarak bulmuştur. Scott Murison vd. (2002), beton ve kayma donatısı arasındaki ara yüzey gerilimini incelemiş, 38 mm çapında iki tip çelik kayma donatısı ve 60 mm çapında elyaf takviyeli polimer (FRP) kullanmıştır. 38 mm çapındaki

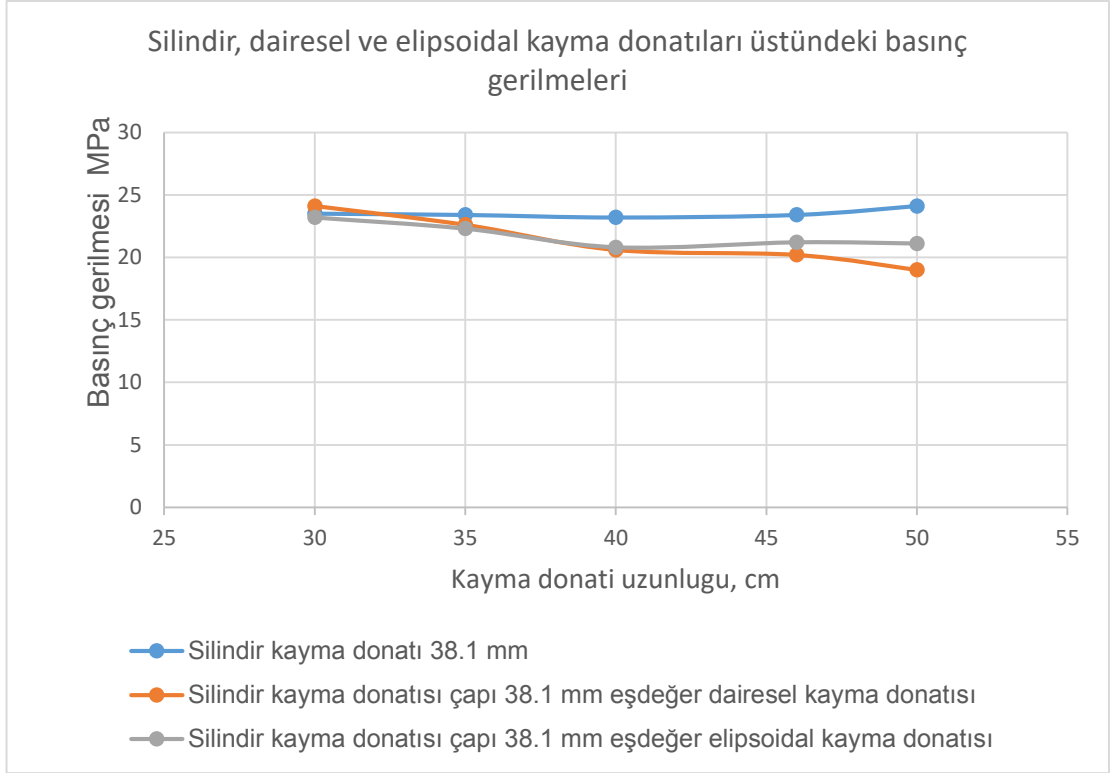
çelik kayma donatısı için maksimum yatak gerilimi 33,6 MPa ve 60 mm çap için 15 MPa olarak bulmuştur. 38 mm çapındaki fiber takviyeli polimer (FRP) kayma donatısı için, yatak gerilimi 55.1MPa ve 60 mm çap için 24,9 MPa olarak bulmuştur.



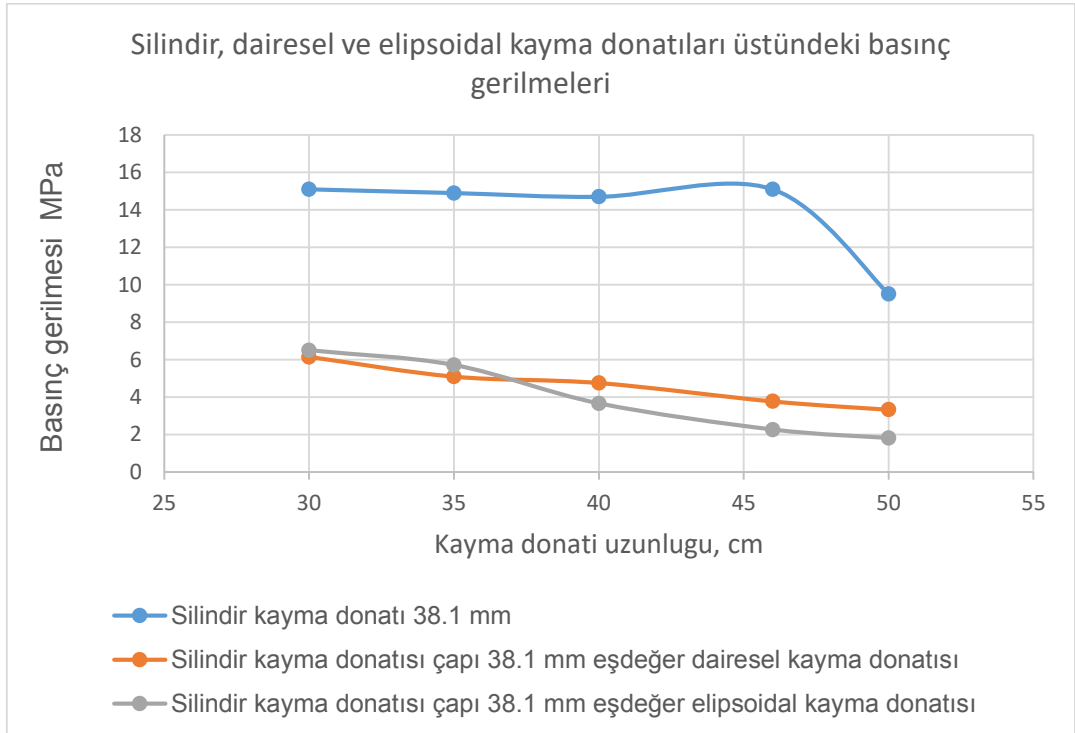
Şekil 4.47. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm), yüklü kısım



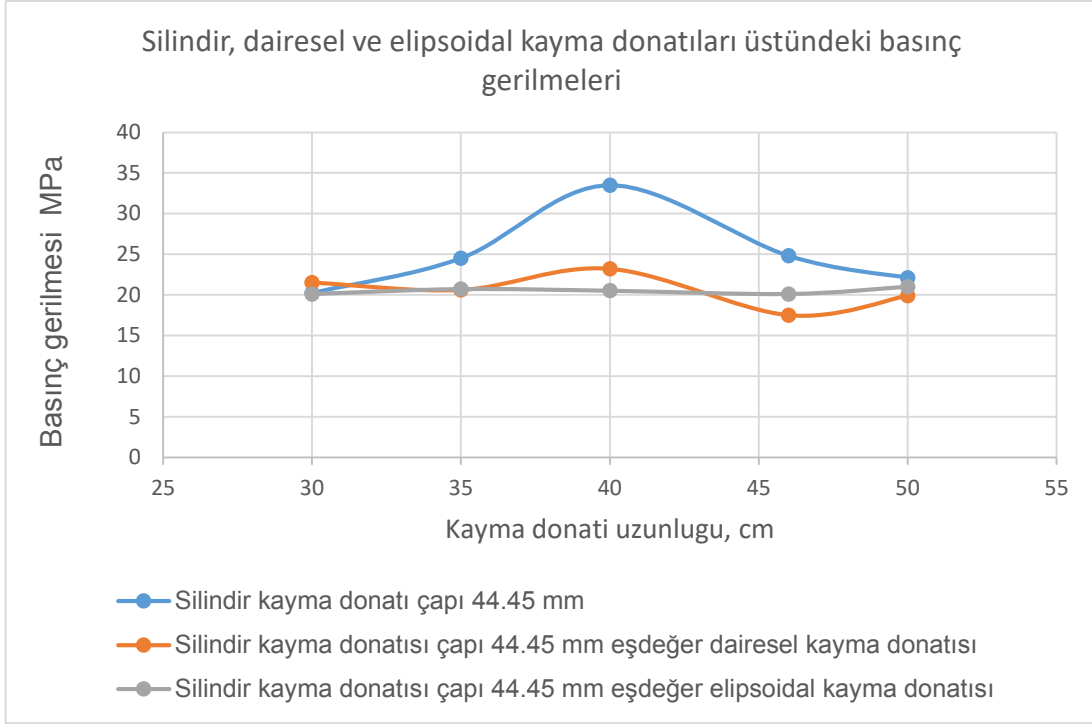
Şekil 4.48. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm) Yüksüz kısım



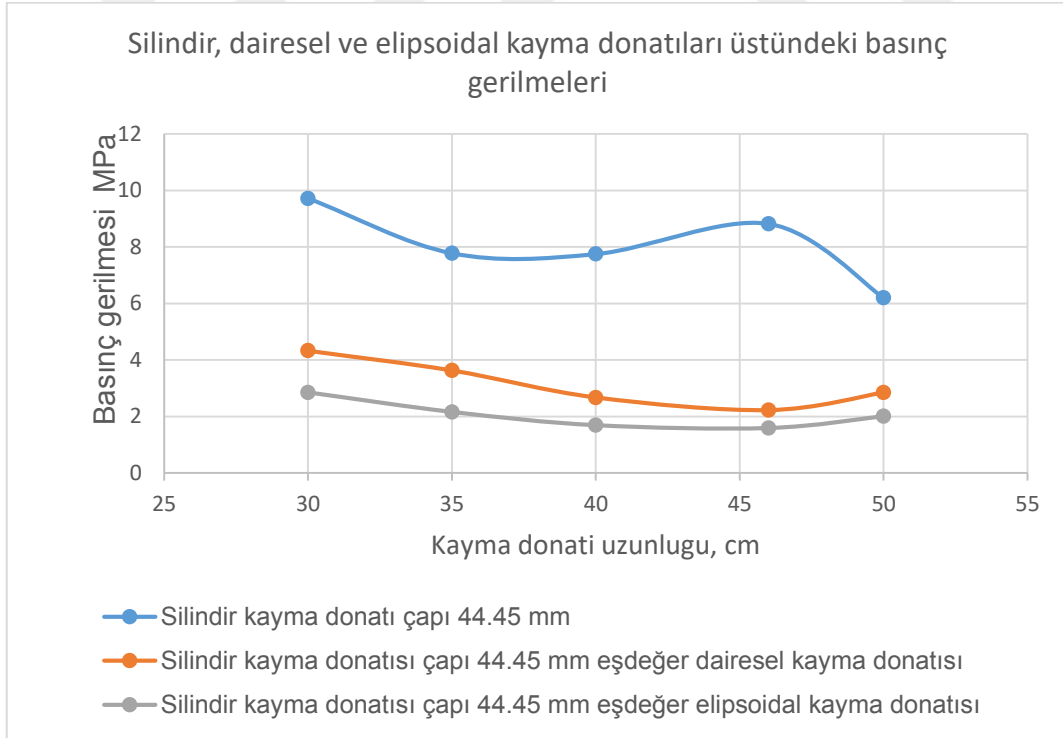
Şekil 4.49. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm) Yüklü kısım



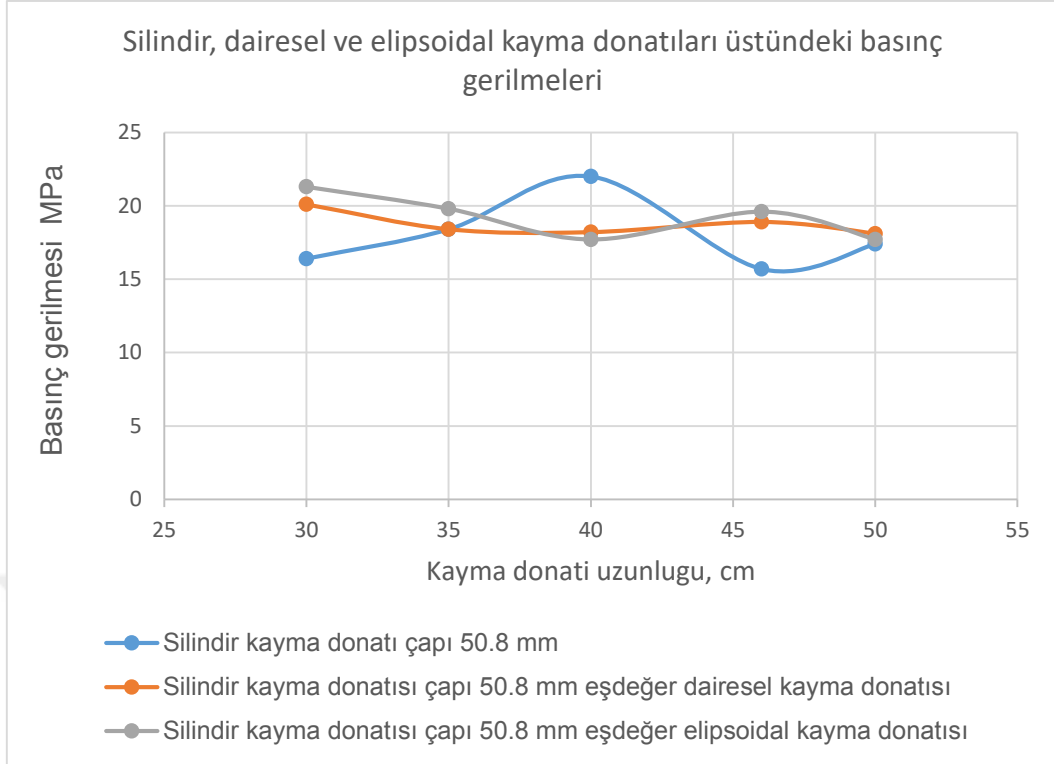
Şekil 4.50. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm) Yüksüz kısım



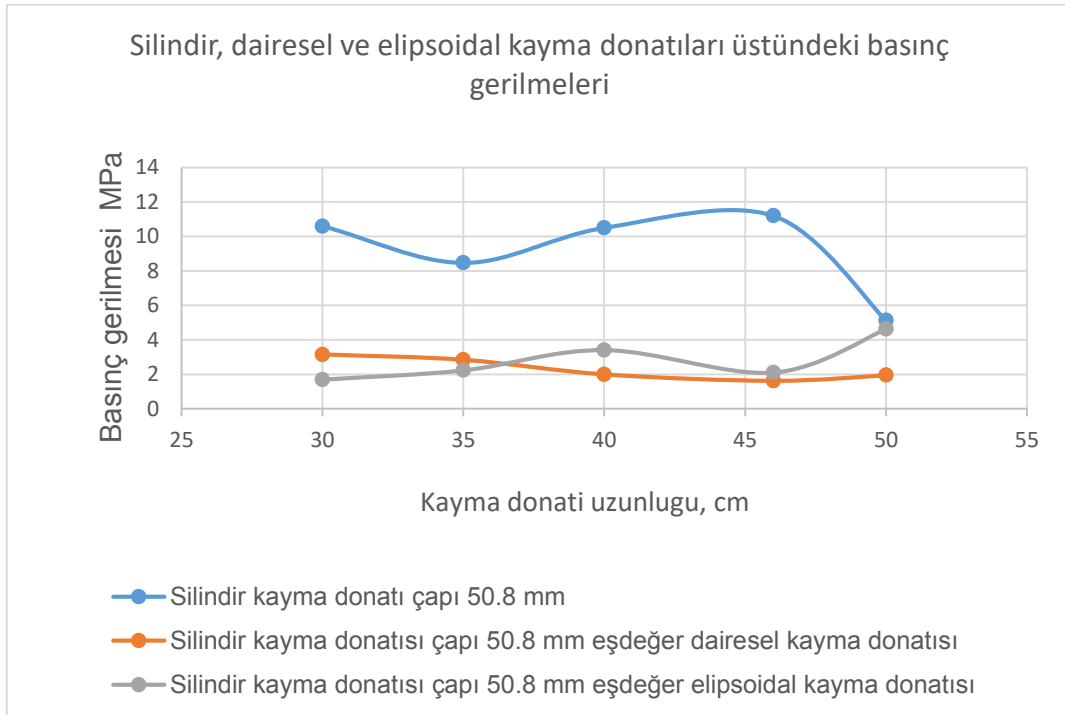
Şekil 4.51. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm), yüklü kısım



Şekil 4.52. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm), yüksüz kısım



Şekil 4.53. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50.8 mm), yüklü kısım

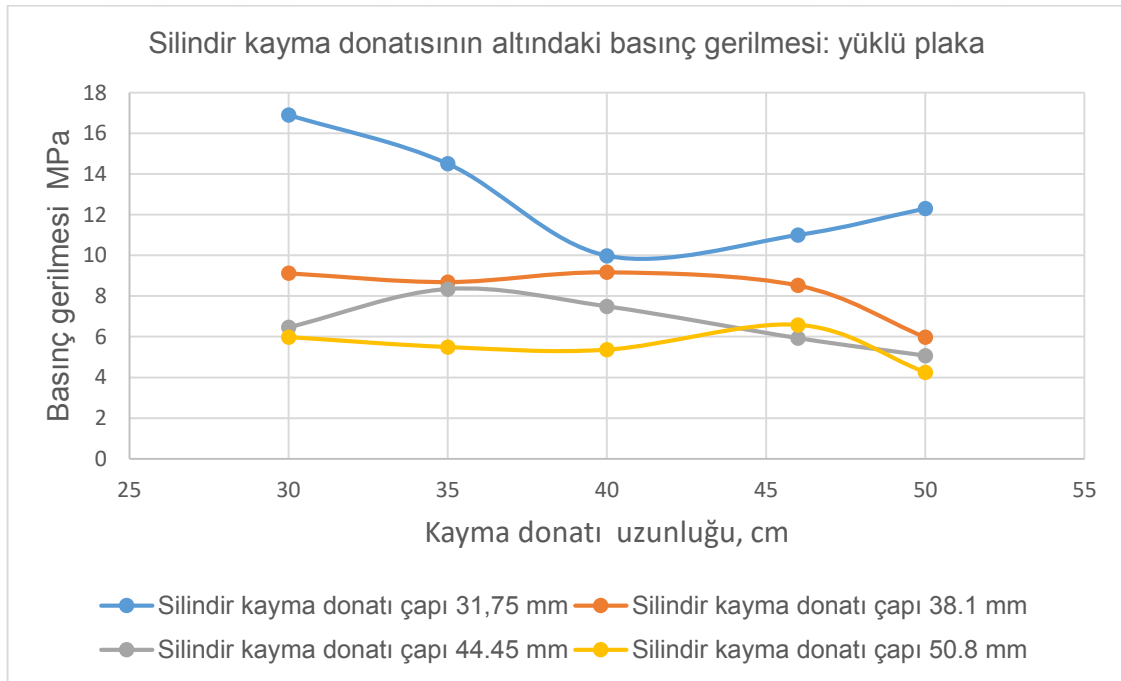


Şekil 4.54. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50.8 mm), yüksüz kısım

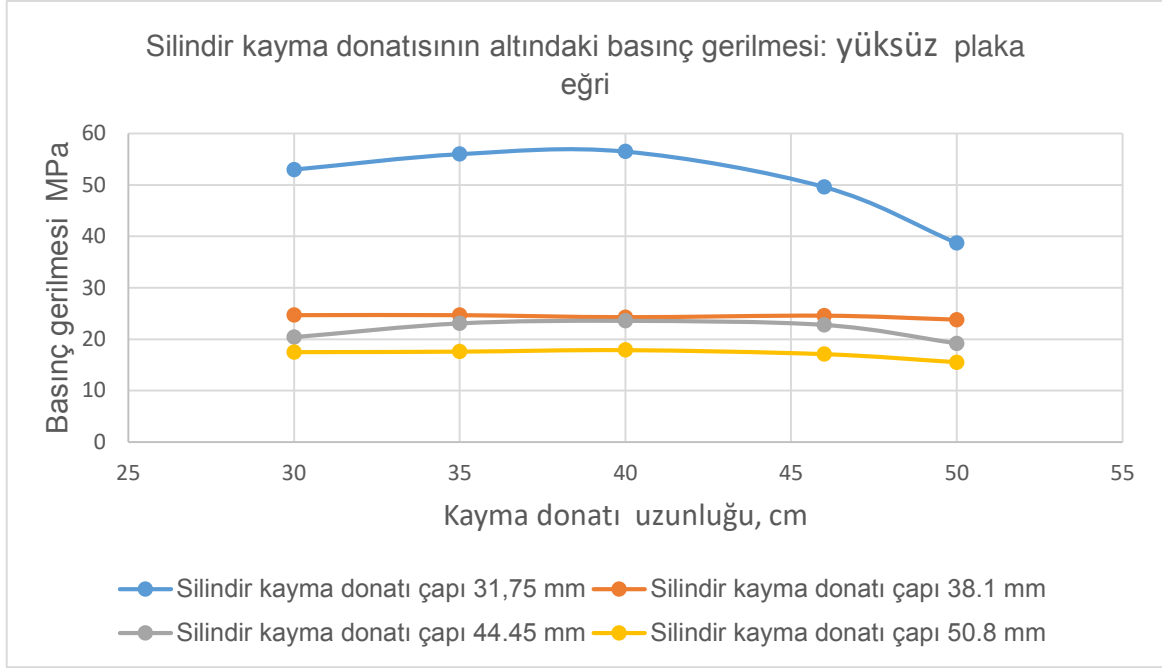
4.4.18. Silindir Kayma Donatısının Altındaki Basınç Gerilmeleri

Şekil 4.55 ve 56'ya göre, silindir kayma donatısının uzunluğunun donatı altında oluşan basınç gerilme değerleri üzerinde etkili olmadığı gözükmemektedir. 50,8 mm çapının, silindir kayma donatılar altı çevresindeki betondaki basınç gerilmesinde 31,75 mm çapındaki silindir kayma donatılar göre %76,47 azalma sağladığı görülmüştür. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 1 - 4'te gösterilmiştir. Altındaki Basınç Gerilmeleri 17 MPa dan 4 MPa düşmüştür. Bunun nedeni, kayma donatılar artan çapı nedeniyle çok daha yüksek bükülme sertliği nedeniyle için, ya da önceki bölümde görülen düşey yer değiştirmedeki azalma olabilir, kayma donatılarının altındaki basınç gerilmeleri karşılaştırıldığında, plakanın yüklü olan kısmındaki basınç değerleri yüklü olmayan kısmına göre çok düşük (1/3) olduğu görülmektedir. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir

Chichun Hu vd. 2016 (33), 28 mm, 30 mm, 32 mm, 35 mm, 38 mm için kayma donatısı üst kısmındaki betondaki gerilmeleri sırasıyla 3,72 MPa, 3,66 MPa, 3,55 MPa, 3,50 MPa, 3,44 MPa olarak bulmuştur. Detaylı bilgiler EK. 2. Tablo.1- 4 akadar ve EK. 8. Şekil. 6. ve 7.



