



**ÇELİK PLAKA VE BETON ARAYÜZEYİNDEKİ YAPIŞMA DAVRANIŞININ
MODELENMESİ**

Yusuf YILDIRIM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2014

Yusuf YILDIRIM tarafından hazırlanan “ÇELİK PLAKA VE BETON ARAYÜZEYİNDEKİ YAPIŞMA DAVRANIŞININ MODELLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Yapı Eğitim Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Gökhan DURMUŞ

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu Onaylıyorum

.....

Başkan : Prof. Dr. H.Yılmaz ARUNTAŞ

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu Onaylıyorum

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail ŞAHİN

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu Onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 27/06/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
Yusuf YILDIRIM

27/06/2014

ÇELİK PLAKA VE BETON ARAYÜZEYİNDEKİ YAPIŞMA DAVRANIŞININ
MODELLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Yusuf YILDIRIM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2014

ÖZET

Bu çalışmada, farklı kalınlıktaki çelik plakalar farklı beton sınıflarında hazırlanan beton yüzeylerine epoksi esaslı yapıştırıcı ile yapıştırılarak, çelik plaka ve beton arayüzeyinde oluşan kayma gerilmeleri, hem deneysel hem de sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılmıştır. Basınç dayanımları 18 ve 30 MPa olan 200x200x300 mm ölçülerindeki beton bloklara 2, 4 ve 6 mm çelik plakalar; yapıştırıcı kalınlıkları 2, 3 ve 4 mm olacak şekilde epoksi esaslı yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve toplamda 18 adet deney numunesi üretilmiştir. Bu betonlara tek yönlü itme kuvvet uygulanmış ve kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Ayrıca ayrılma anındaki yük değeri, beton yüzeyinde oluşan hasar durumu, çelik plakalardaki birim deformasyon miktarları, çelik plaka ve yapıştırıcı tabakası kalınlığının etkileri ve bu etkilerin beton sınıfı üzerinde etkili olup olmadığı araştırılmış; elde edilen deneysel bulgular, sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS (Workbench) ve Simulation programlarında modellenerek deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçta gerilmelerin yükün uygulandığı üst kısımlarda yoğunlaştığı, alt kısımlara gidildikçe doğrusal olarak azaldığı; C18 betonu için en büyük göçme yüklerinin 2 mm çelik plaka - 2 mm yapıştırıcı tabakası kalınlığında, C30 betonu için ise 6 mm çelik plaka - 4 mm yapıştırıcı tabakası kalınlığında olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 714.3.035
Anahtar Kelimeler : Beton, Çelik plaka, Epoksi, ANSYS, Simulation
Sayfa Adedi : 123
Danışman : Yrd. Doç. Dr. Gökhan DURMUŞ

MODELING OF THE ADHESION'S BEHAVIOR OF INTERFACE'S STEEL PLATE AND CONCRETE

(M. Sc. Thesis)

Yusuf YILDIRIM

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2014

ABSTRACT

In this study, the different thickness steel plates are bonded with epoxy adhesive to the concrete surfaces which prepared in different classes, the shear stresses between steel plates and concrete surface are investigated by the method of experimental and the finite elements. 2,4 and 6 mm steel plates are bonded with epoxy adhesive which have 2,3,4 mm thicknesses to concrete blocks which have 30MP and 18 MP compressive strength and 200*200*300 mm size and 18 test sample are produced. One-way thrust is applied to these samples and the shear stresses are determined. In addition load value at the time of separation, damages conditions on the concrete surface the amount of strains on the steel plates, effect of thicknesses of steel plate and glue and whether these effects are effective on concrete classes or not searched. The experimental results are compared with results of ANSYS (Workbench) which uses finite element method and Simulations software. As a result, the stresses concentrate at top part of specimens where load is applied and decreases linearly to downward. In addition the largest force causing failure is observed in the specimen with 2 mm steel plate -2 mm thickness glue surface for C18 concrete and in the specimen with 6 mm steel plate - 4 mm thickness glue surface for C30 concrete.

Science Code : 714.3.035

Keywords : Concrete, Steel plate, Epoxy, ANSYS, Simulation

Number of Pages : 123

Advisor : Assist. Prof. Dr. Gökhan DURMUŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Gökhan DURMUŞ'a, tez çalışması boyunca tecrübelerinden yararlandığım hocalarım Prof. Dr. H.Yılmaz ARUNTAŞ, Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU, Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e, arkadaşlarım Öğr. Gör. Gökhan KAPLAN ve Öğr. Gör. Muzaffer TATLI'ya, malzeme teminindeki katkılarından dolayı Kayaş Polat Beton Santrali LTD.ŞTİ'ne ve Limak Çimento'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Beton ve Bileşenleri.....	3
2.1.1. Beton	3
2.1.2. Çimento	6
2.1.3. Agregası.....	6
2.1.4. Su	7
2.1.5. Diğer malzemeler	7
2.2. Güçlendirme ve Güçlendirme Yöntemleri	8
2.2.1. Güçlendirme	8
2.2.2. Güçlendirme yöntemleri	9
2.2.3. Güçlendirme ile yapılan çalışmalar.....	16
2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi	19
3. MALZEME VE YÖNTEM	23
3.1. Malzemeler.....	23

	Sayfa
3.1.1. Beton	23
3.1.2. Çelik plaka	25
3.1.3. Arayüzey yapıştırıcısı	25
3.2. Yöntemler	26
3.2.1. Beton numunelerin üretimi	26
3.2.2. Çelik plakaların yapıştırılması	30
3.2.3. Birim deformasyon ölçerler (strain gage)	32
3.2.4. Kayma gerilmesi deneyi	34
3.2.5. Deney numunelerinin isimlendirilmesi	36
3.2.6. Sonlu elemanlar yönteminin ANSYS ve Simulation ile uygulanması	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1. Sertleşmiş Beton Basınç Deneyi Sonuçları	45
4.2. Arayüzeyde Oluşan Ayrılma (Göçme) Durumları	45
4.2.1. C18P2Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları	46
4.2.2. C18P2Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları	46
4.2.3. C18P2Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları	47
4.2.4. C18P4Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları	48
4.2.5. C18P4Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları	48
4.2.6. C18P4Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları	49
4.2.7. C18P6Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları	50
4.2.8. C18P6Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları	50
4.2.9. C18P6Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları	51
4.2.10. C30P2Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları	52

	Sayfa
4.2.11. C30P2Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları.....	52
4.2.12. C30P2Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları.....	53
4.2.13. C30P4Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları.....	54
4.2.14. C30P4Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları.....	54
4.2.15. C30P4Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları.....	55
4.2.16. C30P6Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları.....	56
4.2.17. C30P6Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları.....	56
4.2.18. C30P6Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları.....	57
4.3. Kayma Deneyi Sonuçları	58
4.3.1. C18P2Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	58
4.3.2. C18P2Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	60
4.3.3. C18P2Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	63
4.3.4. C18P4Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	66
4.3.5. C18P4Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	69
4.3.6. C18P4Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	72
4.3.7. C18P6Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	75
4.3.8. C18P6Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	78
4.3.9. C18P6Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	81
4.3.10. C30P2Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	84

Sayfa

4.3.11. C30P2Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	87
4.3.12. C30P2Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	90
4.3.13. C30P4Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	93
4.3.14. C30P4Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	96
4.3.15. C30P4Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	99
4.3.16. C30P6Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	102
4.3.17. C30P6Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	105
4.3.18. C30P6Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları	108
4.4. Çelik Plaka, Yapıştırıcı Tabakası Kalınlığı ve Beton Dayanımının Göçme Yüküne Etkisi	111
4.5. Çelik Plaka, Yapıştırıcı Tabakası Kalınlığı ve Beton Dayanımının Kayma Gerilmelerine Etkisi	113
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	117
5.1. Sonuçlar	117
5.2. Öneriler	118
KAYNAKLAR	119
ÖZGEÇMİŞ	123

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	23
Çizelge 3.2. Deney çalışmasında kullanılan agreganın özellikleri	24
Çizelge 3.3. Süper akışkanlaştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri	25
Çizelge 3.4. ST 37 çeliğinin kimyasal bileşimi.....	25
Çizelge 3.5. Sikadur 31'in fiziksel ve mekanik özellikleri.....	26
Çizelge 3.6. C18 beton üretiminde kullanılan malzemelerin miktarları.....	27
Çizelge 3.7. C30 beton üretiminde kullanılan malzemelerin miktarları	27
Çizelge 3.8. Epoksi malzemesinin özellikleri	39
Çizelge 3.9. ST37 çelik malzemesinin özellikleri	40
Çizelge 3.10. C18 betonu için tanımlanan malzeme özellikleri	40
Çizelge 3.11. C30 betonu için tanımlanan malzeme özellikleri	41
Çizelge 3.12. Sonlu elemanlar programlarında node ve eleman sayıları.....	43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yeni eklenen kolon boyuna donatılarının kat düzeyinde eklenmesi..	10
Şekil 2.2. Yeni eklenen donatıların kolon üst başında ankrajı	10
Şekil 2.3. Çelik levha kılıf geçirme	13
Şekil 2.4. Kiriş-kolon birleşim bölgelerinin çelik plakalarla güçlendirilmesi	15
Şekil 2.5. Sonlu elemanlar yöntemi ile dairenin çevresinin bulunması.....	20
Şekil 2.6. (a) Bir makine parçası (b) Sonlu eleman simülasyonu.....	20
Şekil 2.7. Bir, iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar.....	22
Şekil 3.1. Deneysel agrega granülometri eğrisi	24
Şekil 3.2. Deney çalışmasındaki beton kiriş ölçüleri	26
Şekil 3.3. Çalışmanın ilk halinde planlanan deney düzeneği	29
Şekil 3.4. Değiştirilen deney düzeneği.....	30
Şekil 3.5. SG'lerin çelik plaka yüzeyine yapıştırma ölçüleri	33
Şekil 3.6. Yükleme düzeneği şematik görünüşü	34
Şekil 3.7. Deneysel yöntemle kayma gerilmeleri dağılımı	36
Şekil 3.8. SolidWorks programında her bir elemanın ayrı ayrı modellenmiş hali	38
Şekil 3.9. Elemanların Assembly programı ile birleştirilmiş hali	39
Şekil 3.10. Hognestad beton modeli	42
Şekil 3.11. Modelin farklı programlarda sonlu elemanlara ayrılmış görüntüsü .	43
Şekil 4.1. C18P2Y2 numunesi birim deformasyon değerleri.....	58
Şekil 4.2. C18P2Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı	59
Şekil 4.3. C18P2Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri	59
Şekil 4.4. C18P2Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	60

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. C18P2Y3 numunesi birim deformasyon değerleri.....	61
Şekil 4.6. C18P2Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı	62
Şekil 4.7. C18P2Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri	62
Şekil 4.8. C18P2Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	63
Şekil 4.9. C18P2Y4 numunesi birim deformasyon değerleri.....	64
Şekil 4.10. C18P2Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı	65
Şekil 4.11. C18P2Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri	65
Şekil 4.12. C18P2Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	66
Şekil 4.13. C18P4Y2 numunesi birim deformasyon değerleri.....	67
Şekil 4.14. C18P4Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı	68
Şekil 4.15. C18P4Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri	68
Şekil 4.16. C18P4Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	69
Şekil 4.17. C18P4Y3 numunesi birim deformasyon değerleri.....	70
Şekil 4.18. C18P4Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı	71
Şekil 4.19. C18P4Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri	71
Şekil 4.20. C18P4Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	72
Şekil 4.21. C18P4Y4 numunesi birim deformasyon değerleri.....	73
Şekil 4.22. C18P4Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı	74
Şekil 4.23. C18P4Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri	74
Şekil 4.24. C18P4Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	75
Şekil 4.25. C18P6Y2 numunesi birim deformasyon değerleri.....	76
Şekil 4.26. C18P6Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı	77
Şekil 4.27. C18P6Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri	77
Şekil 4.28. C18P6Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	78

Şekil	Sayfa
Şekil 4.29. C18P6Y3 numunesi birim deformasyon değerleri.....	79
Şekil 4.30. C18P6Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı	80
Şekil 4.31. C18P6Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri	80
Şekil 4.32. C18P6Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	81
Şekil 4.33. C18P6Y4 numunesi birim deformasyon değerleri.....	82
Şekil 4.34. C18P6Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı	83
Şekil 4.35. C18P6Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri	83
Şekil 4.36. C18P6Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	84
Şekil 4.37. C30P2Y2 numunesi birim deformasyon değerleri.....	85
Şekil 4.38. C30P2Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı	86
Şekil 4.39. C30P2Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri	86
Şekil 4.40. C30P2Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	87
Şekil 4.41. C30P2Y3 numunesi birim deformasyon değerleri.....	88
Şekil 4.42. C30P2Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı	89
Şekil 4.43. C30P2Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri	89
Şekil 4.44. C30P2Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	90
Şekil 4.45. C30P2Y4 numunesi birim deformasyon değerleri.....	91
Şekil 4.46. C30P2Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı	92
Şekil 4.47. C30P2Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri	92
Şekil 4.48. C30P2Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	93
Şekil 4.49. C30P4Y2 numunesi birim deformasyon değerleri.....	94
Şekil 4.50. C30P4Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı	95
Şekil 4.51. C30P4Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri	95
Şekil 4.52. C30P4Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	96

Şekil	Sayfa
Şekil 4.53. C30P4Y3 numunesi birim deformasyon değerleri.....	97
Şekil 4.54. C30P4Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı.....	98
Şekil 4.55. C30P4Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri	98
Şekil 4.56. C30P4Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	99
Şekil 4.57. C30P4Y4 numunesi birim deformasyon değerleri	100
Şekil 4.58. C30P4Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı.....	100
Şekil 4.59. C30P4Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri	101
Şekil 4.60. C30P4Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	102
Şekil 4.61. C30P6Y2 numunesi birim deformasyon değerleri	103
Şekil 4.62. C30P6Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı.....	104
Şekil 4.63. C30P6Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri	104
Şekil 4.64. C30P6Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	105
Şekil 4.65. C30P6Y3 numunesi birim deformasyon değerleri	106
Şekil 4.66. C30P6Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı.....	107
Şekil 4.67. C30P6Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri	107
Şekil 4.68. C30P6Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	108
Şekil 4.69. C30P6Y4 numunesi birim deformasyon değerleri	109
Şekil 4.70. C30P6Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı.....	110
Şekil 4.71. C30P6Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri	110
Şekil 4.72. C30P6Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı	111
Şekil 4.73. C18 betonunda oluşan göçme yükleri	112
Şekil 4.74. C30 betonunda oluşan göçme yükleri	112
Şekil 4.75. C18 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (Deneysel)	113
Şekil 4.76. C18 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (ANSYS)	113

Şekil	Sayfa
Şekil 4.77. C18 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (Simulation)	114
Şekil 4.78. C30 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (Deneysel)	114
Şekil 4.79. C30 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (ANSYS)	115
Şekil 4.80. C30 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (Simulation)	115

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. İki kolon arasına perde ilave edilmesi	11
Resim 2.2. Perde kalınlığının artırılması	12
Resim 2.3. Çelik plakalar ile güçlendirme.....	14
Resim 3.1. Betonun ikili kalıplara yerleştirilmiş hali.....	28
Resim 3.2. Kalıplarından çıkarılan beton	28
Resim 3.3. Küp numunelerin test edilmesi	29
Resim 3.4. Beton numune yüzeyinin zımparalanması	31
Resim 3.5. Çelik plaka yüzeyinin zımpara ile temizlenmesi	31
Resim 3.6. Çalışmada kullanılan birim deformasyon ölçer	33
Resim 3.7. Birim deformasyon ölçerlerin yapıştırma işlemleri	34
Resim 3.8. Beton numunelere kayma deneyi için oluşturulan düzenek.....	35
Resim 4.1. Arayüzeyde oluşan göçme modları.....	45
Resim 4.2. C18P2Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu	46
Resim 4.3. C18P2Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu	47
Resim 4.4. C18P4Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumu	47
Resim 4.5. C18P4Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu	48
Resim 4.6. C18P4Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu	49
Resim 4.7. C18P4Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu	49
Resim 4.8. C18P6Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu	50
Resim 4.9. C18P6Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu	51
Resim 4.10. C30P2Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumu	52
Resim 4.11. C30P2Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu	52

Resim	Sayfa
Resim 4.12. C30P2Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu	53
Resim 4.13. C30P4Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumu	53
Resim 4.14. C30P4Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu	54
Resim 4.15. C30P4Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu	55
Resim 4.16. C30P6Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumu	55
Resim 4.17. C30P6Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu	56
Resim 4.18. C30P6Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

A	Kesit alanı
E	Elastisite modülü
F	Kuvvet
kN	Kilonewton
MPa	Megapascal
N	Newton
τ	Kayma gerilmesi
t	Çelik plaka kalınlığı

Kısaltmalar

Açıklamalar

AFRP	Aramid lif takviyeli polimer
BYA	Beton yüzeyinden ayrılma
CEM I	Portland çimentosu
CFRP	Karbon lif takviyeli polimer
ÇYA	Çelik yüzeyinden ayrılma
Es	Çelik plaka elastisite modülü
FRP	Lif takviyeli polimer
GF	Gage faktörü
GFRP	Cam lif takviyeli polimer
SG	Strain gage
TS	Türk Standardı

1. GİRİŞ

İmalatı esnasında yetersiz denetim, çeşitli dış etkiler sonucunda oluşan hasarlar, ömrünü tamamlama, amaç dışı kullanım vb. nedenlerle yapılar işlevlerini güvenli olarak yerine getiremeyebilir. Bu gibi olumsuz durumlarda yapıların ya yıkılıp yeniden yapılması ya da çeşitli teknikler kullanılarak onarım ve güçlendirme işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir. Mevcut bir yapının yıkılarak yeniden yapılmasının ekonomik olmaması nedeniyle genellikle onarım ve güçlendirme işlemleri tercih edilmektedir.

Onarım ve güçlendirme birbirleriyle karıştırılabilen iki farklı kavramlardır. Güçlendirme hasarsız bir elemanı istenilen taşıma gücüne ulaştırma çalışmalarıdır. Onarım ise güçlendirmeden farklı olarak hasarlı bir elemanın istenilen taşıma gücü değerlerine ulaştırılması çalışmalarıdır [1].

Yapılarda güçlendirme kavramı gerek projesinin hazırlanması, gerekse de uygulanması aşamasında önemli derecede bilgi ve tecrübe gerektiren bir iştir. Güçlendirme işlemine başlamadan önce mevcut yapının durumu hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Bunun için yapı projesinin incelenmesi, karkas yapısından beton numuneler alınarak dayanımlarının test edilmesi, taşıyıcı sistemdeki çatlak ve korozyonların detaylı incelenerek bir ön çalışmasının yapılması zorunludur.

Güçlendirme yapılan elemanların davranışı genel olarak laboratuvar ortamında test edilir. Fakat bu şekilde test etmek hem zaman alıcı, hem çok emek gerektiren hem de çok maliyetli bir iştir. Hatta bazı durumlarda laboratuvar ortamında yapı ve güçlendirme elemanlarının boyutlarını, mesnet koşullarını, yükleme şartlarını gerçeğine yakın bir şekilde oluşturmak imkânsız olur. Bu olumsuz durumlardan dolayı güçlendirilmek istenen yapı elemanlarının bilgisayar ortamında modellenerek analiz edilmesi son zamanlarda büyük önem kazanmıştır. Eğer bilgisayar ortamında yapılan analizler ile laboratuvar ortamında yapılan deney sonuçları kabul edilebilir bir doğrulukta ise bilgisayar programlarını kullanmak süre, emek, maliyet vb. açıdan büyük avantajlar sağlayacaktır.

Bu çalışmanın amacı, farklı yapışma ve elik plaka kalınlığına sahip elik plaka ve beton arayüzeyindeki kayma gerilmelerinin laboratuvar ortamında tespit edilerek, sonlu elemanlar metodunu kullanan bilgisayar programlarıyla aralarındaki ilişkilerin belirlenmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI

Yüksek dayanım, malzeme teminindeki kolaylık, ekonomiklik, uzun ömürlülük gibi nedenlerle özellikle son yıllarda betonarme yapılarda büyük artış olmuştur. Günümüzde kullanılan ve inşa edilen binaların büyük çoğunluğu betonarme olduğu için onarım ve güçlendirme uygulamaları da genelde bu tür yapılara uygulanır. Betonarme yapılarda uygulanan pek çok onarım ve güçlendirme yöntemleri vardır. Bizim çalışmamıza konu olan yapıştırma yöntemiyle güçlendirme de bunlardan bir tanesidir.

Deney çalışmasının kapsamı beton yüzeyi, çelik yüzeyi ve epoksi esaslı yapıştırıcının kayma direnci ile ilgili olduğundan beton içerisine donatı konmamıştır. Genel olarak deney düzeneği beton, çelik ve epoksi esaslı yapıştırıcıdan oluşmaktadır. Bu elemanlar hakkında genel bir bilgi vermek ilerleyen bölümler için fayda sağlayacaktır.

2.1. Beton ve Bileşenleri

2.1.1. Beton

Betonun tanımı

Beton; çimento, agrega, su ve katkı maddelerinin belli oranlarda karıştırılması sonucu elde edilen başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir [3].

Karışıma giren malzemeler karıştırılmaya başlandığında, su ile çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan çimento hamuru agregaların çevresinde kalan boşlukları doldurmaktadır. Başlangıçta plastik kıvamda olan karışım zamanla prizini alarak katılaşmaktadır. Sıcak hava priz alma süresini azaltırken, soğuk hava uzatmaktadır. Betonun ilk üretildiği anlardaki dayanımı çok düşüktür. Beton dayanımının artması zamanla gerçekleşmekte olup bu olaya betonun sertleşmesi

denilmektedir. Genel olarak beton 28 gün sonra nihai dayanımının %60-%90'ına ulaşırken, %100'lük dayanıma ulaşması uzun yıllar almaktadır [2].

Günümüzde beton,

- Yüksek basınç dayanımı
 - Hammadde temininde kolaylık
 - İstenilen şeklin verilebilir olması
 - Dış etkilere karşı dayanıklılık
 - Donatı ile uyumlu çalışarak çekme dayanımındaki yetersizliğin giderilmesi
- gibi sebeplerden dolayı yoğun olarak tercih edilmektedir.

Beton basınç dayanımı yüksek olan ve diğerlerine oranla daha ekonomik sayılabilecek bir malzemedir. Bu nedenle ahşaba ve çeliğe oranla daha çok tercih edilir. Betonun basınç dayanımı; çapı 150 mm, yüksekliği 300 mm olan standart deney silindirlerinin 28 gün sonra test edilmesi ile bulunur [4].

Betonun tarihçesi

Puzzolonik kül gibi bağlayıcı özelliği olan malzemelerin Romalılar zamanından beri kullanılmasına rağmen, bu konudaki asıl gelişmeler 1800'li yıllardan sonra hız kazanmıştır [2]. Betonun tarihçesi kronolojik olarak incelendiğinde;

- 1824 yılında Joseph Aspdin tarafından çimentonun patenti alınmıştır [3].
- İlk çimento fabrikası 1848 yılında İngiltere'de kurulmuştur [2].
- 1848 yılında J.L.Lambot demir çubuklarla güçlendirdiği beton tekne üretmiştir [2].
- 1873 yılında W.E.Ward betonarme bir konut inşa etmiştir [2].
- 1886 yılında Koenen beton yapıların tasarımı ve teorisi ile ilgili ilk kitabı yayınlamıştır [2].
- 1889 yılında ilk betonarme köprü inşa edilmiştir [2].

Beton çeşitleri

Betonlar; yoğunluklarına göre betonlar, basınç dayanımlarına göre betonlar, üretildikleri yerlere göre betonlar ve özel betonlar olarak 4 gruba ayırmak mümkündür.

Yoğunluklarına göre betonlar:

- Hafif betonlar: Etüv kuru yoğunluğu 0,8-2,0 kg/dm³ arasında olan betonlardır.
- Normal betonlar: Etüv kuru yoğunluğu 2,0-2,6 kg/dm³ arasında olan betonlardır.
- Ağır betonlar: Etüv kuru yoğunluğu 2,6 kg/dm³'ün üzerinde olan betonlardır [5].

Basınç dayanımlarına göre betonlar:

- Düşük dayanımlı betonlar: Basınç dayanımı 2 MPa-16 MPa arasında olan betonlardır.
- Normal dayanımlı betonlar: Basınç dayanımı 16 MPa-30 MPa arasında olan betonlardır.
- Yüksek dayanımlı betonlar: Basınç dayanımı 35 MPa ve üstü olan betonlardır [3].

Üretildikleri yerlere göre betonlar:

- Şantiye betonu: Şantiye alanında üretilen betondur.
- Santral betonu: Beton santrallerinde üretilen betondur [5].

Özel betonlar:

- Püskürtme beton

- Lifli beton
- Ferrocement beton
- Vakumlu beton
- Silindirle sıkıştırılmış beton [3].

2.1.2. Çimento

Bağlayıcı malzemelerin tarihi çok eskiye gitmektedir. Romalılar yaklaşık 2000 yıl önce söndürülmüş kireci pişirilmiş tuğla tozları ya da volkanik küllerle karıştırarak, bugünkü çimentolarla benzer özellik taşıyan hidrolik bağlayıcı kullanmışlardır. Joseph Aspdin 1824 yılında kil ve kalker karışımını pişirerek ve daha sonra öğütürerek bir ürün elde etmiş ve bu ürüne Portland Çimentosu ismini vermiştir [2].