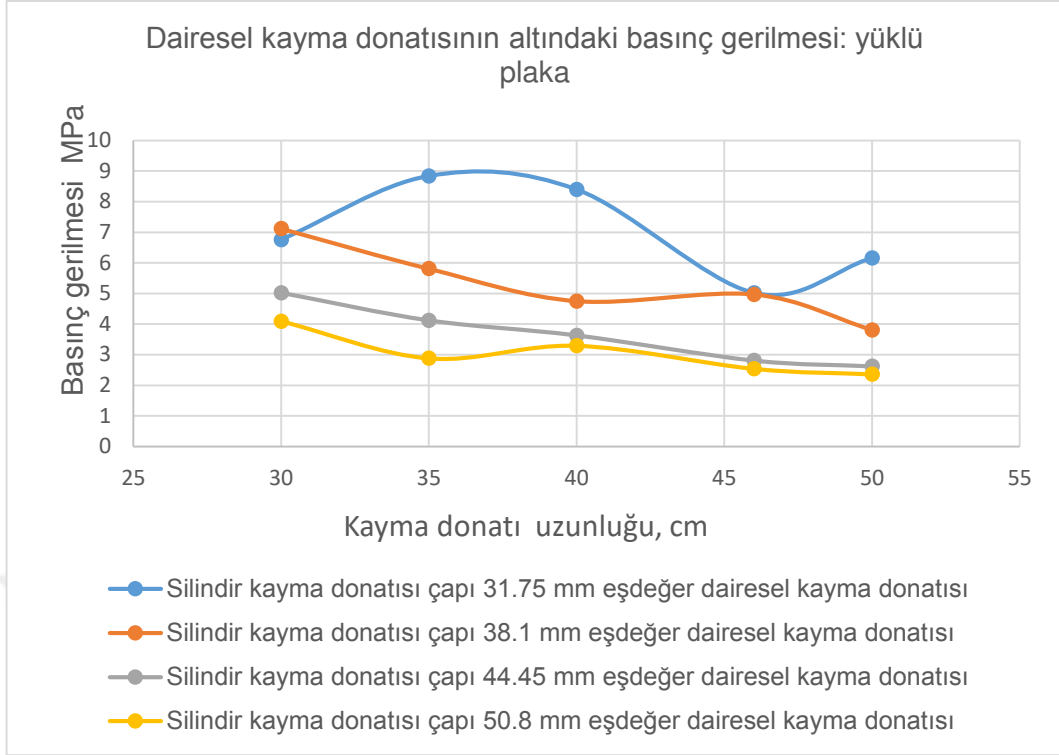
Şekil 4.55. Silindir kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüklü plaka



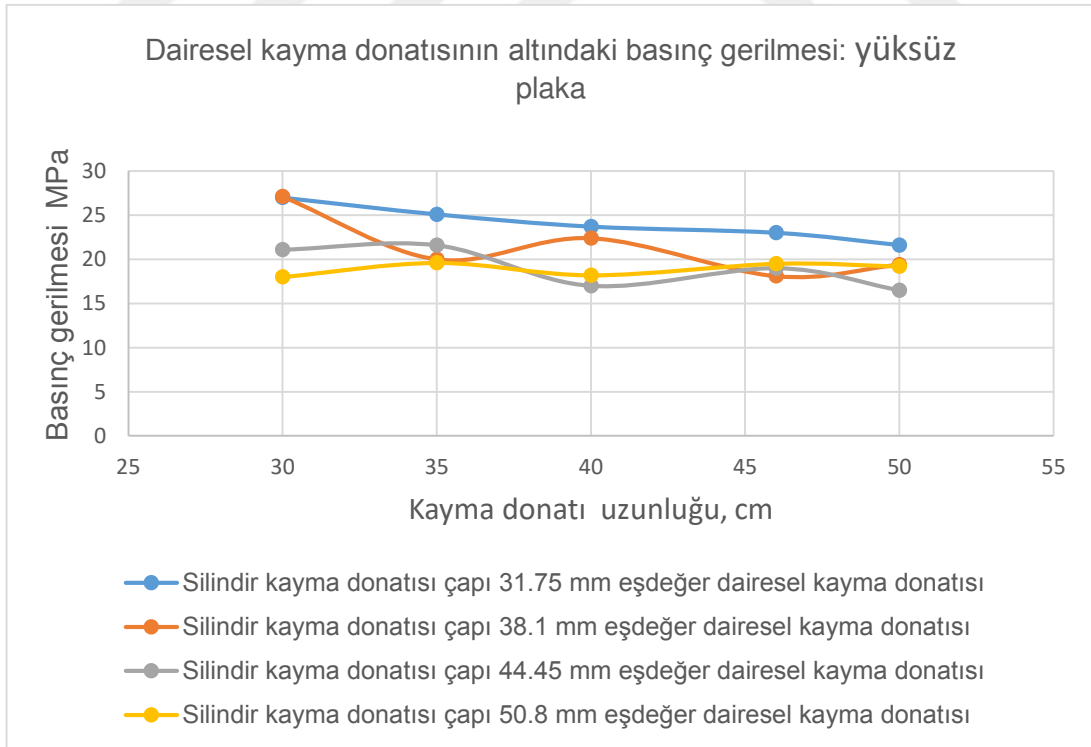
Şekil 4.56. Silindir kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüksüz plaka

4.4.19. Dairesel Kayma Donatı Donatısının Altındaki Basınç Gerilmeleri

Şekil 4.57 ve 58'e göre, dairesel kayma donatısı çapının, dairesel kayma donatısı tabanı etrafındaki betondaki basınç gerilmesi üzerinde etkisi olduğu açıkça gösterilebilir. 22,72 cm'lik dairesel kayma donatısı çapın, 11 cm çapa göre çekme geriliminde % 70'lik bir azalma sağlar. Dairesel kayma donatısının üstündeki oluşan basınç gerilme değerleri 9 - 2.5 MPa silindir kayma donatılarınınkinden 17-4 MPa yaklaşık % 50 daha az olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni dairesel kayma donatısının kesit sebepleri arasında olabilir geniş bir alana dağıtabileceği ve böylece kayma donatılarının betonla temas ettikleri yüzeylerde gerilmeleri azaltabileceğidir. Benzer durum ellipsoidal kayma donatıları için de geçerlidir. Silindir kayma donatısında olduğu gibi dairesel kayma donatısı çapının artmasıyla donatının sol ve sağ tarafındaki basınç gerilmelerinde bir azalmanın olmadığı görülmektedir. Dairesel kayma donatısının çapının artırılmasının basınç gerilmeleri üzerindeki etkinliği silindir kayma donatısında olduğu gibi net değildir. Detaylı bilgiler EK. 2. Tablo. 5- 8 akadar ve EK. 8. Şekil. 13.ve 14 gösterilmiştir dairesel Kayma donatı altındaki basınç gerilmeleri. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 5 - 8'de gösterilmiştir



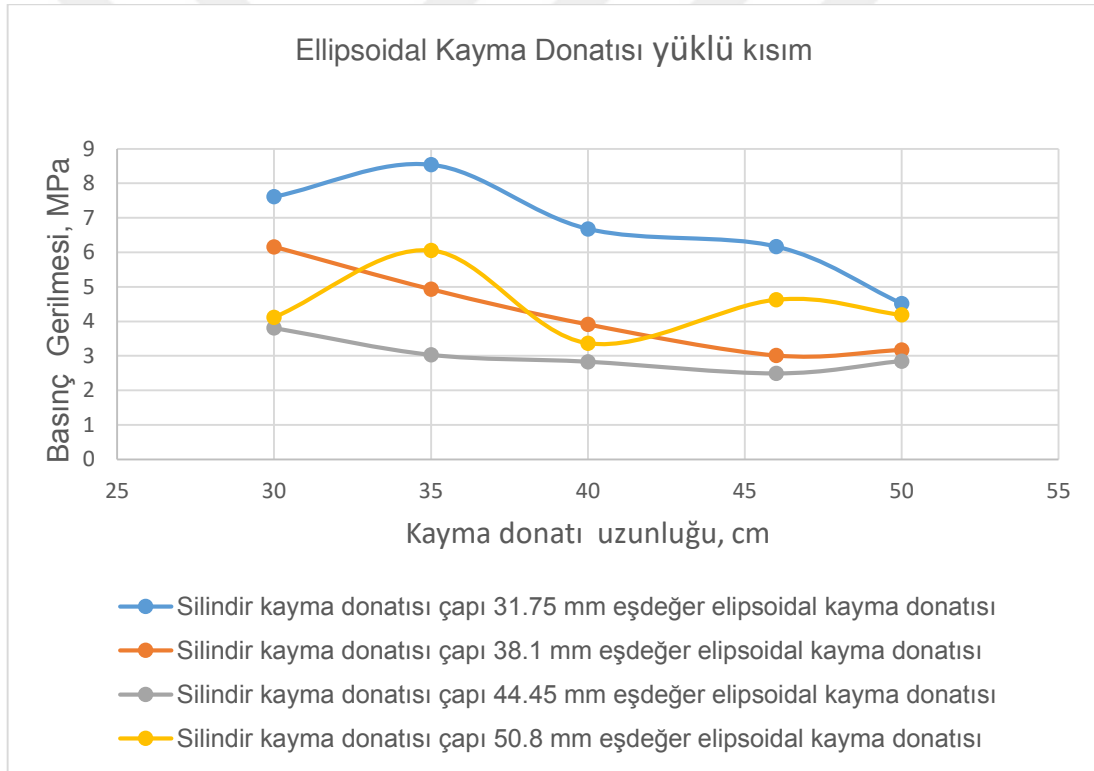
Şekil 4.57. Dairesel kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüklü plaka



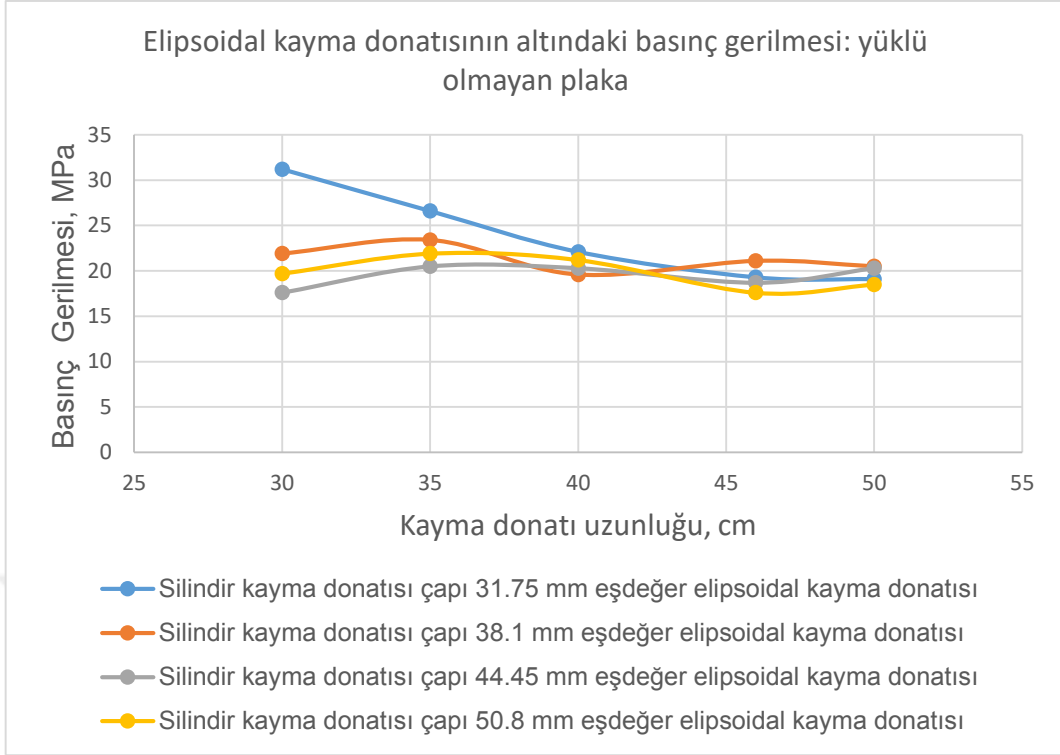
Şekil 4.58. Dairesel kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüksüz plaka

4.4.20. Elipsoidal Kayma Donatısının Altındaki Basınç Gerilmeleri

Şekil 4.59 ve 4.60'a göre, elipsoidal kayma donatısı ana eksenlerinin, altındaki betondaki basınç gerilmesi üzerinde bir etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir. Elipsoidal kayma donatısının altındaki oluşan basınç gerilme değerleri 8,4-2,3 MPa silindir kayma donatılarınınkinden 17-4 MPa yaklaşık % 50 daha az olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni elipsoidal kayma donatı gerilimlerin yüzeye dağılması için daha fazla alan sağlar. Elipsoidal kayma donatısı ana eksen artmasıyla donatının sol ve sağ tarafındaki basınç gerilmelerinde bir azalmanın olmadığını silindir kayma donatısında olduğu gib net bir şekilde söylemek zor. Detaylı bilgiler EK 3. Tablo. 9 - 12'de gösterilmiştir



Şekil 4.59. Elipsoidal kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüklü plaka

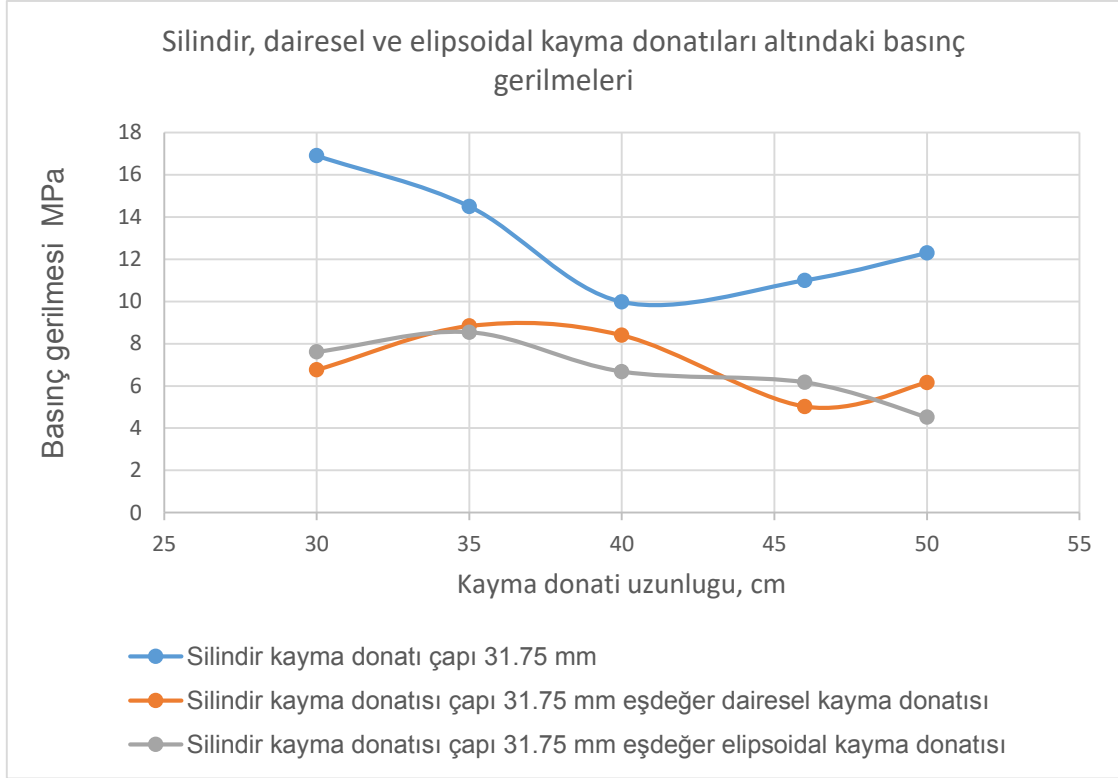


Şekil 4.60. Elipsoidal kayma donatısının altındaki basınç gerilmesi, yüksüz plaka

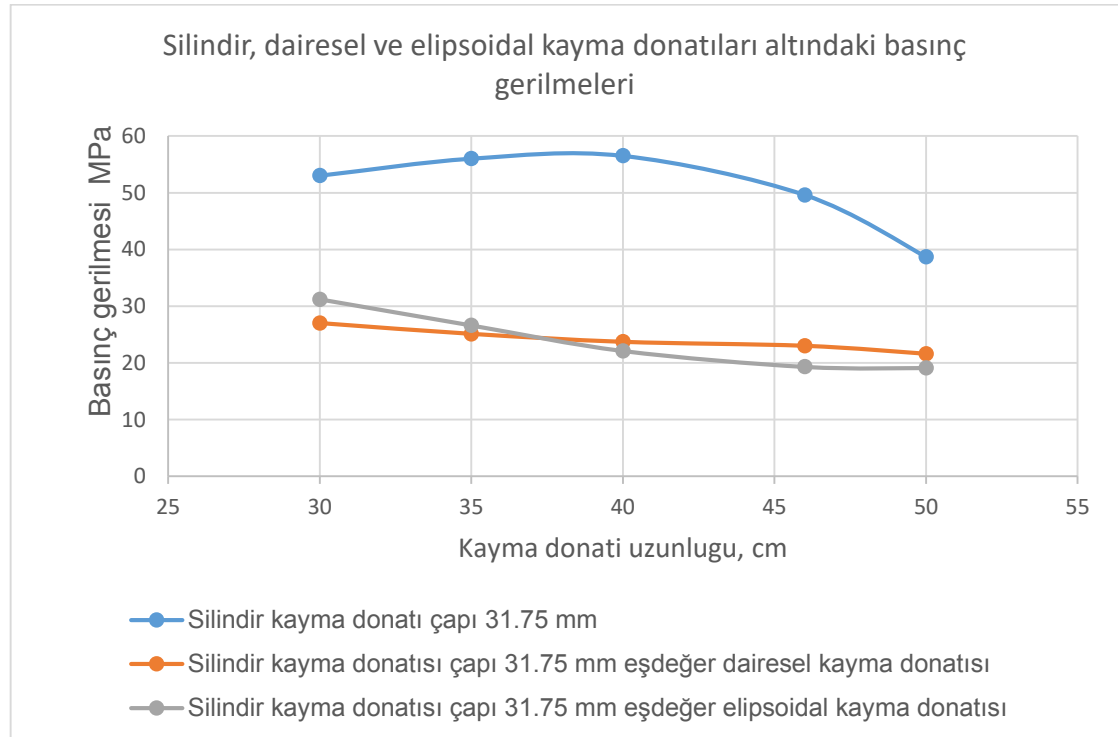
4.4.21. Kayma Donatıları Altındaki Basınç Gerilmeleri Mukayesesi

Şekil 4.47 ila 4.54 üç modelin kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri göstermektedir. İncelenen tüm silindir kayma donatı çapları (31,75 ila 50,8 mm) ve eşdeğer dairesel, elipsoidal kayma donatılarının altındaki basınç gerilmeleri değerlerini yüklü ve yüksüz kısımlarda göstermektedir. Dairesel ve elipsoidal kayma donatılarının üstündeki basınç gerilmeleri benzer olup 30-15 MPa mertebelerindedir. Diğer yandan silindir kayma donatı üstündeki basınç gerilmeleri daha artar olup 58 -25 MPa değerlerinde mertebelerindedir. Bunun nedeni dairesel ve elipsoidal kayma donatısının kesit sebepler arasında olabilir geniş bir alana dağıtabileceği ve böylece kayma donatılarının betonla temas ettikleri yüzeylerde gerilmeleri azaltabileceğidir Bu anlamda dairesel ve elipsoidal kayma donatılarının silindir kayma donatılara göre daha avantajlı oldukları açıktır. Detaylı bilgiler EK 8. Tablo. 1 - 4. de gösterilmiştir

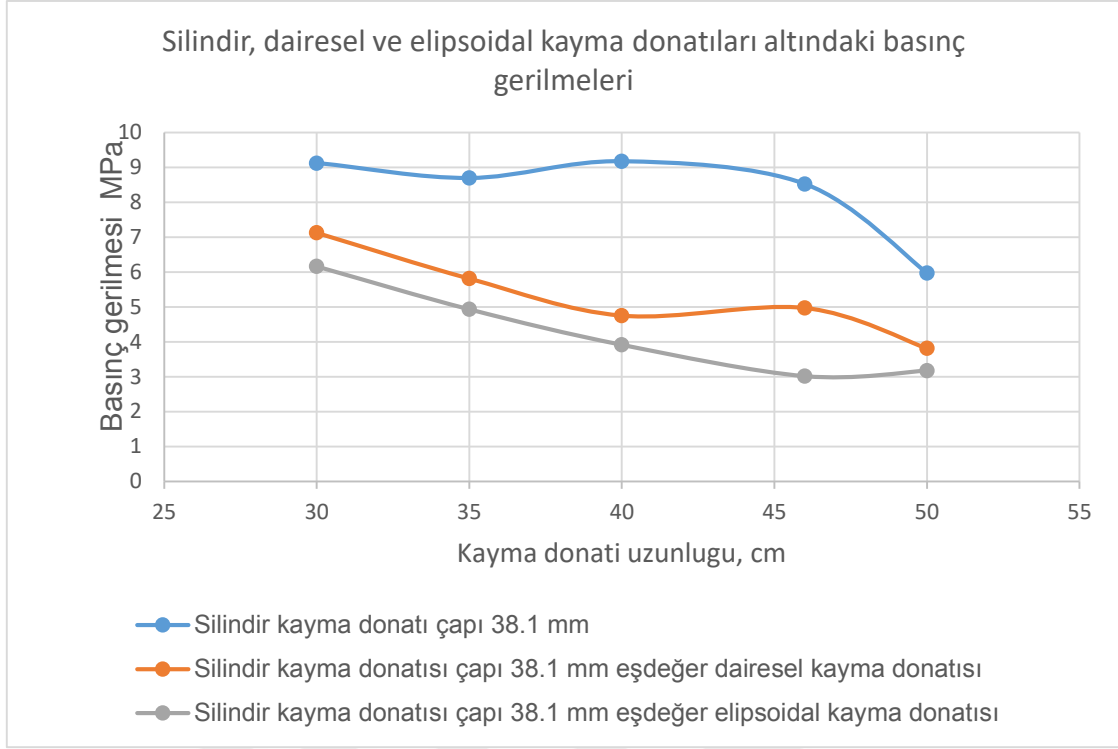
Genel olarak dairesel ve elipsoidal kayma donatılarının basınç gerilmelerinin benzer olup 35-22 MPa mertebelerindedir fakat silindir kayma donatılarındaki değerlerden düşük oldukları tespit edilmiştir 21 -8 MPa değerlerinde mertebelerindedir.



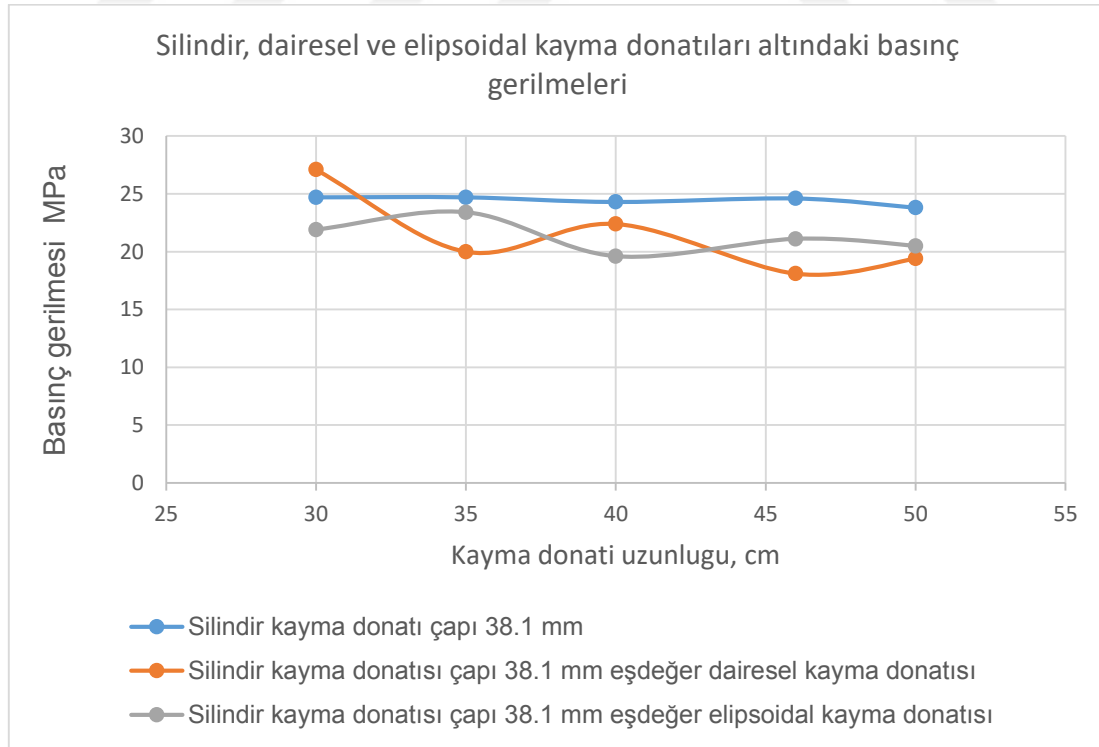
Şekil 4.61. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm), yüklü kısım



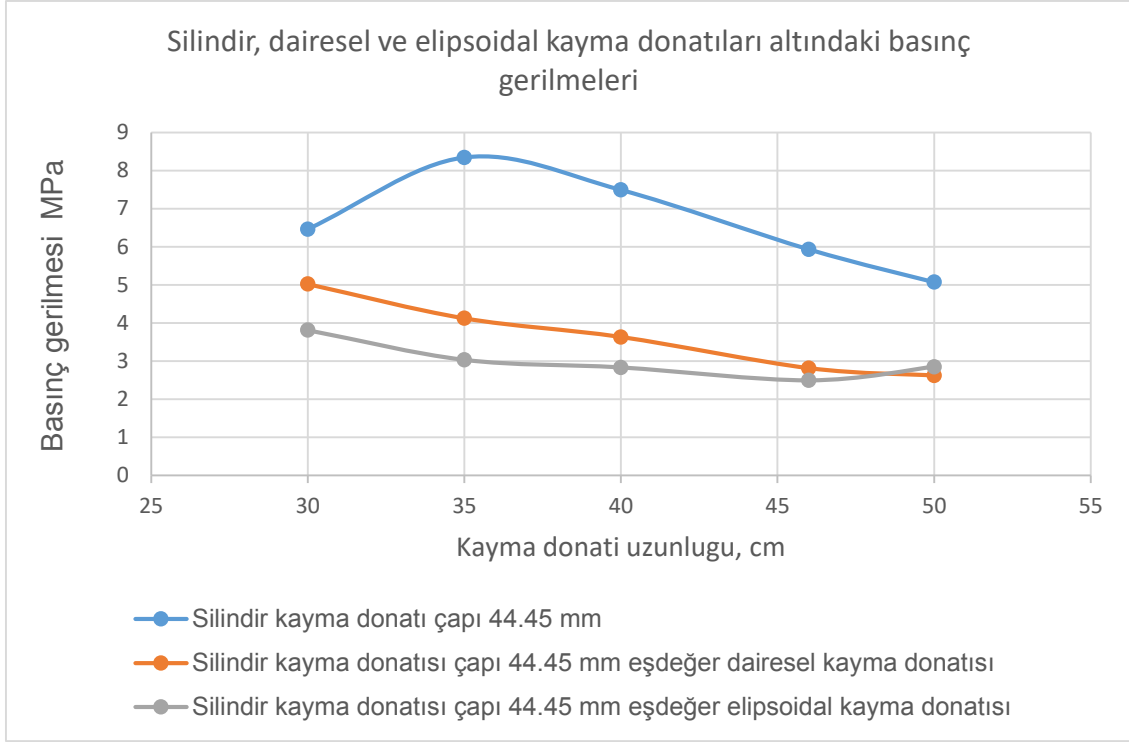
Şekil 4.62. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 31.75 mm), yüksüz kısım



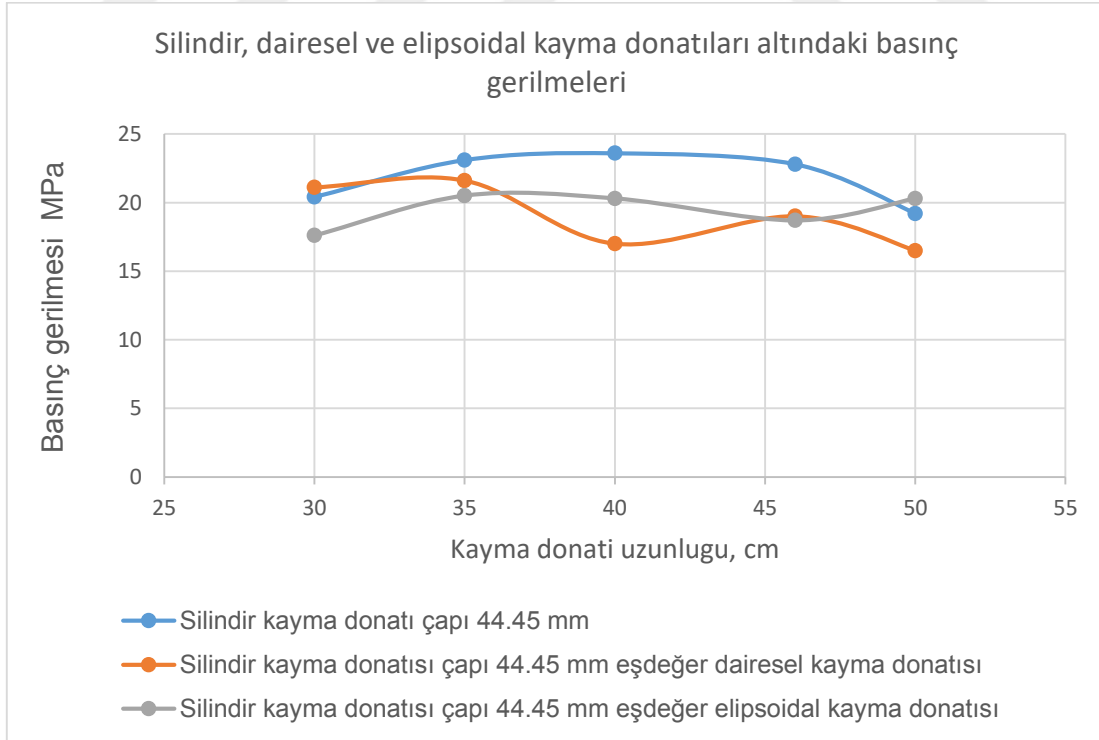
Şekil 4.63. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm), yüklü kısım