Çimento; kalker, kil, alçı taşı ve silisli kumun belli oranlarda karıştırılıp, döner fırınlarda pişirilmesi ve daha sonra çok küçük boyutlarda öğütülmesi ile oluşur [3]. Su ile temasa geçtiğinde hidratasyon reaksiyonları gerçekleştirerek priz süreci başlar ve zamanla dayanımı artar. Çimentolar 28 günlük basınç dayanımları 32,5 MPa, 42,5 MPa ve 52,5 MPa olacak şekilde üretilirler ve bu üç türün bileşimleri genelde aynıdır. Dayanım farklılığını belirleyen ise öğütme esnasındaki tane çapıdır [6].

Günümüzde kullanılan çimentolar arasında en yaygını portland çimentolardır. Portland çimento kil ile kalker taşının belli oranlarda karıştırılarak pişirilmesi ve daha sonra çok küçük boyutlarda öğütülmesi ile oluşur. Priz süresini geciktirmek amacıyla içerisine bir miktar alçı taşı ilave edilir [6].

2.1.3. Agreg

Agregayı, doğal veya yapay minerallerden oluşan ve boyutları 100 mm kadar ulaşabilen taneli mineral malzeme yığınıdır şeklinde tanımlamak mümkündür. İnce agreg ve iri agreg olmak üzere ikiye ayrılır. İnce agregayı kum, iri agregayı ise

çakıl oluşturur. Bazı durumlarda taş bloklar kırıcılarda parçalanarak ince veya iri agregalar olarak kullanılabilir [7].

Agregalar ağırlıklarına göre hafif agregalar, normal agregalar ve ağır agregalar olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Etüv kurusu tane yoğunluğu 2000 kg/m^3 'ün altında olan agregalara hafif agregalar, $2000\text{-}3000 \text{ kg/m}^3$ arasında olanlara normal agregalar ve 3000 kg/m^3 'ün üzerinde olan agregalara ağır agregalar denir [2].

Beton içerisindeki agregalar boyutlarının belirli sınırlar içerisinde olması ve bu sınırlar içerisinde yer alan agregaların belirli bir oranının olması gerekir. Tane büyüklüğü dağılımı veya granülometrik bileşim denilen bu oranın belirlenmesi için farklı delik çaplarına sahip elekler kullanılır. Boşluksuz bir beton oluşturmak için tane büyüklüğü dağılımının iyi ayarlanmış olması gerekir.

Agrega tane boyutunun büyük olması beton dayanımını olumlu yönde etkilerken, geçirimsizliği ve işlenebilirliği olumsuz yönde etkiler. Tane boyutunun küçük olması ise dayanım düşmesine neden olur. Agreganın boyutu küçüldükçe bağlayıcı ve su miktarı ihtiyacı artmaktadır [2].

2.1.4. Su

Çimentonun kimyasal olaylarının gerçekleşmesi ve betonun işlenebilirlik özelliğini kazanabilmesi için suya ihtiyaç vardır. İçme suyu olarak kullanılabilen sular beton üretiminde kullanılabilir. Betonda kullanılan su miktarı optimum düzeyde olmalıdır. Gereğinden fazla kullanılan su dayanımı düşürdüğü gibi, gereğinden az kullanılan su da betonun çatlamasına ve işlenebilirliğinin düşmesine neden olur.

2.1.5. Diğer malzemeler

Metal türü malzemeleri yapıştırmada en çok kullanılan yapıştırıcılar epoksi esaslı olanlardır. Epoksi yapıştırıcılar epoksi reçinesi ile sertleştiricinin bir arada kullanılması ile oluşur. Epoksinin bileşenleri kovalent bağlar oluşturur ve termoset polimer halini alır. Yüksek sıcaklıkta sertleşmeye başladığında daha yoğun bağlar

oluşturacağı için mukavemeti daha yüksek olur. Epoksi pek çok farklı tipteki malzemelerin yapıştırılmasında tercih edilir [9].

2.2. Güçlendirme ve Güçlendirme Yöntemleri

2.2.1. Güçlendirme

Projelendirme ve imalat esnasında yapılan hatalar, amaç dışı kullanım, çeşitli dış etkiler sonucu taşıyıcı sistemlerin yük taşıma kapasitelerinin azalması gibi nedenlerle yapılara sonradan bir takım iyileştirme işlemlerinin yapılması gerekebilir. Yapılardaki yük taşıma kapasitesi, rijitlik, süneklik gibi yapı performansını artıracak bu iyileştirme işlemlerine güçlendirme denir. Eğer yapılarda aşırı sehim, deformasyon, çatlak gibi hasar belirtileri oluşuyorsa, taşıyıcı sistem üzerine etkiyen yükleri taşımakta zorlanıyor demektir. Bu gibi durumlarda taşıyıcı sistemlerin yük taşıma kapasitelerinin eski durumundan daha güçlü hale getirilmesi gerekmektedir.

Güçlendirme işlemlerinde yapılacak ilk iş yapının incelenerek hasar veya hasar belirtilerinin saptanmasıdır. Bunun için yapılacak işlemler şöyle sıralanabilir.

- Gözle yapılan tespitler sonucu can güvenliğini tehlikeye atacak bir durum söz konusu ise yapının boşaltılması sağlanmalıdır.
- Taşıyıcı elemanlar üzerinde oluşan çatlaklar varsa bunların genişlikleri ve yerleri ölçülerek bir kâğıda krokisi çizilmelidir.
- Düşey elemanlardaki sapmalar ve kalıcı ötelenmeler tespit edilmelidir.
- Aşırı sehimler tespit edilmelidir.
- Betondan karot alarak beton dayanımı belirlenmelidir.
- Betonarme elemanlarda beton örtüsü kaldırılarak donatının çapı, adedi ve yeri belirlenmelidir.

- Taşıyıcı elemanların boyutları projesinden farklı yapılmış ise mevcut haldeki boyut ve kesitleri tespit edilmelidir [8].

2.2.2. Güçlendirme yöntemleri

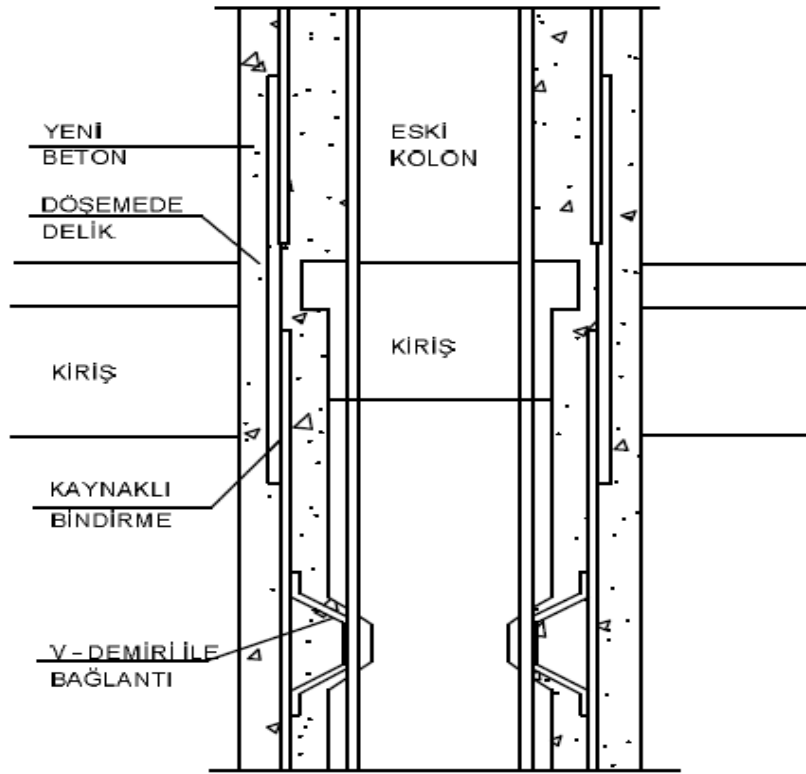
Güçlendirme çalışmalarında alınacak en önemli karar, en uygun güçlendirme yönteminin seçilmesidir. Günümüzde betonarme yapılarda kullanılan güçlendirme yöntemleri arasında 1) mantolama, 2) yeni taşıyıcı elemanlar ilavesi ile güçlendirme, 3) perde kalınlığını artırma, 4) çelik levha kılıf geçirme, 5) lif takviyeli polimer ile güçlendirme, 6) çelik plakalar ile güçlendirme gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar içerisinde estetik, emniyet, maliyet, yapım süresi gibi parametreler göz önüne alınarak en uygun yöntem veya yöntemler tercih edilmelidir.

Mantolama

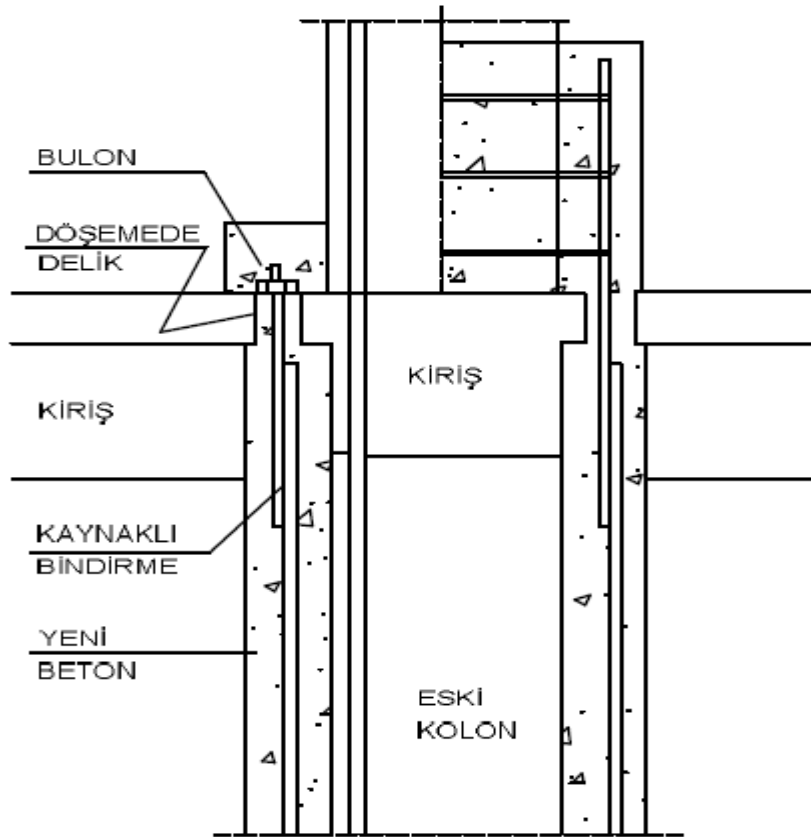
Betonarme mantolama genellikle kolonlara uygulanır. Duruma göre kolonların bir, iki, üç ve dört tarafından mantolama yapılabilir. Fakat en iyi aderansı sağlayabilmesi ve deprem anında en iyi performansı sergileyebilmesi için dört bir tarafından mantolamanın yapılması gerekmektedir [10].

Betonarme kolona betonarme mantolama işlemi, kolonun boyuna donatısının ve beton en kesit alanının artırılması şeklinde gerçekleştirilir. Buradaki temel amaç kolonun yük taşıma kapasitesinin artırılmasıdır. Kolon mantolama işleminde dikkat edilmesi gereken en önemli unsur eski boyuna donatı ile yeni boyuna donatının ankrajının iyi yapılması, eski ve yeni betonun kaynaştırılmasıdır [10].

Mantolama yapılacak kolonlarda ezilmiş beton kısımlar varsa bu bölgenin temizlenmesi ve pürüzlendirilmesi gerekir. Beton örtü tabakası kaldırılarak donatılara ulaşılır ve yeni donatılar eskilerine kaynaklanır. Gerekli durumlarda boyuna donatılar döşemelerde açılan deliklerden geçirilerek üst veya alt katlarda devam ettirilir. Döşemelerde açılacak delikler donatıların ve betonun rahatça geçebileceği genişlikte olmalıdır. Ayrıca betonun kalıp içerisine rahatça girebilmesi için mantolama kalınlığının 10 cm'den aşağı olmamasına dikkat edilmelidir [11].



Şekil 2.1. Yeni eklenen kolon boyuna donatılarının kat düzeyinde eklenmesi [8]



Şekil 2.2. Yeni eklenen donatıların kolon üst başında ankrajı [8]

Yeni taşıyıcı elemanlar ilavesi ile güçlendirme

Betonarme yapılarda yatay yüklerden kaynaklanan etkilere karşı perde veya kolon ilavesi yöntemine başvurulabilir. Sonradan ilave edilen perde veya kolon yüksek rijitliğinden dolayı yanal ötelenmeleri önemli derecede azaltır, burulma etkilerine karşı dayanımını artırır. Kısa kolon ve yumuşak kat gibi düzensizliklerde perde ilavesi ile olası sorunlar ortadan kaldırılabilir. Fakat yapıya ilave edilen her bir eleman yapının deprem davranışlarını önemli ölçüde değiştirir. Bu nedenle yapı ilave edildiği elemanlarla birlikte yeniden projelendirilmelidir [12].



Resim 2.1. İki kolon arasına perde ilave edilmesi [8]

Perde kalınlığını artırma

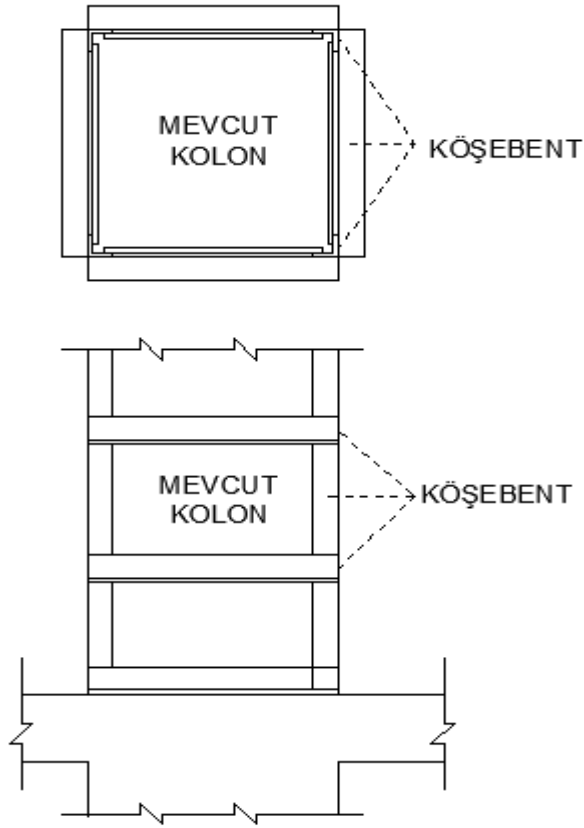
Mevcut perdenin yetersiz kaldığı durumlarda perde kalınlığı artırma yöntemine başvurulabilir. Bu yöntemde yatay donatılar kolon içindeki boyuna donatılara kaynaklanırken, düşey demirler kirişler içinde açılan deliklerden geçirilerek yapı yüksekliği boyunca devam ettirilir. Eğer çerçevelerin arasına perde yapılacaksa mevcut kolon ve kiriş betonuna kesme takozları konulmalıdır. Çerçeve arasına ilave edilecek perde duvarlar yapı temelinden başlayarak en üste kadar devam etmelidir [11].



Resim 2.2. Perde kalınlığının artırılması [8]

Çelik levha kılıf geçirme

Diğer bir güçlendirme yöntemi de çelik levha kılıf geçirmedir. Bu yöntemde çelik levhalar kolonun etrafını tamamen sarar. İki tane L şeklindeki levhaların kolon etrafında kaynaklanması veya da dört köşeye konulan korniyerlere levhalar kaynaklanması şeklinde olabilir. 4 – 6 mm kalınlıklardaki çelik levhalar kullanıldığı için kolon kesiti çok fazla artmaz. Kılıf ile kolon arasında kalan boşluklar çimento harcı veya betonla doldurulur. Çelik levha kılıf geçirme yönteminde süneklik ve yük taşıma kapasitesi artar [10].



Şekil 2.3. Çelik levha kılıf geçirme [10]

Lif takviyeli polimer ile güçlendirme

Yapı sektöründe yapıştırma sistemlerle güçlendirme her geçen gün artmakta ve bu yönetime uygun yeni malzemeler sektörde yerini bulmaktadır. Özellikle çelik plakalar ve lif takviyeli polimer (fiber reinforced polymer - FRP) malzemeler bugün yapıştırma sistemler üzerinde etkinliğini korumaktadır.

FRP malzemeler yüksek çekme dayanımı, kolay uygulanabilirliği, hafif olması, mimaride boyut değişikliği yaratmaması gibi sebeplerden dolayı tercih edilmektedir [13]. Ayrıca korozyon ve kimyasallara karşı dayanıklı olması, istenilen şekle göre şekillendirilmesi, yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip olması diğer önemli özellikleridir [14].

FRP malzemelerin pahalı olması, yeterli düzeyde süneklik sağlamayıp gevrek kırılmalara sebep olması gibi bazı olumsuz özelliklerine rağmen yoğun olarak tercih edildiği görülmektedir [15].

FRP malzemelerin glass (GFRP), carbon (CFRP) ve aramid (AFRP) olmak üzere üç farklı çeşidi vardır. Bunlar arasında en çok kullanım ağı yakalayan CFRP olmuştur. Özellikle kirişlerin kesmeye ve eğilmeye karşı güçlendirilmesinde CFRP'ler tercih edilir olmuştur [16].

CFRP ile güçlendirilmiş betonarme elemanlarda üç farklı göçme türüne sıklıkla rastlanır. Bunlar CRFP'nin beton yüzeyinden soyulması, yapıştırıcı olarak kullanılan epoksinin kayma gerilmeleri sınırını aşarak yüzeyden ayrılması ve CFRP'nin kopmasıdır. Bu göçme türleri içerisinde CFRP'nin beton yüzeyinden soyulması ve epoksinin kayma gerilmelerini aşarak yüzeyden ayrılması olayına daha çok rastlanır. Çünkü CFRP'nin eksenel çekme mukavemeti çok yüksektir ve bu durum CFRP'nin kopma ihtimalini önemli ölçüde düşürür [17].

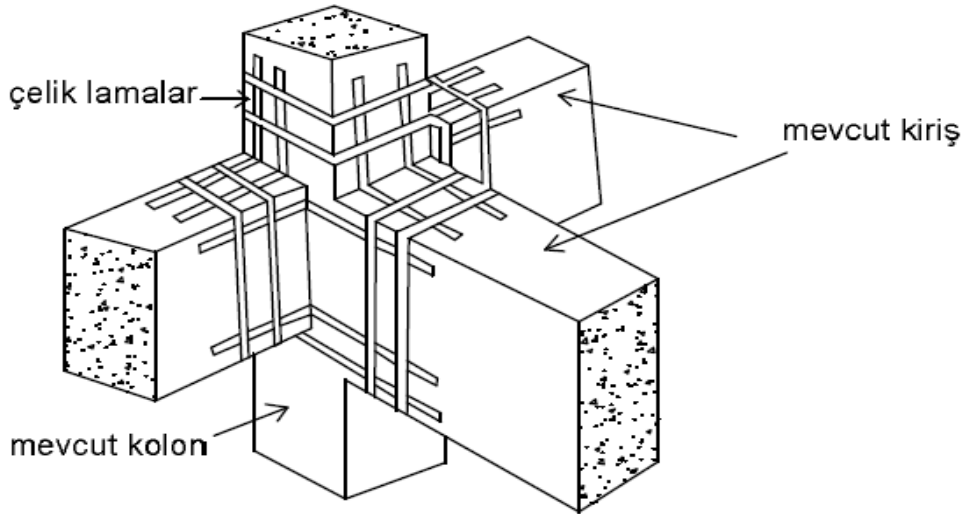
Çelik plakalar ile güçlendirme

Yapıştırma sistemler içerisinde en eski geçmişi olan ve günümüzde de hala önemini koruyan çelik plakaların epoksi ile yapıştırılması yöntemidir. Betonarme elemanların eğilme ve kesme bölgelerine yapıştırılan çelik plakaların erken sıyrılmalarını önlemek için bazen bulon, kaynak gibi ilave önlemlere başvurulabilir. Yapılan araştırmalar çelik plakalarla yapılan güçlendirmelerin FRP malzemelerle yapılan güçlendirmelerden daha sünek olduğunu göstermiştir. Ayrıca çelik plakaların nispeten daha ucuz, yerli üretim, kolay uygulanabilirliği ve bu konu üzerine yapılan çalışmaların umut vaat etmesi bu yöntemin canlı kalmasını sağlamıştır [15].



Resim 2.3. Çelik plakalar ile güçlendirme [8]

Çelik plakalar ile güçlendirmede karşılaşılabilen en büyük olumsuzluklar çelik plakaların şekil almasının güç olması, yangın ve korozyon gibi dış etkilere karşı açık olmalarıdır [14]. Ayrıca yapıştırıcı katmanın ısınma-soğuma döngüsünden olumsuz etkilenmesi, gerektiğinde yapışma tabakasını ayırıştırma işleminin zor ve pahalı olması diğer dezavantajlarından [18].



Şekil 2.4. Kiriş-kolon birleşim bölgelerinin çelik plakalarla güçlendirilmesi [8]

Çelik plakalar ile güçlendirilen betonarme elemanlarda beton yüzeyinin soyulması ile göçme oluşması gevrek kırılmaya sebep olur. Bu durum, çelik plakadan betonarme kesite yüksek gerilme aktarımını işaret etmektedir. Plaka uçlarında oluşan kesme kuvveti ve eğilme momenti gerilme yığılmalarına sebep olur ve bu gerilmeler beton örtüsünün parçalanmasına yol açar [19]. Bu nedenle plakanın ihtiyaç duyulmayan noktadan sonra kiriş derinliği kadar geçtikten sonra bitirilmesi ve plaka uçlarına kelepçe sistemi uygulanması bu hasarı oldukça azaltır [20].

Çelik plakalar ile güçlendirilen betonarme elemanlarda göçme dayanımını tahmin etmek, elemanların kesit ve malzeme özelliklerinden dolayı oldukça zordur. Çünkü göçme dayanımı; beton basınç dayanımı, kesme donatısı oranı, boyuna donatı oranı, kesme açıklığının kiriş etkili derinliğine oranı, çelik plakaların alanı, çelik plakaların kalınlığı, epoksi reçinesinin mekanik özellikleri gibi pek çok parametreye bağlıdır [21].

2.2.3. Güçlendirme ile yapılan çalışmalar

CFRP üzerine Triantafillou T.C. ve Plevris N. 1992 yılındaki çalışmalarında betonarme kirişlerin çekme bölgesine CFRP yapıştırmışlar ve dört nokta yükleme deneyi altında davranışları incelemişlerdir. Bu amaçla hazırlanan sekiz adet betonarme kirişlerden yedi tanesini CFRP malzemesiyle güçlendirmişler, diğer bir tanesini ise kıyaslama yapmak için herhangi bir güçlendirme uygulamamışlardır. CFRP malzemesinin yapışma alanı ve kalınlığı deney parametrelerini oluşturmuştur. Çalışmalarının sonucunda CFRP ile güçlendirilen betonarme kirişlerin yük taşıma kapasitesinde artış olduğunu belirtmişlerdir [22].

Björn Taljsten (1997) yapmış olduğu çalışmada 20 x 20 x 120 cm boyutlarındaki beton bloklara çelik plaka ve CFRP yapıştırarak çekme deneyine tabi tutmuşlardır. Bu amaçla önce genişliği 4 ila 8 cm, uzunluğu 10 ila 80 cm arasında değişen ve kalınlığı 2,9 mm olan çelik plakalar; sonra da genişliği 5 cm, kalınlığı 1,2 mm ve uzunluğu 10 ila 40 cm arasında değişen CFRP kullanmıştır. Strain gageler kullanarak çelik plakalar yüzeyinde oluşan birim deformasyonları ölçmüştür. Elde ettiği birim deformasyon değerlerini kullanarak arayüzeydeki bölgesel kayma gerilmelerini hesaplamıştır. Björn Taljsten bulmuş olduğu kayma gerilmesi değerlerini Volkersen Teorisiyle kıyaslamıştır. Yük orta seviyelerde iken Volkersen Teorisi ile deney sonuçlarının uyumlu olduğunu görmüştür [23].

Kara M.E ve Bayat K. iki ucundan ankrajlanmış lifli polimer levhaların kiriş yüzeyine yapıştırılması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarının ana değişkenleri levha uçlarındaki ankraj türü ve ankraj adedidir. Bu amaçla lifli polimer levhayı kirişin alt yüzeyine yapıştırmışlar ve dört nokta yüklemesi etkisinde test etmişlerdir. Çalışmalarının sonunda kirişlerin alt orta noktasında önemli oranda birim deformasyon oluşmasına rağmen oluşan hasarın polimer levhaların uç kısmında olduğunu görmüşlerdir [24].

Çelik plakalar üzerine Köse M. ve Özgen K. yaptıkları çalışmalarda betonarme kirişlere çelik lamalar yapıştırmışlar, artan yükleme durumlarındaki göçme davranışlarını incelemişlerdir. Deney değişkenleri olarak çelik lama boyutları, yapıştırma bölgeleri ve yapıştırılan bölgelerin yüzey koşullarını kullanmışlardır.

Bunun için farklı boyutlardaki ve kalınlıklardaki çelik lamaları kirişlerin alt ve yan yüzlerine yapıştırmışlardır. Çelik lamaların yapıştırılacağı yüzeyleri herhangi bir işlem yapılmamış yüzey, tel fırça ile temizlenmiş yüzey, az pürüzlendirilmiş yüzey ve çok pürüzlendirilmiş yüzey olacak şekilde ayarlamışlardır. Deneylerinin sonucunda çelik lamalarla güçlendirme yönteminde eğilme ve çekme mukavemetlerinde büyük artış olduğunu kaydetmişlerdir [25].

Aykaç S. ve Özbek E. yaptıkları deney çalışmalarında betonarme kirişlerin çekme bölgelerinin alt ve yan yüzlerine çelik levhalar yapıştırarak yük altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Bu amaçla ikisi karşılaştırma kirişi olmak üzere toplam sekiz adet T kesitli betonarme kiriş üretmişlerdir. Bu kirişlerden üç tanesini eğilmeye karşı, diğer üç tanesini ise hem eğilme hem de kesmeye karşı güçlendirmişlerdir. Kalınlıkları 6 mm olan çelik plakaları kiriş yüzeylerine önce epoksi ile yapıştırmışlar sonra da bulonlarla sabitlemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda tüm deney elemanlarının eğilmeye ve kesmeye karşı, hem taşıma gücünün hem de sünekliğinin oldukça arttığını gözlemlemişlerdir [26].

İlki A. ve arkadaşları sabit eksenel yük ile yön değiştiren tekrarlı eğilme yükleri altında hasar görmüş betonarme kirişleri tamir harçlarıyla onararak, bu kirişlere enine ve boyuna doğrultuda çelik lamalar yapıştırmışlardır. Onarılarak güçlendirilen bu kirişlere önceki yükleme şartları aynen uygulamış; çelik lamaların dayanım, süneklik, enerji yutma ve eğilme rijitliğine olan katkısı incelemişlerdir. Çalışmalarının sonunda çelik lamalarla güçlendirmenin dayanım, süneklik, enerji yutma ve eğilme rijitliğine olan katkısının olumlu yönde olduğunu belirlemişlerdir [27].

Tankut T. ve Arslan M. yapmış oldukları deney çalışmalarında çelik plakalarla güçlendirilen betonarme kirişlerin yükleme durumundaki davranışlarını incelemişler ve bu davranışları yeni betonarme katmanı ekleyerek güçlendirme yöntemine göre kıyaslamışlardır. Bu kapsamda dokuz adet betonarme kirişin; altı tanesini çelik plakalarla güçlendirmişler, iki tanesini önce hasara uğratıp sonra çelik plakalarla güçlendirmişler ve kalan son kirişe herhangi bir güçlendirme uygulamayıp karşılaştırma kirişi olarak kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda çelik plakalarla yapıştırma yönteminin dayanım bakımından yeterli olduğunu, fakat süneklik ve

enerji yutabilme açısından yeni betonarme katmanı ekleme yöntemi kadar etkili olmadığını görmüşlerdir [28].

Arslan G. ve arkadaşları alt ve yan yüzlerine çelik plakalar yapıştırılarak güçlendirilen betonarme kirişlerin gerilme ve şekil değiştirme davranışlarını incelemişlerdir. Ayrıca deney sonuçlarını sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar yazılım sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Çalışmalarının sonucunda çelik plakaların mekanik özellikleri ve boyutları değiştirilerek plakanın sıyrılma sonucu oluşan göçmenin engellenebileceğini öne sürmüşlerdir [29].

Can Ö. ve Tokgöz H. 2008 yılında yapmış oldukları çalışmalarında kirişlerin enerji tüketme kapasitesi, süneklik, rijitlik, yük/deplasman ilişkisi gibi durumları incelemişlerdir. Bu amaçla eğilme dayanımı yeterli olmayan normal donatılı kirişler önce hasara uğratılmış daha sonra mantolama ve çelik plaka yapıştırarak güçlendirme yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmalarının sonucunda onarılan kirişlerin hasarsız durumlarına oranla daha iyi performans gösterdiğini görmüşlerdir [30].

Oh B.H. ve arkadaşları 15 x 15 x 40 cm boyutlarındaki beton bloklar üzerine yapıştırdıkları çelik plakalarla çift taraflı çekme ve kesmeli eğilme deneyleri yapmışlardır. Deneylerinde plaka kalınlığı, yapışkan kalınlığı, yapıştırma alanı, ankrajlama durumlarının beton ile çelik arayüzeyinde oluşan etkilerini incelemişlerdir. Çekme testi kapsamında yapmış oldukları çalışmalarda beton ile çelik arayüzeyinde ayrılma hasarının olduğunu, eğilmeli kesme testinde ise plaka ucundaki beton yüzeyinde kesme çatlakları oluştuğu için beton örtüsünün soyulduğunu görmüşlerdir [31].

Ziraba ve arkadaşları farklı basınç dayanıma sahip betonlara epoksi ile çelik plakaları yapıştırmışlar ve dört nokta yükleme şartları altında epoksi katmanında oluşan kayma gerilmesi durumlarını incelemişlerdir. Bu amaçla basınç dayanımları 28 MPa ile 58 MPa arasında değişen beton bloklara genişliği 150 mm, yapışma uzunluğu 100 mm ve kalınlığı 3 mm olan çelik plakaları epoksi ile yapıştırmışlardır. Çelik yüzeyinde oluşan birim deformasyonları strain gage ile ölçmüşlerdir. Elde etmiş oldukları bu strain gage değerlerini deneysel kayma gerilmesi formülünde yerine koyarak her bir strain gage bölgesindeki kayma gerilmelerini

hesaplamışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda beton-çelik arayüzeyinde oluşan kayma gerilmelerinin beton basınç dayanımıyla bir ilgisi olmadığını, gerilmelerin tamamıyla beton yüzey yapısı ile ilgili olduğu kanısına varmışlardır [32].

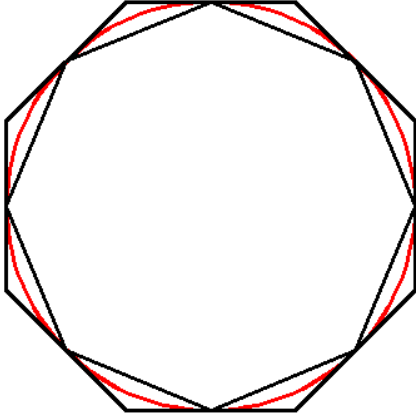
Barnesa R.A. ve Mays G.C. 70 x 70 x 280 mm boyutlarındaki beton numunelere çelik plakalar yapıştırıp hazırladıkları özel düzende çekme deneyine tabi tutmuşlar ve kayma gerilmelerindeki dağılımı hem deneysel, hem teorik hem de sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Kırılma anındaki yük değerlerini baz alarak çelik plaka üzerindeki kayma gerilmesi dağılımlarını araştırmışlardır. Çalışmalarının sonunda en büyük gerilme değerlerinin yükün uygulandığı bölgeye yakın yerlerde olduğunu ve bu bölgeden uzaklaştıkça gerilme değerlerinin düzenli olarak azaldığını görmüşlerdir [33].

Adhikary B.B. ve Mutsuyoshi H. yapmış oldukları çalışmalarında betonarme kirişlerin yan yüzlerine farklı kalınlık ve genişlikteki çelik plakalar yapıştırmışlar ve kesme kuvvetleri altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarının sonunda plaka kalınlığının ve genişliğinin artmasının kesme çatlaklarını önemli ölçüde azalttığını görmüşlerdir [34].

2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

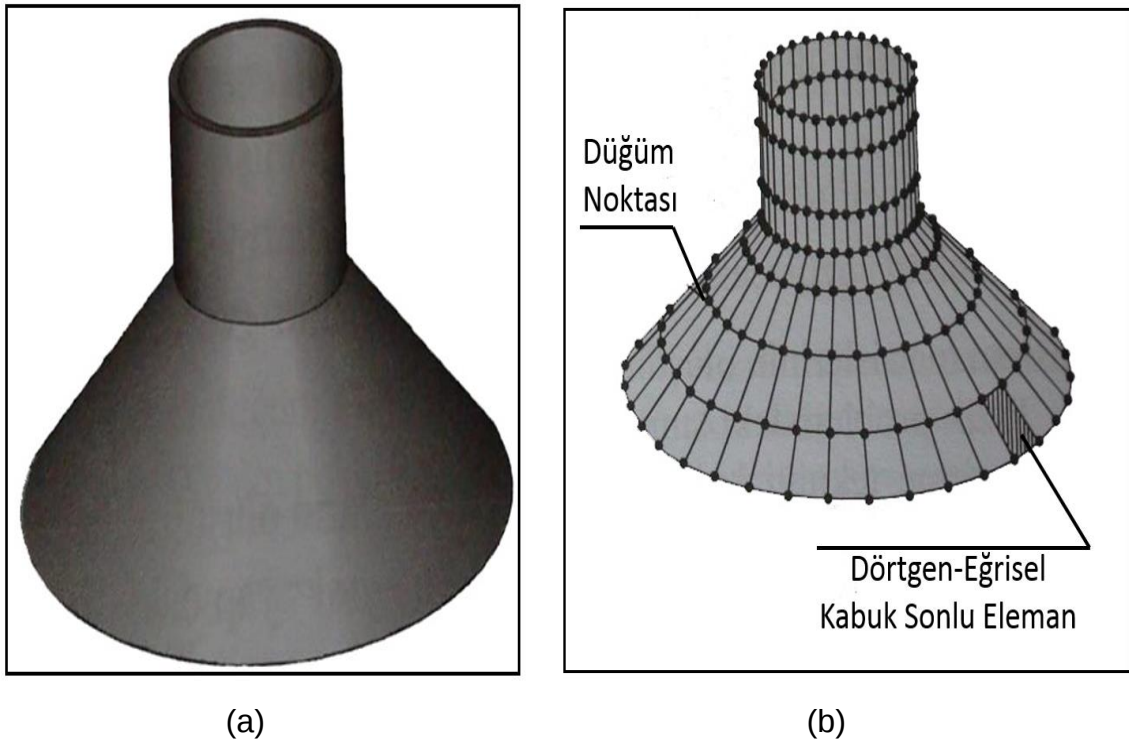
Teknolojik gelişmelere paralel olarak mühendislik problemleri daha karmaşık bir hal almakta, çözüm süreci zorlaşmaktadır. Bu problemlerin matematiksel denklemler ile belli yüklemeler ve sınır koşulları içinde çözülmesi gerekir. Çoğu zaman problemin geometrisi, sınır koşulları, maruz kalınan yükleme gibi nedenlerle bu tür problemlerin kesin çözümü mümkün olmamaktadır. İşte bu gibi sebeplerle karmaşık mühendislik problemlerin çözümünde yaklaşık sonuçlar veren sayısal yöntemler tercih edilir [35].

Sonlu elemanlar yöntemini ilk keşfeden matematikçiler bir dairenin çevresini, daireyi çokgene benzeterek hesaplamışlardır. Burada çokgenin her bir kenarı sonlu bir elemanı oluşturmuştur. Dairenin dışındaki çokgen dairenin çevresinin üst sınırını, içindeki çokgen ise alt sınırını oluşturmaktadır. Çokgenin kenar sayısının artırılması ile bulunan sonuç gerçek sonuca çok daha yakın olacaktır [35].



Şekil 2.5. Sonlu elemanlar yöntemi ile dairenin çevresinin bulunması [35]

Sonlu elemanlar yönteminde amaç sonlu sayıda bilinmeyen kullanarak problemi bilgisayar ortamında çözmektir. Bu amaçla geometrik cisim Şekil 2.6' da görüldüğü gibi sonlu eleman adı verilen küçük bölgelere ayrılır.

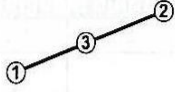
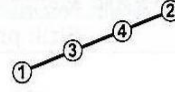
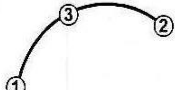
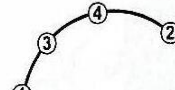
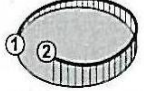
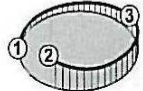
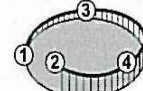
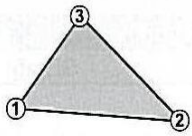
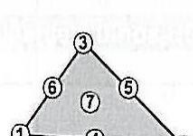
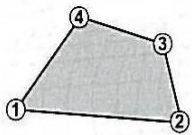
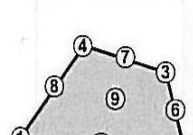
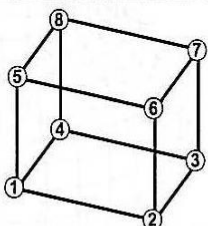
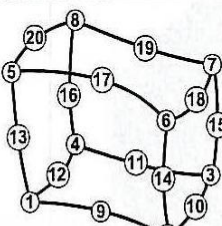


Şekil 2.6. (a) Bir makine parçası (b) Sonlu eleman simülasyonu [36]

Sonlu elemanlar yöntemi sayısal yöntemler içinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu yöntemde elemanlar düğüm noktalarıyla birbirlerine bağlanan küçük

parçalara ayrılır. Başlangıçta bilinenler; elemanın geometrisi, ilk rijitliği ve mesnet koşullarıdır. Daha sonra yükleme yapıldıktan sonra düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar yaklaşık olarak nümerik yöntemlerle bulunur. Düğüm noktalarının yer değiştirmesiyle ortaya çıkan şekil değiştirme enerjisi ile dış güçlerin yaptığı iş miktarı arasında bir denge kurulur. Elemanlardaki gerilmeler düğüm noktalarındaki deplasman ve ilgili malzeme modeli kullanılarak belirlenir [37].

Duruma göre sonlu elemanlar bir, iki ya da üç boyutlu olabilir. Çubuklar bir boyutlu, plak ve kabuk gibi yüzeysel taşıyıcılar iki boyutlu, yüzeysel taşıyıcılar kuramının dışındaki üç boyutlu cisimler üç boyutlu elemanlarla çözülür. Elemanlar arasındaki ilişki düğüm noktaları aracılığıyla sağlanır. Şekil 2.7’de bir, iki ve üç boyutlu elemanlar görülmektedir [36].

1B elemanlar	Doğru eksenli çubuklar			
		①, ② : Kenar düğüm noktaları	①, ② : Kenar düğüm noktaları ③ : Ara düğüm noktaları	①, ② : Kenar düğüm noktaları ③, ④ : Ara düğüm noktaları
	Düzlemde eğrisel çubuklar			
		①, ② : Kenar düğüm noktaları	①, ② : Kenar düğüm noktaları ③ : Ara düğüm noktaları	①, ② : Kenar düğüm noktaları ③, ④ : Ara düğüm noktaları
2B elemanlar	Düzlem dışına çıkan eğrisel çubuklar			
		①, ② : Kenar düğüm noktaları	①, ② : Kenar düğüm noktaları ③ : Ara düğüm noktaları	①, ② : Kenar düğüm noktaları ③, ④ : Ara düğüm noktaları
	Düzlem üçgen elemanlar			①, ②, ③ : Köşe düğüm noktaları ④, ⑤, ⑥ : Kenar ortası düğüm noktaları ⑦ : İç düğüm noktası
3B elemanlar	düzlem dörtgen elemanlar			①, ②, ③, ④ : Köşe düğüm noktaları ⑤, ⑥, ⑦, ⑧ : Kenar ortası düğüm noktaları ⑨ : İç düğüm noktası
	Üç boyutlu tuğla elemanlar			Köşe düğüm noktaları: ①, ②, ③, ④ ⑤, ⑥, ⑦, ⑧ Kenar ortası düğüm noktaları: ⑨, ⑩, ⑪, ⑫, ⑬, ⑭, ⑮, ⑯, ⑰, ⑱, ⑲, ⑳
		①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧ } Köşe düğüm noktaları		

Şekil 2.7. Bir, iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar [36]

Sonlu elemanlar yöntemi ürünlerin daha imalat aşamasına geçmeden sanal ortamda modellenerek test edilmesini sağlar. Böylece ürünlerde oluşacak hatalı veya zayıf bölgelerin tespit edilmesi önceden öngörülmüş olur.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler

Deneysel çalışmanın ana malzemeleri C18 betonu, C30 betonu, ST37 çelik plaka, arayüzey yapıştırıcısı ve birim deformasyon ölçerlerdir.

3.1.1 Beton

Çalışmada kullanılan C18 ve C30 betonunun ana bileşenlerinin miktarları TS 802 – Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları standardına göre belirlenmiştir. Beton basınç dayanımlarını belirlemek için taze betondan 15x15x15 cm boyutlarında küp numuneler alınmış ve 28 gün sonra test edilerek basınç dayanımları belirlenmiştir.

Çimento

Deneysel çalışmada kullanılan CEM I çimentosu Limak Çimento Fabrikasından temin edilmiştir. Çimentoya ait fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

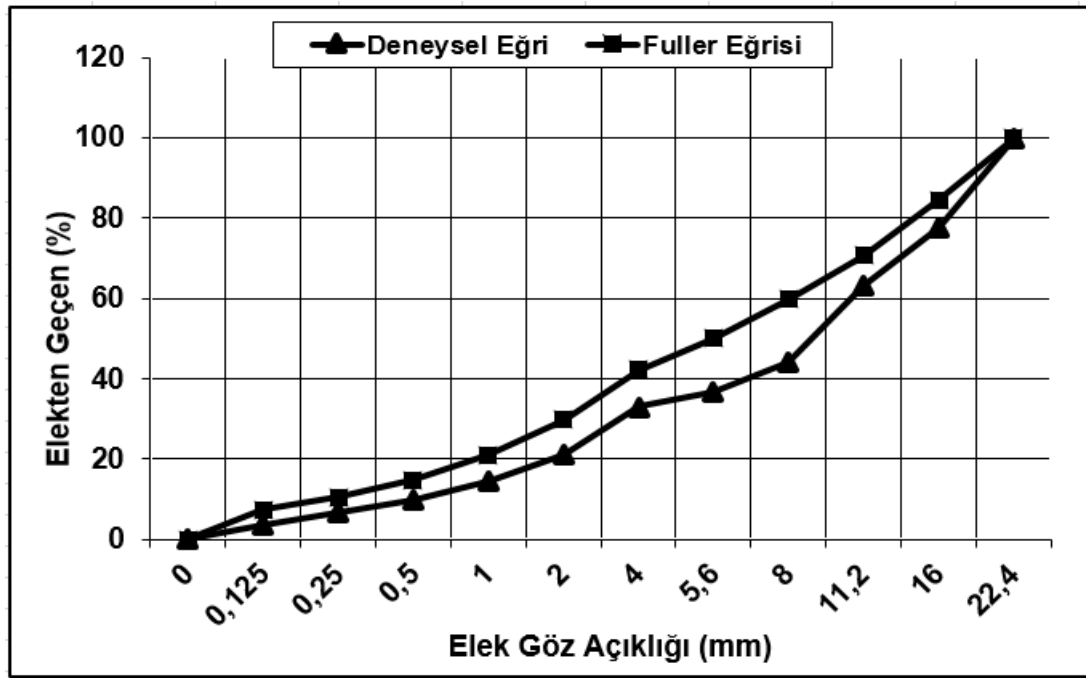
Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikler		
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,16	Basınç Dayanımı (MPa)	1.gün	19,5
İncelik (mikron)	40,90		2.gün	27,1
Özgül yüzey (cm ² /g)	3172		7.gün	44,5
Normal kıvam suyu	27,4		28.gün	55,3
Priz başlangıç (dakika)	110			
Priz sonu (dakika)	180			

Agrega

Beton üretiminde, Polat Beton Santralinin Kayaş Şubesinden temin edilen, fiziksel özellikleri Çizelge 3.2, granülometri eğrisi Şekil 3.1’de verilen kırma agregası kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Deney çalışmasında kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

	Agrega Sınıfları		
	0-4 mm	4-11 mm	11-22 mm
Yoğunluk (g/cm ³)	2,69	2,7	2,7
Su Emme (%)	1,17	0,45	0,31
Yassılık İndisi (%)	-	25,1	7,5



Şekil 3.1. DeneySEL agregA granÜlometri eğrisi

Su

Beton üretiminde betona zararlı olabilecek hiçbir organik madde içermeyen, Ankara şehir içme suyu kullanılmıştır.

Kimyasal katkı

C30 numuneleri için çimento ağırlığının %0,7 oranında Sikament RMC-210 adlı süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3.'de gösterilmiştir [38].

Çizelge 3.3. Süper akışkanlaştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	
Homojenlik	Homojen
Renk	Kahverengi
Yoğunluk 20°C, g/cm ³	1,1450
Katı madde yüzdesi, %	29,75
pH, (%10'luk Çözelti)	7,50
Suda çözünebilen klor yüzdesi, %	0,0324

3.1.2. Çelik plaka

Deney çalışmasında beton yüzeyine yapıştırmak için Ereğli sac levhalardan kesilen kalınlıkları 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan 100x300 mm boyutlarında St37 çeliği kullanılmıştır. Bu levhalar Ekin Metal SAN. TİC. A.Ş. firmasından temin edilmiştir. St37'nin akma mukavemeti (kalınlık < 16 mm) 235 MPa, çekme mukavemeti (3 mm < kalınlık mm < 50 mm) 340-470 MPa'dır. St37 çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 3.4'de verilmiştir [40].

Çizelge 3.4. ST 37 çeliğinin kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşimi (%)							
C	P	S	Mn	Si	Cu	Al	N
max	max	max	Max	Max		Min	
0,17	0,025	0,20	0,80	0,30	0,25-0,40	0,15	0,012

3.1.3. Arayüzey yapıştırıcısı

Çelik plakaları beton yüzeyine yapıştırmak için Sikadur 31 marka yapıştırıcı kullanılmıştır. Sikadur 31 solvent içermeyen, neme toleranslı, iki bileşenli, epoksi reçineler ve özel dolgular içeren, yapısal yapıştırma ve tamir harcıdır. Ayrıca beton elemanlar, sert doğal taşlar, seramik, tuğla, ahşap, çelik, cam gibi daha pek çok elemanların yapıştırılmasında ve çatlak kapatma işlemlerinde tercih edilmektedir [38].

Sikadur 31'in özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

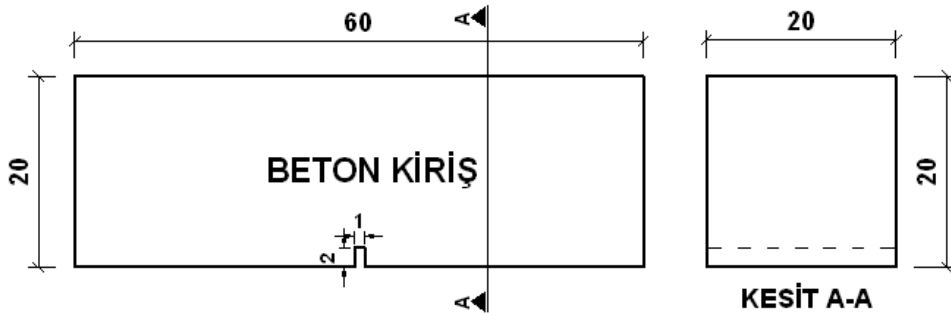
Çizelge 3.5. Sikadur 31'in fiziksel ve mekaniksel özellikleri [38]

Basınç dayanımı (1 gün)	40-45 N/mm ²
Basınç dayanımı (10 gün)	60-70 N/mm ²
Eğilmede çekme dayanımı (10 gün)	30-40 N/mm ²
Çekme dayanımı (10 gün)	15-20 N/mm ²
Elastisite Modülü	4300 N/mm ²
Yoğunluk	1,65 kg/l
Karışım Oranı (A/B)	1/3

3.2. Yöntemler

3.2.1. Beton numunelerin üretimi

Deneyisel çalışma olarak 200x200x600 mm boyutlarındaki donatısız C18 ve C30 beton kirişler üretilmiştir. Bu betonların alt yüzeylerine, farklı kalınlıklardaki çelik plakalar yapıştırılarak deneyisel çalışmanın süreci planlanmıştır. Bu süreçte kalıpların hazırlanması ve betonun dökülmesi bu boyutlara göre yapılmıştır. Beton kiriş ölçüleri Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Deney çalışmasındaki beton kiriş ölçüleri

Deney numunelerinin hazırlanması ve kür işlemleri "TS EN 12390-2 Sertleşmiş beton deneyleri - Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması" standardına uygun olarak yapılmıştır [39].

Beton kiriş numunelerinden toplam 18 adet üretilmiştir. Bunların 9 tanesinin C18, diğer 9 tanesinin de C30 olması kararlaştırılmıştır. Bu amaçla ahşap kalıplar

yapılmış, betonun kalıptan ayrılmasını sağlamak için kalıpların iç yüzeyleri yağlanmıştır.

18 MPa ve 30 MPa beton dayanımını elde etmek için gerekli olan malzemelerin miktarları TS EN 802 Standardı göz önüne alınarak hesaplanmıştır [41]. Hesap sonucu bulunan malzemeler kullanılarak beton oluşturulmuş, optimum su oranını bulmak için TS EN 12350-2 “Beton-Taze beton deneyleri- Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi” standardına uygun olarak slump deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda çökme miktarı 5 cm olacak şekilde su miktarı ayarlanmıştır [42]. C18 ve C30 betonu üretmek için kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.6. C18 beton üretiminde kullanılan malzemelerin miktarları (1 m³)

Beton Sınıfı	Malzeme	Miktar (kg)
C 18	Agrega	0-4 mm
		831
		4-11,2 mm
		370
		11,2-22,4 mm
		648
	Çimento	300
	Su	200

Çizelge 3.7. C30 beton üretiminde kullanılan malzemelerin miktarları (1 m³)

Beton Sınıfı	Malzeme	Miktar (kg)
C 30	Agrega	0-4 mm
		841
		4-11,2 mm
		375
		11,2-22,4 mm
		656
	Çimento	365
	Su	168
	Kimyasal Katkı	2,55

Çizelge 3.6. ve 3.7.’de miktarları verilen malzemeler beton mikserinde yeteri kadar karıştırılmış, daha sonra iç yüzeyleri yağlanmış olan ahşap kalıplara yerleştirilmiştir. Basınç dayanımlarını test etmek amacıyla beton mikseri ile yapılan her karışımdan üç adet küp (15x15x15 cm³) numune alınmıştır. Kalıplara yerleştirilen beton kirişler sıkıştırma işlemi yapıldıktan sonra prizini alması için iki gün beklenmiştir.