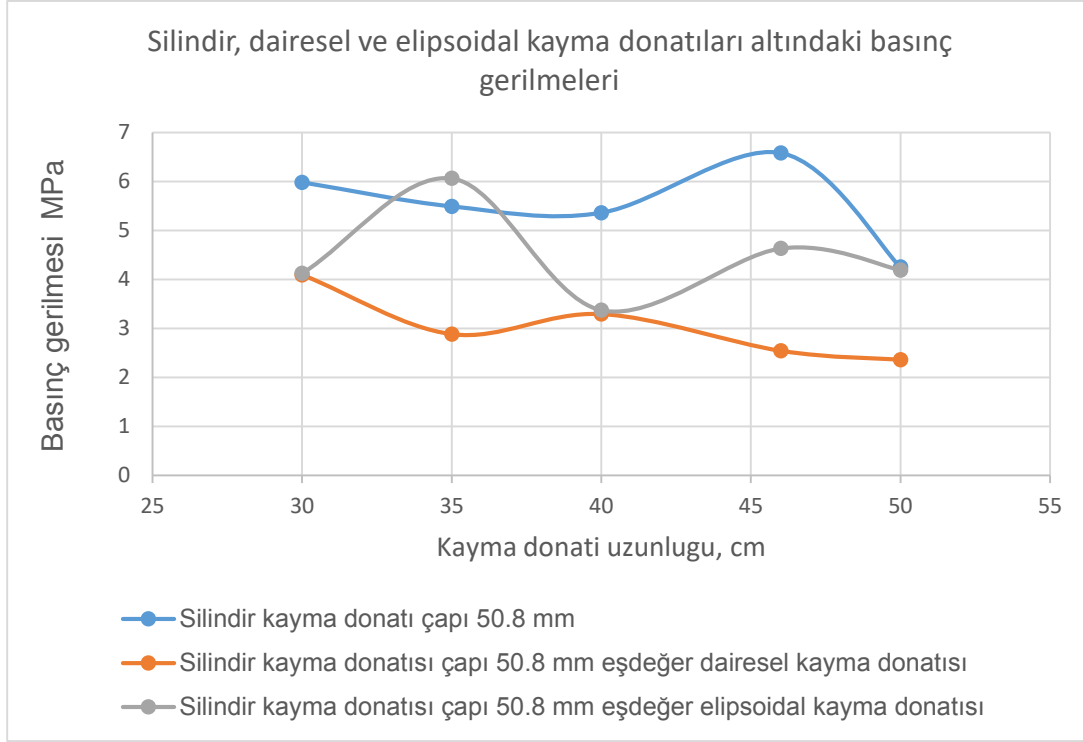
Şekil 4.64. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 38,1 mm), yüksüz kısım



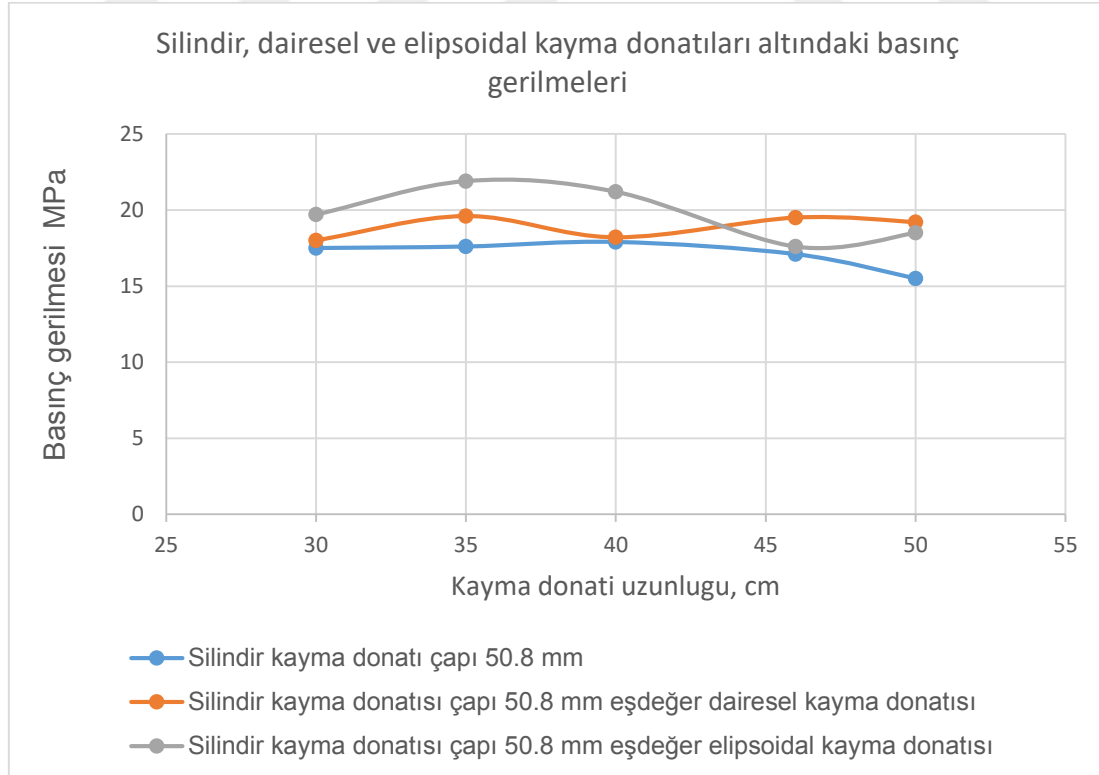
Şekil 4.65. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm), yüklü kısım



Şekil 4.66. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 44.45 mm), yüksüz kısım



Şekil 4.67. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50,8 mm) yüklü kısım



Şekil 4.68. Dairesel ve elipsoidal kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri (eşdeğer Silindir kayma donatıları çapı 50,8 mm), yüksüz kısım

4.4.22. Test Sonuçların Tablo Halinde Özeti

4.4.22.1. Kayma Donatılarının % LTE, Çekme Gerilmesi ve Basınç Gerilmeleri Toplu Sonuçları

Çalışmada kullanılan kayma donatılarının % LTE değerleri, Tablo 4.6.-4.8 arasında gösterilmiştir. Donatı kenarlarında çekme gerilmeleri toplu sonuçları ise Tablo 4.9 - 4. 11 arasında gösterilmiştir. Donatı üst ve altındaki basınç gerilmeleri toplu sonuçları da Tablo 4.12 – 4.17 arasında gösterilmiştir.

4.4.22.2. % LTE Mukayesesi

- Federal havacılık idaresi'nin FAA hava sahası rijit kaplama kalınlığı tasarım prosedürleri %70-90 LTE (δ) önermekte diğer yandan ACPA 1991 kaplama derzlerinde %75 LTE değerini önermektedir. AASHTO LTE 70 ila 100 arasında yük-aktarım verimliliğini tavsiye etmektedir. Çalışmada her 3 kayma donatısının LTE değerleri sağladığı görülmektedir. LTE değerlerinin yüksek çıkması modelde ve deneysel çalışmada kullanılan beton kaplamasının 30 cm gibi bir kalınlıkta olması sebep gösterilebilir.
- 3 farklı kayma donatılarının max ve min. LTE değerleri arasındaki farkların ciddi olmadığı görülmektedir.
- Dairesel ve elipsoidal kayma donatılarının çaplarının artırılmasının % LTE değerleri üzerinde etkilerinin olmadığı görülmektedir.
- Silindirik kayma donatılarının çaplarının artırılmasının LTE değerlerine kısmen olumlu yönde etkisinin olduğu görülmektedir.
- Tablo 4.6' deki sonuçları, 30 ile 50 cm arasındaki uzunluk değişiminin, 31.75 ile 50.8 arasında değişen çaplardaki silindirik kayma donatısı üzerindeki LTE'ye etkisinin olmadığını açıkça göstermektedir. Öte yandan çapın 31,75 den 50,8 artmasının LTE'yi % 5,12 artırdığı görülmektedir.
- Tablo 4.7'te yer alan 2,5 cm kalınlığında daireli kayma donatısı çapın 11 den 22,72 cm artırılması durumunda LTE' değeri %1,66 artmıştır. Aynı şekilde Tablo 4.8'e göre 2.5 cm kalınlığında elipsoidal kayma donatısının ana eksen'in 10.1 den 43 cm çıkarılması durumunda LTE değerlerinde %0.74 oranında artış sağlanmıştır.

Sonuç olarak çalışmada kullanılan kayma donatılarının istenen standartlardaki LTE değerleri sağladıkları çalışmada belirlenen boyut artışlarının LTE değerleri üzerinde belirgin farklılıklar göstermeyeceği anlaşılmıştır. Silindir kayma donatılarının eşdeğer dairesel ve elipsoidal kayma donatılarına göre kısmen daha iyi bir performans sergileyeceği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.6. Silindir kayma donatısı çapının ve uzunluğu-LTE

Silindir kayma donatısı					
Çap cm		31.75	38.1	44.45	50.8
Uzunluk cm		30,35,40,46,50	30,35,40,46,50	30,35,40,46,50	30,35,40,46,50
LTE, %	Maksimum	87.07	89.48	90.8	91.64
	Minimum	86.93	89.31	90.47	91.46

Tablo 4.7. Dairesel kayma donatısı çapı - LTE

Dairesel kayma donatısı, $t=2.5$ cm					
Çap, cm		11- 14.2	13.2- 17	15.4 - 19.88	17.6- 22.72
Kalınlık, cm			2.5	2.5	2.5
LTE%	Maksimum	91.24	91.99	92	92
	Minimum	90.66	91.24	91.99	91.69

Tablo 4.8. Elipsoidal kayma donatısı ana eksen, küçük eksen ve kalınlığı (2.5 cm) - LTE

Elipsoidal kayma donatısı, $t=2.5$ cm					
Ana eksen, cm		10.1- 16.8	14.5- 24.2	19.8- 32.9	25.8- 43
Küçük eksen, cm		12	12	12	12
Kalınlık, cm		2.5	2.5	2.5	2.5
LTE%	Maksimum	91.26	91.55	91.55	91.55
	Minimum	90.81	91.26	91.4	91.27

4.4.22.3. Çekme Gerilmelerin Mukayesesi

- 3 farklı kayma donatılarının yanlarında oluşan max ve min. çekme gerilmeleri arasında ciddi farkların olmadığı görülmektedir.
- Silindir kayma donatılarının kenarlarında oluşan çekme gerilmelerinin dairesel ve elipsoidal kayma donatılarının kenarlarında oluşan çekme gerilmelerine göre en az

%50 daha az olduğu anlaşılmaktadır. Bu anlamda silindir kayma donatılarının elipsoidal ve dairesel kayma donatılarına göre betonunu çatlamaması açısından daha avantajlı olacağı açıktır.

- Silindir kayma donatılarının çaplarının artırılması durumunda çekme gerilmelerinin %60 azaldığı görülmektedir.
- Dairesel ve elipsoidal kayma donatılarının çaplarını artırılması durumunda % 35-40 mertebelerinde kayma donatılarının kenarlarındaki çekme gerilme değerlerinde azalmalar sağlanabilir.

Tablo 4.9. Silindir kayma donatısı kenarlarında çekme gerilmeleri

Silindir kayma donatısı					
Çapı cm		31.75	38.1	44.45	50.8
Uzunluk, cm		30,35,40,46,50	30,35,40,46,50	30,35,40,46,50	30,35,40,46,50
Silindir kayma donatı kenarlarında çekme gerilmeleri	Maksimum MPa	19.7	13.2	10.7	8.54
	Minimum MPa	18.8	11.8	9.26	7.61

Tablo 4.10. Dairesel kayma donatısı kenarlarında çekme gerilmeleri

Dairesel kayma donatısı, $t=2.5$ cm					
Kalınlık cm		12	12	12	12
Çapı cm		11- 14.2	13.2- 17	15.4- 19.88	17.6- 22.72
Dairesel Kayma donatı kenarlarında çekme gerilmeleri	Maksimum MPa	34.8	32.1	30.5	27.3
	Minimum MPa	26.1	22.3	26.4	24.6

Tablo 4.11. Elipsoidal kayma donatısı kenarlarında çekme gerilmeleri

Elipsoidal kayma donatısı, $t=2.5$ cm					
Ana eksen, cm		10.1- 16.8	14.5- 24.2	19.8- 32.9	25.8- 43
Kalınlık, cm		2.5	2.5	2.5	2.5
Küçük eksen, cm		12	12	12	12
Elipsoidal kayma donatı kenarlarında çekme gerilmeleri	Maksimum MPa	32.9	32.8	30.5	29.4
	Minimum MPa	31.4	29.3	28.3	22.8

4.4.22.4. Basınç Gerilmelerin Mukayesesi

- 3 farklı kayma donatılarının yanlarında oluşan max ve min. basınç gerilme değerleri arasında yarı yarıya farkların olduğu görülmüştür. Max. basınç gerilme değerlerinin hepsi demir ve beton mukavemet değerlerinin altında olduğu açıktır.
- Genel anlamda her 3 kayma donatısının çevresinde oluşabilecek basınç gerilme değerlerinin birbirlerine yakın olduğu söylenebilir.
- Her 3 kayma donatısının boyutlarını artırılması durumunda basınç donatı etrafındaki basınç gerilmelerinin yaklaşık olarak %50 azalacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 4.12. Silindirik kayma donatısı üstündeki basınç gerilmeleri

Silindirik kayma donatısı					
Çapı cm		31.75	38.1	44.45	50.8
Uzunluk cm		30-50	30-50	30-50	30-50
Silindirik kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri	Maksimum MPa	42.8	24.1	33.5	18.4
	Minimum MPa	36.1	23.2	20.2	15.7

Tablo 4.13. Dairesel kayma donatısı üstündeki basınç gerilmeleri

Dairesel kayma donatısı					
Kalınlığı cm		2.5	2.5	2.5	2.5
Çapı cm		11- 14.2	13.2- 17	15.4- 19.88	17.6- 22.72
Dairesel Kayma Donatı donatısının üstündeki basınç gerilmeleri	Maksimum MPa	29.7	24.1	23.2	20.1
	Minimum MPa	21.7	19	17.5	18.1

Tablo 4.14. Elipsoidal kayma donatısı ana eksen, küçük eksen ve kalınlığı 2.5 cm - Kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri

Elipsoidal kayma donatısı					
Ana eksen cm		10.1- 16.8	14.5- 24.2	19.8- 32.9	25.8- 43
Kalınlığı cm		2.5	2.5	2.5	2.5
Küçük eksen cm		12	12	12	12
Elipsoidal Kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri	Maksimum MPa	31.5	23.2	21	21.3
	Minimum MPa	21.4	20.8	20.1	17.7

Tablo 4.15. Silindirik kayma donatısı çapının ve uzunluğu- kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri

Silindirik kayma donatısı					
Çapı cm		31.75	38.1	44.45	50.8
Uzunluk cm		30,35,40,46,50	30,35,40,46,50	30,35,40,46,50	30,35,40,46,50
Silindirik kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri	Maksimum MPa	16.9	9.17	8.34	6.58
	Minimum MPa	9.98	5.97	5.07	4.25

Tablo 4.16. Dairesel kayma donatısı çapının Kalınlığı 2.5 cm - Kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri

Dairesel kayma donatısı					
Kalınlığı cm		2.5	2.5	2.5	2.5
Çapı cm		11- 14.2	13.2- 17	15.4- 19.88	17.6- 22.72
Dairesel kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri	Maksimum MPa	8.84	7.12	5.02	4.09
	Minimum MPa	5.02	3.81	2.62	2.36

Tablo 4.17. Elipsoidal kayma donatısı ana eksen, küçük eksen ve kalınlığı 2.5 cm - Kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri

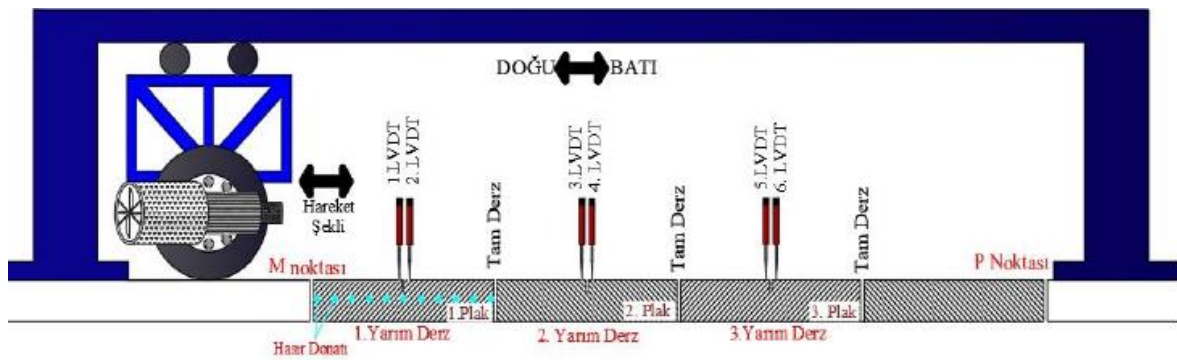
Elipsoidal kayma donatısı					
Ana eksen cm		10.1- 16.8	14.5- 24.2	19.8- 32.9	25.8- 43
Kalınlığı cm		2.5	2.5	2.5	2.5
Küçük eksen cm		12	12	12	12
Elipsoidal kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri	Maksimum MPa	8.54	6.16	3.81	6.06
	Minimum MPa	4.52	3.01	2.49	3.37

4.5. Hızlandırılmış Yol Test Sonuçları

Bu bölümde sunulan veriler, metodoloji bölümünde açıklanan hızlandırılmış yol test sisteminde yapılan uygulamalardan alınmıştır. Amaç, beton kaplamanın 3 derz bölgesini yorulma testine tabi tutularak derzin her iki tarafındaki düşey deplasman verileri (LVDT) alınmıştır. Test, günde ortalama 64 KN yükleme bazen 600 bazen de 1000 geçişle

tamamlandı. Testler toplamda 7 ay boyunca (pandemi süresince yapılmadı) 50.000 geçiş yüklemesi gerçekleştirildi.

Test başlangıç ve sonu derzlerde ölçülen düşey deplasman değerleri Tablo 4.18 da gösterilmektedir. Örnek lvdt okuma değerlerin detayları EK 10. Şekil 1. Kısımında gösterilmektedir. Tablo 4.18'e göre, derzlerde ölçülen maksimum düşey deplasman değerleri beton kaplamalarda özellikle köşe çatlamlara sebep olabilecek büyüklükte değildirler. Nitekim gözlemlerde plakların kenar kısımlarında herhangi ciddi çatlaklar gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte derzlerde artan yüklerle beraber derz çatlaklarında aşağıya doğru çatlakların ilerlediği gözlemiştir. Ölçülen LVDT sonuçlarına göre 2 ve 3 nolu derzlerde 0.0082 mm düşey yönde deplasmanlar elde edilmiş. 1 nolu derz de kısmen daha düşük değerler (0.0058) ölçülmüştür. Her 3 derz de ölçülen binde mertebesindeki deplasmanlar oldukça düşük çıkmıştır. Bunun başlıca sebebi beton kaplama kalınlığının 30 cm olması ve derzlerin kayma donatılarıyla güçlendirilmesidir. Test başlangıcında derzlerde ölçülen düşey deplasmanlar test sonunda ondalık (0.2 mm) mertebelerine ulaştırmıştır. Testlerin başı ile sonu arasında 0.06 mm fark olmuş fakat düşey deplasmanlardaki bu artış beton plakanın en kritik köşelerinde çatlamaya sebep olmamıştır. Bunun başlıca sebebi derz kesim yerin hemen altında oluşan ve gelişen ince çatlakların oluşmasıdır. Derz kesimlerin olmaması durumunda ağır taşıyıcı yüklerinin oluşturacağı düşey ve yatay gerilmelerin plaka köşelerinde oluşması beklenirdi. Bu anlamda beton plaklarda oluşabilecek ısı genleşmelerinin oluşturacağı gerilmeleri derz kesimleriyle rahatlatılmıştır.



Şekil 4.69. Yorulmaya tabii derzler ve LVDT konumları [85]

Tablo 4.18. Test başlangıç ve sonu derzlerde ölçülen deplasmanlar

Derz	LVDT	Test başlangıcı			Test sonu		
		Max. deplasman (mm)	Min. Deplasman (mm)	Fark (mm)	Max. deplasman (mm)	Min. Deplasman (mm)	Fark (mm)
1	1	0.0058	-0.0055	-0.0003	0.22	-0.21	0.01
	2	0.0052	-0.005	0.0002	0.185	-0.18	0.005
2	3	0.0082	-0.0042	-0.004	0.25	-0.27	-0.02
	4	0.0074	-0.0010	0.0064	0.23	-0.11	0.09
3	5	0.0082	-0.0084	-0.0002	0.29	-0.23	0.06
	6	0.0073	-0.008	-0.0007	0.23	-0.27	-0.04

Tablo 4.19'te sunulan deneysel çalışma sonuçları, bir günlük teste karşılık gelen 1000 döngü için, silindir kayma donatısı 1. derz için LTE'nin % 89.65, dairesel kayma donatı 2. derz için % 90.24, elipsoidal kayma 3. donatı derz için % 89.02.değerleri bulunmuştur. Test sonunda (50.000 yükleme) silindir, dairesel ve elipsoidal için LTE değerleri sırasıyla %84.09, 80.00, %79.31 bulunmuştur. 1000 ile 50000 yükleme arasında LTE değerlerinde azalmalar olduğu anlaşılmaktadır. Bu azalmaların silindir, dairesel ve elipsoidal kayma donatıları için sırasıyla %5,56 %10,24 %9,71 kayıp anlamı taşımaktadır. Yolun hizmet ömrü boyunca LTE değerlerinin başka ifadeyle LTE performanslarının aynı olacağıdır.

Tablo 4.19. Test başlangıç ve sonu derzlerde LTE değerleri

Derz	LVDT	Test başlangıcı		Test sonu	
		Max düşey deplasman (mm)	LTE % = $\delta U / \delta L$	Max. düşey deplasman (mm)	LTE % $\delta U / \delta L$
1	1	0.0065	89.65	0.22	84.09
	2	0.0052		0.185	
2	3	0.0082	90.24	0.25	80.00
	4	0.0074		0.2	
3	5	0.0082	89.02	0.29	79.31
	6	0.0073		0.23	

4.6. Çatlak Genişliği Ölçümleri

Derz bölgelerinde derzin kenarlarından çatlak oluşumları ve gelişimler takip edilmeye çalışılmıştır Şekil 4.70 görüldüğü gibi. Genel olarak, beton yollarda yaklaşık 125.000 ila

135.000 ESAL aralığında çatlaklar meydana gelir [85]. Bu çalışmada, yük uygulamasına başlamadan önce, test başladıktan sonra, çatlak başlangıcını ve yükleme uygulaması ile ilerlemesini takip edilmiştir. Çatlakların gelişimleri testin sonuna kadar yani 50000 yüklemeye (593,000 ESAL) kadar takip edilmiştir.



Şekil 4.70. Derz derinliği boyunca çatlak ölçümleri

4.6.1. Derz 1’de. Silindirli Kayma Donatı

- Güney tarafta

Gözlemlerde 130,860 ESAL’a karşılık gelen, 10,000 yüklemede ilk çatlak oluştu. Çatlağın gelişimi testin sonuna kadar 50000 yükleme (593,000 ESAL) kadar devam etti Şekil 4.71, 4.72.ve 4.73 görüldüğü gibi APT testleri ile çatlağın gelişiminin çok yavaş olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.71. 1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.72. 30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.73. 50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi

- Kuzey tarafta

Ağır araç simülatörü, tekerleklerin yükünün derzin kuzey tarafına daha yakın olması nedeniyle, Kuzey tarafta çatlak değişimi gözlenemedi. Şekilde 4.74, 4.75, 4.76 görüldüğü gibi.



Şekil 4.74. 1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.75. 30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.76. 50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi

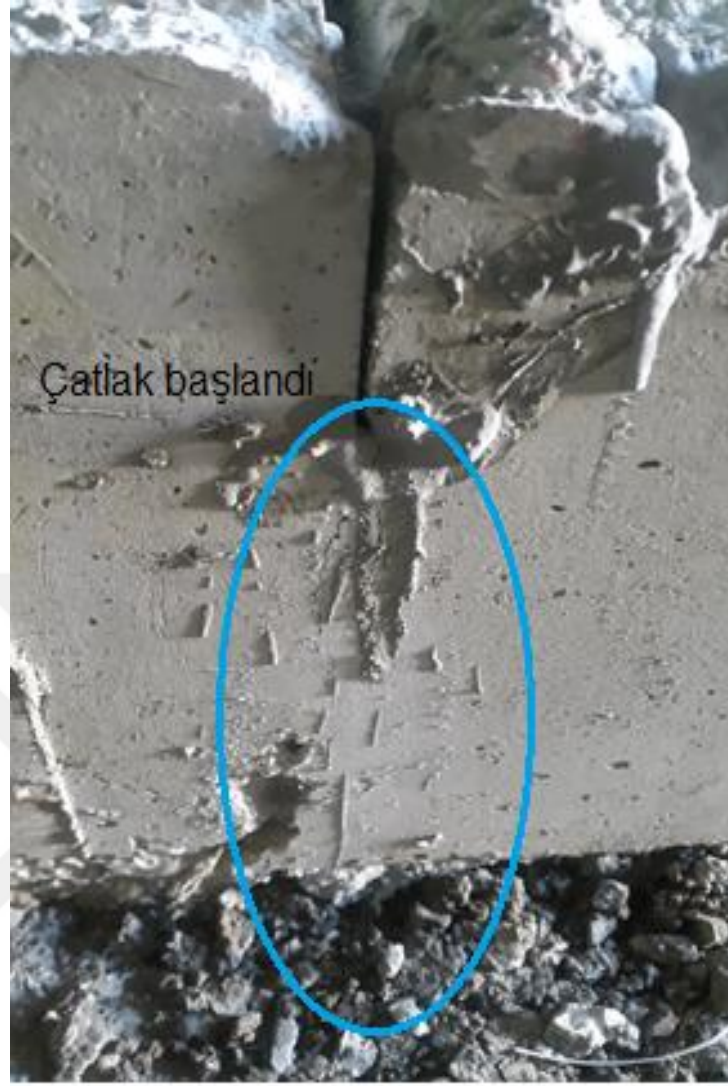
4.6.2. Derz 2’de Dairesel Kayma Donatı

- Güney tarafta

Şekil 4.77 ‘da gösterilen dairesel kayma donatılarının olduğu derzde ilk çatlaklar derzi kesimin hemen altında 11,000 yüklemeden sonra oluştu. (130,460 ESAL). Bu da beton yollarda yapılan genel gözlemler aralığında olan 130.460 ESAL'a tekabül ediyor [85]. Çatlak, 593.000 ESAL'a karşılık gelen 50.000 döngüde testin sonuna kadar ilerledi. Şekil 4.77.ve 4.78. APT testleri ile çatlağın gelişiminin çok yavaş olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.77. 1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.78. 30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.79. 50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi

- Kuzey tarafta

Ağır araç simülatörü, tekerleklerin yükünün mafsalın kuzey tarafına daha yakın olması nedeniyle, Kuzey tarafta çatlak değişimi gözlenmedi. Şekilde. 80, 4.81, 4.82.görüldüğü gibi



Şekil 4.80. 1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.81. 30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.82. 50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi

4.6.3. Derz 3'de Ellipsoidallı Kayma Donatı

- Güney tarafta

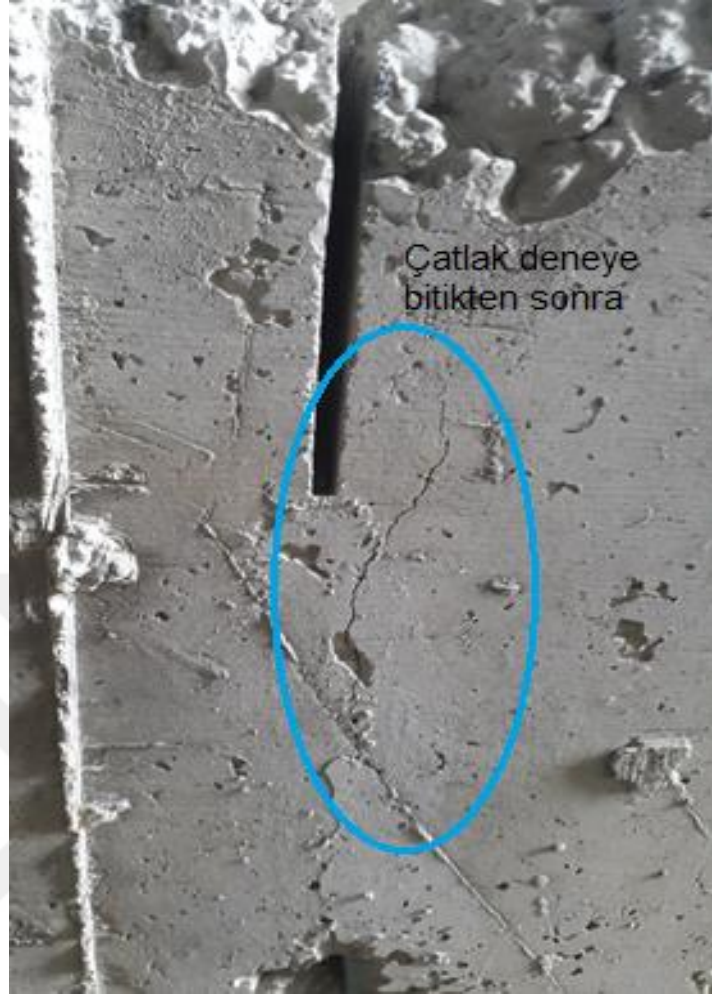
Şekil 4.83 ve 84göre elipsoidal kayma donatıların yerleştirildiği derz 3 bölgesindeki çatlakların gelişimini göstermektedir. İlk çatlak 10,500 yüklemeden sonra (124,530 ESAL) başladı ve test sonuna kadar yani 50,000 yükleme (593,000 ESAL) devam etti. Şekil 4.83.ve 4.84 görüldüğü gibi. APT testleri ile çatlağın gelişiminin çok yavaş olduğunu göstermektedir. Şekilde. 4.83,4.84 ve 4.85.görüldüğü gibi



Şekil 4.83. 1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.84. 30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.85. 50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi

- Kuzey tarafta

Elipsoidal kayma donatılarının olduğu derzde ilk çatlaklar derzi kesimin hemen altında Elipsoidal kayma donatılarının olduğu derz 3 çatlak 12000 yüklemeden sonra oluştu ($12,000 * 5.93 * 2 = 142320$ ESAL) ve 50000 yükleme sonuna kadar devam etti. Şekil 4.86. 4.87 ve 4.88 görüldüğü gibi. APT testleri ile çatlağın gelişiminin çok yavaş olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.86. 1.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.87. 30.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi



Şekil 4.88. 50.000 yükleme uygulanmasından sonrası çatlak açıklığının gelişimi

4.7. Beton Kaplama Mukavemet Ölçümleri

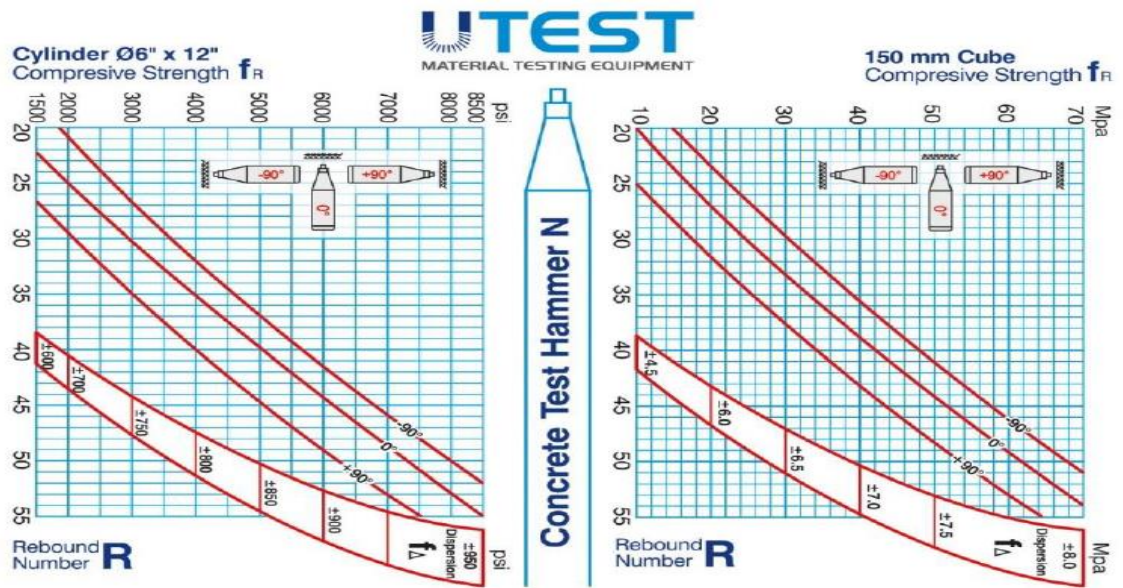
Levhanın basınç dayanımını belirlemek için, birleşim yerleri boyunca ve her iki yanında, ölçümlerin yapıldığı bazı noktalar işaretlenmiştir. Tablodaki sonuçlar eklemin her iki tarafında işaretlenen noktalardan alınmıştır, ilk kez şekildeki tabloyu kullanarak direncin değerini belirlemek için kullanılacak olan geri tepme değerini ölçüldü.

Tablo 4.20. Test okumaları

R değeri	Derz 1		Derz 2		Derz 3	
	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
1	28	25	30	30	26	27
2	27	26	30	30	24	28
3	25	30	29	28	29	30
4	30	28	25	28	30	30
5	29	30	28	30	30	25



Şekil 4.89. Beton mukavemetinin çekiç cihazıyla ölçülmesi



Şekil 4.90. Beton mukavemetinin kalibrasyon grafiği [84]

Tablo 4.21. sonuçlarından, birinci derzinin ortalama mukavemetinin 28.5 MPa olduğunu, ikinci derzi için ortalama mukavemetin 29.8 MPa olduğunu, üçüncü derzi için ortalama mukavemetinin 28,5 MPa olduğunu görebiliriz.

Tablo 4.21. Beton mukavemet değerleri

R değeri	Derz 1		Derz 2		Derz 3	
	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
1	28MPa	24 MPa	32 MPa	32 MPa	25 MPa	26 MPa
2	27 MPa	26 MPa	32 MPa	32 MPa	23 MPa	28 MPa
3	24 MPa	32 MPa	30 MPa	28 MPa	31 MPa	32 MPa
4	32MPa	29MPa	24 MPa	28 MPa	32 MPa	32 MPa
5	31 MPa	32 MPa	28 MPa	32 MPa	32 MPa	24 MPa

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında 1918'den beri rijit üstyapı kaplamalarda kullanılan silindir kayma donatısı yerine ağırlıkça eşdeğer dairesel ve elipsoidal kayma donatıları tasarlanmıştır. Yapılan sonlu elemanlar ve laboratuvar çalışmalarında aynı malzeme ağırlığına sahip üç farklı kayma donatısının beton yol kaplamasında gerçek dingil yüklemesi altında derzlerdeki LTE, çekme ve basınç gerilmeleri açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Yük transfer ölçümlerinde, LTE, LVDT ve sonlu elemanlar çalışmasından faydalanmış basınç ve çekme gerilmelerin belirlenmesinde ise sonlu elemanlardan faydalanılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda LTE, basınç ve çekme gerilmelerine göre sıralanmıştır.

LTE, Yük Transferi Mukayesesi

- Çalışmada kullanılan 3 kayma donatısının da standartlarda istenen LTE değerleri sağladıkları tespit edilmiştir. LTE değerlerinin yüksek çıkmasının modelde ve deneysel çalışmada kullanılan beton kaplamasının 30 cm gibi bir kalınlıkta olması sebep gösterilebilir.
- Silindir kayma donatıların eşdeğer dairesel ve elipsoidal kayma donatılarına göre kısmen daha iyi bir performans sergileyeceği anlaşılmaktadır.
- Dairesel ve elipsoidal kayma donatılarının çaplarının artırılmasının % LTE değerleri üzerinde etkilerinin olmadığı (sırasıyla %1.66 ve % 0.77) görülmektedir.
- Silindir kayma donatıların çaplarının artırılmasının LTE değerlerine kısmen (% 5.29 artış) olumlu yönde etkisinin olduğu görülmüştür.
- Silindir kayma donatıların uzunluklarının (30, 35, 40, 46, 50 cm) beton yol kaplamalarında derzlerde yük transferlerinin artmasında ciddi etkisinin olmadığı görülmüştür.

Çekme Gerilmeleri Mukayesesi

- 3 farklı kayma donatıların yanlarında oluşan max ve min. çekme gerilmeleri arasında ciddi farkların olmadığı görülmektedir.
- Silindir kayma donatılarının kenarlarında oluşan çekme gerilmelerinin dairesel ve elipsoidal kayma donatıların kenarlarında oluşan çekme gerilmelerine göre en az %50 daha az olduğu anlaşılmaktadır. Bu anlamda silindir kayma donatıların

elipsoidal ve dairesel kayma donatılarına göre betonunu çatlamaması açısından daha avantajlı olacağı açıktır.

- Silindir kayma donatıların çaplarının artırılması durumunda çekme gerilmelerinin % 56 kadar azaltılabileceği hesap edilmiştir.
- Dairesel ve elipsoidal kayma donatılarının çaplarını artırılması durumunda % 34-32 mertebelerinde kayma donatıların kenarlarındaki çekme gerilme değerlerinde azalmalar sağlanabilir. Silindir kayma donatısının uzunluğunun çekme gerilmeleri azaltılmasında bir etkisi olmamakla beraber çapının 3,175 cm den 5,08 cm artması durumunda % 56 düşüş sağlanabilir.
- Dairesel kayma donatılarında ise çaplarının 10.99 mm den 22.72 mm artırılması durumunda çekme gerilmelerinde % 34. 28 düşüş sağlanabilir.
- Elipsoidal kayma donatılarının çaplarının 10.08 cm den 43.01 cm yükselmesi durumunda çekme gerilmelerinde % 32.25 düşüş sağlanmıştır.

Basınç Gerilmeleri Mukayesesi

Kayma donatısının üst bölgesinde oluşan basınç gerilmeleri açısından;

- 3 farklı kayma donatıların yanlarında oluşan max ve min. basınç gerilme değerleri arasında yarı yarıya farkların olduğu görülmüştür. Max. basınç gerilme değerlerin hepsi demir ve beton mukavemet değerlerin altında olduğu açıktır.
- Genel anlamda her 3 kayma donatısının çevresinde oluşabilecek basınç gerilme değerlerinin birbirlerine yakın olduğu söylenebilir.
- Her 3 kayma donatısının boyutlarını artırılması durumunda donatı etrafındaki basınç gerilmelerinin silindir, dairesel ve elipsoidal kayma donatıları için sırasıyla %55, % 23 ve %43 azaltılabileceği anlaşılmaktadır.
- Silindir kayma donatı çapının 31.75 mm den 50.8 mm yükseltilmesi durumunda kayma donatısının üst bölgesindeki basınç değerinde % 55.81 lik bir düşüş sağlanabilir.
- Dairesel kayma donatı çapının 10.99 mm den 22.72 mm yükseltilmesi durumunda % 23.3 düşüş elde edilebilir.
- Elipsoidal kayma donatı çapının 10.08 mm den 43.01 mm ye yükselmesi durumunda % 43. 75 düşüş sağlanabilir.

Kayma donatının alt bölgesinde oluşan basınç gerilmeleri açısından;

- Silindir kayma donatı çapının 31.75 mm den 50.8 mm yükselmesi durumunda kayma donatısının alt bölgesindeki basınç değerinde % 76.47 lik bir düşüş sağlanabilir.
- Dairesel kayma donatısı çapının 10.99 mm den 22.72 mm yükseltilmesi durumunda %70 düşüş elde edilebilir.
- Elipsoidal kayma donatı çapının 10.08 mm den 43.01 mm ye yükselmesi durumunda % 64.71 düşüş sağlanabilir.

Yapılması tavsiye edilen çalışmalar;

Bu araştırmada klasik silindir kayma donatısı ve bu donatıya eşdeğer dairesel ve elipsoidal kayma donatıları aynı yükleme ve beton kalınlıkları altında benzer performans sergiledikleri ve belirgin üstünlükleri görülmemiştir. Bunun başlıca sebebi beton kaplama kalınlığının 30 cm olması ve alttaki taban zeminin sağlam olmasıdır. 30 cm beton kaplamasının üzerindeki yüklere bağlı olarak alttaki taban zemine aktardığı düşey basınç gerilmelerinin çok az olması ve bunun sonucun da derz bölgelerinin altında düşey deplasmanları az çıkmıştır. Beton yol güzergâhındaki temel tabakasının zeminlerin zamanla taşıma gücü azalabilmektedir. Daha düşük taşıma kapasitesine sahip zeminler ve beton kalınlıkları çalışılabilir.

Bir sonraki çalışmalarda özellikle beton kaplama kalınlığının 25 ve 20 cm olması durumunda derzlerde farklı kayma donatıların % LTE değerlerini düşük ve kendi aralarında mukayeselerinin daha belirgin olacağı açıktır. Benzer şekilde kayma donatılar ile etrafını saran beton yüzey arasında oluşacak çekme gerilmelerinin de mukayesesi daha net olacaktır.

Diğer bir husus ise, ülkemizde belediyeler ve diğer kurumlar tarafından yapılan ihalelerde 20 cm donatısız beton kalınlıkları kullanılmaktadır. Fakat bu uygulamalar köy yollarını içermektedir. Donatıların ihtiyaç duyulacağı beton kaplama kalınlıklarının belirlenmesi diğer bir araştırılması gereken konudur. Bu konuda mekanistik çalışmalar mevcut olmakla beraber uzun vadede hizmet ömürleri boyunca arazideki performansları üzerine bir çalışma mevcut değildir.

6. KAYNAKLAR

1. Mark B., Snyder., Guide to Dowel Load Transfer Systems for Jointed Concrete Roadway Pavements, Report, Institute for Transportation Iowa State University 2711 South Loop Drive, 2011.
2. Norbert Delatte., Concrete Pavement Design Construction, and Performance, Taylor and Francis e-Library, 2007.
3. Office of Design, Pavement Management Section Tallahassee Florida, Rigid Pavement Design Manual, 2019.
4. Vijay, P.V., Hota V.S. GangaRao, and Li, H., Design and Evaluation of Jointed Plain Concrete Pavement with Fiber Reinforced Polymer Dowels, Report, Constructed Facilities Center Department of Civil and Environmental Engineering West Virginia University Morgantown, 2009.
5. American Concrete Pavement Association, Design of Concrete Pavement for Streets and Roads 2010.
6. LI Luoke.,T Yiqiu., GONG., Xiangbing, ve LI Yunliang., Characterization of Contact Stresses Between Dowels and Surrounding Concrete in Jointed Concrete Pavement, International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS, 5,12 (2012).
7. Kukjoo K., Sanghyun C., Sangyoung H., ve Mang Tia, Effect of Dowel Bar Arrangements on Performance of Jointed Plain Concrete Pavement, (JPCP), International Journal of Concrete Structures and Materials 39 (2018).
8. Sri, V., Dowel-Concrete Contact Characteristics, Master of Science in Mechanical Engineering, Morgantown, West Virginia 2003.
9. Jiri, G., Vladimir, C., Josef, S., ve Ilja, B., Importance of dowels in transversal joints in concrete pavements, Materials Science and Engineering 2017.
10. Eric, A., Behavior of dowels in concrete pavements, Doctor of Philosophy Iowa State University Ames, Iowa 2014.
11. Mauricio Praden., ve Lambert Houben., load transfer-crack width relation of non-dowelled jointed plain concrete short slabs, the Baltic journal of road and bridge engineering 13, (2018), 40–45.
12. Swati, Roy., Maitra, K, S, Reddy., ve L, S. Ramachandra., Load Transfer Characteristics of Dowel Bar System in Jointed Concrete Pavement, Journal of Transportation Engineering 2009.

13. Jiri, G., Andrea, Z., ve Ilja, Brezina., Effectiveness of Dowels in Concrete Pavement journal materials, Materials 1669,12, 2019.
14. Amit, H. Varma., ve Milind, L. Prabhu., A Laboratory Evaluation of Alignment Tolerances for Dowel Bars and Their Effect on Joint Opening Behavior Final Report, Michigan State University Department of Civil and Environmental Engineering 3546 Engineering Building East Lansing, MI 48824, 2007.
15. Vahid, S. ve Saeid, H., Investigation of Load Transfer Efficiency in Jointed Plain Concrete Pavements (JPCP) using FEM, International Journal of Pavement Research and Technology (2017) 245–252.
16. AASHTO, American association of state highway and transportation officials, Guide for Design of Pavement Structures, Washington, 1993.
17. Mathieu, M., Mathieu R., Ehab A., ve Brahim B., Plan d'Essais de Caractérisation de Goujons en Acier et en Matériaux Composites de Polymères Renforcés de Fibre de Verre pour des Dalles de Chaussée en Béton, Projet de recherche No : R679.1Département de génie civil Faculté de génie Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 2011.
18. Hyung Bae, Kim., ve Don-tan, S., Top down cracking of jointed plain concrete pavements, Journal of the Eastern Asia society for transportation studies 8, 2010.
19. Francisco Evangelista, Jr., ve Jeffery Roesler Top-Down Cracking Predictions for Airfield Rigid Pavements, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, 2095,2 (2009) 13–23.
20. Youngguk Seo ve Seong-Min Kim., Longitudinal Cracking at Transverse Joints Caused by Dowel Bars in Jointed Concrete Pavements, KSCE Journal of Civil Engineering, 7,2(2013) 395-402.
21. Scott, M., Ahmed, S., ve Aftab. A. Mufti., Using Fiber-Reinforced Polymer Load Transfer Devices in Jointed Concrete Pavements International Conference on Concrete Pavements 7th International Conference on Concrete Pavements - Orlando, Florida, USA 2001.
22. Max, P. ve Nathan, P., Laboratory Evaluation of Alternative Dowel Bars for Use in Portland Cement Concrete Pavement Construction, Transportation research record, 2007.
23. Max L. Porter ve Robert J. Guinn, Jr., Assessment of Dowel bar research Final Report Center for Transportation Research and Education Iowa State University 2002.
24. LI, Luoke.,Tan Y., Gong Xi., LI Yunliang., Load Transfer Characteristics and Durability Study of GFRP Dowels in Jointed Concrete Pavement Advanced Engineering Forum Online:5, (2012) 277-282.

25. E, j, Yoder. ve M, Witczak., Principles of Pavement Design Second Edition, A Wiley interscience publication John Wiley and Sons, Inc1959.
26. American Concrete Pavement Association, Design and Construction of Joints for Concrete Streets, 1992
27. Chichun, H., Jiexian, M., Yuan, Yu.,ve Yi, Luo., Optimal design on dowel length for cement concrete pavement International Journal of Pavement Research and Technology 9 (2016) 414–423.
28. Scott, M., Ahmed, S., ve Aftab, M., Concrete-Filled, Glass Fiber–Reinforced Polymer Dowels for Load Transfer in Jointed Rigid Pavements, Journal of the Transportation Research Board, 1919, (2005) 54–64.
29. Eric Andrew Lorenz., Behavior of dowels in concrete pavements, Iowa State University, 2014.
30. Brahim, Benmokrane., Ehab, A. Ahmed., Mathieu, Montaigu., ve Denis T., Performance of Glass Fiber-Reinforced Polymer-Doweled Jointed Plain Concrete Pavement under Static and Cyclic Loadings, ACI Structural Journal, 111,2, 2014.
31. Lev Khazanovich, ve Alex Gotlif., Evaluation of joint and crack load transfer final report A Division of Applied Research Associates, Inc. 2003.
32. Reza S. Ashtiani, ve Gabriel de Haro, Performance Determination of Precast Concrete Slabs Used for the Repair of Rigid Pavements, University of Texas at El Paso, 2014.
33. Zainab, A., Mohammed, H., Nabaa, S., Numerical study of doweled expansion joints on plain concrete pavement system, Journal of Engineering and Sustainable Development 22,6, 2018
34. Samir N. Shoukry, Gergis, W., ve Mourad Y., Evaluation of Load Transfer Efficiency, final report measurement west Virginia university College of Engineering and Mineral Resources 2005.
35. Mahmoud, R., Mehrdad M., Noushin S., ve Ali P., Evaluating the Performance of Dowel in PCC Pavement of Roads using ABAQUS Finite Element Software, International Journal of Transportation Engineering, 4,5 (2017).
36. Max, L., Robert, J., Andrew., L., Dustin D., John R.,, Investigation of Glass Fiber Composite Dowel Bars for Highway Pavement Slabs, final report, Highway Division of the Iowa Department of Transportation and Iowa Highway Research Board, 2001;
37. Teller and Sutherland, the Structural Design of Concrete Pavements by the Division of Tests, bureau of Public Roads, 1936.
38. Teller and Cashell, Performance of Doweled Joints Under Repetitive Loading, Highway Research Board Bulletin, 1959.

39. Ashish Wadkar., Study of load transfer efficiency of airfield rigid pavement joints based on stresses and deflections, master of science in engineering degree, rowan university 2010.
40. Sammed, Patil., Amirkhan, Shaikh., Aniket, Ambi., Ganesh, Dinde., ve Utkarsh, R., Study of Load Transfer Efficiency of Dowel bar, international research journal of engineering and technology (IRJET), 3,2016.
41. Zainab, A., Mohammed, H., ve Nabaa, S., Experimental Study on Doweled Expansion Joints on Behavior for Plain Concrete Pavement System, Al-Khwarizmi Engineering Journal 3, 14, (2018) 68- 80.
42. Scott, M., Ahmed, S., ve Aftab, M., Laboratory Evaluation of Concrete-Filled GFRP Dowels in Jointed Concrete Pavements, Transportation Research Board, 2004.
43. Federal Highway Administration, Concrete pavement joint Technical Advisory, 2019.
44. Piotr, M., Finite-Element Analysis of Stress Concentration around Dowel Bars in Jointed Plain Concrete Pavement, Canadian Journal of Civil Engineering, 141,6 (2015).
45. Ziad Ghauch., Finite Element Investigation of the Deterioration of Doweled Rigid Pavements, General Physics 3,2011
46. Max, P., ve Nathan, P., Laboratory Evaluation of Alternative Dowel Bars for Use in Portland Cement Concrete Pavement Construction, Journal of the Transportation Research Board, 2040, (2007) 80–87.
47. Max I. Porter., Robert, J., ve Andrew L., Dowel bar Optimization: Phases I and II Final Report, center for transportation research and education center for Portland cement concrete pavement technology Iowa state university, 2001.
48. American Concrete Pavement Association an Alternative to Traditional Round Dowel Bars, Concrete Pavement Research & Technology, 2008.
49. Mauricio, M., Cruz, C., Jieying, Z., Jonh T., Paul, J., Laboratory Evaluation of Corrosion Resistance of Steel Dowels in Concrete Pavement, University of California Pavement Research Center UC Davis and Berkeley, 2005.
50. Mauricio, M., Cruz, C., Jieying, Z., Jonh T., Paul, J., Laboratory Evaluation of Corrosion Resistance of Steel Dowels in Concrete Pavement, Caltrans Division of Research and Innovation., 2007.
51. Ahmed, E., Ghada, M., and Eman, M., Modeling of Dowel Jointed Rigid Airfield Pavement under Thermal Gradients and Dynamic Loads Civil Engineering Journal 2,2 (2016).
52. Monireh, Z., Mansour F., ve Saeed, R., A Parametric Study of Jointed Plain Concrete Pavement Using Finite Element Modeling, Modern Applied Science;11,11, 2017.