Kalıptan alınan beton numuneler kür havuzuna konulmuş, boşalan kalıplar temizlenip yağlandıktan sonra 30 MPa dayanıma sahip 9 adet numune oluşturulmuştur.



Resim 3.1. Betonun ikili kalıplara yerleştirilmiş hali



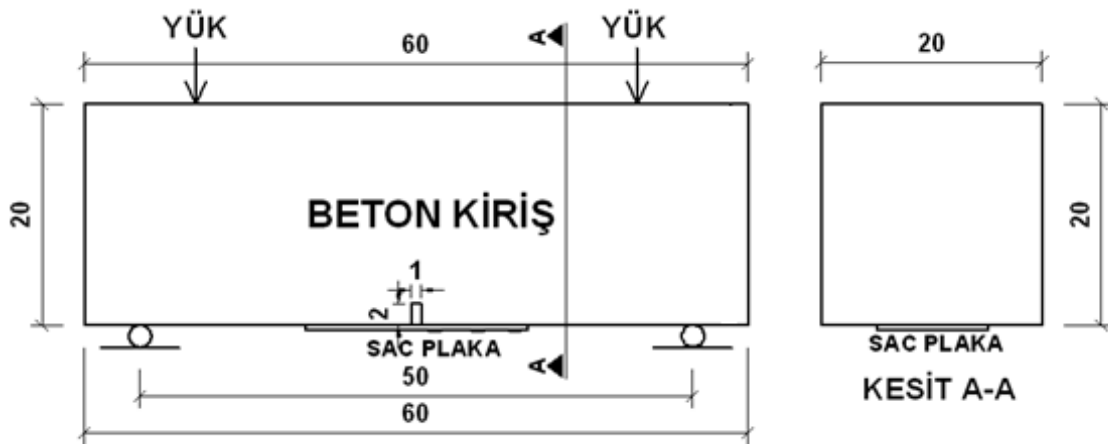
Resim 3.2. Kalıplarından çıkarılan beton numuneler

Beton numunelerinin basınç dayanımlarını test etmek amacıyla beton mikserinde yapılan her bir karışım için alınan 3 adet küp numune ($15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$) 28 gün kür

havuzunda bekletildikten sonra kırılarak karakteristik basınç dayanımları (f_{ck}) bulunmuştur. Basınç dayanımları tespit işlemleri TS EN 12390-3 Standardına göre yapılmıştır [43].

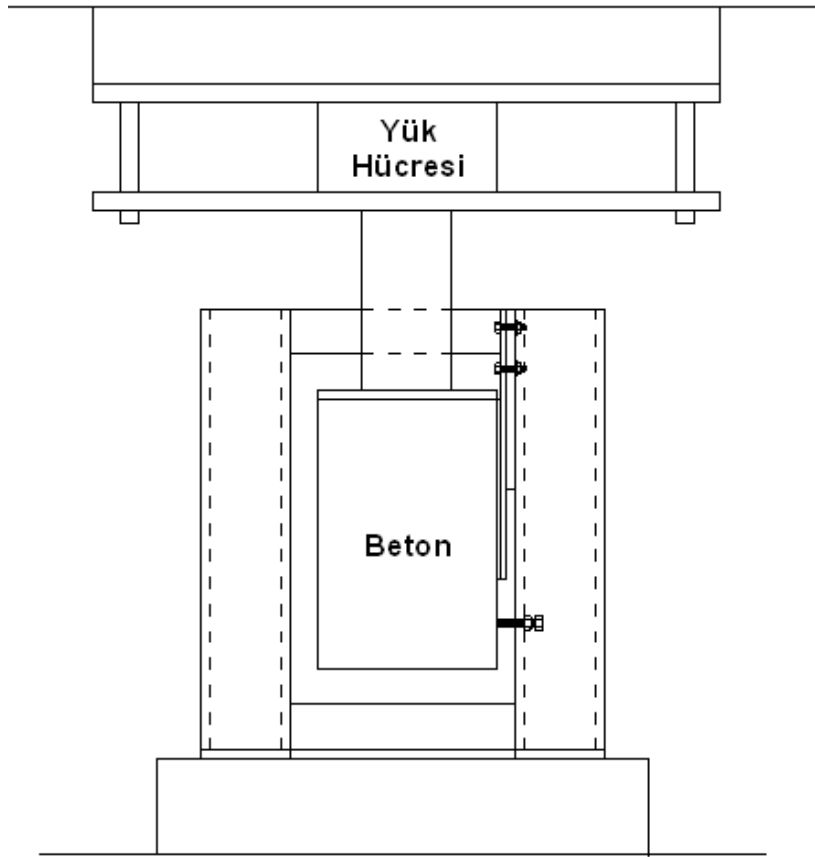


Resim 3.3. Küp numunelerin test edilmesi



Şekil 3.3. Çalışmanın ilk halinde planlanan deney düzeneği

Şekil 3.3'teki düzeneğe göre çalışma planlanmıştır. Ancak deney aşamasında yaşanan bir takım olumsuzluklar ve deney sonuçlarının doğru elde edilememesi nedeniyle deney numunelerinde kullanılan kirişler ortadan ikiye ayrılmış, Şekil 3.4'deki gibi deney düzeneği değiştirilerek tez çalışması sürdürülmüştür. Beton blokların ayrılması aşamasında beton delici matkap uçları hiltiye takılmış ve çentik üzerinde delikler oluşturulmuştur. Çentik üzerinde delikler açılarak zayıflatılan betonun uç kısımlarına baskı uygulanarak beton bloklar iki parçaya ayrılmıştır.



Şekil 3.4. Değiştirilen deney düzeneği

3.2.2. Çelik plakaların yapıştırılması

Beton numuneler beton silme taşı ile zımparalanarak düzgün bir yüzey oluşturulmuştur. Daha sonra hava kompresörü yardımıyla yüzeyindeki tozlar uzaklaştırılmıştır. Son olarak numunenin plaka yapıştırılacak olan yüzeyi su ile yıkanmış, doğal ortamda kuruması için bir gün süreyle beklemeye alınmıştır.



Resim 3.4. Beton numune yüzeyinin zımparalanması

Çelik yüzeyinde oluşan pas, yağ, leke, boya vb. maddelerin yapışmayı olumsuz etkilememesi için plakanın betona yapışacak yüzeyi P60 kâğıt zımpara ile temizlenmiş ve yüzeyindeki her türlü madde uzaklaştırılmıştır.



Resim 3.5. Çelik plaka yüzeyinin zımpara ile temizlenmesi

Sikadur 31 yapıştırıcısının A ve B bileşenleri 1/3 oranında yumuşak kıvama gelinceye ve karışım homojen gri bir renk alana kadar karıştırılmıştır. Beton numunenin plaka yapıştırılacak kısmı kalemle işaretlenmiş ve bu bölgeye yapıştırıcı spatula ile sürülerek gözenekler doldurulmuştur. Yapışkan tabakası kalınlığını

ayarlamak için 2, 3 ve 4 mm kalınlığındaki ahşap çıtalardan yararlanılmıştır. İstenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar plakaya baskı uygulanarak yapıştırıcı kalınlığı ayarlanmıştır. Yapıştırma işleminin ardından numuneler kürünü alması için 10 gün süre ile laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

3.2.3. Birim deformasyon ölçerler (strain gage)

Birim deformasyonların ölçümünde strain gage (SG) tekniğinden sıklıkla faydalanılır. SG tekniği Hook kanuna uyan malzemelerde bir iletkenin uzama veya kısalmaya bağlı olarak kesit alanının değişmesi ve buna bağlı olarak da elektriksel direncinin değişmesi ilkesine dayanır [44].

SG ile birim deformasyon miktarları Eş.3.1. kullanılarak hesaplanır.

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}} \quad (3.1)$$

Burada:

GF= Tamamen malzemeye bağlı olan gage faktör katsayısıdır. İmalatçı firma tarafından belirlenir.

ΔR = SG üzerinde oluşan direnç değişimi

R = SG'nin deforme olmadan önceki direnci

$\Delta L/L$ = Birim deformasyon

Ayrıca $\Delta R/R$ değerinin elektriksel yönden ölçümü için Wheatstone köprüsü kullanılır. Bu köprü SG üzerinde oluşan direnç değişimlerini belirlemek içindir. SG'lerin adet ve bağlantı şekline göre tam, yarım ve çeyrek köprü olmak üzere üç farklı şekilde isimlendirilirler. Deneysel çalışmada kullanılan birim deformasyon ölçer Resim 3.1'de gösterilmiştir.



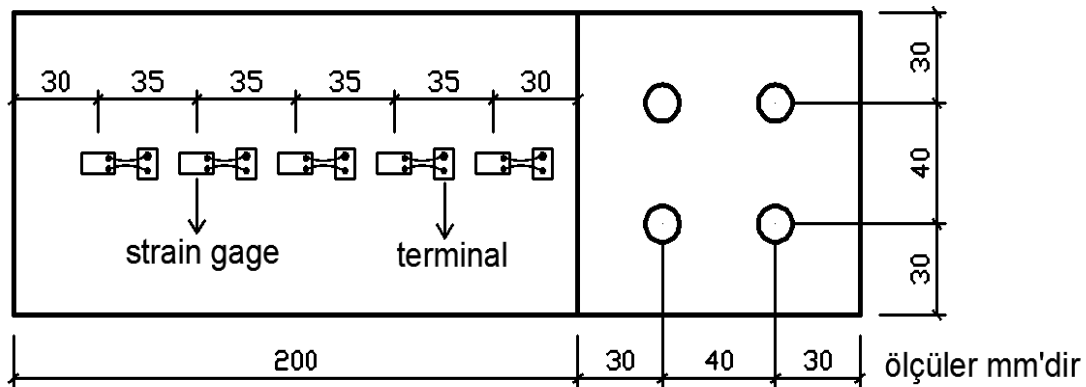
Resim 3.6. Çalışmada kullanılan birim deformasyon ölçer

Deneyisel çalışmada gage faktörü (GF) 2.0 olan 120 Ohm'luk SG'ler ve çeyrek köprü bağlantı şeması tercih edilmiştir.

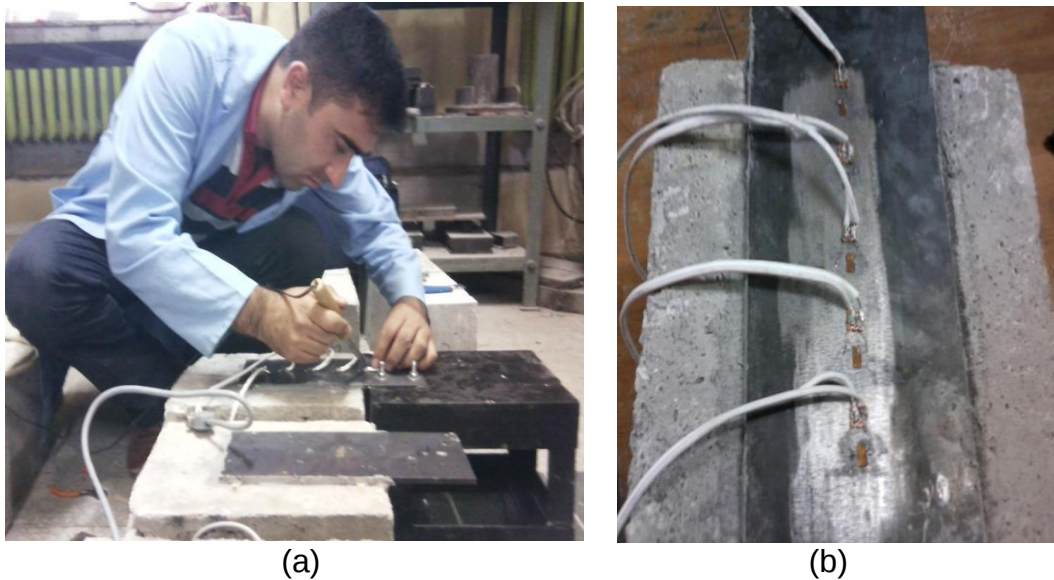
Birim deformasyon ölçerlerin yapıştırılması

Plakalara birim deformasyon ölçerler (strain gage) yapıştırılmadan önce plaka yüzeyi zımparalanmış daha sonra aseton ile iyice temizlenmiştir.

Her bir plakaya 5 adet SG Şekil 3.5.'de gösterilen aralıklarda kuvvetli bir yapıştırıcı ile plaka yüzeyine yapıştırılmıştır. Ayrıca SG'ler arasında kalan boşluklara terminaller yapıştırılmıştır. Köprü devresinden gelen kablolar ile SG'lerden gelen teller bu terminaller üzerinde lehimlenerek birleştirilmiştir. Böylece köprü devresinden gelen kabloların yanlışlıkla çekilmesi sonucu SG'lerin zarar görmesi engellenmiştir.



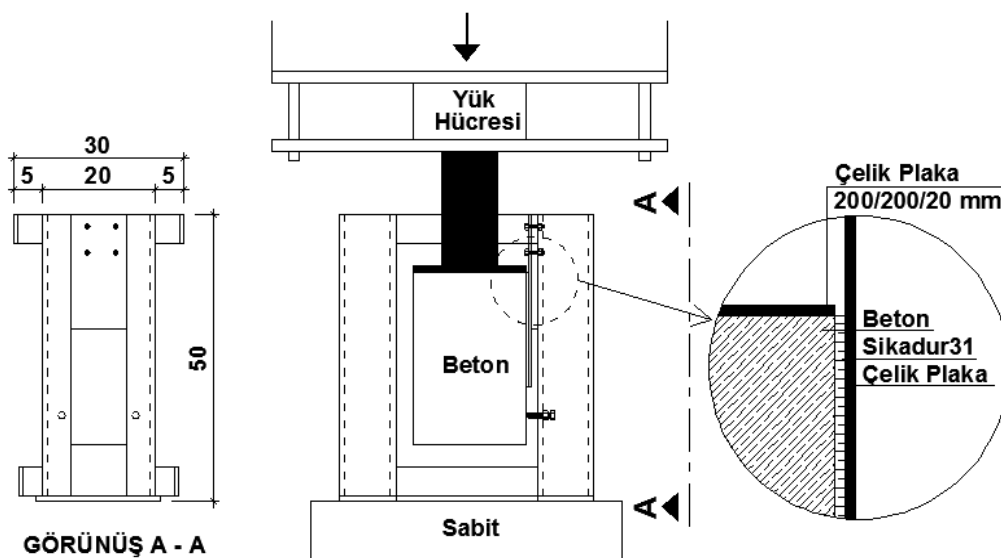
Şekil 3.5. SG'lerin çelik plaka yüzeyine yapıştırma ölçüleri



Resim 3.7. Birim deformasyon ölçerlerin yapıştırma işlemleri
(a) Birim deformasyon ölçerlerin terminallere lehimlenmesi
(b) Birim deformasyon ölçer ve terminallerin son hali

3.2.4. Kayma gerilmesi deneyi

200x200x300 mm boyutlarındaki beton numunelere kayma gerilmesi deneyini uygulamak için Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü beton laboratuvarında yer alan eğilme ve basınç deneylerinde kullanılan 3000 kN kapasiteli deney cihazı kullanılmıştır. Yükleme anında oluşan yük değerlerini tespit etmek için 500 kN kapasiteli yük hücresi, SG değerlerini okumak için data loggerdan faydalanılmıştır. SG'lerden gelen 5 adet veri 0,5 sn aralıklarla alınarak bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 3.6. Yükleme düzeneği şematik görünüşü



Resim 3.8. Beton numunelere kayma deneyi için oluşturulan düzenek

Yük hücresinden ve SG'lerden gelen sinyaller bilgisayar kontrollü bir veri toplayıcısında toplanmış, deney sonrası bilgisayara kayıt edilerek saklanmıştır.

Yapılan literatür taramalarında, çelik levhaların beton yüzeyine yapıştırılarak oluşturulan sistemlerde yapıştırıcı tabakasındaki bölgesel kayma gerilmelerini veren Eş.3.2.'nin pek çok çalışmada kullanıldığı görülmüştür [23,31,32,33]. Tüm yapıştırıcı bölgesindeki gerilmeleri sabit kabul eden ortalama kayma gerilmesi yerine, her bir bölgedeki gerilmeyi veren bu hesaplama bizim çalışmamızda da kullanılmıştır. Çelik yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar SG'ler yardımıyla belirlenmiştir.

$$\tau (x) = t.E_s.(\Delta \varepsilon / \Delta x) \quad (3.2)$$

Burada;

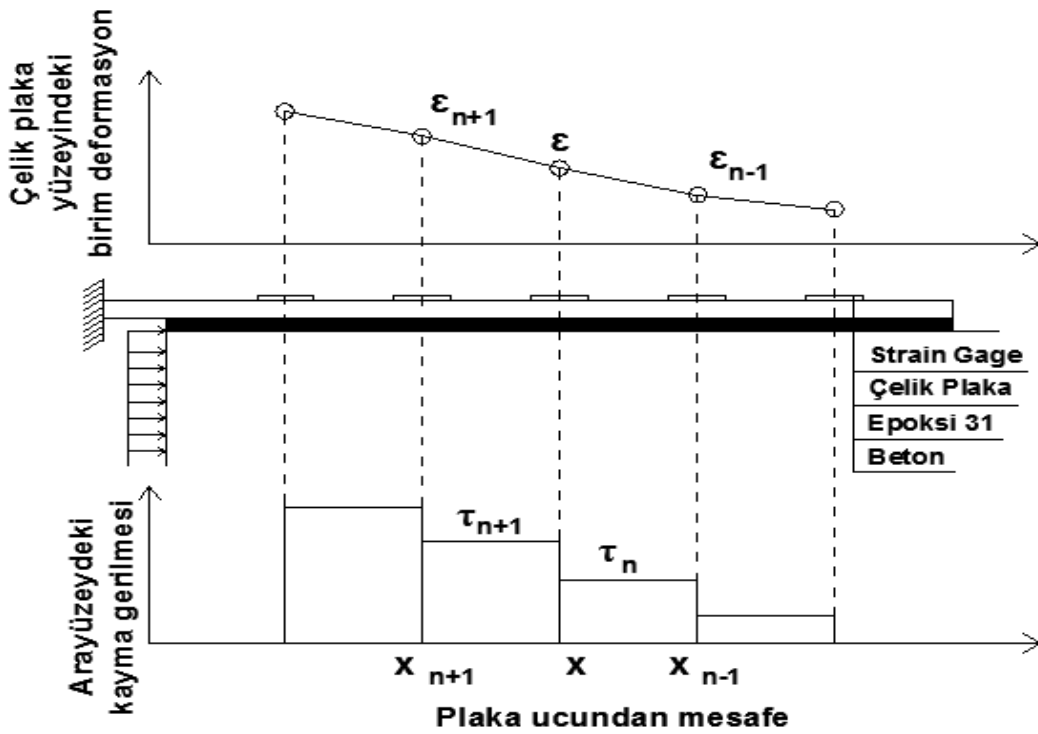
$\tau (x)$ = Bölgesel kayma gerilmesi (MPa)

t = Plaka kalınlığı (mm)

E_s = Çelik plakanın elastisite modülü (MPa)

$\Delta \varepsilon$ = Çelik plakaya yapıştırılan iki SG noktasındaki birim deformasyon farkı

Δx = İki SG noktası arasındaki mesafe (mm)



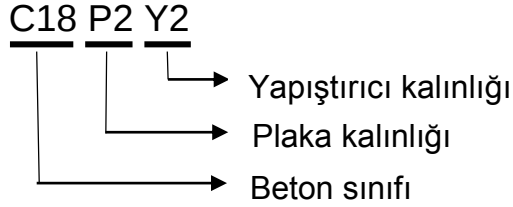
Şekil 3.7. Deneysel yöntemle kayma gerilmeleri dağılımı

Eş 3.2.'de verilen formül kullanılarak iki SG arasında kalan arayüzdeki kayma gerilmeleri hesaplanmış daha sonra ANSYS ve Simulation analiz programları sonuçları ile kıyaslanmıştır.

3.2.5. Deney numunelerinin isimlendirilmesi

Çalışma iki beton sınıfı (C18-C30), üç plaka kalınlığı (2, 4, 6 mm) ve üç yapışkan tabakası kalınlığı (2, 3, 4 mm) olacak şekilde tasarlanmıştır. Deney elemanlarının karıştırılmaması için beton sınıfı, plaka kalınlığı ve yapışkan tabakası kalınlığı baz

alınarak her bir numuneye isim verilmiştir. Örneğin C18P2Y2 numunesi basınç dayanımı 18 MPa, plaka kalınlığı 2 mm ve yapıştırıcı tabakası kalınlığı 2 mm olan numuneyi temsil etmektedir.



3.2.6. Sonlu elemanlar yönteminin ANSYS ve Simulation ile uygulanması

Sonlu elemanlar yöntemini kullanan pek çok bilgisayar programları mevcuttur. Bu programlar arasında özellikle ANSYS geniş bir kitleye hitap etmektedir. ANSYS, 1971 yılında ilk yayınlanmasından günümüze kadar; dinamik, statik, akışkan mekaniği, ısı transferi ve elektromanyetizma alanlarında yaygın olarak kullanılan çok amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Bu yapısı sayesinde havacılık, otomotiv, inşaat, elektronik ve nükleer alanlarında uygulanması mümkündür [45].

ANSYS programıyla analiz genel olarak üç aşamada gerçekleştirilir.

1. Preprocessing (önişlem): Problemin tanımlandığı aşamadır.
 - Model geometrisi oluşturulur.
 - Eleman tipleri belirlenir.
 - Malzeme özellikleri tanımlanır.
 - Sonlu eleman ağı özellikleri tanımlanır.
 - Alanlar veya hacimler sonlu elemanlara bölünür (meshing).
2. Solution (çözüm): Çözümün gerçekleştirildiği aşamadır.
 - Sınır şartları (mesnetler) belirlenir.
 - Yükler uygulanır.
 - Çözüm gerçekleştirilir.
3. Postprocessing(sonişlem): Sonuçların gösterildiği aşamadır.
 - Nodal yer değiştirmeler listelenir.
 - Yer değiştirme çizimleri gösterilir.

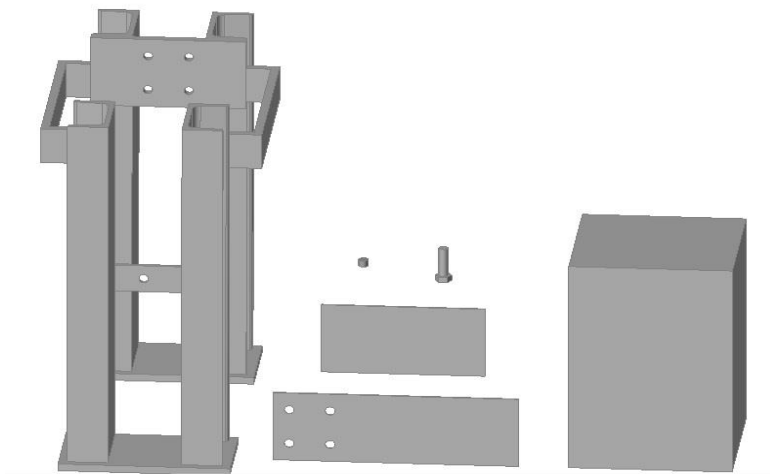
- Gerilme diyagramları gösterilir [35].

Modelleme işlemi ANSYS programının kendi bünyesinde yapılabildiği gibi başka bir CAD paketinde oluşturularak ANSYS programına da aktarılabilir. Modelleme aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan birisi çizimde kullanılan birim ile malzeme özelliklerinin tanımlandığı birimler ve uygulanan yük birimlerinin bir birleri ile uyumlu olması gerektiğidir.

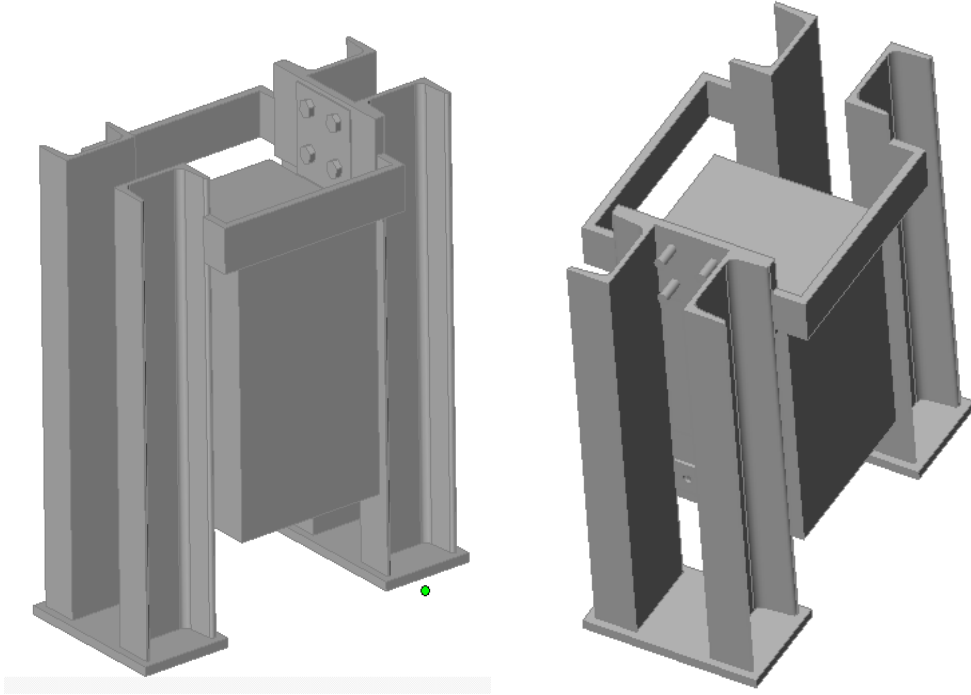
Sonlu elemanlar yöntemini kullanan diğer bir program da SolidWorks programı içerisinde yer alan Simulation programıdır. SolidWorks özellikle makine tasarım ve imalatlarında tercih edilen, 3D modelleme yapabilen, kullanımı kolay, parametrik tabanlı CAD programlarından biridir. SolidWorks tasarımın her aşamasında model boyutlarını ve şeklini değiştirme imkanı sunar. Tasarım ağacı özelliği ile yapılan işlemlerin sırası ve yerleri değiştirilebilir.

SolidWorks'ün Simulation özelliği ile modeller sonlu elemanlara ayrılarak statik analizler yapılabilir. Ayrıca SolidWorks Flow Simulation ile de basit akışkan analizleri yapabilmektedir.

Deneyisel çalışma modelinin her elemanı SolidWorks tasarım programı ile tasarlanmıştır (Şekil 3.8). Daha sonra SolidWorks programı içinde yer alan montaj (Assembly) programı ile birleştirilmiş ve Parasolid (x_t) formatında kaydedilerek ANSYS sonlu elemanlar programına aktarılmıştır.



Şekil 3.8. SolidWorks programında her bir elemanın ayrı ayrı modellenmiş hali



Şekil 3.9. Elemanların Assembly programı ile birleştirilmiş hali

Modelleme işlemi tamamlandıktan sonra analizi yapılacak her bir malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin programa tanıtılması gerekir. ANSYS kütüphanesinde yer alan malzeme özellikleri kullanılabileceği gibi, dışarıdan da malzeme tanımlanabilir. Epoksi, çelik ve beton için tanımlanan malzeme özellikleri Çizelge 3.8, Çizelge 3.9, Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Epoksi malzemesinin özellikleri

Yoğunluk (kg/m^3)	1650
Elastisite Modülü (MPa)	4300
Poisson Oranı	0,3
Max. Çekme Gerilmesi (MPa)	20
Max. Basınç Gerilmesi (MPa)	60

Çizelge 3.9. ST37 çelik malzemesinin özellikleri

Yoğunluk (kg/m ³)	7850
Elastisite Modülü (MPa)	210000
Poisson Oranı	0,3
Akma Dayanımı (MPa)	220
Kopma Dayanımı (MPa)	370

Çizelge 3.10. C18 betonu için tanımlanan malzeme özellikleri

Yoğunluk (kg/m ³)	2300
Elastisite Modülü (MPa)	27500
Poisson Oranı	0,2
Çekme Dayanımı (MPa)	1,5
Basınç Dayanımı (MPa)	18
Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi	
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
4,85	0,00025
8,95	0,00050
12,28	0,00075
14,85	0,0010
17,71	0,0015
18,00	0,0017
15,30	0,0038

Çizelge 3.11. C30 betonu için tanımlanan malzeme özellikleri

Yoğunluk (kg/m ³)	2300
Elastisite Modülü (MPa)	32500
Poison Oranı	0,2
Çekme Dayanımı (MPa)	1,9
Basınç Dayanımı (MPa)	30
Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi	
Gerilme (MPa)	Birim Deformasyon
6,25	0,00025
11,78	0,00050
20,63	0,0010
26,57	0,0015
29,58	0,0020
30,00	0,0028
25,55	0,0038

Çalışmada basınç dayanımları 18 MPa ve 30 MPa olan iki çeşit beton sınıfı kullanılmıştır. Her iki dayanım sınıfı için de başlangıç elastisite modülü ve gerilme-şekil değiştirme ilişkisi için Hognestad beton modeli kullanılmıştır. Modelde eğrinin tepe noktasına kadar bölümü parabol, tepe noktasından sonraki bölümü ise doğrusal kabul edilmiştir. Parabolün denklemi Eş.3.3 ile gösterilmiştir.

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (3.3)$$

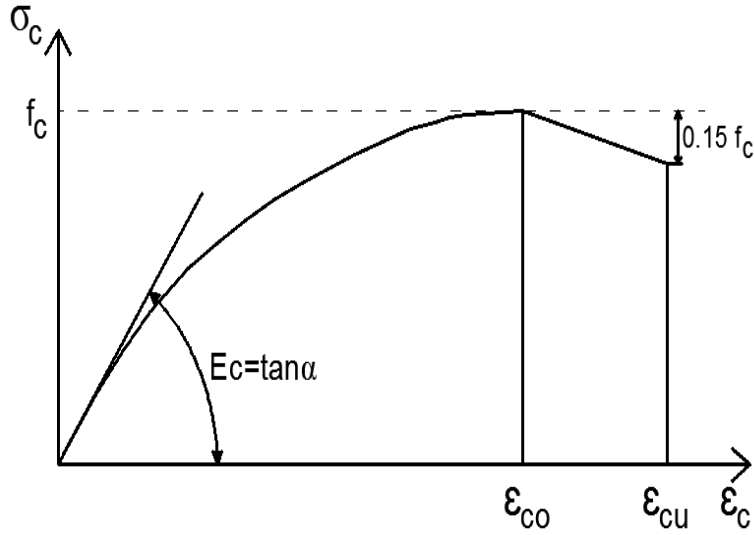
En büyük gerilme olarak beton basınç dayanımının % 85'i alınır. ($f_c = 0.85f_{ck}$) Maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme 0.0038'dir. Tepe noktaya karşılık gelen şekil değiştirme ise Eş.3.4 ile tanımlanır.

$$\varepsilon_{co} = \frac{2f_c}{E_c} \quad (3.4)$$

Bu modelde betonun elastisite modülü için Eş 3.5. önerilmiştir.

$$E_c = 12680 + 460 f_c \quad (3.5)$$

Hognestad modeline ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



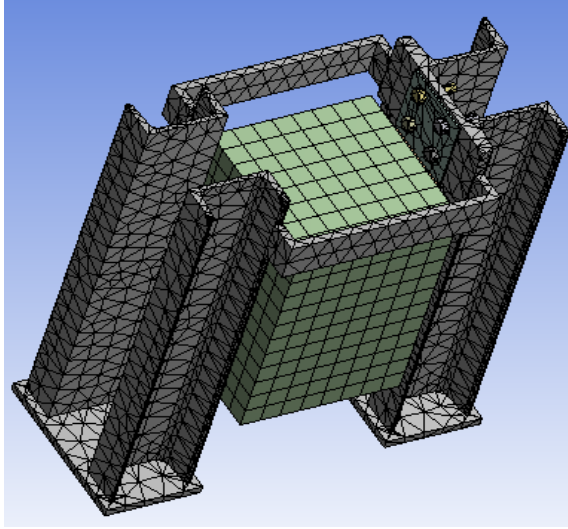
Şekil 3.10. Hognestad beton modeli

Betonun poisson oranı TS 500'de belirtildiği gibi 0.2 alınmıştır. Çekme dayanımı ise TS 500'de belirtilen Eş.3.6. 'ya göre hesaplanmıştır.

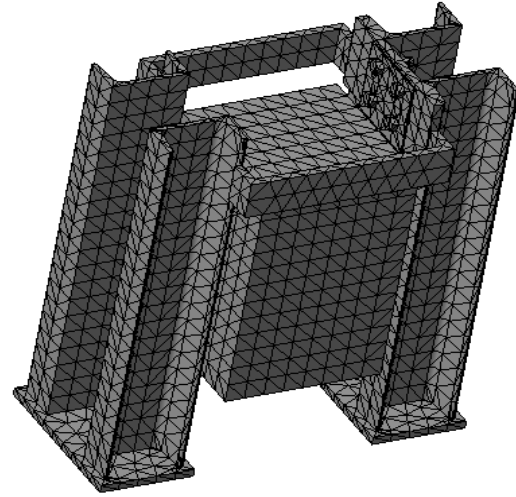
$$f_{ctk} = 0,35\sqrt{f_{ck}} \quad (3.6)$$

ANSYS'te modelleme işlemi ve malzeme özellikleri tanımlandıktan sonra model sonlu sayıda geometrik şekillere bölünmüştür. Bütün elemanlar ve temas yüzeyleri için birim eleman boyu 25 mm olarak girilmiştir. Birim eleman boyunun çok küçük girilmesi daha hassas çözüm yapılmasını sağlarken, denklem sayısını artırdığı için çözüm sürecini uzatır.

SolidWorks içerisinde yer alan Simulation programı sayesinde elemanları sonlu elemanlara ayırıp statik analiz yapmak mümkündür. ANSYS'deki gibi malzeme özellikleri tanımlama, parçalara bölme, mesnet, yük değerleri ve sınır şartları benzer şekilde SolidWorks Simulation programına da girilmiştir. Çizelge 3.8-3.9-3.10-3.11'de verilen malzeme özelliklerinin tamamı programa tanımlanmıştır. Yükleme ve mesnetlenme durumları tanımlandıktan sonra parçalara ayırma (mesh) işlemi yapılmıştır. Bu işlemde birim eleman boyu ANSYS'te olduğu gibi 25 mm alınmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.11. Modelin farklı programlarda sonlu elemanlara ayrılmış görüntüsü

a) ANSYS programına ait görüntü

b) Simulation programına ait görüntü

Çizelge 3.12. Sonlu elemanlar programlarında node ve eleman sayıları

	Simulation		ANSYS	
	Node Sayısı	Eleman Sayısı	Node Sayısı	Eleman Sayısı
C18P2Y2	9527	6193	9456	5743
C18P2Y3	9223	5975	9443	5728
C18P2Y4	9197	5956	9333	5686
C18P4Y2	9192	5953	9410	5710
C18P4Y3	9247	5993	9442	5734
C18P4Y4	9192	5953	9338	5688
C18P6Y2	9192	5953	9452	5757
C18P6Y3	9254	5998	9479	5778
C18P6Y4	9206	5963	9279	5678
C30P2Y2	9266	6009	9403	5698
C30P2Y3	9223	5975	9443	5728
C30P2Y4	9328	6051	9336	5679
C30P4Y2	9192	5953	9410	5710
C30P4Y3	9247	5993	9442	5734
C30P4Y4	9192	5953	9335	5703
C30P6Y2	9192	5953	9452	5757
C30P6Y3	9254	5998	9479	5778
C30P6Y4	9206	5963	9365	5724

Çalışmanın deneysel kısmında yer alan mesnetleme ve yükleme koşulları aynı şekilde ANSYS ve Simulation programlarında da uygulanmıştır. Modellerde düzeneğin ayakları sabit mesnet olarak kabul edilmiş, betonun üst yüzeyinden yayılı yük uygulanmıştır.

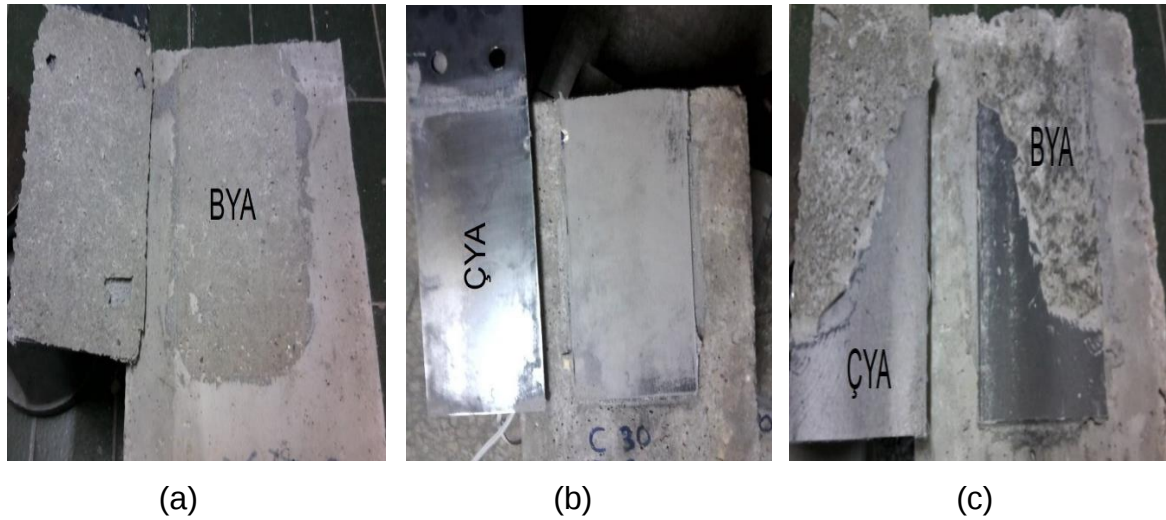
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sertleşmiş Beton Basınç Deneyi Sonuçları

Deney çalışmasında kullanılan beton dayanımlarını belirlemek için taze betondan küp numuneler alınmış ve 28 gün sonra bu numuneler test edilmiştir. Test sonucu bulunan ortalama beton basınç dayanımları C18 betonu için 18,42 MPa; C30 betonu için ise 30,76 MPa'dır. TS 500'de deney numunelerinin basınç dayanımlarının, karakteristik basınç dayanımlarından düşük çıkma olasılığı için bir (genellikle %10) oran tanımlanmıştır [4]. Deney sonucu bulunan beton basınç dayanımları, karakteristik beton basınç dayanımlarından yüksek çıktığı için TS 500 standardına uygundur.

4.2. Arayüzeyde Oluşan Ayrılma (Göçme) Durumları

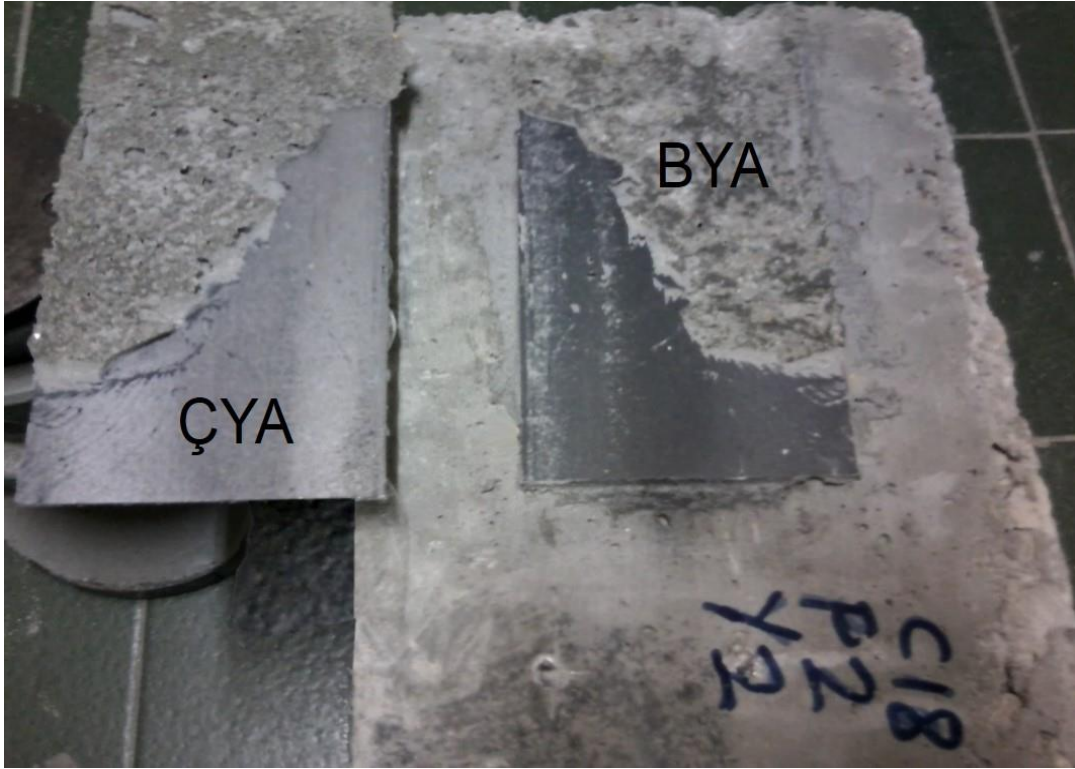
Deney elemanlarında görülen göçme modları; yapıştırıcının beton yüzeyinden ayrılması (BYA), yapıştırıcının çelik yüzeyinden ayrılması (ÇYA) ve her iki durumun bir arada görülmesi (BYA-ÇYA) şeklinde olmuştur.



Resim 4.1 . Arayüzeyde oluşan göçme modları
a) Beton yüzeyinden ayrılma
b) Çelik yüzeyinden ayrılma
c) Beton ve çelik yüzeyinden ayrılma

4.2.1. C18P2Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 42,11 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak yapıştırıcı kayma gerilmesi sınırı aşıldığı için ayrılma gerçekleşmiştir. Oluşan göçme modu BYA-ÇYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.2'de gösterilmiştir.



Resim 4.2. C18P2Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.2. C18P2Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 14,44 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.3.'de gösterilmiştir.



Resim 4.3. C18P2Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.3. C18P2Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 8,75 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.4.'de gösterilmiştir.



Resim 4.4. C18P2Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.4. C18P4Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları

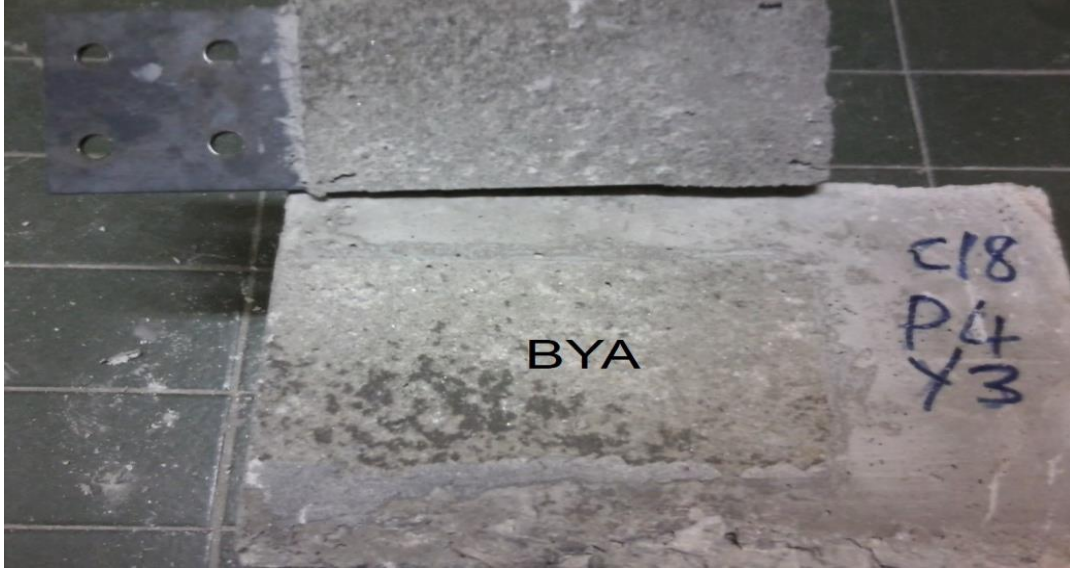
Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 36,61 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.5.'de gösterilmiştir.



Resim 4.5. C18P4Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.5. C18P4Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları

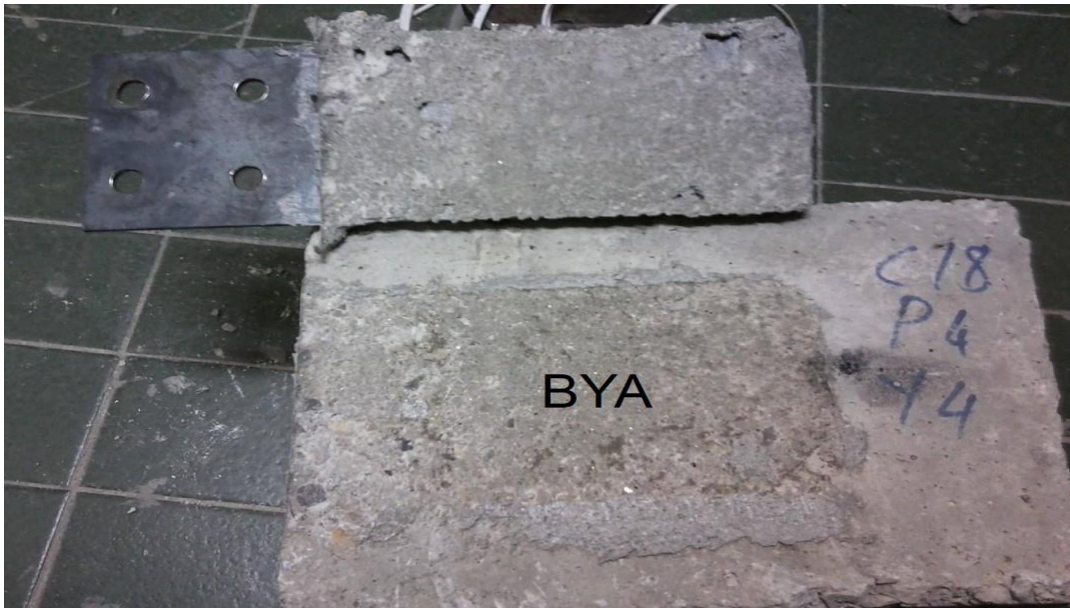
Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 7,84 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.6.'da gösterilmiştir.



Resim 4.6. C18P4Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.6. C18P4Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 2,24 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.7.'de gösterilmiştir.



Resim 4.7. C18P4Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.7. C18P6Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları

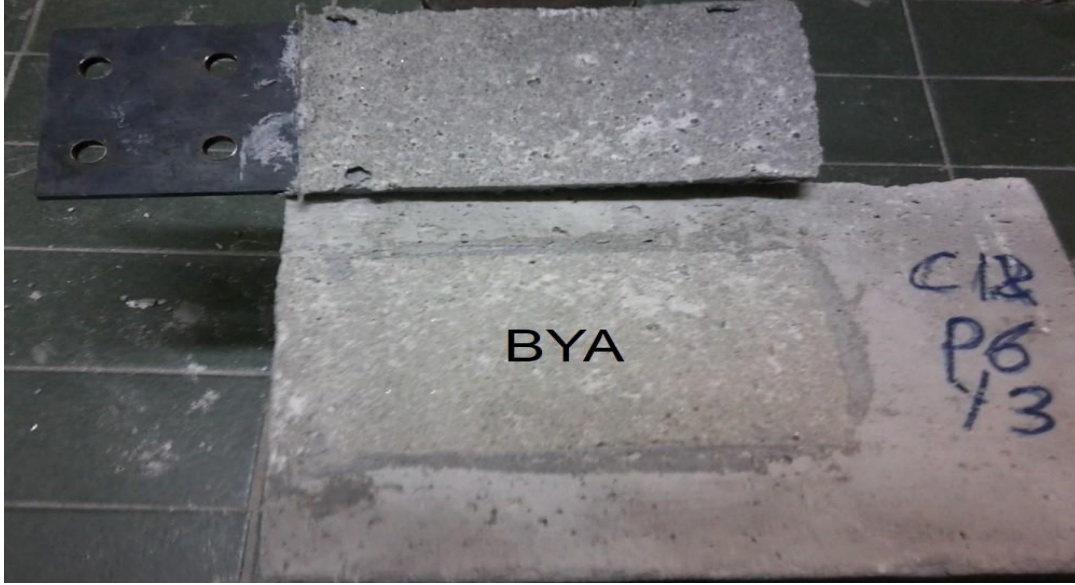
Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 12,96 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.8.'de gösterilmiştir.



Resim 4.8. C18P6Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.8. C18P6Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 4,42 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.9.'da gösterilmiştir.