53. American Concrete Pavement Association an Alternative to Traditional Round Dowel Bars, Concrete Pavement Research & Technology, 2008.
54. James Mann., Investigation into Alternative Devices for Joint Load Transfer in Jointed Concrete Pavement, University of Waterloo Canada, 2013.
55. Nigel Parkes, Plate Dowels for Concrete Pavements, 2Da Version Seminario Internacional Pavimentos De Horigon, 2013.
56. Ghauch Z., ve Karam G, Performance Analysis and Optimization of Dowels in Jointed Concrete Floors, General Physics 4, 2013.
57. Scott Murison., modelling of concrete pavement dowel-slab interaction, 4th Transportation Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering Montréal, Québec, Canada, 2002.
58. LI, Luok., Tan, Y., Gong, X., M., Li, Yuan., Load Transfer Characteristics and Durability Study of GFRP Dowels inJ ointed Concrete Pavement, Advanced Engineering Forum.5, 2012 277-282
59. Keith W, Jeff, S., Uhlemeye, M., Chuck, K., Jim, W., Moe., D., ve Kevin, K., Glass Fiber Reinforced Polymer Dowel Bar Evaluation, Washington State Department of Transportation, Report, 2012.
60. Scott Murison., Aftab Mufti, ve Aftab A., Concrete-Filled, Glass Fiber–Reinforced Polymer Dowels for Load Transfer in Jointed Rigid Pavements Transportation research, 2005.
61. Mourad Youssef Riad., Stress concentration around dowel bars in jointed rigid concrete pavements, Master of Science Morgantown, West Virginia, 2001.
62. Piotr Mackiewicz, Finite-Element Analysis of Stress Concentration around Dowel Bars in Jointed Plain Concrete Pavement J. Transp. Eng., 141,6 (2015)
63. Piotr Mackiewicz , Analysis of stresses in concrete pavement under a dowel according to its diameter and load transfer efficiency Canadian Journal of Civil Engineering, 42,2015.
64. Adel, R., Orhan, K., Halil, C., Kasthuriraangan, G., Sunghwan, K., David, R., Sensitivity Quantification of Airport Concrete Pavement Stress Responses Associated with Top-down and Bottom-up Cracking, International Journal of Pavement Research and Technology 10 (2017) 410–420.
65. Alireza, Z., Kamyar, C., Herbert, F., ve al., Effects of Hinged Dowel System on the Performance of Concrete Pavement Joints, International Journal of Pavement Research and Technology, 4, 6 (2013), 243-249.

66. S.D. Tavabji ve B.E. Colley, Improved Rigid Pavement Joints, Transportation Research Record 1983.
67. American Concrete Pavement Association, Joint and crack sealing and Repair for Concrete Pavements, Concrete Paving Technology 1995.
68. Lev Khazanovich, Dowel and Tie bars in Concrete Pavement Joints Theory and Practice, 2nd international conference on best practis for pavements, 2011.
69. Dele, H., Micheal, A., Tom, C., Gay, F., Doung, S., Kurt, S., Mark. B., ve Tom, V., Pavement Distress Assessments and Solutions Identification, Causes, Prevention and Repair, Report, National Concrete Pavement Technology Center Iowa State University concrete, 2018.
70. Linda M. Pierce, Stephen T., Evaluation of Dowel Bar Retrofit for long-term pavement life in Washington state, Washington State Transportation Center (TRAC) University of Washington 2009.
71. Ayman, A., Yusuf, M., Caitlin P., Instrumentation to Evaluate the Field Performance of Composite Overlays Using Accelerated Pavement Testing, Conference Paper · 2017.
72. L. Du Plessis., A. Ulloa-Calderon., J.T. Harvey., N.F Coetzee., Accelerated pavement testing efforts using the Heavy Vehicle Simulator, International Journal of Pavement Research and Technology 11 (2018) 327–338.
73. Muhammet ç., Mehmet, T., Muhammet, V., Mohammad M., ve Ayşegül G., Karadeniz technical university accelerated pavement test (KTÜ-APT) facility studies, problems and solution proposals, Teknik Dergi 32,6, (2021).
74. Muhammet V., Ümit, Y., ve Sedat, Ö., Mechanistic Design and Performance of Concrete Roads using Finite Element Analysis and Accelerated Pavement Testing., Hazır Beton Fuarı. 21-23 Şubat 2013, CNR Expo, İstanbul, Türkiye.
75. Mehmet, T., Muhammet, Ç., Ayşegül G., Muhammet V., Karadeniz Technical University Accelerated Pavement Test (ktu-APT) Facility Studies, Problems and Solution Proposals Teknik Dergi, 2019.
76. Gholam, A., Masoud, V., Nadia, A., ve Afshin F., Dynamic Effects of Moving Loads on the Jointed Plain Concrete Pavement Responses, Engineering Journal, 21,2017.
77. Robert Otto Rasmussen., Improved Practices for Dowel Bars in Concrete Pavement, TRB Committee AFD50 – Rigid Pavement Design, 2011.
78. Mark B. Snyder, Dowel and Tie Bar Design Considerations Part 1, American Concrete Pavement Association 2009.

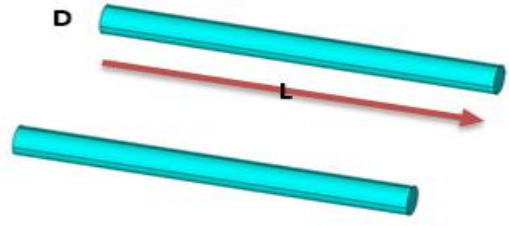
79. Mark B. Snyder., Dowel Load Transfer System Their Evolution and Current Innovation for Sustainable Pavement X VII Congreso Argentine De Vialidad Sansito 2016.
80. Amadou, O., Beton Yol Üstü Asfalt Kaplamaların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Mekanistik Analizi, yüksek Lisans İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi FEN Bilimleri Enstitüsü Trabzon 2019.
81. Musa, T., Beton Yollarda Isıl Genleşme ve Gerilmelerin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Karadeniz Teknik Üniversitesi FEN Bilimleri Enstitüsü Trabzon 2019.
82. Brian Killingsworth., Concrete Jointing and Details: Thickness is Only the Start, National Ready Mixed Concrete Association 2003.
83. Lev Khazanovich, Dowel and Tie bars in Concrete Pavement Joints Theory and Practice, 2nd international conference on best practis for pavements, 2011.
84. Construction material test equipment Concrete Test Hammer (Schmidt Hammer) N Type, 2019.
85. Muhammet, ÇELİK., İşlevsel Hasarlı Beton Yollarda Asfalt Takviye Tabakası Kullanımının Mekanistik Ampirik Yöntemlerle Araştırılması, doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi FEN Bilimleri Enstitüsü Trabzon 2019.
86. Mehmet Tefik SEFEROĞLU, beton üstü asfalt kaplamalarda oluşan yansıma çatlaklarının incelenmesi, doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi FEN Bilimleri Enstitüsü Trabzon 2019.
87. Government of western Australia department of training and workforce development, introduction to metallurgy weldability of metals, 2007
88. Bensaada, S., Classification des aciers et des fontes, researchGate .2019

7. EKLER

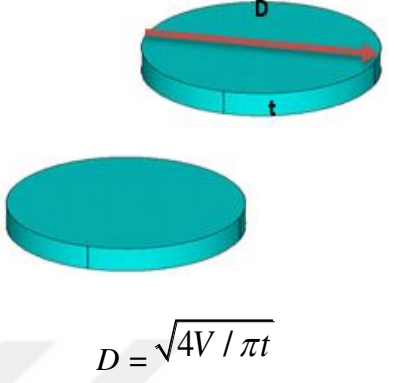
EK1. Tablo.1. Silindir kayma donatısı Hacmı hesaplanması

Silindir kayma donatısı Çap, cm	1,905	2,54	3,175	3,81	4,445	5,08	Uzunluk cm
Hacm cm ³ $V= 3,14*(D /2)^2*L$	85.46	99.708	113.9	128.2	131.1	142.4	30
	151,3	176,57	201,8	227,0	232.9	252,2	35
	237,3	276,9	316,5	356,1	364.1	395,6	40
	341,8	398,8	455,8	512,7	524.1	569,7	45
	465,3	542,8	620,4	667,9	713.4	775,5	46
	607,7	709,1	810,3	911,6	931.8	1012,9	50

EK 2. Tablo.1. Silindir kayma donatısı Çap, Uzunluk

							
Çap, cm	1.95	2.54	3.11	3.81	4.445	5.8	
Uzunluk, cm	30	30	30	30	30	30	30
	35	35	35	35	35	35	35
	40	40	40	40	40	40	40
	45	45	45	45	45	45	45
	46	46	46	46	46	46	46
	50	50	50	50	50	50	50

EK 2. Tablo. 2. Silindir kayma donatılarına eşdeğer dairesel kayma donatıları

Silindir kayma donatısı Çap 3,175 cm							dairesel kayma donatısı Çap cm 
Uzunlu k cm	30	35	40	45	46	50	
V cm ³	237,4	276,9	316,5	356,1	364,1	395,7	
t cm	1	1.5	2	2.5	3		
1	17,4	18,8	20,1	21,3	21,5	22,5	
1.5	14,19	15,33	16,39	17,39	17,58	18,33	
2	12,29	13,28	14,19	15,06	15,23	15,87	
2.5	10,99	11,87	12,70	13,47	13,62	14,19	
3	10,04	10,84	11,59	12,29	12,43	12,96	

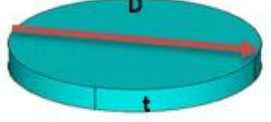
EK 2. Tablo.3. Silindir kayma donatılarına eşdeğer dairesel kayma donatıları

Silindir kayma donatısı Çap 3,81 cm							Dairesel kayma donatısı Çap cm $D = \sqrt{4V / \pi t}$
Uzunluk cm	30	35	40	45	46	50	
V cm ³	341,8	398,8	455,8	512,7	524,1	569,7	
t cm	1	1.5	2	2.5	3		
1	20,87	22,54	24,09	25,55	25,84	26,94	
1.5	17,03	18,40	19,67	20,86	21,09	21,99	
2	14,75	15,93	17,03	18,07	18,22	19,05	
2.5	13,19	14,25	15,23	16,16	16,34	17,03	
3	12,04	13,01	13,91	14,75	14,91	15,91	

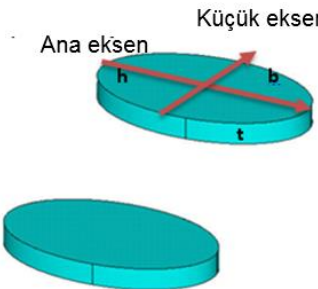
EK 2. Tablo.4. Silindir kayma donatılarına eşdeğer dairesel kayma donatıları

Silindir kayma donatısı Çap 4,445 cm							Dairesel kayma donatısı Çap cm $D = \sqrt{4V / \pi t}$
Uzunluk cm	30	35	40	45	46	50	
V cm ³	465,3	542,8	620,4	667,9	713,4	775,5	
t cm	1	1.5	2	2.5	3		
1	24,34	26,29	28,11	29,17	30,14	31,43	
1.5	19,87	21,47	22,95	23,81	24,61	25,66	
2	17,21	18,59	19,87	20,62	21,31	22,22	
2.5	15,39	16,63	17,77	18,44	19,06	19,87	
3	14,05	15,18	16,23	16,84	17,40	18,14	

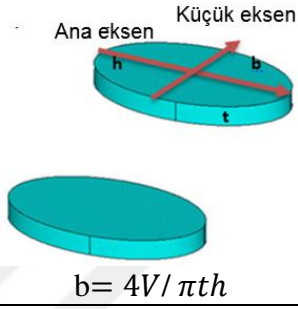
EK 2. Tablo. 5. Silindir kayma donatılarına eşdeğer dairesel kayma donatıları

Silindir kayma donatısı Çap5,08 cm							
Uzunluk cm	30	35	40	45	46	50	dairesel kayma donatısı Çap cm
V cm ³	607,7	709,1	810,3	911,6	931,8	1012,9	  $D = \sqrt{4V / \pi t}$
t cm							
1	27,82	30,05	32,12	34,07	34,45	35,92	
1.5	22,71	24,53	26,22	27,82	28,13	29,32	
2	19,67	21,25	22,71	24,09	24,36	25,40	
2.5	17,59	19,01	20,31	21,55	21,79	22,71	
3	16,06	17,35	18,54	19,67	19,89	20,73	

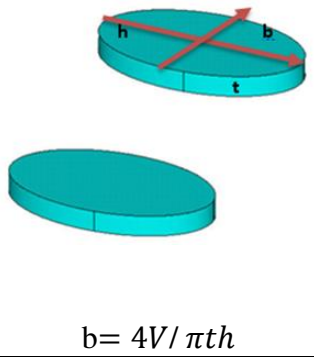
EK 2. Tablo. 6. Silindir kayma donatılarına eşdeğer elipsoidal kayma donatılar

Silindir kayma donatısı Çap3,175 cm							
Uzunluk cm	30	35	40	45	46	50	Ellipsoidal kayma donatısı ana eksen b cm
V cm ³	237,3	276,9	316,5	356,1	364.1	395,6	
h cm t cm	12						
1	25,20	29,40	33,60	37,80	38.64	42,01	
1.5	16,80	19,60	22,40	25,20	25.76	28,01	
2	12,60	14,701	16,80	18,90	19.32	21,01	
2.5	10,08	11,76	13,44	15,12	15.45	16,80	
3	8,40	9,80	11,20	12,60	12.88	14,00	

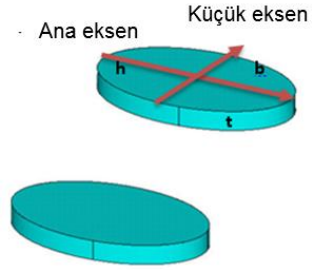
EK 2. Tablo. 7. Silindir kayma donatılarına eşdeğer elipsoidal kayma donatılar

Silindir kayma donatısı Çap 3,81 cm							Elipsoidal kayma donatısı ana eksen b cm
Uzunluk cm	30	35	40	45	46	50	
V= cm ³	341,8	398,8	455,8	512,7	524,1	569,7	
h cm	12						
t cm							
1	36,28	42,33	48,38	54,43	55,64	60,48	
1.5	24,19	28,22	32,25	36,28	37,09	40,32	
2	18,14	21,16	24,19	27,21	27,82	30,24	
2.5	14,51	16,93	19,35	21,77	22,26	24,19	
3	12,09	14,11	16,12	18,14	18,54	20,16	

EK 2. Tablo. 8. Silindir kayma donatılarına eşdeğer elipsoidal kayma donatılar

Silindir kayma donatısı Çap 4,445 cm							Elipsoidal kayma donatısı ana eksen b cm
Uzunluk cm	30	35	40	45	46	50	
V= cm ³	465,3	542,8	620,4	667,9	713,4	775,5	
h cm	12						
t cm							
1	49,39	57,62	65,85	70,90	75,73	82,32	
1.5	32,92	38,41	43,90	47,27	50,49	54,88	
2	24,69	28,81	32,92	34,45	37,86	41,16	
2.5	19,75	23,05	26,34	28,36	30,29	32,92	
3	16,46	19,20	21,95	23,63	25,24	27,44	

EK 2. Tablo.9. Silindir kayma donatılarına eşdeğer elipsoidal kayma donatılar

Silindir kayma donatısı Çap 5,08 cm							Elipsoidal kayma donatısı ana eksen b cm  $b = 4V / \pi t h$
Uzunluk cm	30	35	40	45	46	50	
V=cm ³	607,7	709,1	810,3	911,6	931.8	1012,9	
h cm t cm	12						
1	64,51	75,26	86,02	96,77	98.92	107,53	
1.5	43,01	50,17	57,34	64,51	65.94	71,68	
2	32,25	37,63	43,01	48,38	49.46	53,76	
2.5	25,80	30,10	34,40	38,70	39.56	43,01	
3	21,50	25,08	28,67	32,25	32.97	35,84	

EK 3. Tablo.1. Sinlindirli kayma donatısı Sonlu elelmanlar sonuçları

yüklü plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 31.75 mm	Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
Uzunluk cm		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
30	0.587	18.9	36.7	16.9	0.511	17.0	10.8	53.0	87.05
35	0.587	18.8	37.2	14.5	0.511	21.0	13.5	56.0	87.05
40	0.588	19.1	42.7	9.98	0.511	19.0	28.0	56.5	86.90
46	0.589	19.7	36.1	11.0	0.512	18.7	22.2	49.6	86.93
50	0.588	19.3	42.8	12.3	0.512	19.4	22.3	38.7	87.07

EK 3.Tablo. 2. Sinlindirli kayma donatısı Sonlu elelmanlar sonuçları

yüklü plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 38.1 mm	Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
Uzunluk cm		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 (Mpa)	(-) σ_3 (Mpa)		(+) σ_1 (Mpa)	(-) σ_3 (Mpa)	(-) σ_3 (Mpa)	
30	0.580	13.2	23.5	9.12	0.519	13.8	15.1	24.7	89.48
35	0.580	13.1	23.4	8.69	0.518	13.8	14.9	24.7	89.31
40	0.580	13.0	23.2	9.17	0.519	13.6	14.7	24.3	89.48
46	0.580	13.2	23.4	8.52	0.519	13.7	15.1	24.6	89.48
50	0.581	11.8	24.1	5.97	0.519	12.2	9.51	23.8	89.33

EK 3. Tablo. 3. Sinlindirli kayma donatısı Sonlu elelmanlar sonuçları

yüklü plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 44.45 mm	Düşey yer değıştirenin	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değıştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
Uzunluk cm		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
30	0.575	10.1	20.2	6.46	0.521	10.5	9.72	20.4	90.61
35	0.576	10.1	24.5	8.34	0.523	10.3	7.78	23.1	90.80
40	0.577	10.7	33.5	7.49	0.522	10.6	7.75	23.6	90.47
46	0.577	10.6	24.8	5.93	0.523	10.3	8.82	22.8	90.64
50	0.577	9.26	22.1	5.07	0.523	10.1	6.20	19.2	90.64

EK 3. Tablo. 4. Sinlindirli kayma donatısı Sonlu elelmanlar sonuçları

yüklü plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 50.08 mm	Düşey yer değıştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değıştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
Uzunluk cm		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
30	0.573	8.54	16.4	5.98	0.525	9.29	10.6	17.5	91.62
35	0.573	8.19	18.4	5.49	0.525	8.91	8.47	17.6	91.62
40	0.574	8.15	22.0	5.36	0.525	9.24	10.5	17.9	91.46
46	0.574	8.54	15.7	6.58	0.526	9.31	11.2	17.1	91.64
50	0.574	7.61	17.4	4.25	0.525	8.24	5.13	15.5	91.46

EK 3. Tablo. 5. Dairesel kayma donatısı Sonlu elelmanlar sonuçları

yükli plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 31.75 mm	Düşey yer değıştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değıştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 (Mpa)	(-) σ_3 Mpa		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
D (cm)									
10.999	0.653	29.0	29.7	6.76	0.592	31.14	7.17	27.0	90.66
11.879	0.652	34.8	25.4	8.84	0.593	31.6	7.37	25.1	90.95
12.700	0.652	31.9	23.6	8.40	0.594	29.2	6.87	23.7	91.10
13.62	0.651	34.5	21.7	5.02	0.594	30.4	6.09	23.0	91.24
14.199	0.651	26.1	22.5	6.16	0.594	28.6	4.90	21.6	91.24

EK 3. Tablo. 6. Dairesel kayma donatısı Sonlu elelmanlar sonuçları

yükli plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 38.1 mm	Düşey Yer değıştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değıştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
D (cm)									
13.198	0.652	32.1	24.1	7.12	0.596	30.8	6.14	27.1	91.41
14.255	0.651	29.4	22.6	5.81	0.594	27.7	5.09	20.0	91.24
15.24	0.650	27.5	20.6	4.75	0.596	28.4	4.75	22.4	91.69
16.343	0.649	22.3	20.2	4.97	0.597	27.0	3.77	18.1	91.99
17.039	0.650	28.0	19.0	3.81	0.597	27.4	3.33	19.4	91.85

EK 3. Tablo.7. Dairesel kayma donatısı Sonlu elelmanlar sonuçları

yüklü plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 44.45 mm	Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 (Mpa)		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
D (cm)									
15.398	0.650	30.5	21.5	5.02	0.596	29.6	4.33	21.1	92.00
16.632	0.650	30.0	20.6	4.12	0.596	29.6	3.63	21.6	92.00
17.779	0.650	27.7	23.2	3.63	0.596	26.9	2.67	17.0	92.00
19.067	0.649	26.4	17.5	2.81	0.596	25.7	2.22	19.0	92.00
19.878	0.649	27.8	19.9	2.62	0.597	27.2	2.85	16.5	91.99

EK 3. Tablo. 8. Dairesel kayma donatısı Sonlu elelmanlar sonuçları

yüklü plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 50.08 mm	Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
D (cm)									
17.597	0.650	27.0	20.1	4.09	0.596	26.8	3.15	18.0	91.69
19.008	0.649	27.1	18.4	2.88	0.596	26.2	2.84	19.6	91.83
20.316	0.649	25.1	18.2	3.29	0.597	26.7	2.0	18.2	91.98
21.791	0.649	24.6	18.9	2.54	0.598	27.9	1.63	19.5	92.14
22.718	0.650	27.3	18.1	2.36	0.598	27.1	1.95	19.2	92.00

EK 3. Tablo. 9. Ellipsoidal kayma donatısı Sonlu elelmanlar sonuçları

yüklü plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 31.75 mm	Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa		(+) σ_1 (Mpa)	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
b (cm)									
10.081	0.653	32.9	31.5	7.61	0.593	32.0	6.12	31.2	90.81
11.760	0.653	35.0	24.0	8.54	0.594	34.3	6.38	26.6	90.96
13.441	0.652	32.8	25.4	6.68	0.594	32.5	6.19	22.1	91.10
15.457	0.651	31.4	21.4	6.17	0.594	31.8	4.88	19.3	91.24
16.801	0.652	32.8	21.9	4.52	0.595	32.8	5.57	19.1	91.26

EK 3. Tablo.10. Ellipsoidal kayma donatısı Sonlu elelmanlar sonuçları

yüklü plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 38.1 mm	Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
B (cm)									
14.516	0.652	31.5	23.2	6.16	0.595	34.0	6.5	21.9	91.26
16.935	0.651	32.8	22.3	4.93	0.595	32.6	5.71	23.4	91.40
19.355	0.651	31.1	20.8	3.91	0.596	31.6	3.66	19.6	91.55
22.26	0.651	29.3	21.2	3.01	0.595	29.6	2.26	21.1	91.40
24.193	0.651	29.4	21.1	3.17	0.595	29.2	1.81	20.5	91.40

EK 3. Tablo. 11. Ellipsoidal kayma donatısı Sonlu elelmanlar sonuçları

yüklü plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 44.45 mm	Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
b (cm)									
19.758	0.651	30.5	20.1	3.81	0.595	30.8	2.85	17.6	91.40
23.051	0.651	28.6	20.7	3.03	0.596	28.4	2.16	20.5	91.55
26.344	0.651	29.0	20.5	2.83	0.596	28.8	1.69	20.3	91.55
30.296	0.651	28.3	20.1	2.49	0.596	29.7	1.59	18.7	91.55
32.929	0.651	28.8	21.0	2.85	0.596	29.6	2.01	20.3	91.55

EK 3. Tablo. 12. Ellipsoidal kayma donatısı Sonlu elemanlar sonuçları

yüklü plaka					yüksüz plaka				
Silindir kayma donatısı Çap 50.08 mm	Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			Düşey yer değiştirenin mm	Asal gerilme (Mpa)			LTE %
		Yanlarında	Üstünde	Altında		Yanlarında	Üstünde	Altında	
		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa		(+) σ_1 Mpa	(-) σ_3 Mpa	(-) σ_3 Mpa	
b (cm)									
25.806	0.651	29.4	21.3	4.12	0.596	30.5	1.69	19.7	91.55
30.107	0.652	22.9	19.8	6.06	0.596	22.9	2.23	21.9	91.41
34.409	0.652	25.9	17.7	3.37	0.596	23.0	3.41	21.2	91.41
39.57	0.653	22.8	19.6	4.63	0.597	22.5	2.1	17.6	91.42
43.011	0.653	25.3	17.7	4.19	0.596	23.1	4.63	18.5	91.27

EK 4. Tablo.1. Kayma donatıları LTE Kayma mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 31.75 mm			
Kayma donatısının LTE %			
Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
30	87.05	90.66	90.81
35	87.05	90.95	90.96
40	86.9	91.1	91.1
46	86.93	91.24	91.24
50	87.07	91.24	91.26

EK 4. Tablo.2. Kayma donatıları LTE Kayma mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 38.1 mm			
Kayma donatısının LTE %			
Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
30	89.48	91.41	91.26
35	89.31	91.24	91.4
40	89.48	91.69	91.55
46	89.48	91.99	91.4
50	89.33	91.85	91.4

EK 4. Tablo. 3. Kayma donatıları LTE Kayma mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 44.45 mm			
Kayma donatısının LTE %			
Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
30	90.61	92	91.4
35	90.8	92	91.55
40	90.47	92	91.55
46	90.64	92	91.55
50	90.64	91.99	91.55

EK 4. Tablo.4. Kayma donatıları LTE Kayma mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 50.8 mm			
Kayma donatısının LTE %			
Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
30	91.62	91.69	91.55
35	91.62	91.83	91.41
40	91.46	91.98	91.41
46	91.64	92.14	91.42
50	91.46	92	91.27

EK 5. Tablo.1. Kayma donatıları düşey yer değiştirmeyi mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 31.75 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma donatısının düşey yer değiştirme		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	0.587	0.653	0.653
	35	0.587	0.652	0.653
	40	0.588	0.652	0.652
	46	0.589	0.651	0.651
	50	0.588	0.651	0.652
yüksüz plaka	30	0.511	0.592	0.593
	35	0.511	0.593	0.594
	40	0.511	0.594	0.594
	46	0.512	0.594	0.594
	50	0.512	0.594	0.595

EK 5. Tablo. 2. Kayma donatıları düşey yer değiştirmeyi mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 38.1 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma donatısının düşey yer değiştirme mm		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yüklü plaka	30	0.58	0.652	0.652
	35	0.58	0.651	0.651
	40	0.58	0.650	0.651
	46	0.58	0.649	0.651
	50	0.581	0.650	0.651
yüksüz plaka	30	0.519	0.596	0.595
	35	0.518	0.594	0.595
	40	0.519	0.596	0.596
	46	0.519	0.597	0.595
	50	0.519	0.597	0.595

EK 5. Tablo. 3. Kayma donatıları düşey yer değiştirmeyi mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 44.45 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma donatısının düşey yer değiştirme mm		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yüklü plaka	30	0.575	0.65	0.651
	35	0.576	0.65	0.651
	40	0.577	0.65	0.651
	46	0.577	0.649	0.651
	50	0.577	0.649	0.651
yüksüz plaka	30	0.521	0.596	0.595
	35	0.523	0.596	0.596
	40	0.522	0.596	0.596
	46	0.523	0.596	0.596
	50	0.523	0.597	0.596