Resim 4.9. C18P6Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.9. C18P6Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları

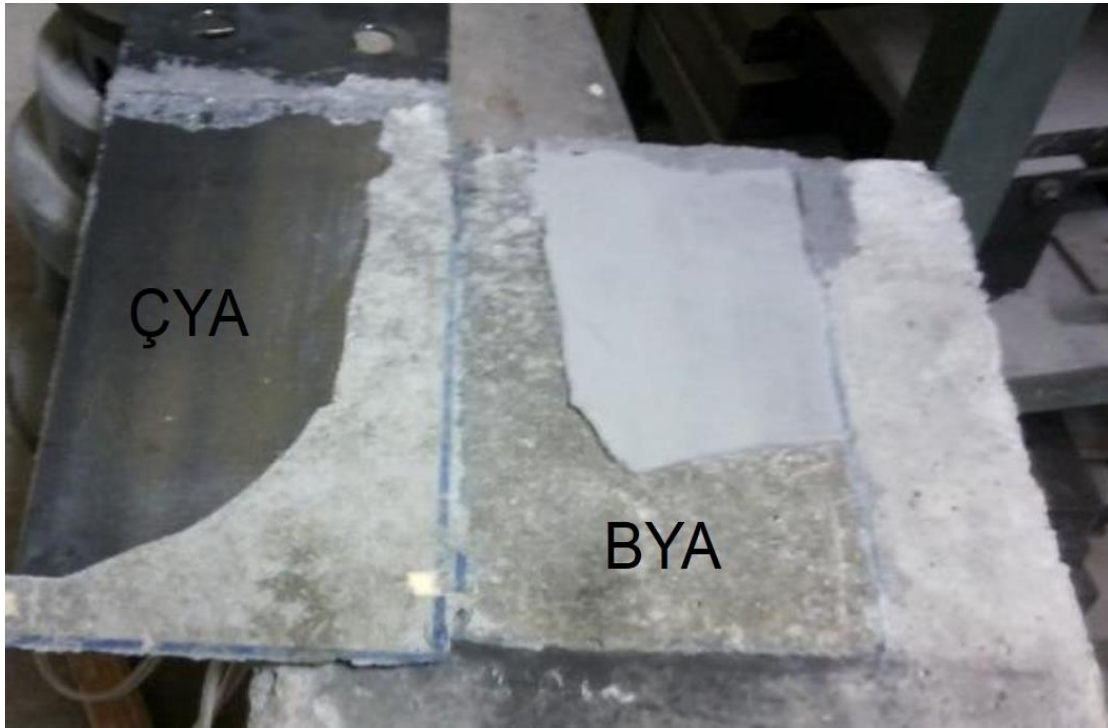
Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 2,10 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.10.'da gösterilmiştir.



Resim 4.10. C18P6Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.10. C30P2Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 1,67 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak epoksi kayma gerilmesi sınırı aşıldığı için ayrılma gerçekleşmiştir. Oluşan göçme modu BYA-ÇYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.11.'de gösterilmiştir.



Resim 4.11. C30P2Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.11. C30P2Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları

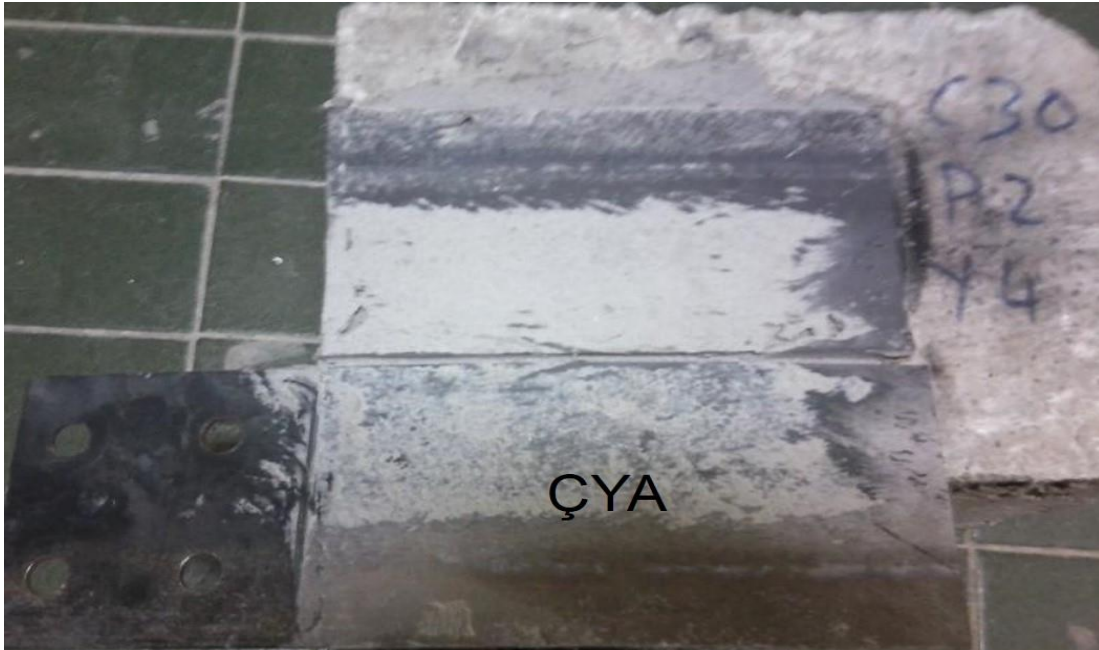
Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 3,55 kN'dur. Epoksi kayma gerilmesi sınırı aşıldığı için çelik ile epoksi arayüzünde ayrılma gerçekleşmiştir. Oluşan göçme modu ÇYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.12.'de gösterilmiştir.



Resim 4.12. C30P2Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.12. C30P2Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları

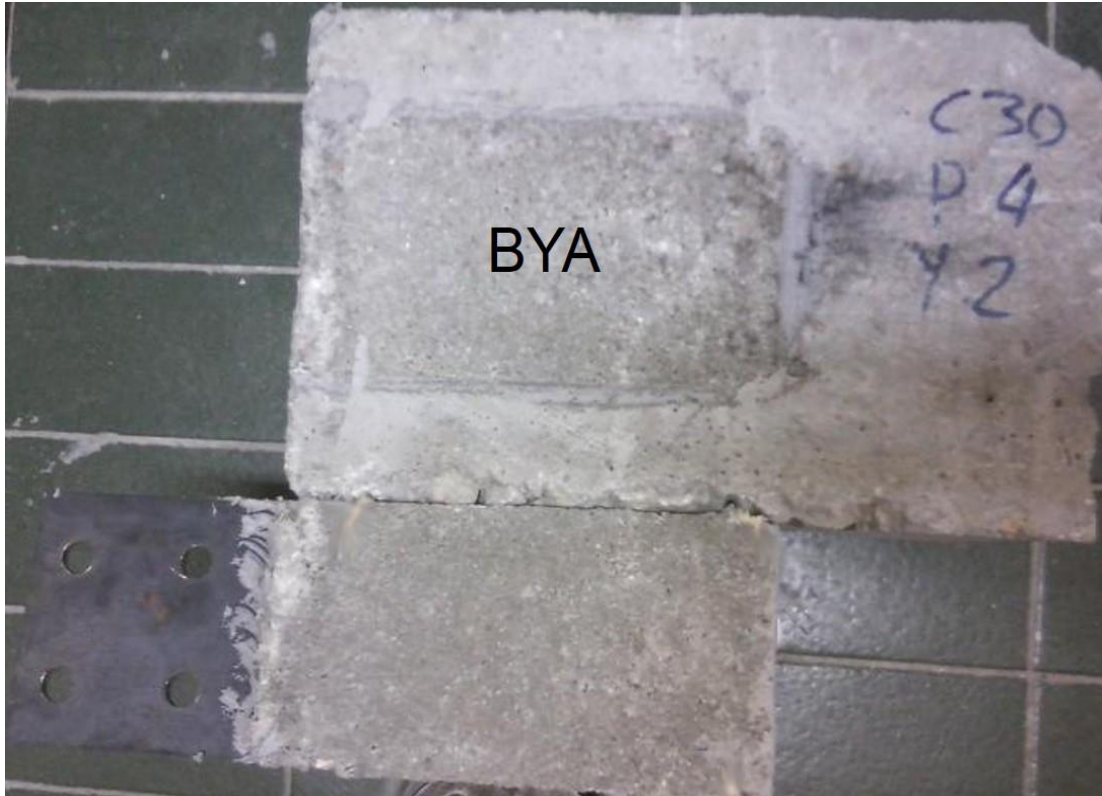
Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 5,20 kN'dur. Epoksi kayma gerilmesi sınırı aşıldığı için çelik ile epoksi arayüzünde ayrılma gerçekleşmiştir. Oluşan göçme modu ÇYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.13.'de gösterilmiştir.



Resim 4.13. C30P2Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.13. C30P4Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 3,14 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.14.'de gösterilmiştir.



Resim 4.14. C30P4Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.14. C30P4Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 11,98 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.15.'de gösterilmiştir.



Resim 4.15. C30P4Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.15. C30P4Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 16,57 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.16.'da gösterilmiştir.



Resim 4.16. C30P4Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.16. C30P6Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 8,26 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.17'de gösterilmiştir.



Resim 4.17. C30P6Y2 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.17. C30P6Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 23,08 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.18'de gösterilmiştir.



Resim 4.18. C30P6Y3 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.2.18. C30P6Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumları

Çelik plakanın beton yüzeyinden ayrılması anında uygulanan yük 28,17 kN'dur. Yükün ilk uygulanmaya başladığı anlarda beton uç kısmında, beton yüzeyinin soyulması şeklinde hasar başlamış, daha sonra artan yüke bağlı olarak soyulma aynı şekilde devam etmiştir. Oluşan göçme modu BYA şeklindedir. Ayrılma sonrası beton ve çelik yüzeyinde oluşan durumlar Resim 4.19'da gösterilmiştir.

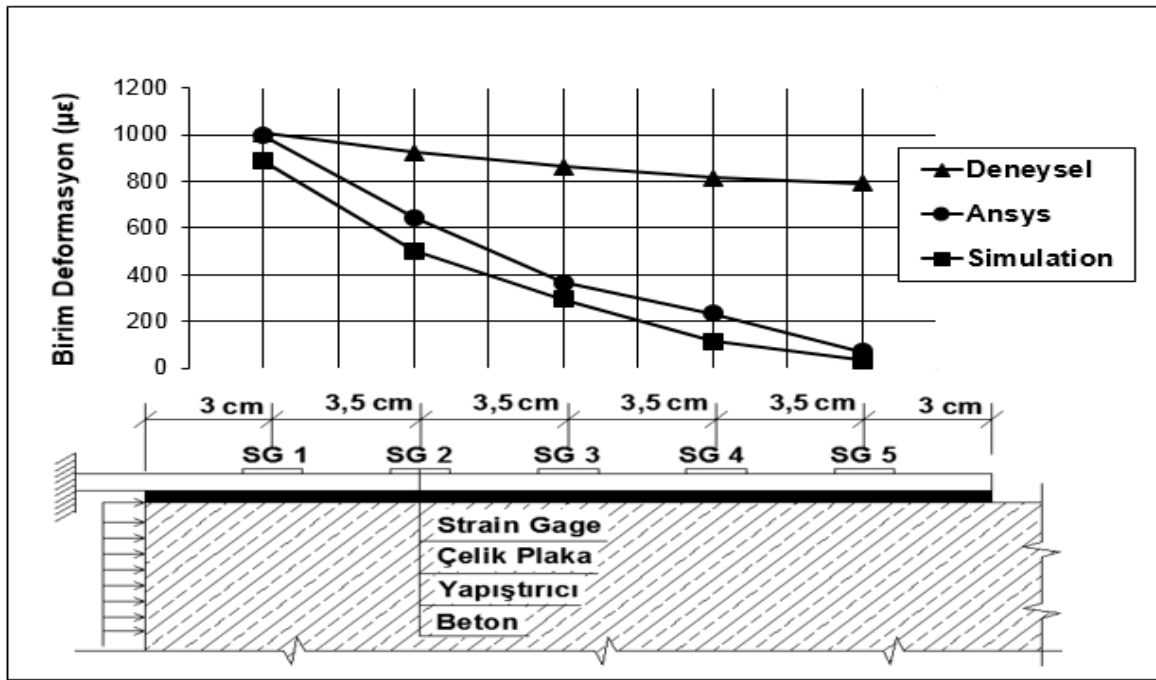


Resim 4.19. C30P6Y4 numunesinde oluşan ayrılma durumu

4.3. Kayma Deneyi Sonuçları

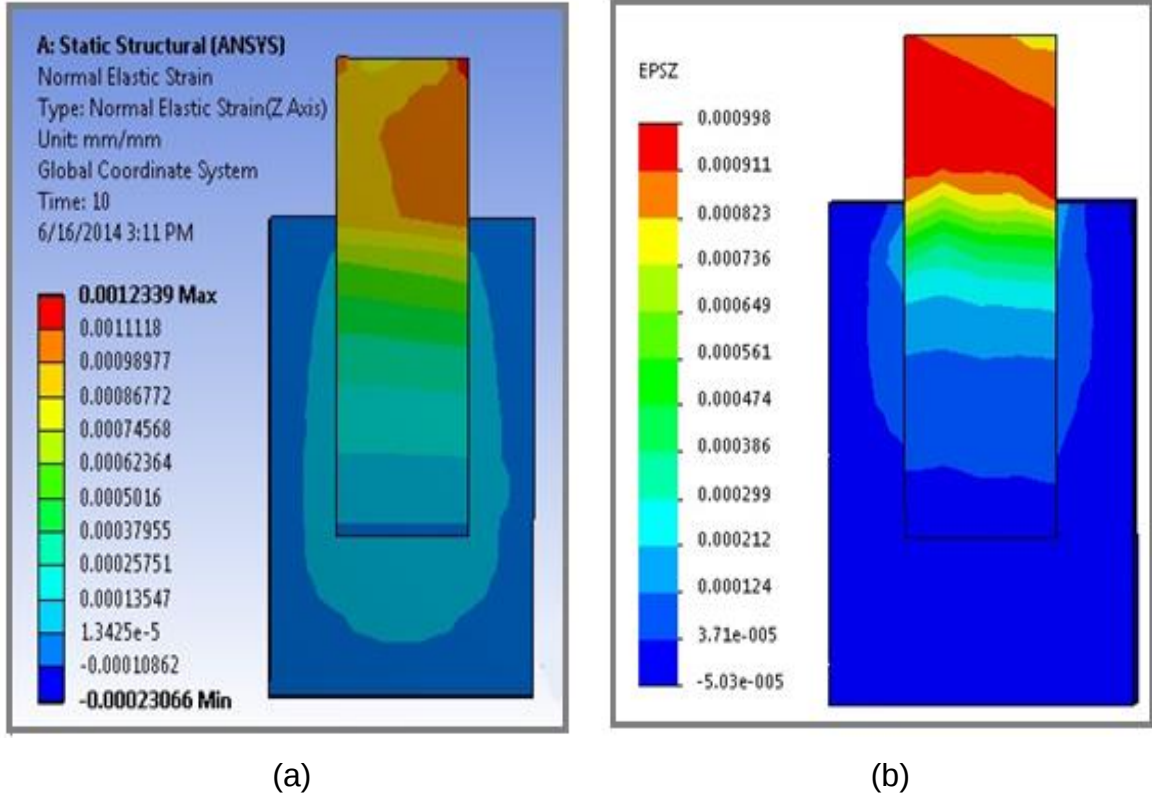
4.3.1. C18P2Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C18P2Y2 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 42,11 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

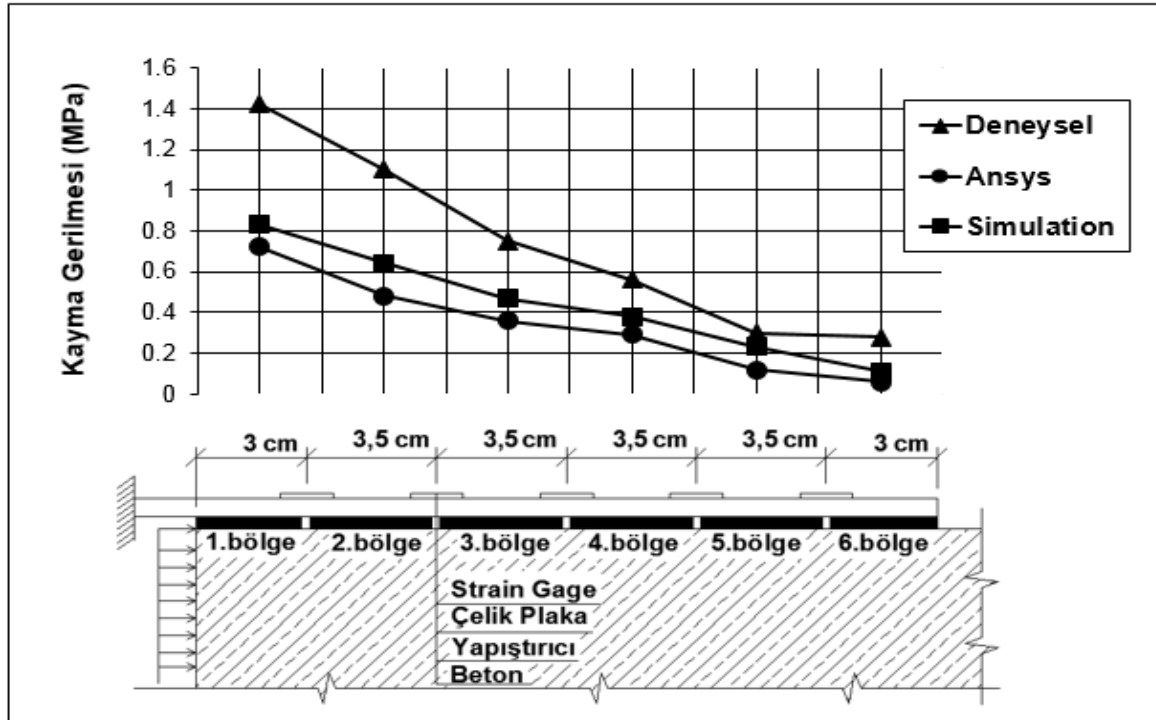


Şekil 4.1. C18P2Y2 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.1 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, çelik plaka üzerindeki en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır. Deneysel yöntemde ise SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerlerinden uzaklaşmıştır.

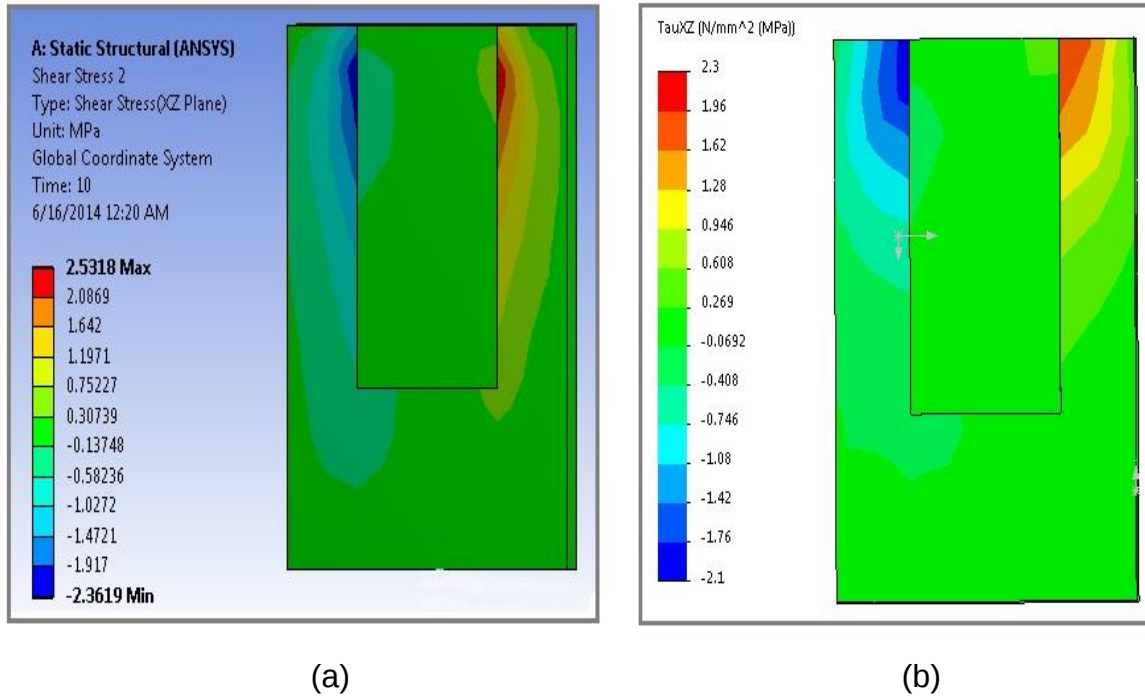


Şekil 4.2. C18P2Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.3. C18P2Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri

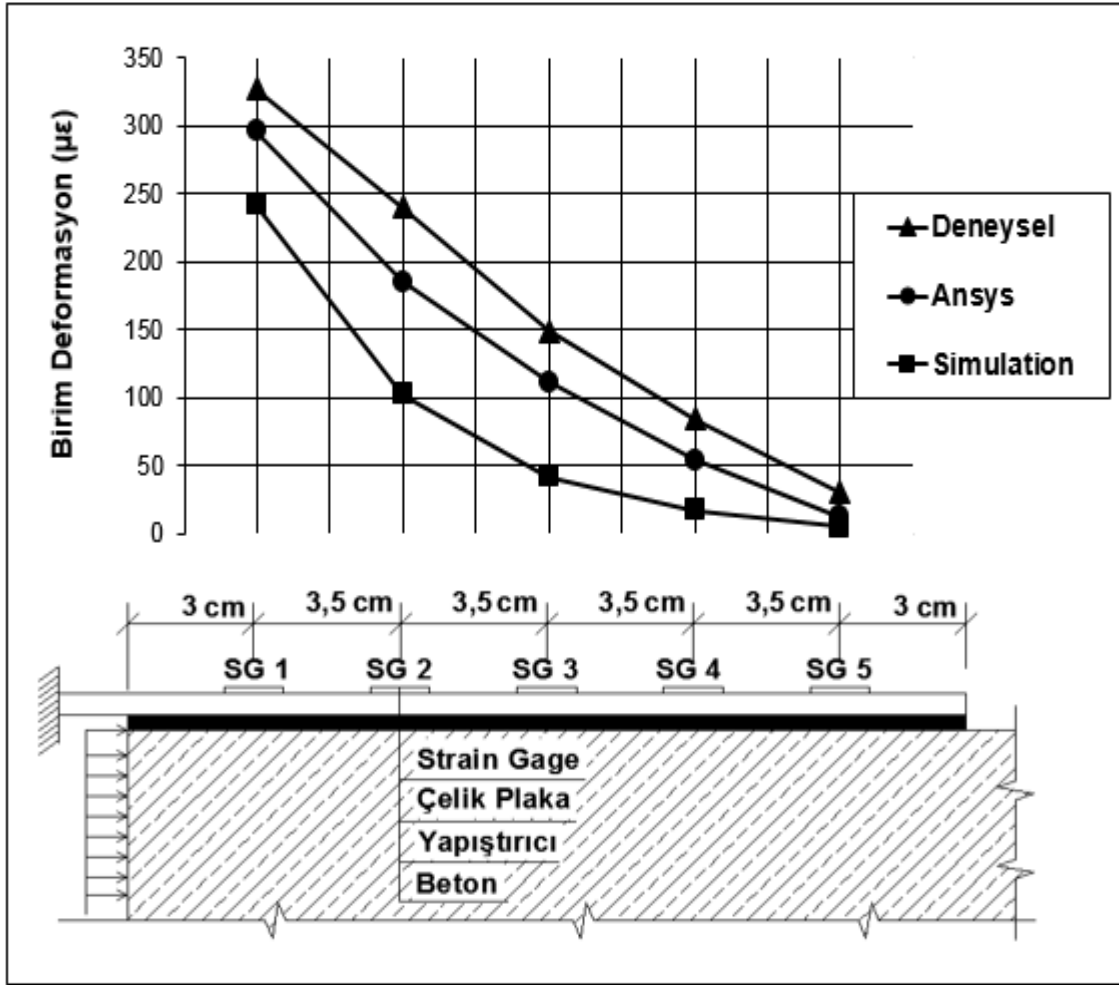
Şekil 4.3 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, yapıştırıcı tabakasındaki en büyük kayma gerilmesi değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmesi değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur. 1. bölgeden 6. bölgeye doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



Şekil 4.4. C18P2Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

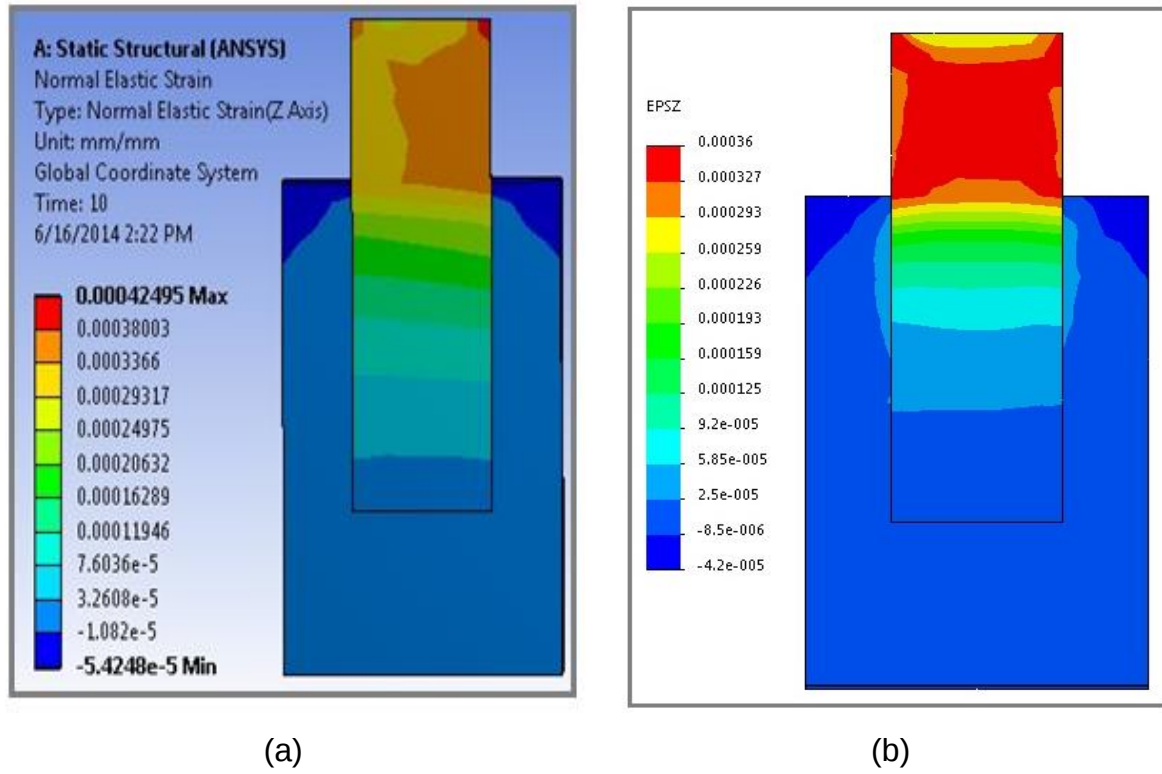
4.3.2. C18P2Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C18P2Y3 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 14,44 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