EK 5. Tablo. 4. Kayma donatıları düşey yer değiştirmeyi mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 50,8 mm				
	Kayma donatısının düşey yer değiştirme mm			
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	0.573	0.65	0.651
	35	0.573	0.649	0.652
	40	0.574	0.649	0.652
	46	0.574	0.649	0.653
	50	0.574	0.65	0.653
yüksüz plaka	30	0.525	0.596	0.596
	35	0.525	0.596	0.596
	40	0.525	0.597	0.596
	46	0.526	0.598	0.597
	50	0.525	0.598	0.596

EK 6. Tablo. 1. Kayma donatıları etrafındaki çekme gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 31.75 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma Donatı Kenarlarında Çekme Gerilmeleri MPa		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	18.9	29	32.9
	35	18.8	34.8	35
	40	19.1	31.9	32.8
	46	19.7	34.5	31.4
	50	19.3	26.1	32.8
yüksüz plaka	30	17	31.14	32
	35	21	31.6	34.3
	40	19	29.2	32.5
	46	18.7	30.4	31.8
	50	19.4	28.6	32.8

EK 6. Tablo. 2. Kayma donatıları etrafındaki çekme gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 38.1 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma Donatı Kenarlarında Çekme Gerilmeleri MPa		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	13.2	32.1	31.5
	35	13.1	29.4	32.8
	40	13	27.5	31.1
	46	13.2	22.3	29.3
	50	11.8	28	29.4
yüksüz plaka	30	13.8	30.8	34
	35	13.8	27.7	32.6
	40	13.6	28.4	31.6
	46	13.7	27	29.6
	50	12.2	27.4	29.2

EK 6. Tablo. 3. Kayma donatıları etrafındaki çekme gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 44.45 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma Donatı Kenarlarında Çekme Gerilmeleri MPa		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	10.1	30.5	30.5
	35	10.1	30	28.6
	40	10.7	27.7	29
	46	10.6	26.4	28.3
	50	9.26	27.8	28.8
yüksüz plaka	30	10.5	29.6	30.8
	35	10.3	29.6	28.4
	40	10.6	29.6	28.8
	46	10.3	25.7	29.7
	50	10.1	27.2	29.6

EK 6. Tablo.4. Kayma donatıları etrafındaki çekme gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 50.8 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma Donatı Kenarlarında Çekme Gerilmeleri		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	8.54	27	29.4
	35	8.19	27.1	22.9
	40	8.15	25.1	25.9
	46	8.54	24.6	22.8
	50	7.61	27.3	25.3
yüksüz plaka	30	9.29	26.8	30.5
	35	8.91	26.2	22.9
	40	9.24	26.7	23
	46	9.31	27.9	22.5
	50	8.24	27.1	23.1

EK 7. Tablo. 1. Kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 31.75 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri MPa		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	36.7	29.7	31.5
	35	37.2	25.4	24
	40	42.7	23.6	25.4
	46	36.1	21.7	21.4
	50	42.8	22.5	21.9
yüksüz plaka	30	10.8	7.17	6.12
	35	13.5	7.37	6.38
	40	28	6.87	6.19
	46	22.2	6.09	4.88
	50	22.3	4.9	5.57

EK 7. Tablo.2. Kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 38.1 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri MPa		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	23.5	24.1	23.2
	35	23.4	22.6	22.3
	40	23.2	20.6	20.8
	46	23.4	20.2	21.2
	50	24.1	19	21.1
yüksüz plaka	30	15.1	6.14	6.5
	35	14.9	5.09	5.71
	40	14.7	4.75	3.66
	46	15.1	3.77	2.26
	50	9.51	3.33	1.81

EK 7. Tablo.3. Kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 44.45 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri MPa		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	20.2	21.5	20.1
	35	24.5	20.6	20.7
	40	33.5	23.2	20.5
	46	24.8	17.5	20.1
	50	22.1	19.9	21
yüksüz plaka	30	9.72	4.33	2.85
	35	7.78	3.63	2.16
	40	7.75	2.67	1.69
	46	8.82	2.22	1.59
	50	6.2	2.85	2.01

EK 7. Tablo.4. Kayma donatıları üstündeki basınç gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 50.8 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma donatısının üstündeki basınç gerilmeleri MPa		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yüklü plaka	30	16.4	20.1	21.3
	35	18.4	18.4	19.8
	40	22	18.2	17.7
	46	15.7	18.9	19.6
	50	17.4	18.1	17.7
yüksüz plaka	30	10.6	3.15	1.69
	35	8.47	2.84	2.23
	40	10.5	2	3.41
	46	11.2	1.63	2.1
	50	5.13	1.95	4.63

EK 8. Tablo. 1. Kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 31.75 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri MPa		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yüklü plaka	30	16.9	6.76	7.61
	35	14.5	8.84	8.54
	40	9.98	8.4	6.68
	46	11	5.02	6.17
	50	12.3	6.16	4.52
yüksüz plaka	30	53	27	31.2
	35	56	25.1	26.6
	40	56.5	23.7	22.1
	46	49.6	23	19.3
	50	38.7	21.6	19.1

EK 8. Tablo. 2. Kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 38.1 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri MPa		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	9.12	7.12	6.16
	35	8.69	5.81	4.93
	40	9.17	4.75	3.91
	46	8.52	4.97	3.01
	50	5.97	3.81	3.17
yüksüz plaka	30	24.7	27.1	21.9
	35	24.7	20	23.4
	40	24.3	22.4	19.6
	46	24.6	18.1	21.1
	50	23.8	19.4	20.5

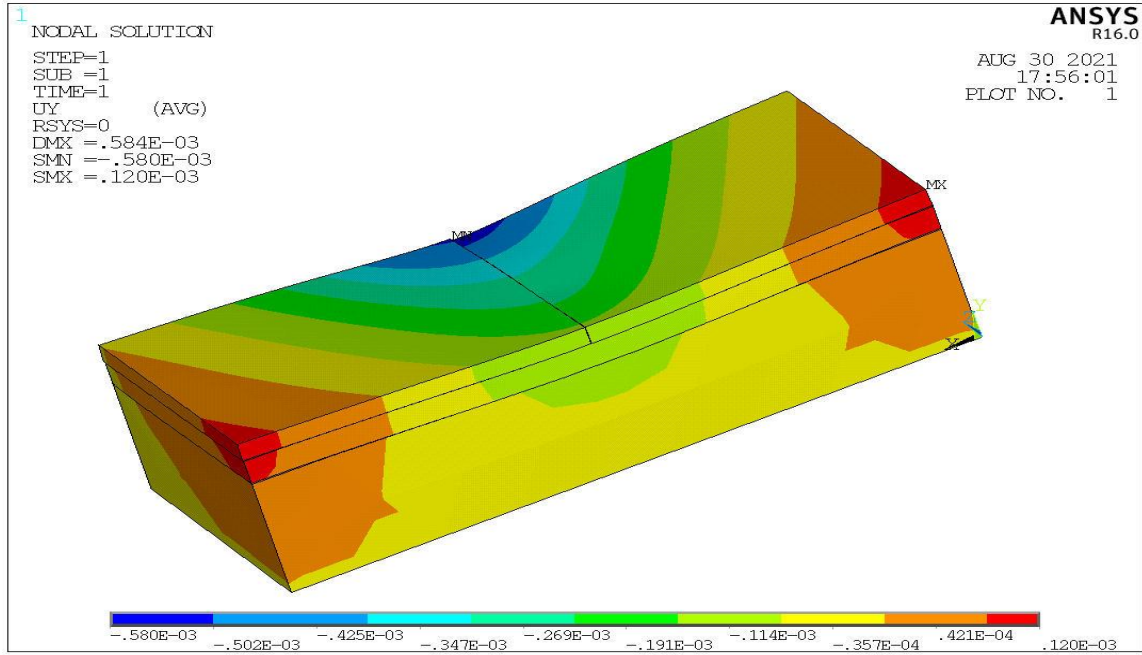
EK 8. Tablo. 3. Kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 44.45 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri MPa		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	6.46	5.02	3.81
	35	8.34	4.12	3.03
	40	7.49	3.63	2.83
	46	5.93	2.81	2.49
	50	5.07	2.62	2.85
yüksüz plaka	30	20.4	21.1	17.6
	35	23.1	21.6	20.5
	40	23.6	17	20.3
	46	22.8	19	18.7
	50	19.2	16.5	20.3

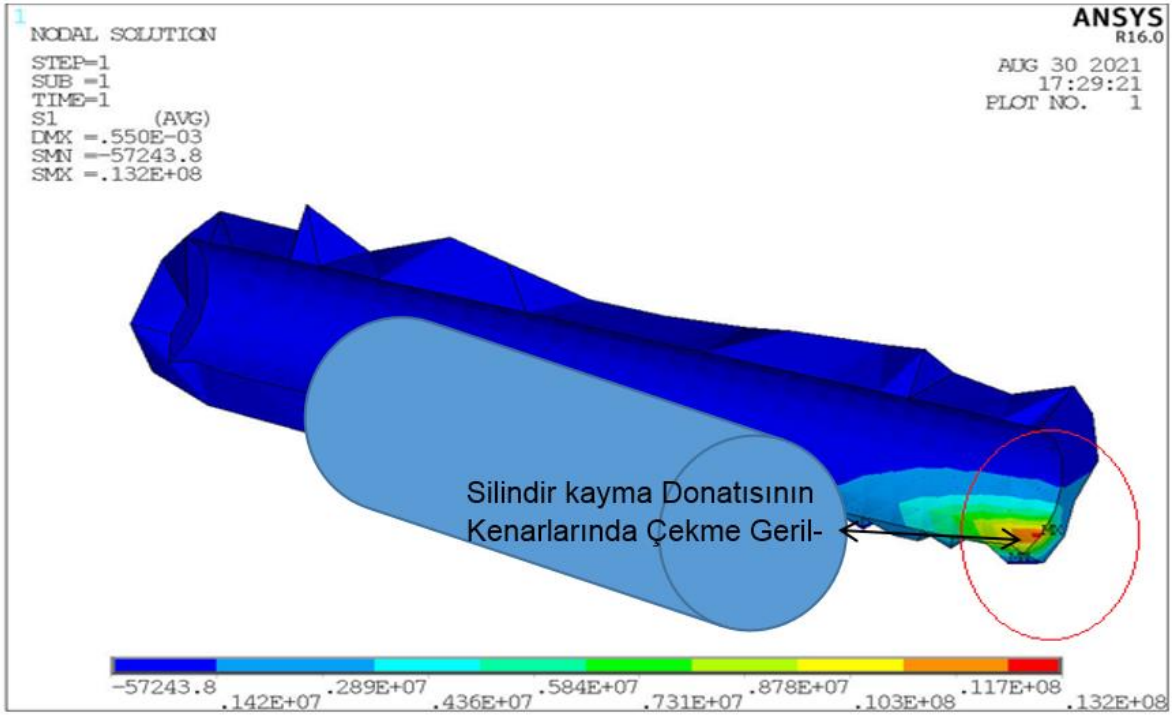
EK 8. Tablo. 4. Kayma donatıları altındaki basınç gerilmeleri mukayesesi

Silindir kayma donatısı Çap 50.8 mm				
	Eşdeğer Silindir kayma donatısı. Uzunluk cm	Kayma donatısının altındaki basınç gerilmeleri MPa		
		Silindir kayma donatısı	Dairesel kayma donatısı	Ellipsoidal kayma donatısı
yükli plaka	30	5.98	4.09	4.12
	35	5.49	2.88	6.06
	40	5.36	3.29	3.37
	46	6.58	2.54	4.63
	50	4.25	2.36	4.19
yüksüz plaka	30	17.5	18	19.7
	35	17.6	19.6	21.9
	40	17.9	18.2	21.2
	46	17.1	19.5	17.6
	50	15.5	19.2	18.5

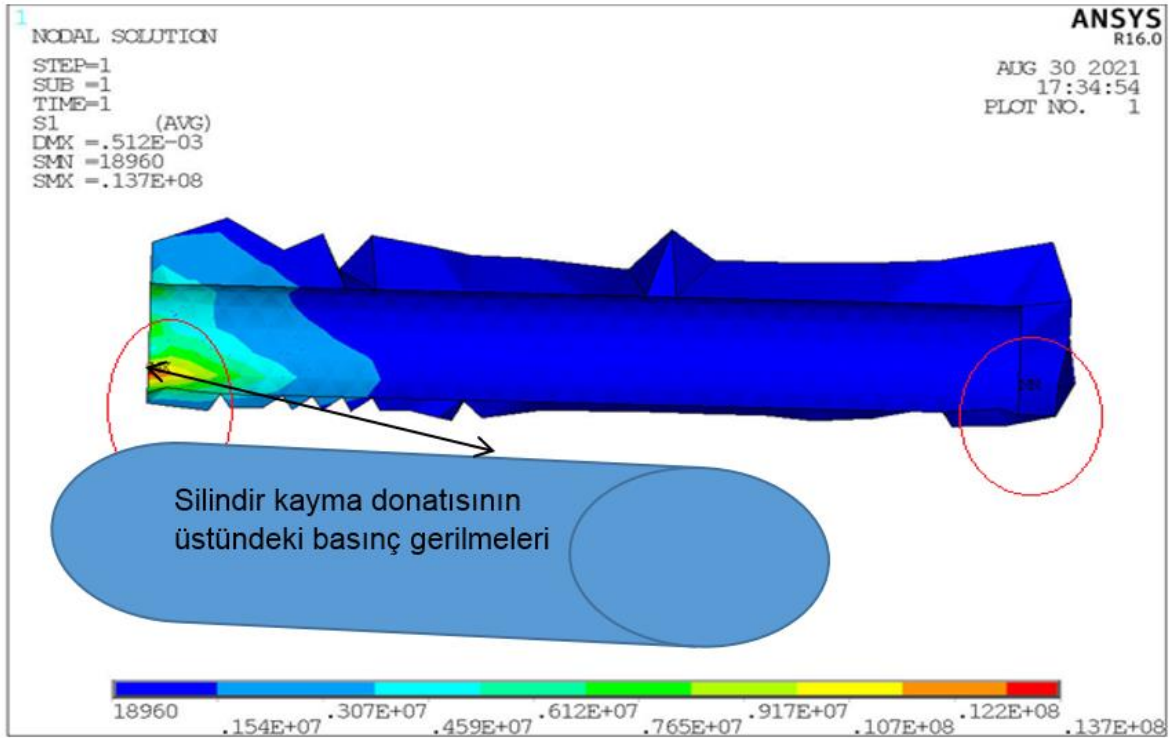
EK. 9. Sonu Elemanlari sonuçla şekiller



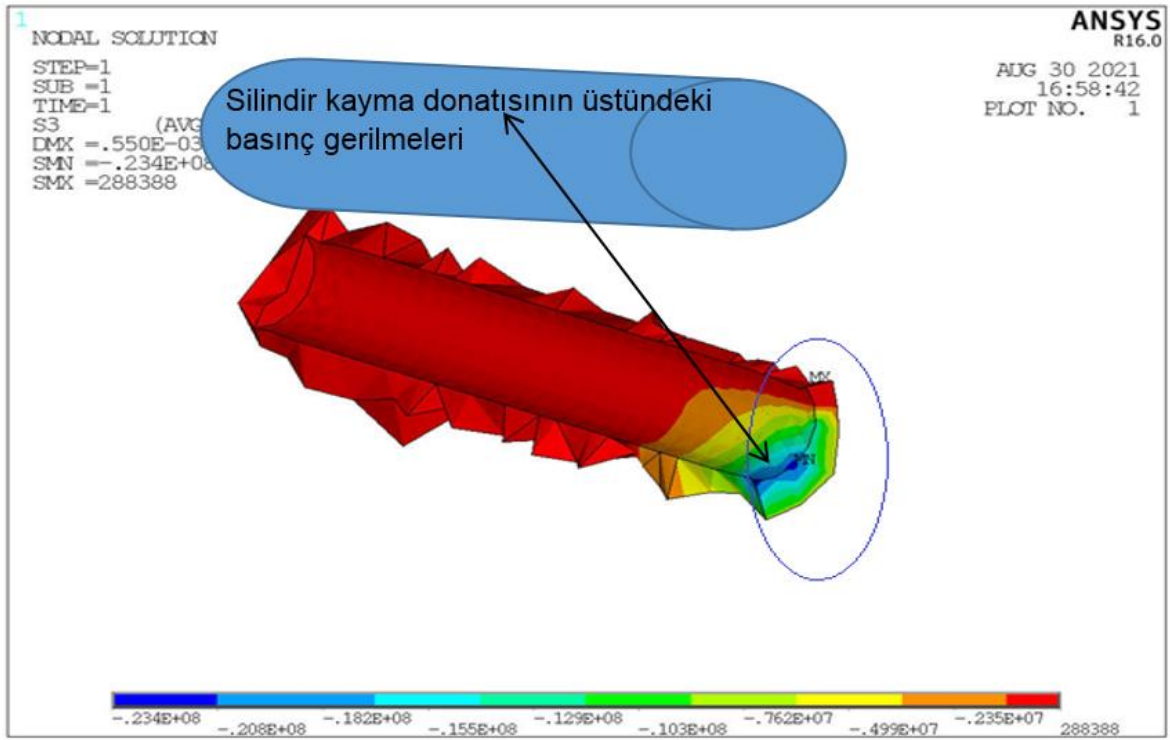
EK. 9. Şekil.1. 38,1 mm çapındaki silindirli kayma donatısı için y yönünde rijit kaplama maksimum dikey yer değiştirme



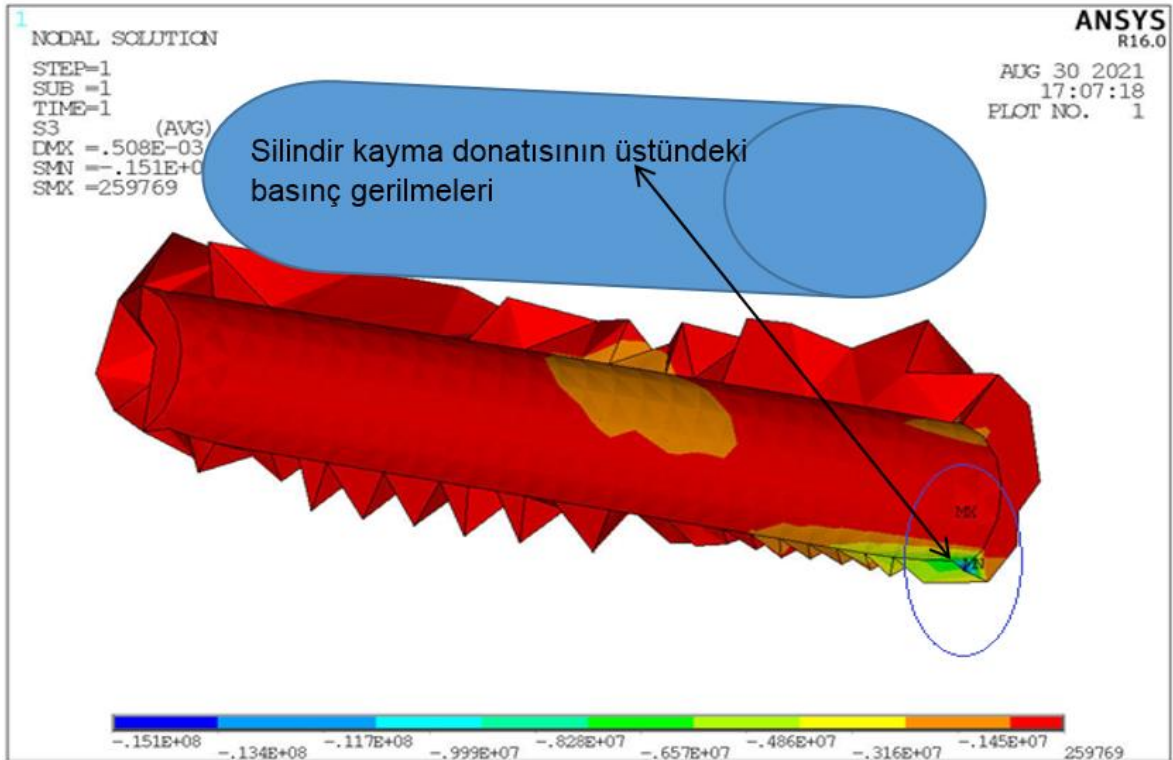
EK. 9. Şekil.2. 38.1 mm çapında Silindir Kayma Donatı Kenarlarında Yüklü plaka 1er asal gerilmesi



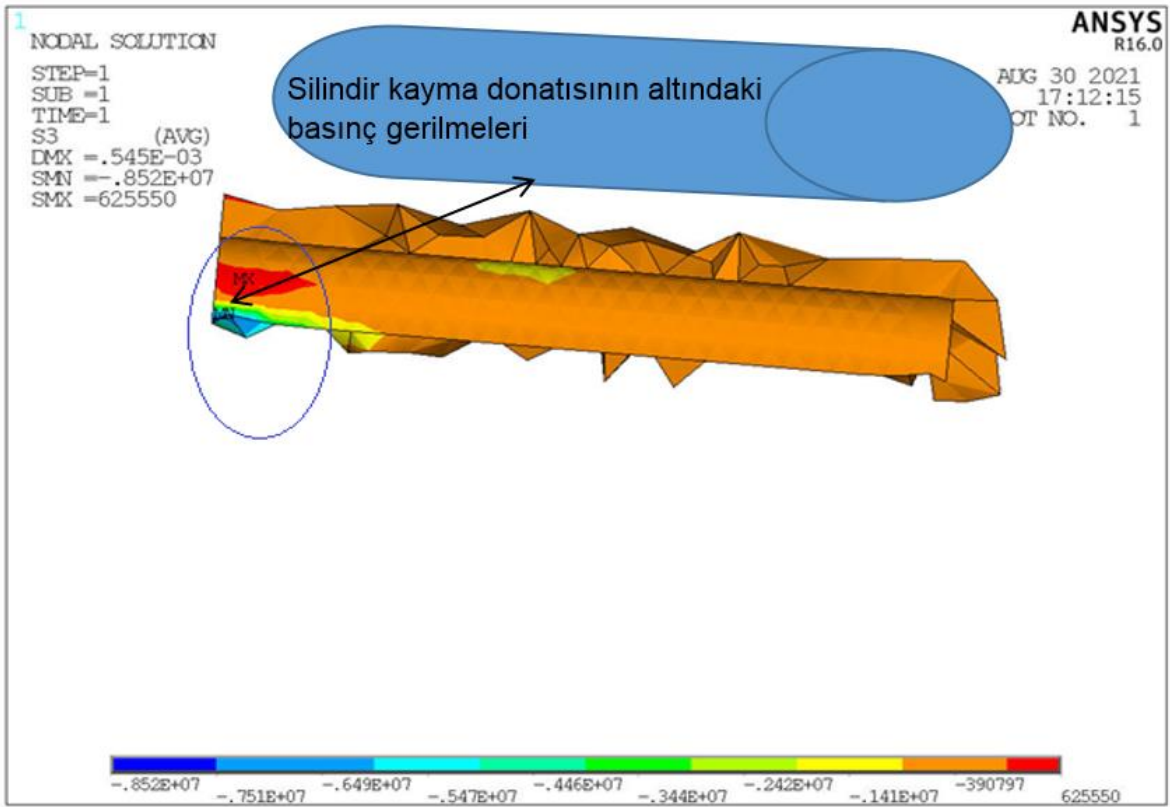
EK. 9. Şekil.3. 38,1 mm çapında Silindir Kayma Donatı Kenarlarında yüksüz plaka 1er asal gerilmesi



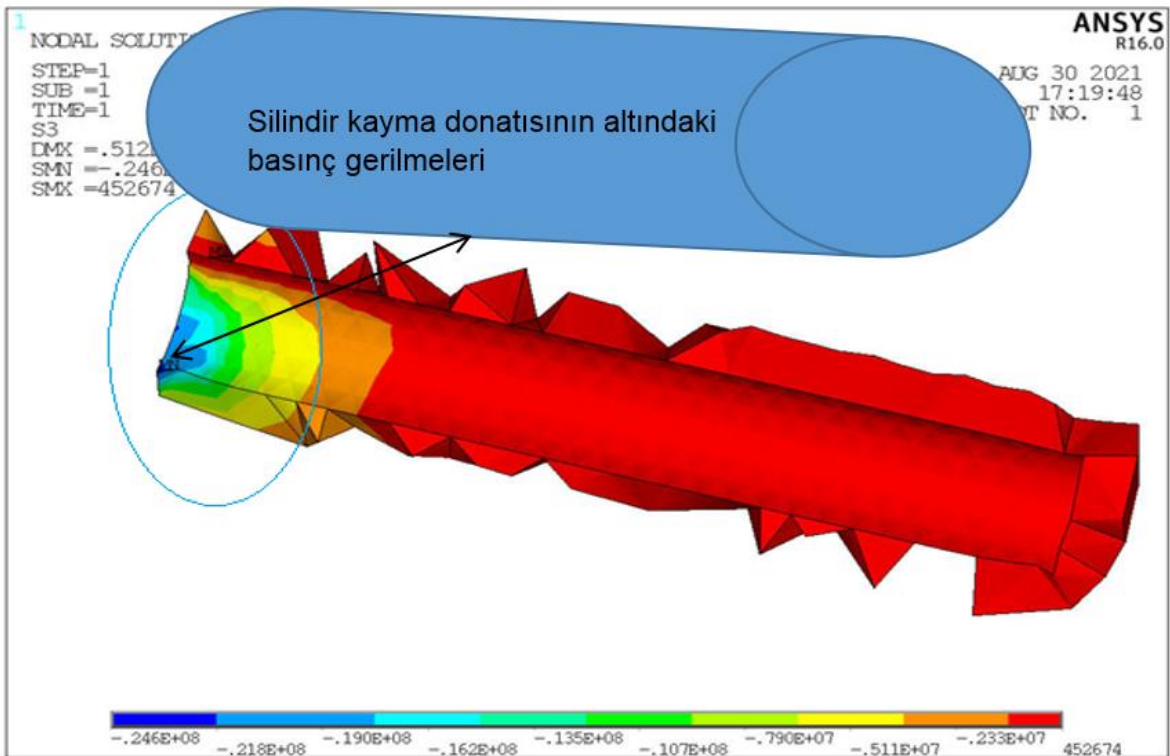
EK. 9. Şekil.4. 38.1 mm çapında Silindir Kayma Donatı üstündeki Yüklü plaka 3eme asal gerilmesi