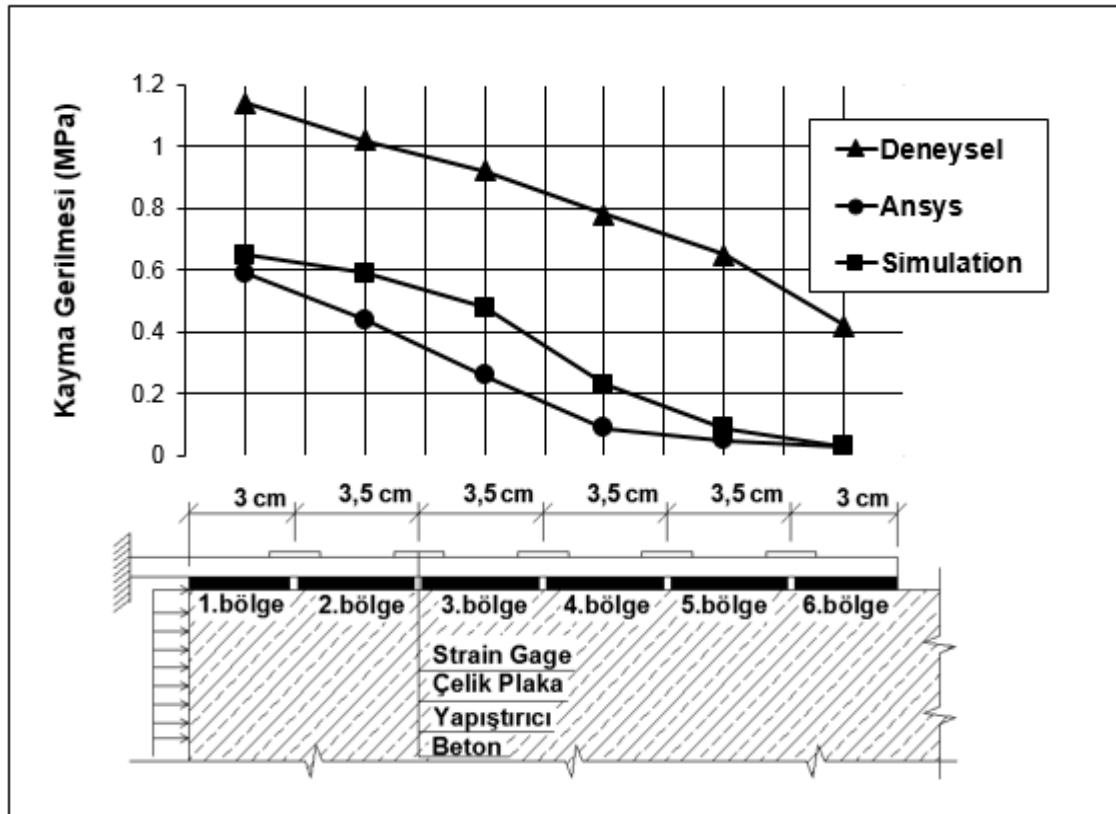


Şekil 4.5. C18P2Y3 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.5 incelendiğinde sonlu elemanlar programları ve deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu görülmüştür. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle, en düşük birim deformasyon değerleri ise Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve deneysel değerler genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.

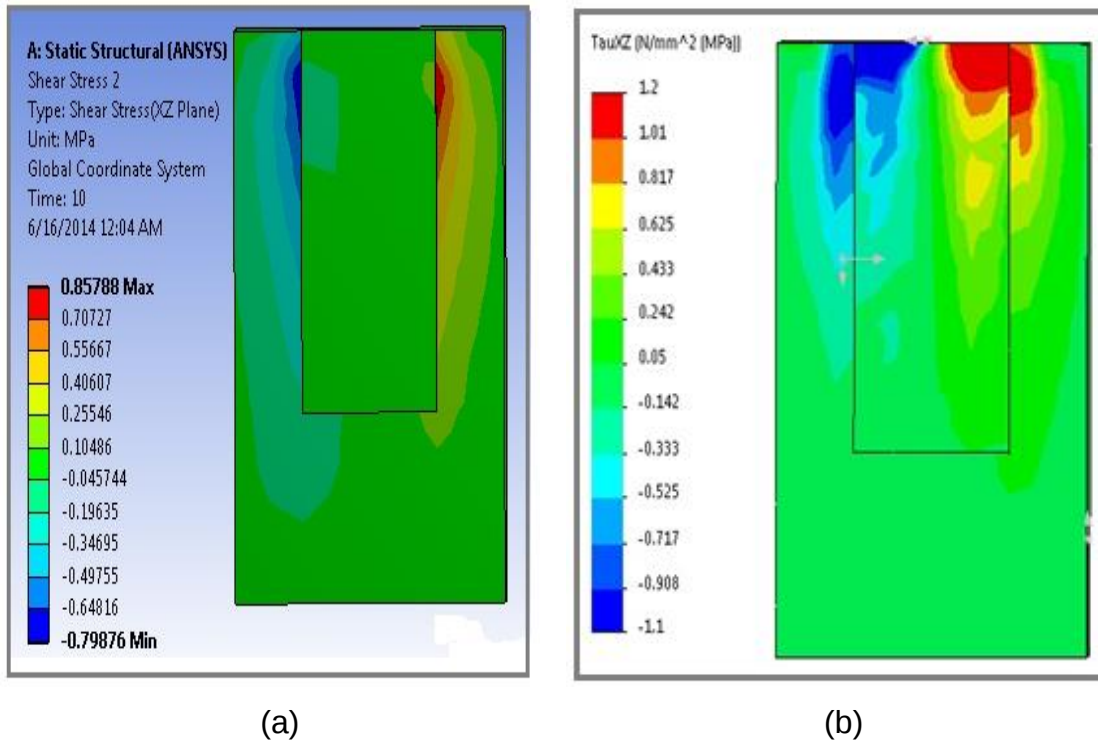


Şekil 4.6. C18P2Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.7. C18P2Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri

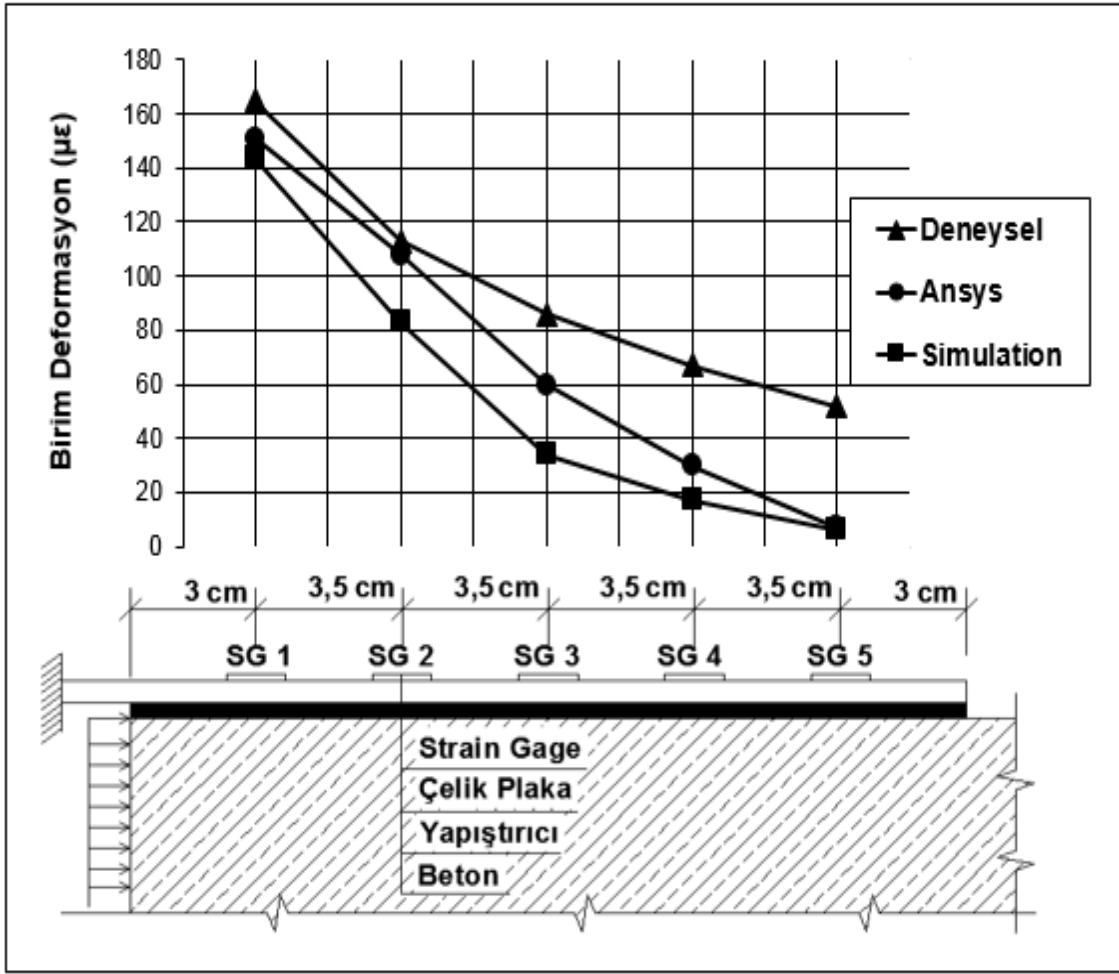
Şekil 4.7 incelendiğinde sonlu elemanlar programları ve deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu görülmüştür. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. En büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur. 1. bölgeden 6. bölgeye doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



Şekil 4.8. C18P2Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

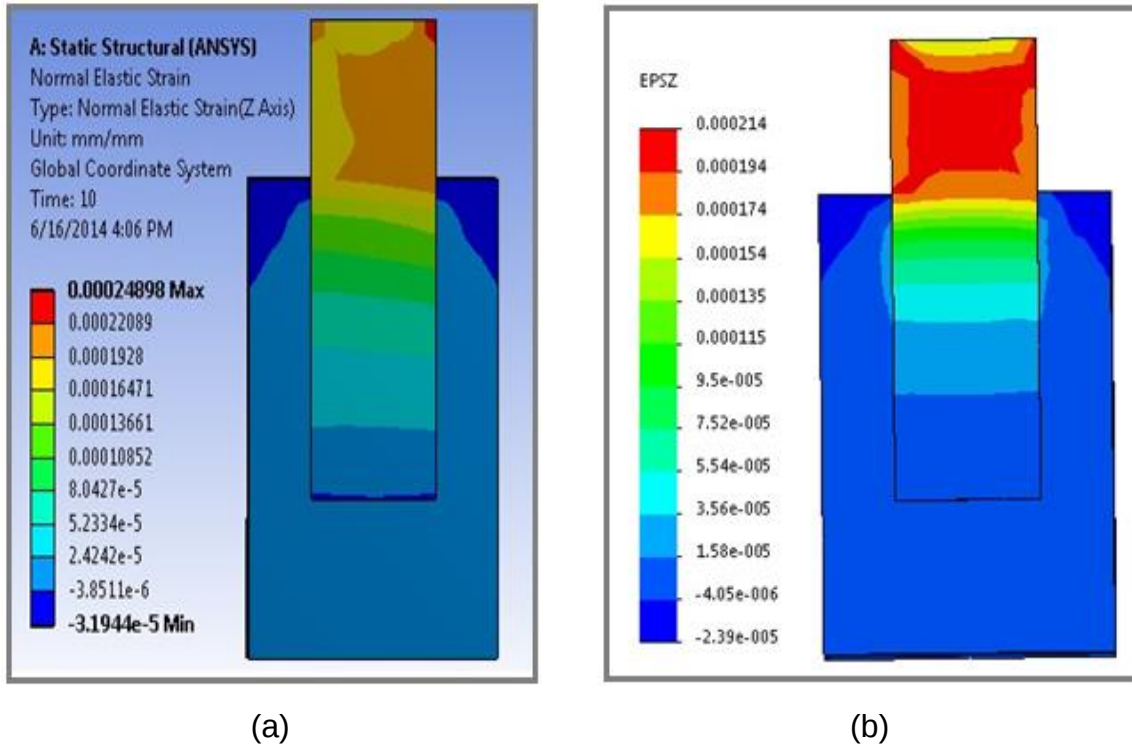
4.3.3. C18P2Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C18P2Y4 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 8,75 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

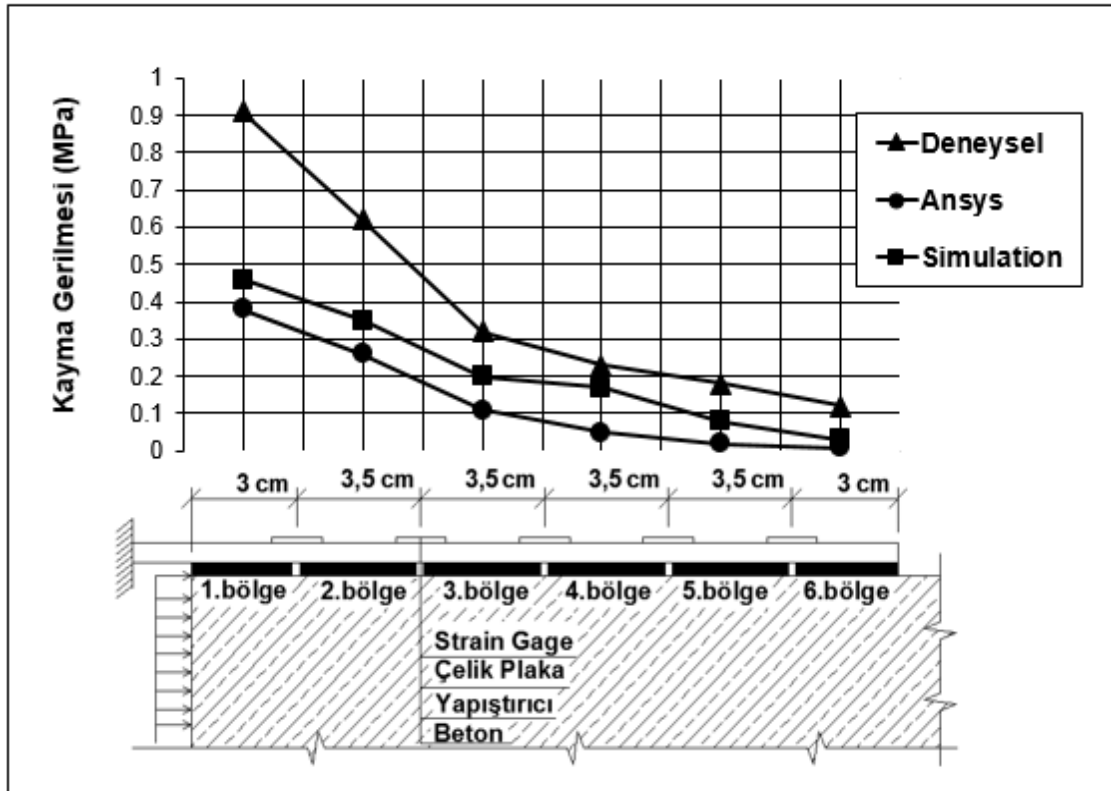


Şekil 4.9. C18P2Y4 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.9 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur.

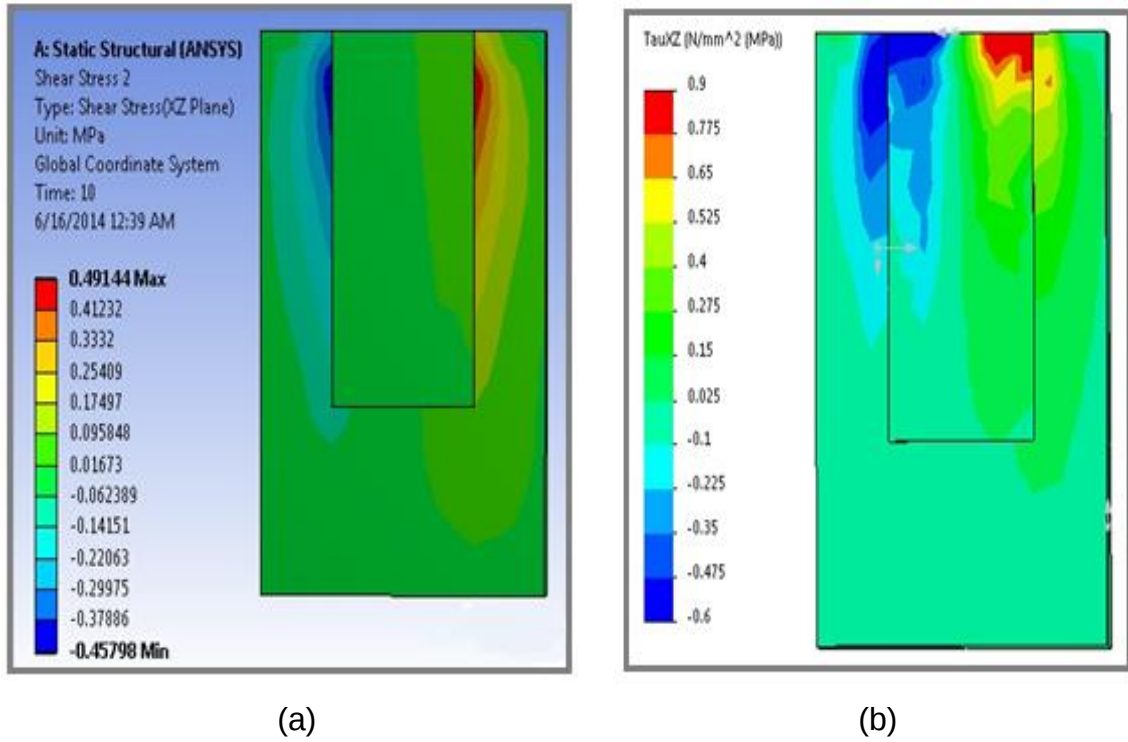


Şekil 4.10. C18P2Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.11. C18P2Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri

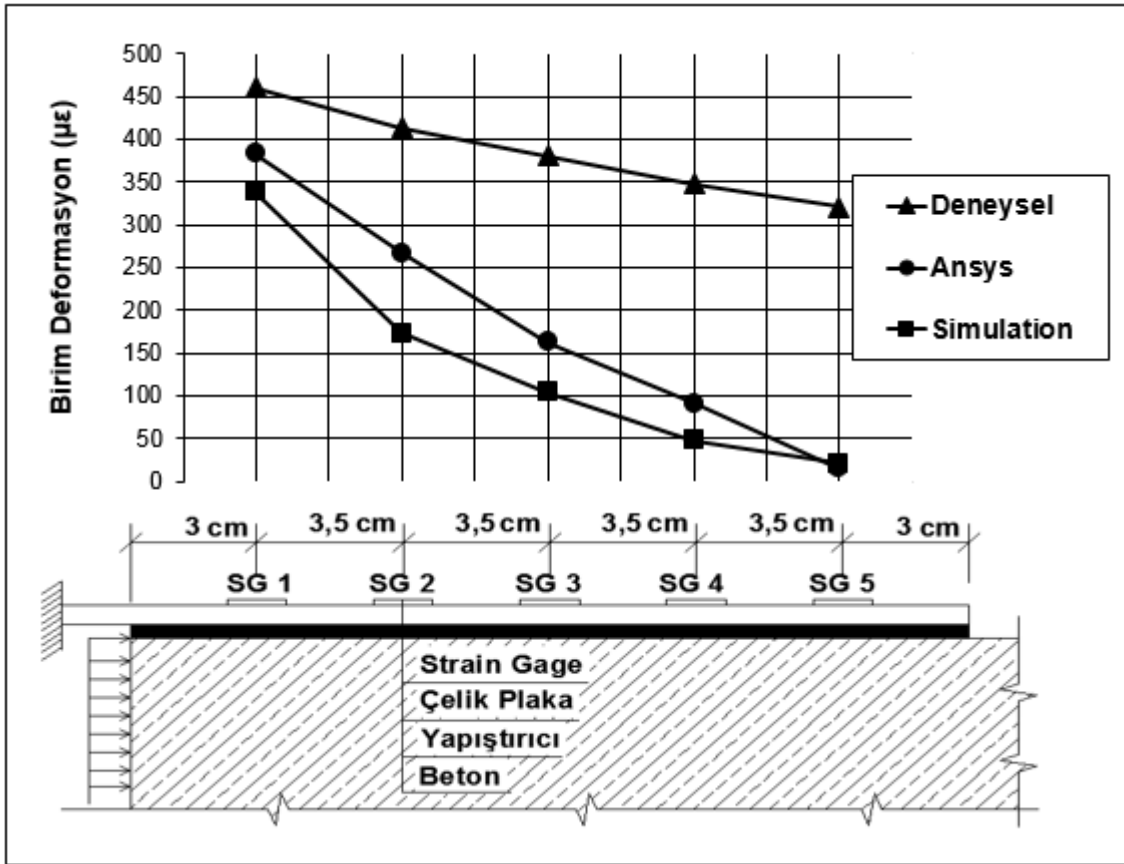
Şekil 4.11 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur. 1. bölgeden 6. bölgeye doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



Şekil 4.12. C18P2Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

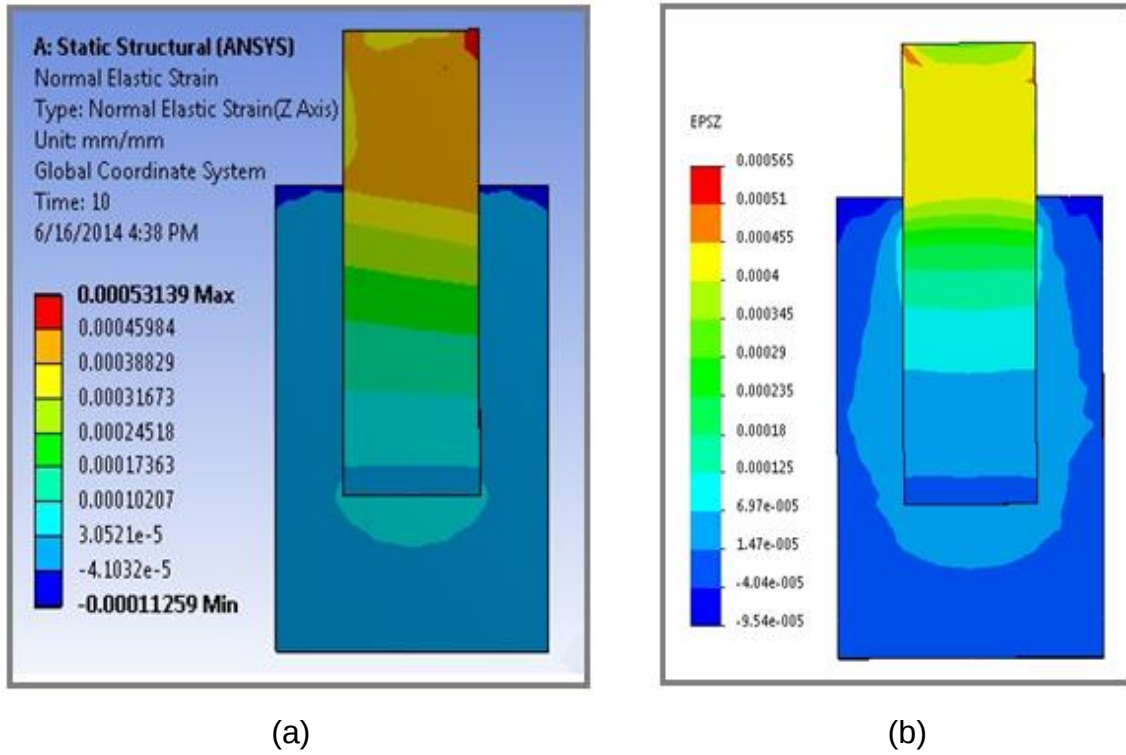
4.3.4. C18P4Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C18P4Y2 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 36,61 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de gösterilmiştir.