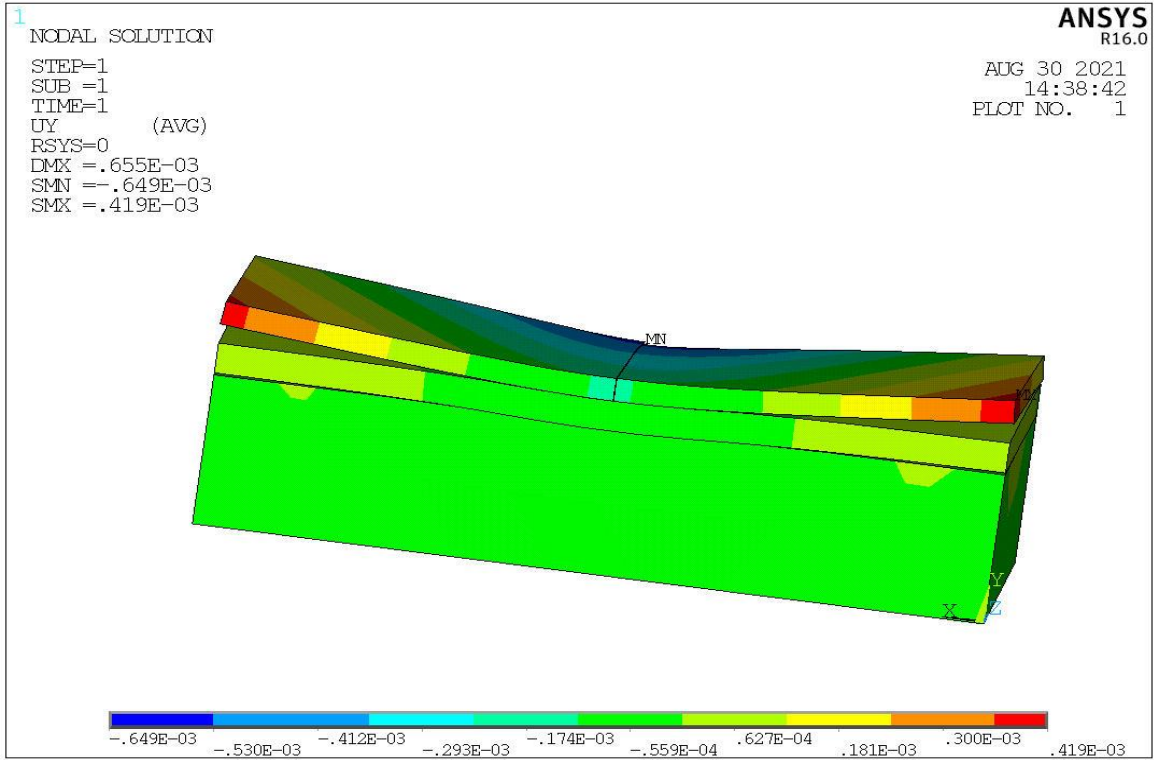
EK. 9. Şekil.5. 38.1 mm çapında silindir Kayma Donatı üstündeki yüksüz plaka 3eme asal gerilmesi



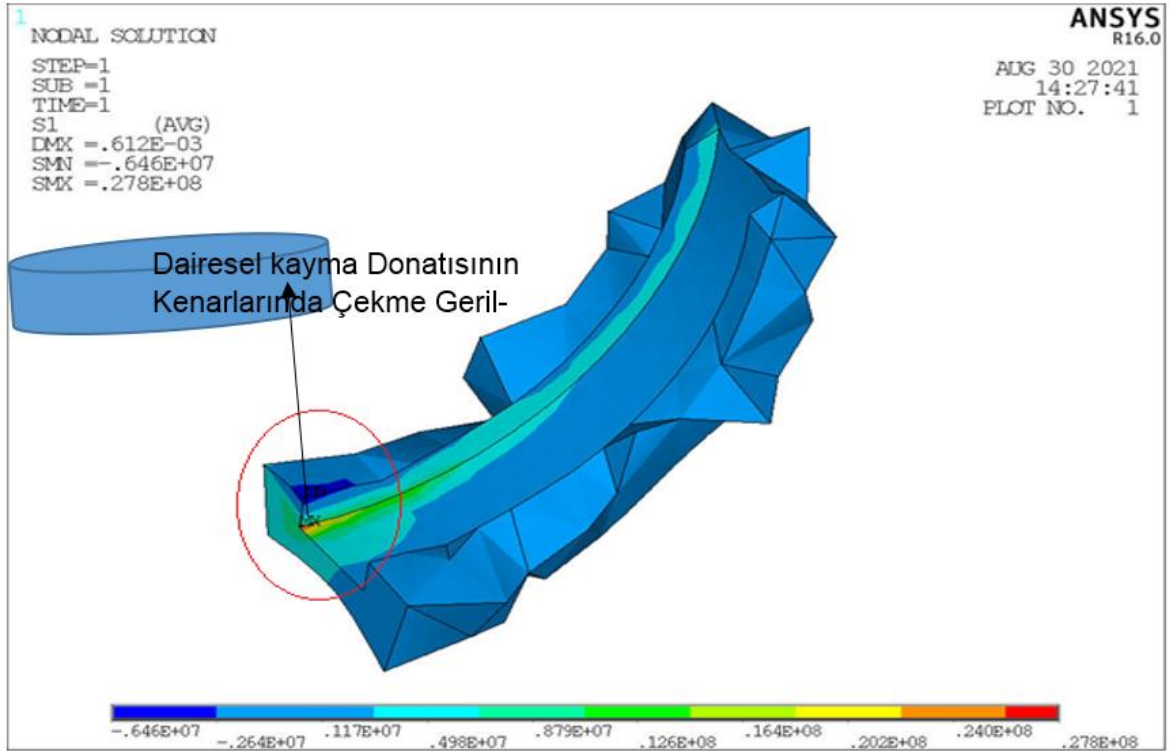
EK. 9. Şekil.6. 38,1 mm çapında silindir Kayma Donatı altındaki Yüklü plaka 3eme asal gerilmesi



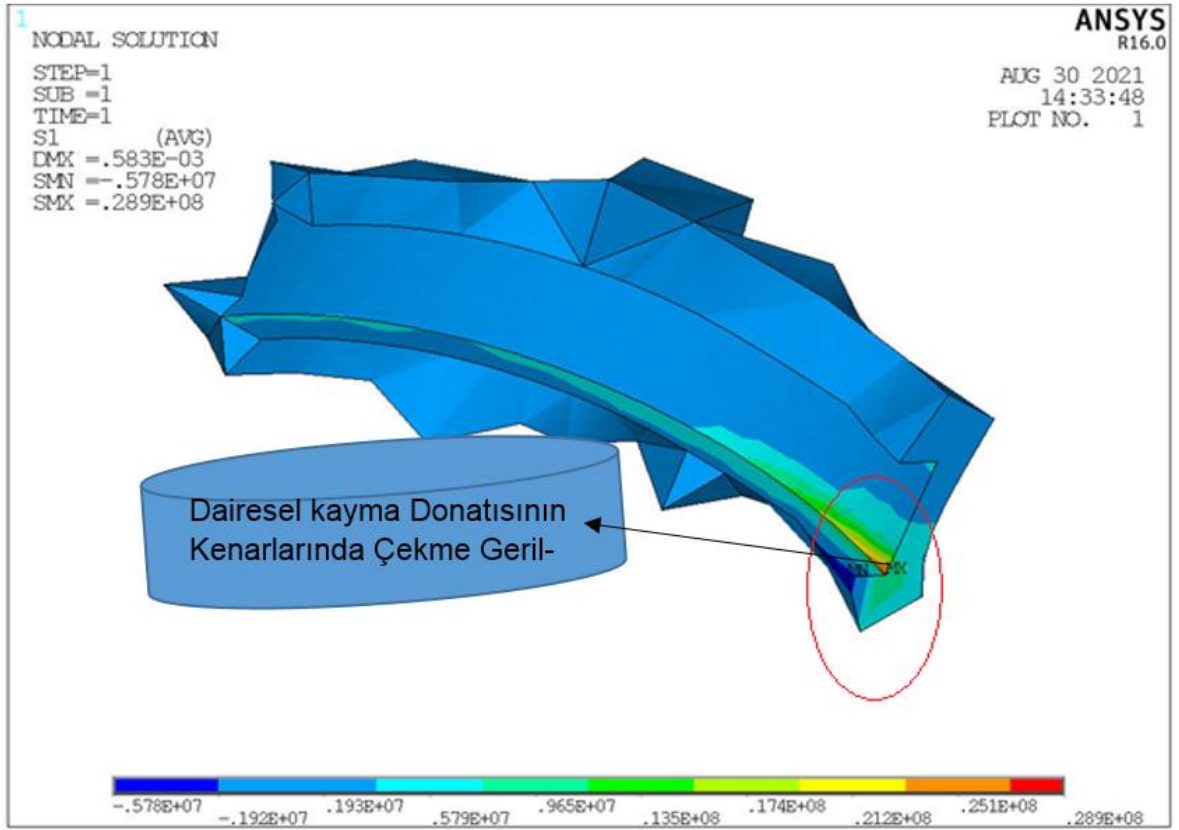
EK. 9. Şekil.7. 38,1 mm çapında silindir Kayma Donatı altındaki yüksüz plaka 3eme asal gerilmesi



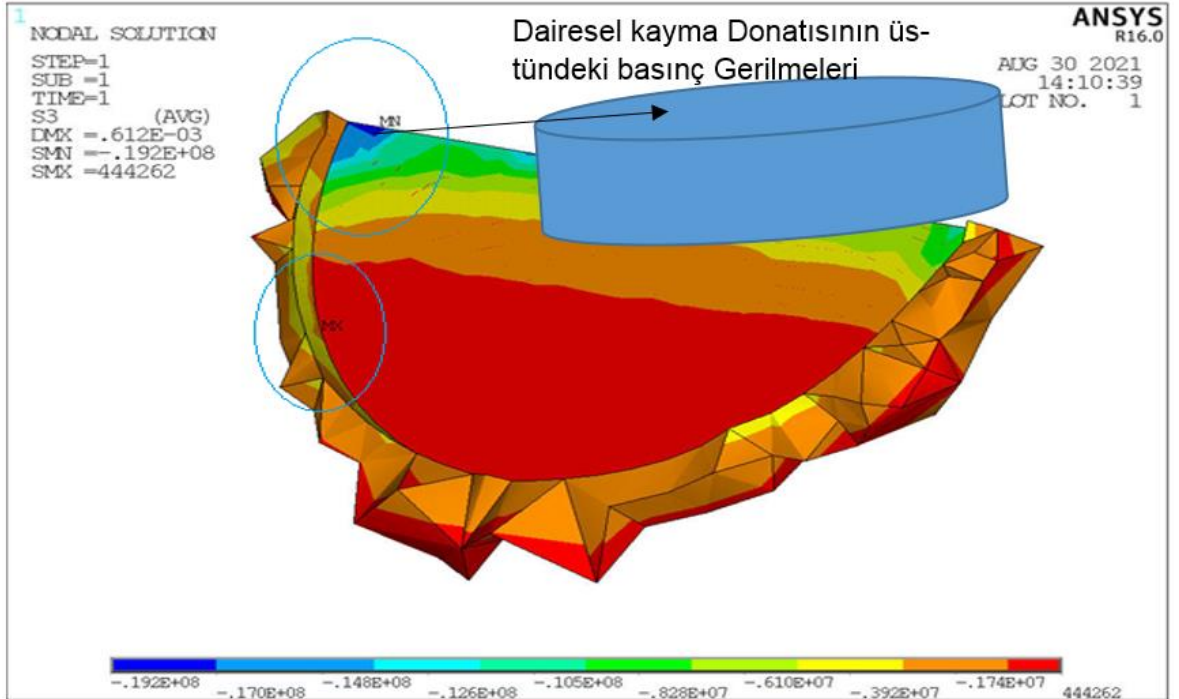
EK. 9. Şekil.8. 38,1 mm çapındaki Dairesalli kayma donatısı için y yönünde rijit kaplama maksimum dikey yer değıştirme



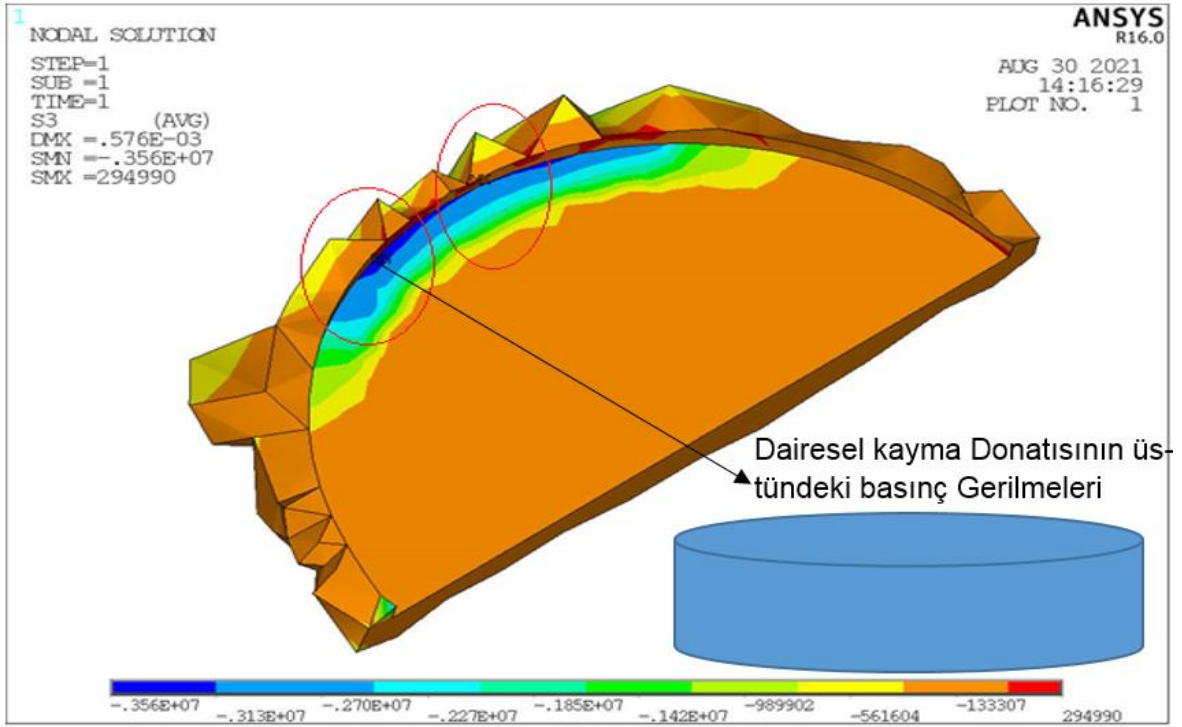
EK. 9. Şekil.9. 38,1 mm çapında daireselli Kayma Donatı Kenarlarında Yüklü plaka 1er asal gerilmesi



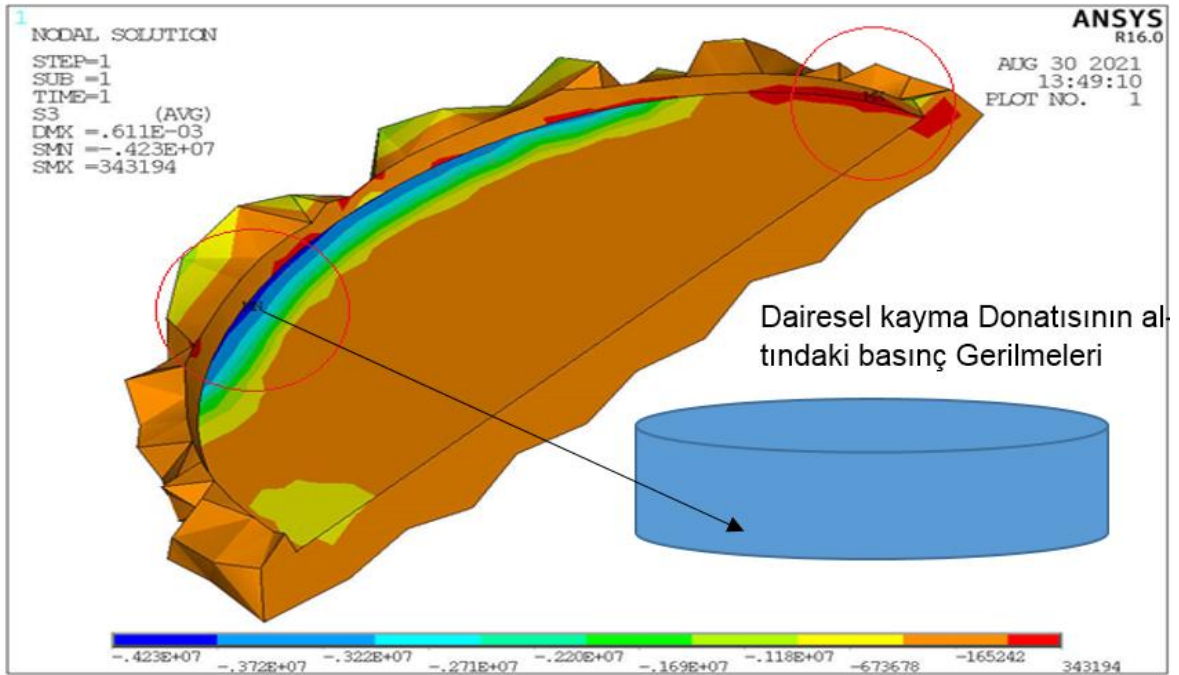
EK. 9. Şekil.10. 38,1 mm çapında daireselli Kayma Donatı Kenarlarında yüksüz plaka 1er asal gerilmesi



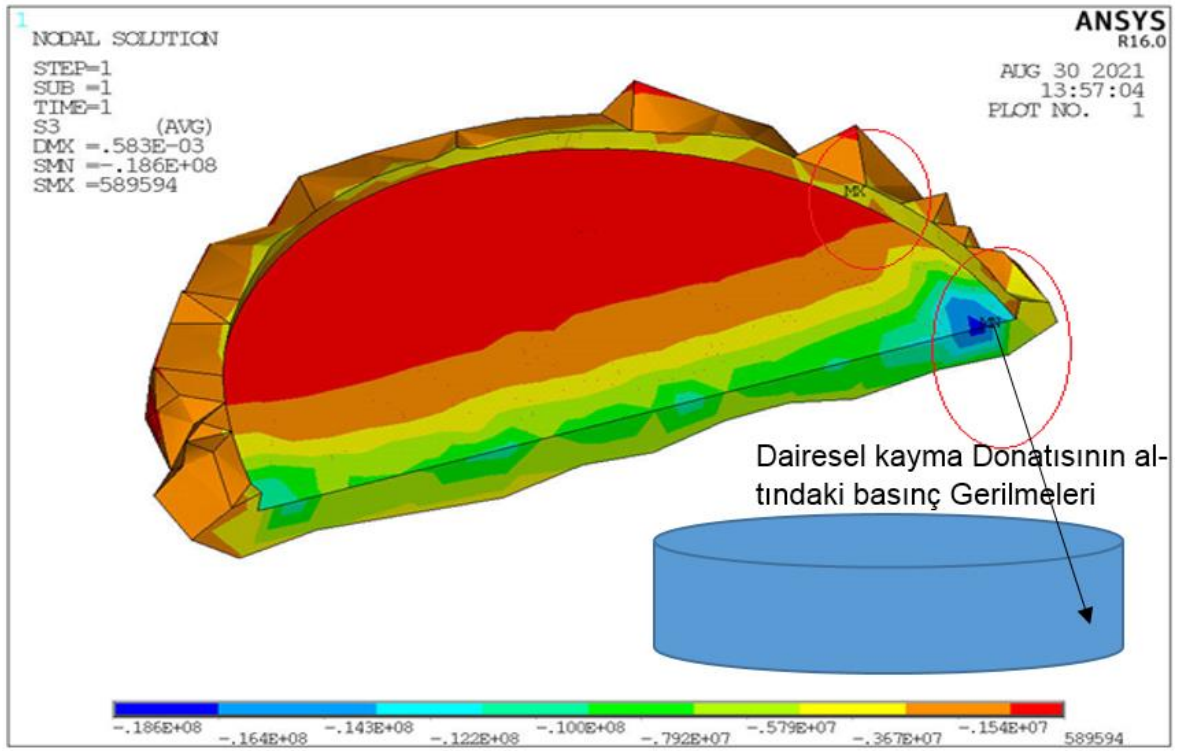
EK. 9. Şekil.11. 38,1 mm çapında daireselli Kayma Donatı üstündeki Yüklü plaka 3eme asal gerilmesi



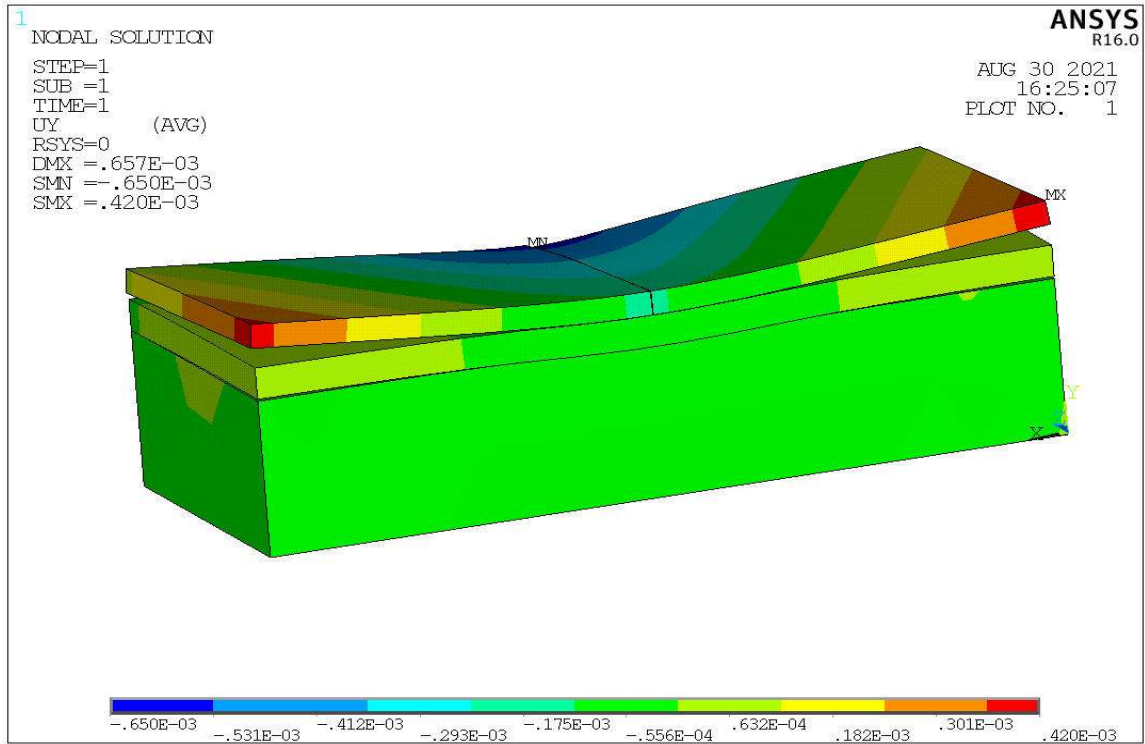
EK. 9. Şekil.12. 38.1 mm çapında daireselli Kayma Donatı üstündeki yüksüz plaka 3eme asal gerilmesi



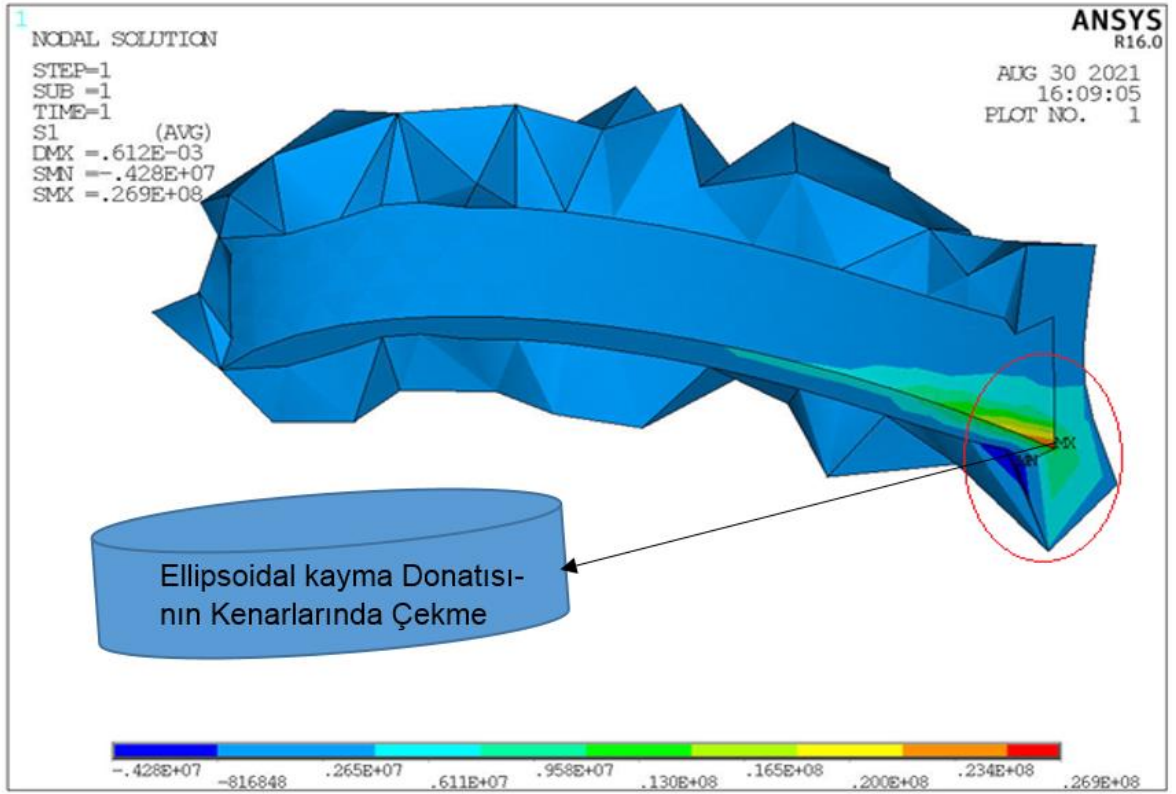
EK. 9. Şekil.13. 38.1 mm çapında daireselli Kayma Donatı altındaki Yüklü plaka 3eme asal gerilmesi



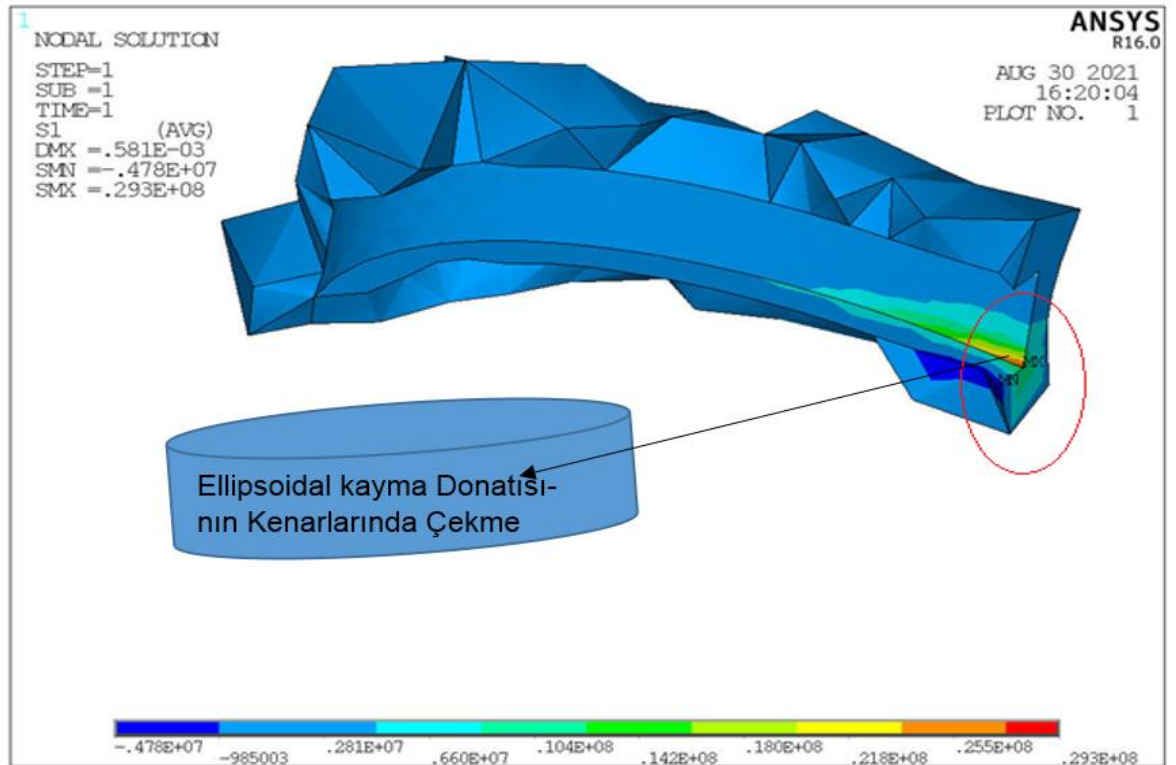
EK. 9. Şekil.14. 38.1 mm çapında daireselli Kayma Donatı altındaki yüksüz plaka 3eme asal gerilmesi



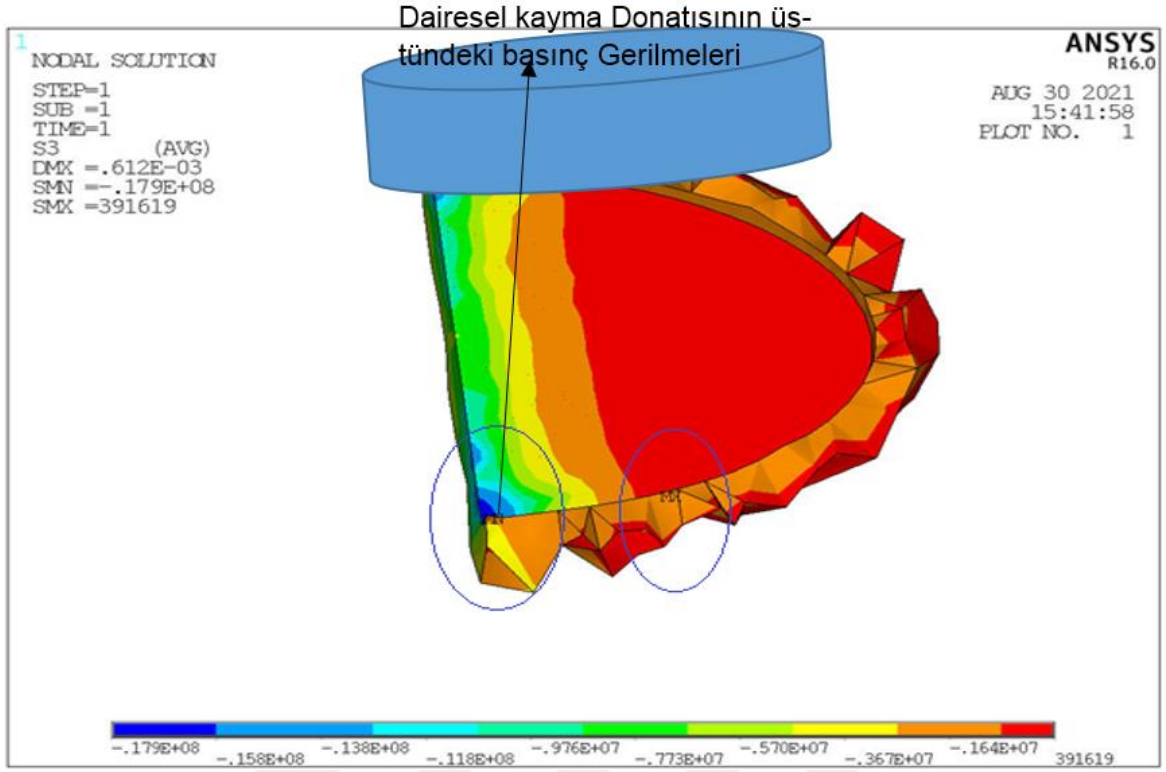
EK. 9. Şekil.15. 38,1 mm çapındaki ellipsoidallı kayma donatısı için y yönünde rijit kaplama maksimum dikey yer değiştirme.



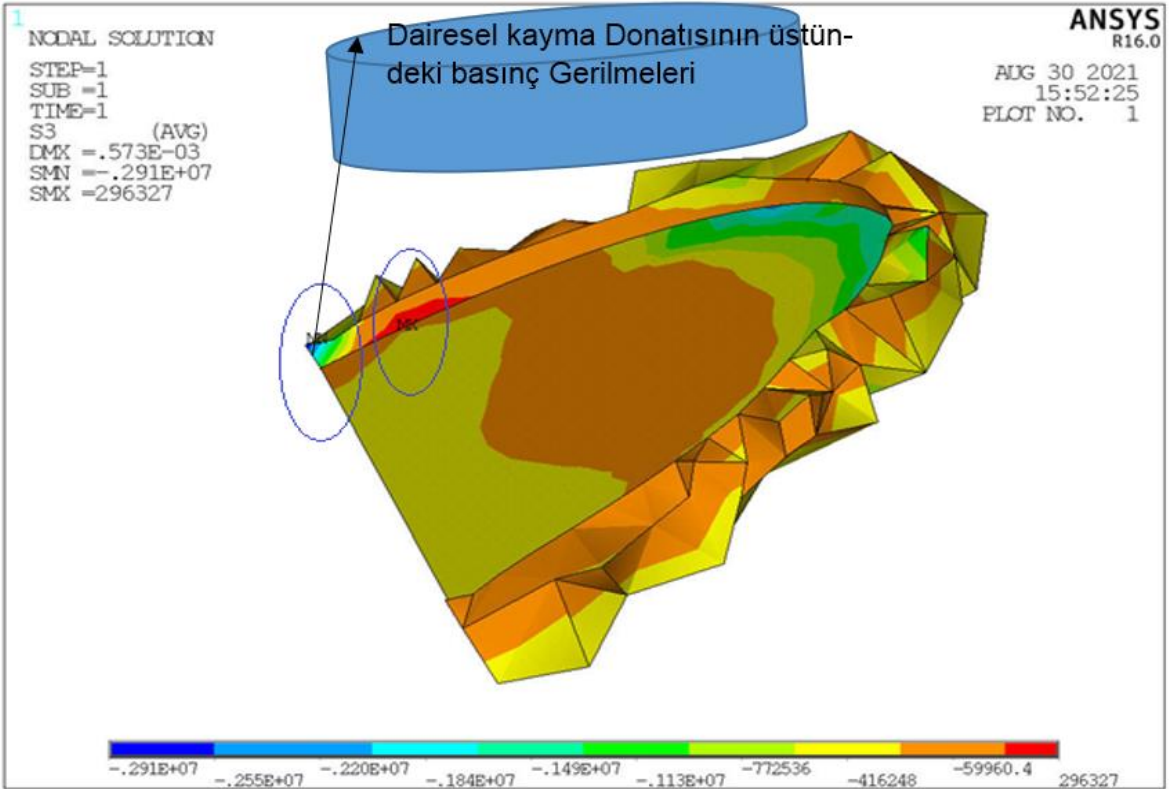
EK. 9. Şekil.16. 38.1 mm çapında elipsoidalli Kayma Donatı Kenarlarında Yüklü plaka 1er asal gerilmesi



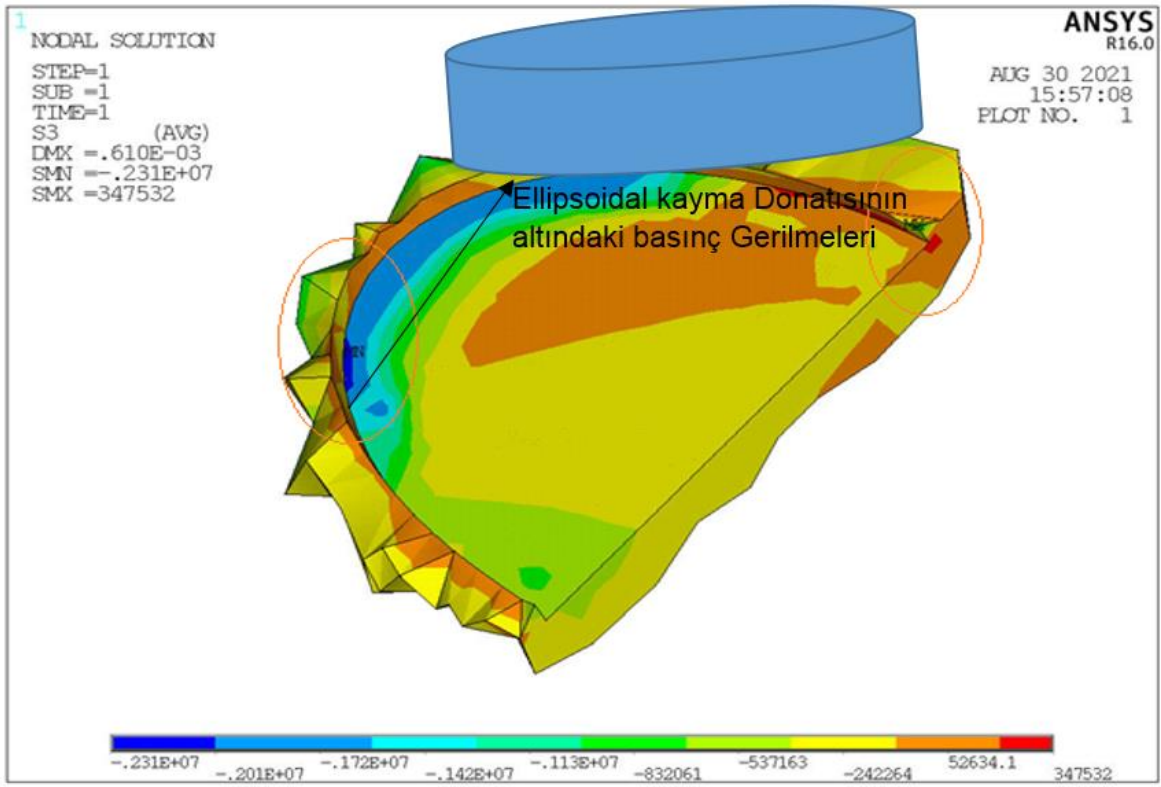
EK. 9. Şekil.17. 38.1 mm çapında elipsoidalli Kayma Donatı Kenarlarında yüksüz plaka 1er asal gerilmesi



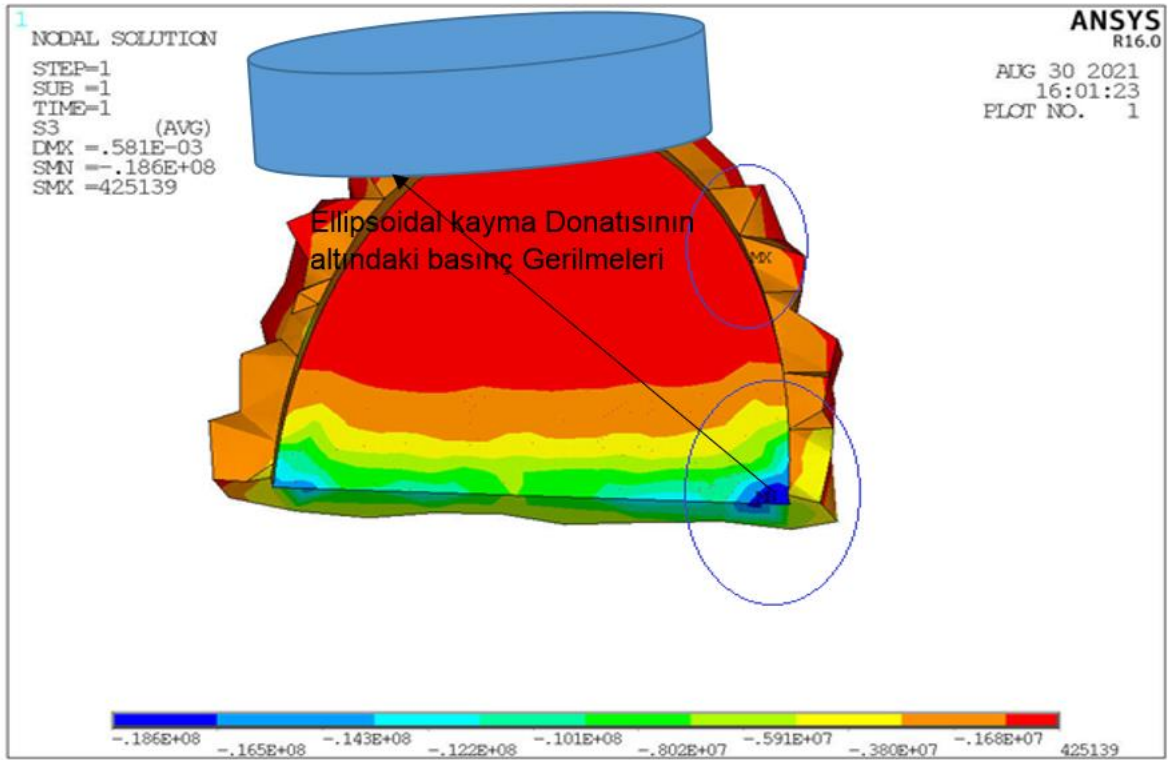
EK. 9. Şekil.18. 38.1 mm çapında elipsoidalli Kayma Donatı altındaki Yüklü plaka 3eme asal gerilmesi



EK. 9. Şekil.19. 38.1 mm çapında elipsoidalli Kayma Donatı altındaki yüksüz plaka 3eme asal gerilmesi



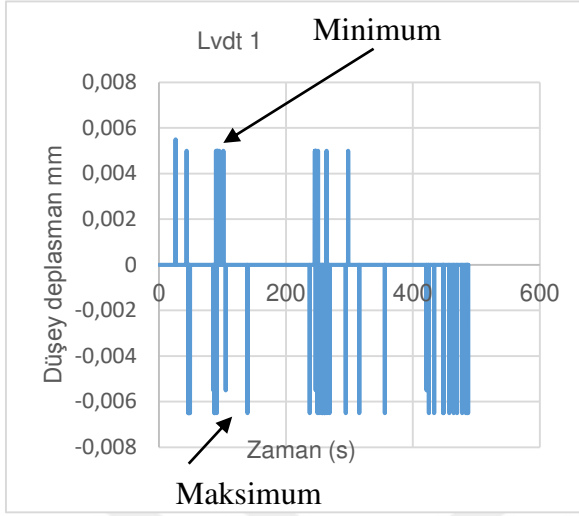
EK. 9. Şekil.20. 38.1 mm çapında elipsoidalli Kayma Donatı altındaki Yüklü plaka 3eme asal gerilmesi



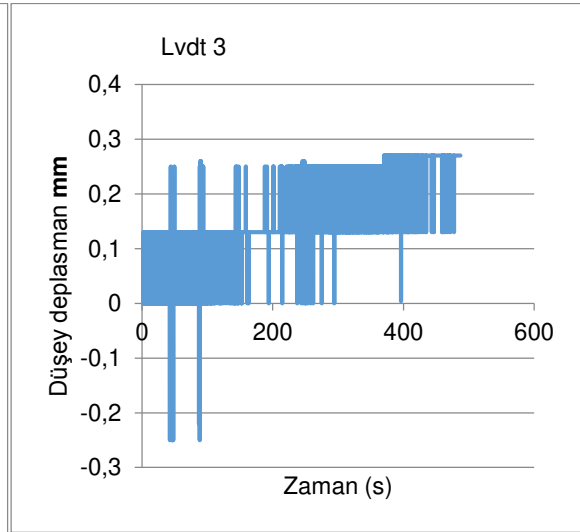
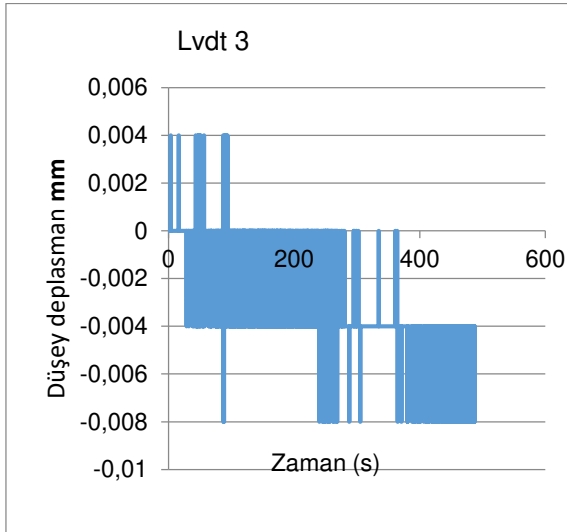
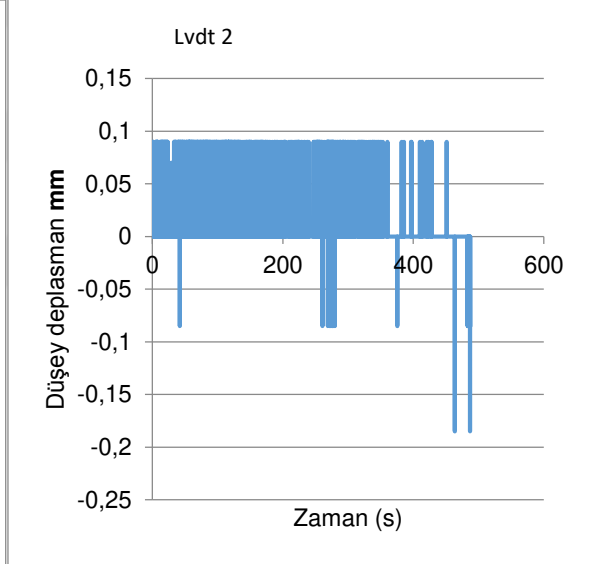
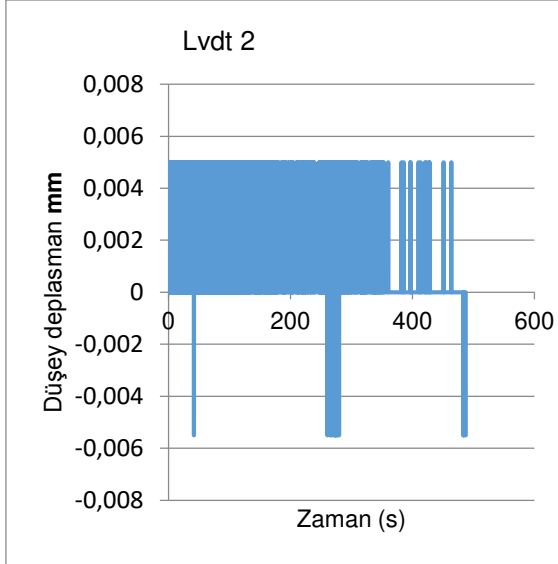
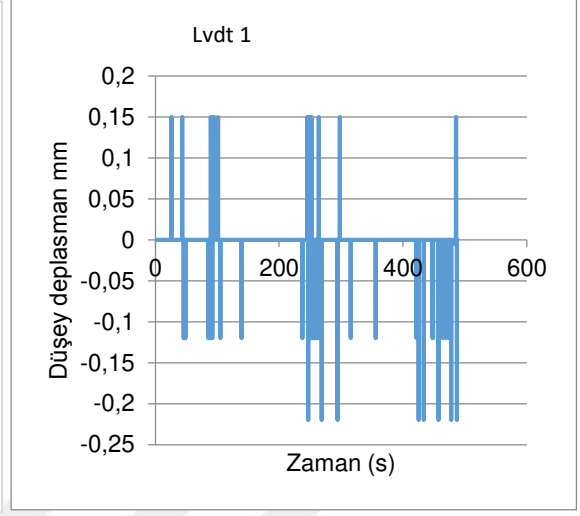
EK. 9. Şekil.21. 38.1 mm çapında elipsoidalli Kayma Donatı altındaki yüksüz plaka 3eme asal gerilmesi

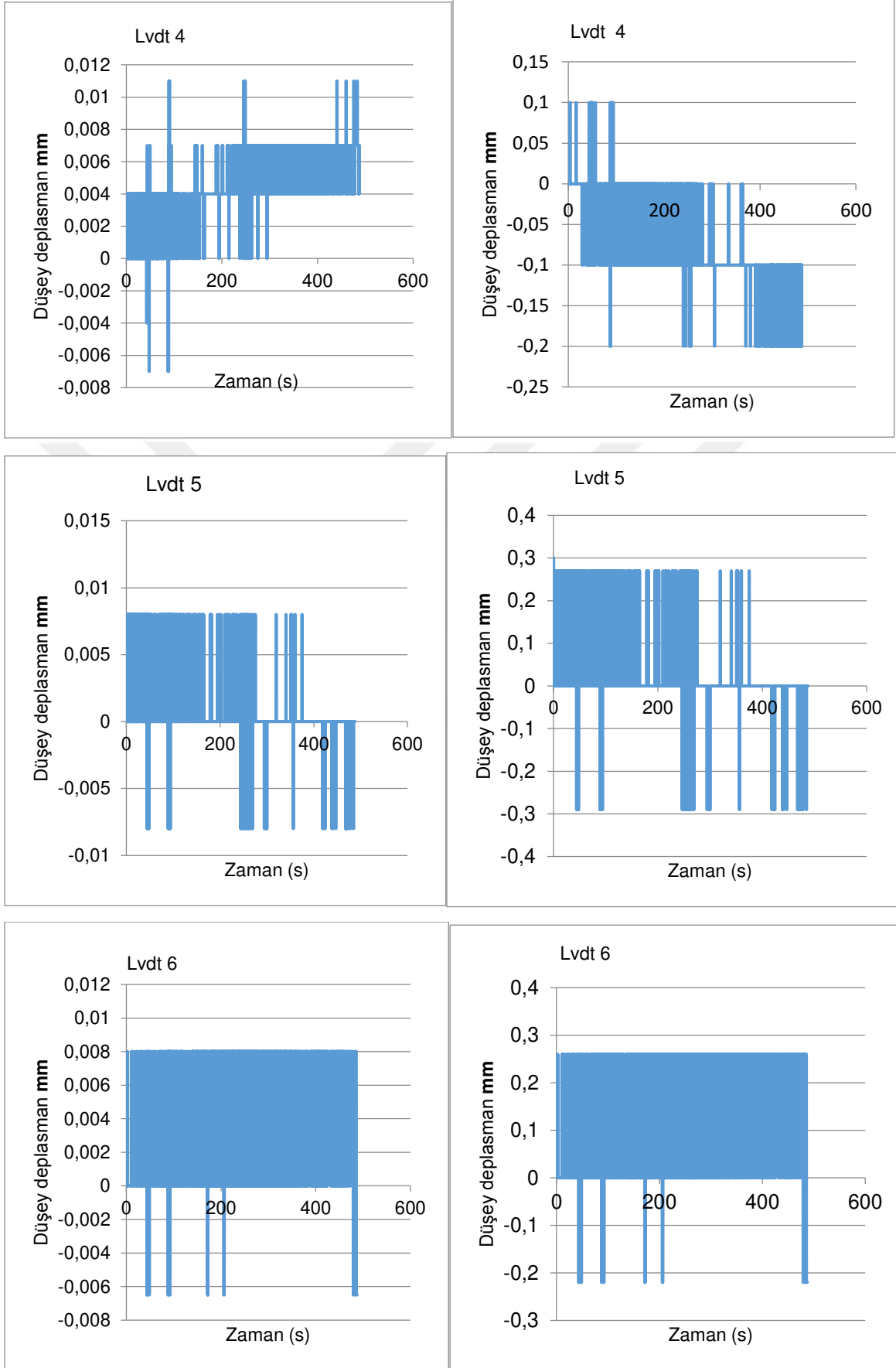
EK 10. LVDT okuma değerlerin şekiller

Ölçümleri (1.000 Geçiş)



Ölçümleri (50.000 Geçiş)





ÖZGEÇMİŞ

2003 yılında ISSA BERY lisesinden mezun oldu. Profesyonel yüksek lisans derecesini 2015 yılında Lomé'de Köprüler ve Yollar yüksek Okulu inşaat mühendisliği alanında aldı. 2016 yılından bu yana Türk hükümetinden Türkiye bursları almaktadır. Beton yollar üstyapıda, daha kesin olarak derzli üstyapıda uzmandır. Türkçe, Fransızca ve İngilizce olmak üzere 3 uluslararası dil bilmektedir. Araştırma yapmayı ve makale yayınlamayı sever. Ayrıca sporu ve müziği sever. Çocuksuz bekar.