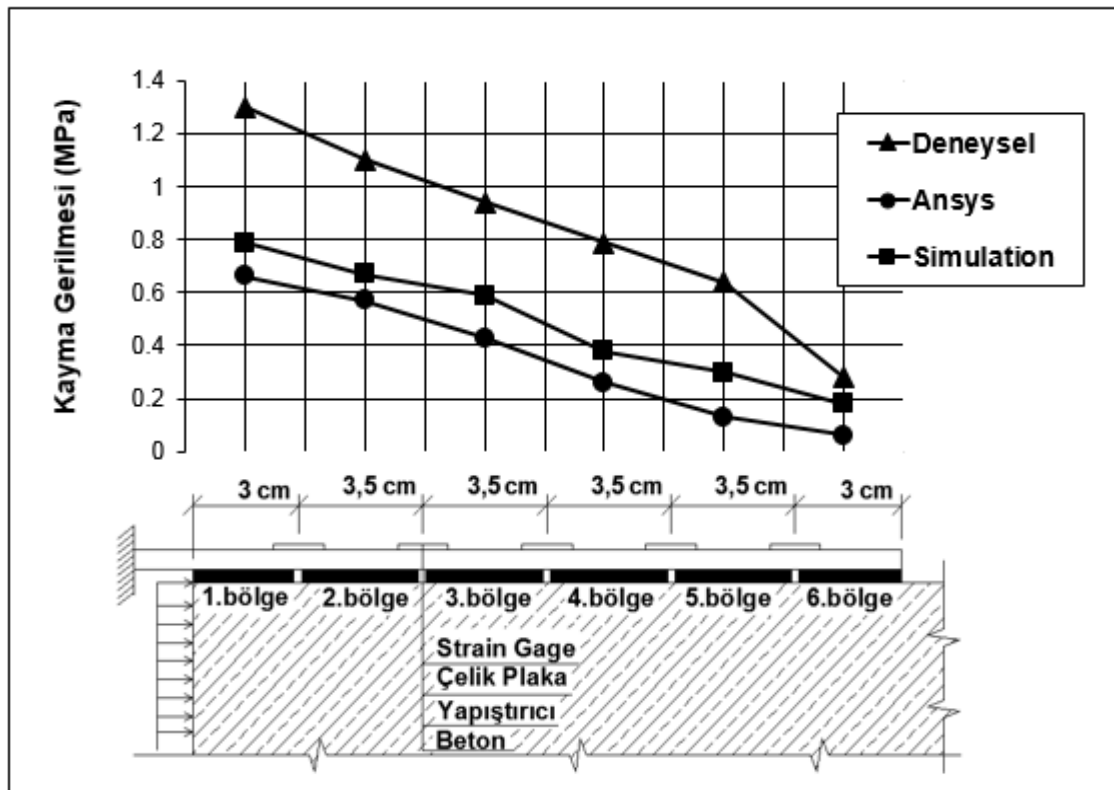


Şekil 4.13. C18P4Y2 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.13 incelendiğinde sonlu elemanlar programları ve deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır. Deneysel yöntemde ise SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerlerinden uzaklaşmıştır.

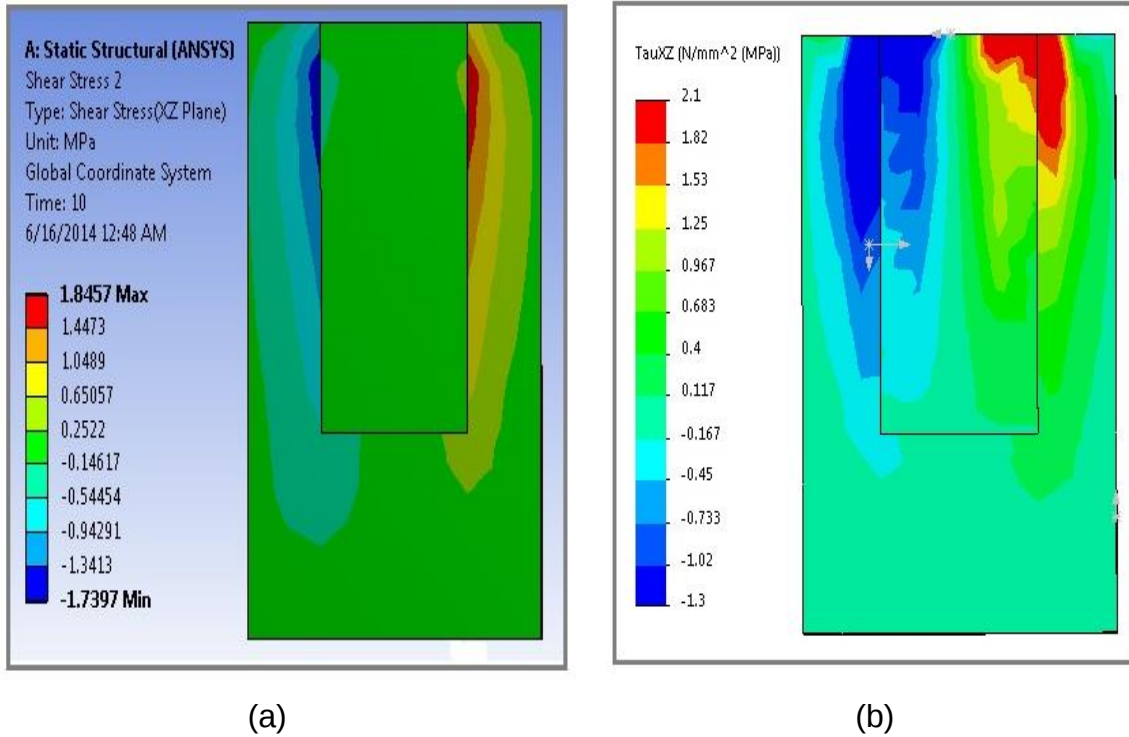


Şekil 4.14. C18P4Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.15. C18P4Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri

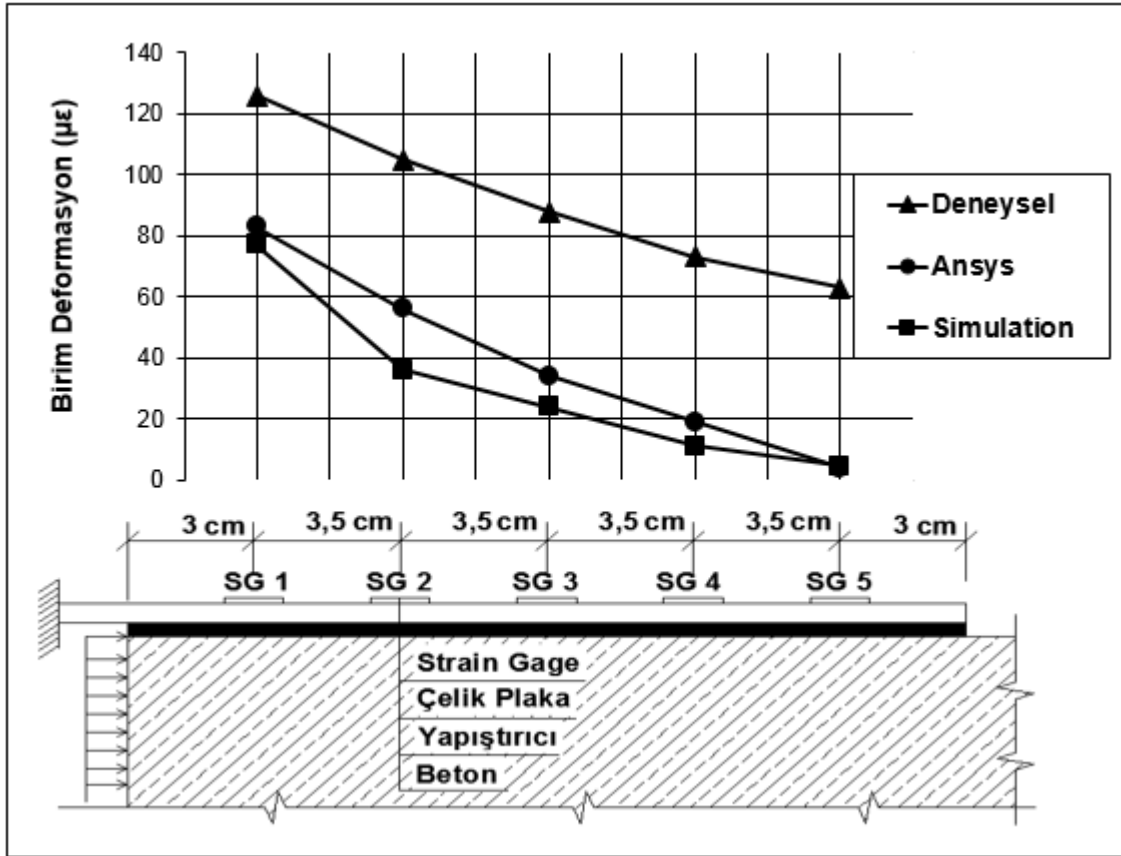
Şekil 4.15 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur. 1. bölgeden 6. bölgeye doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



Şekil 4.16. C18P4Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

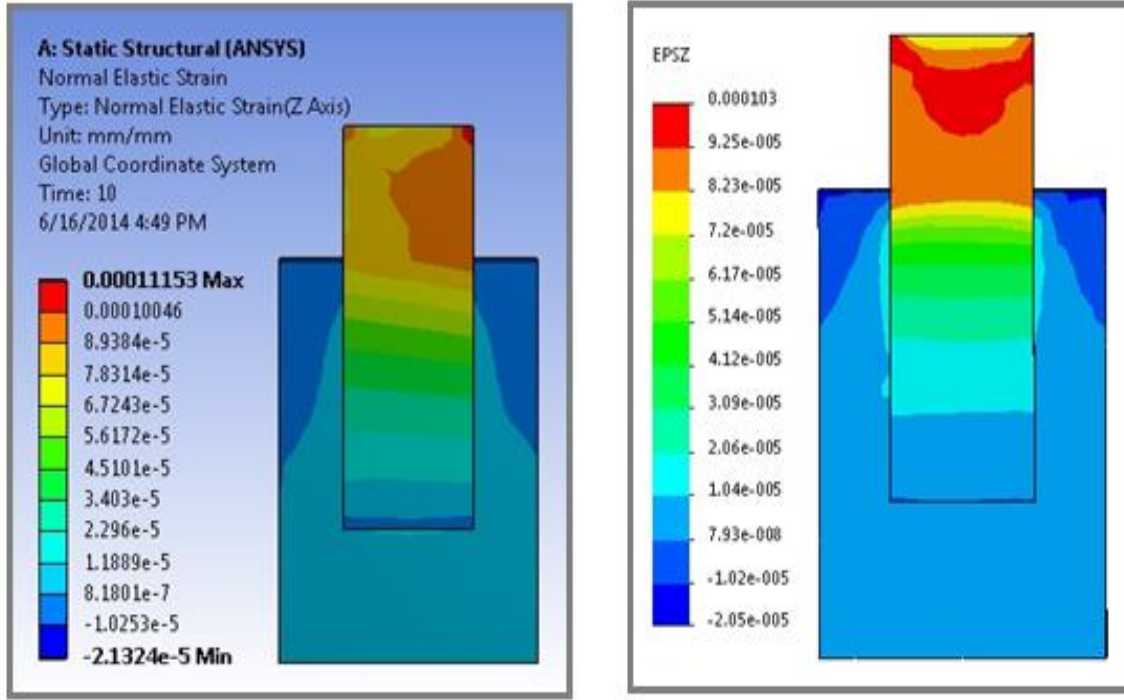
4.3.5. C18P4Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C18P4Y3 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 7,84 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. C18P4Y3 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.17 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



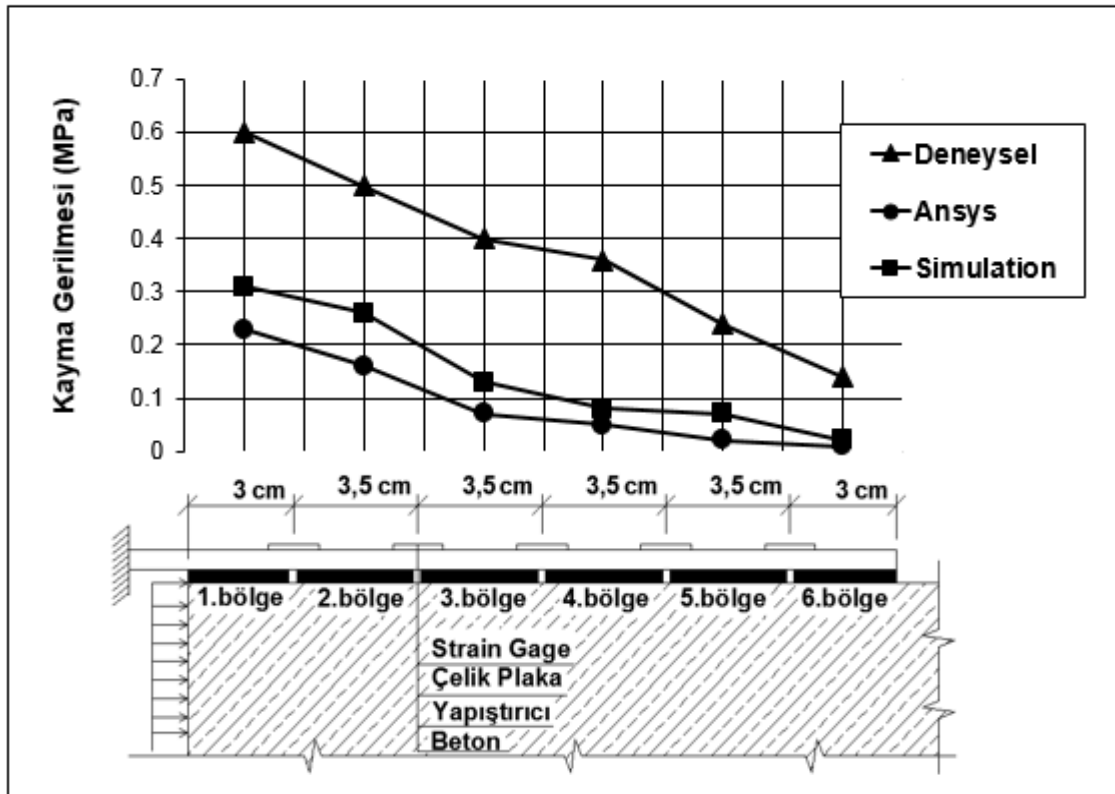
(a)

(b)

Şekil 4.18. C18P4Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı

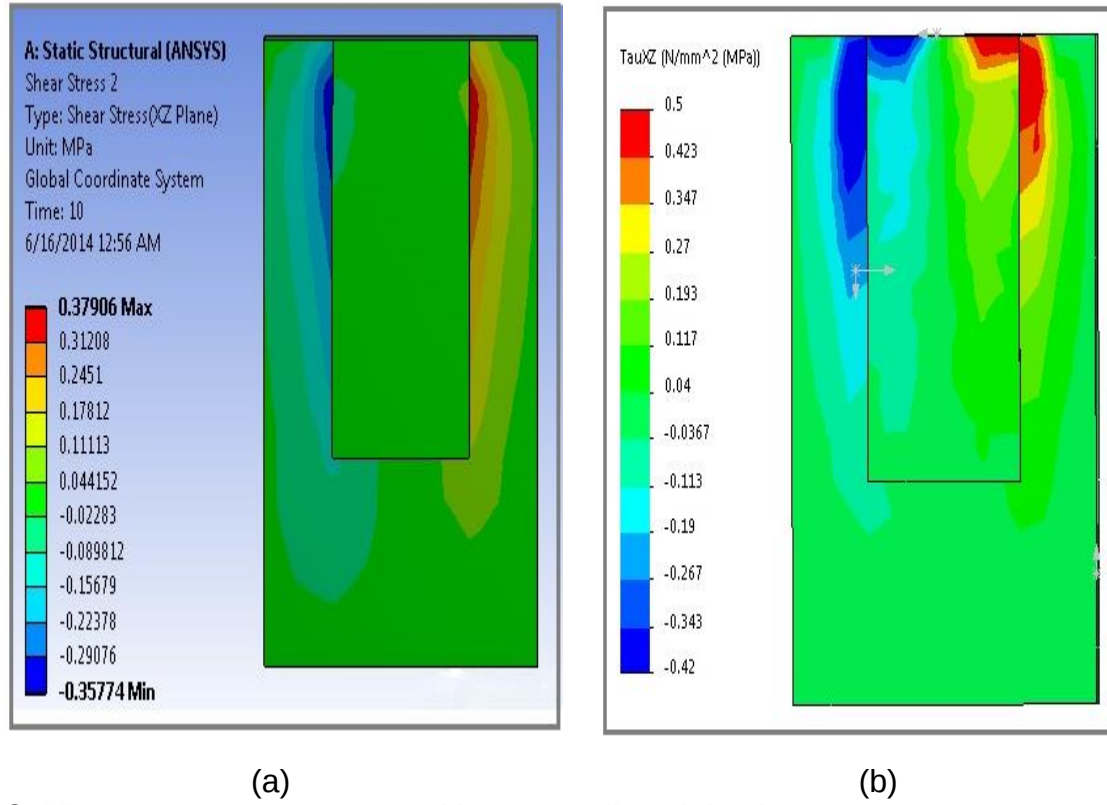
a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü

b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.19. C18P4Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri

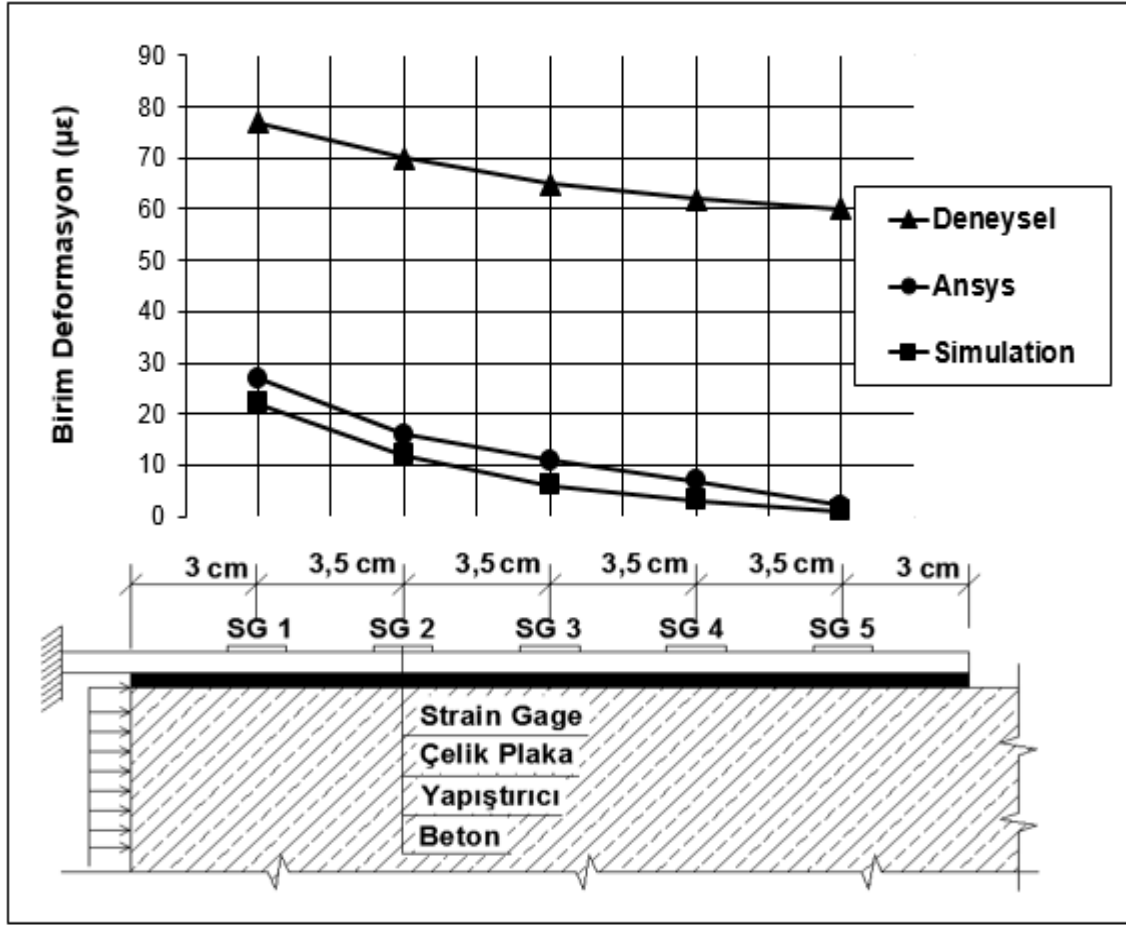
Şekil 4.19 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur. 1. bölgeden 6. bölgeye doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



Şekil 4.20. C18P4Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

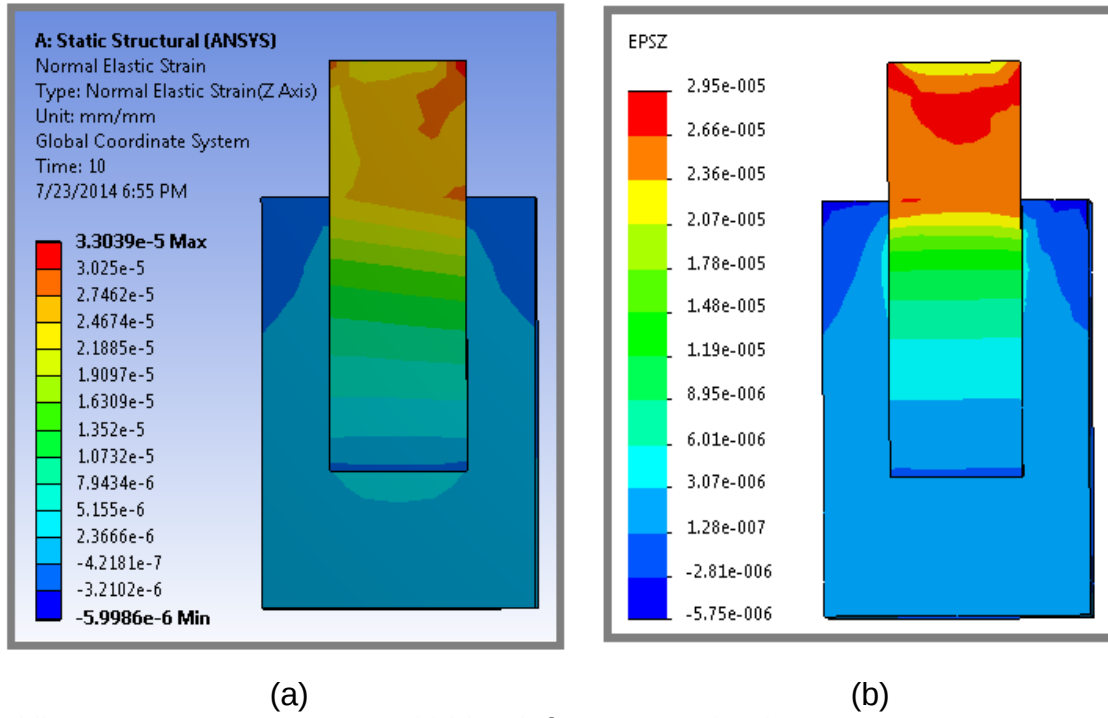
4.3.6. C18P4Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C18P4Y4 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 2,24 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de gösterilmiştir.

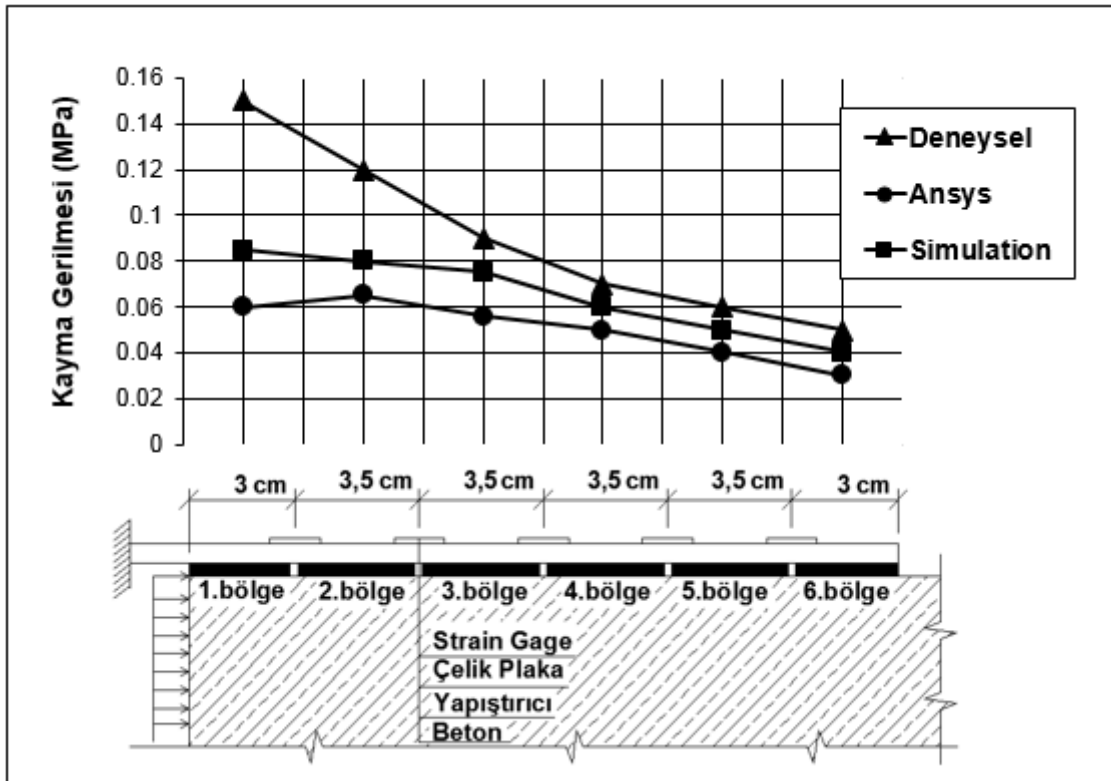


Şekil 4.21. C18P4Y4 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.21 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.

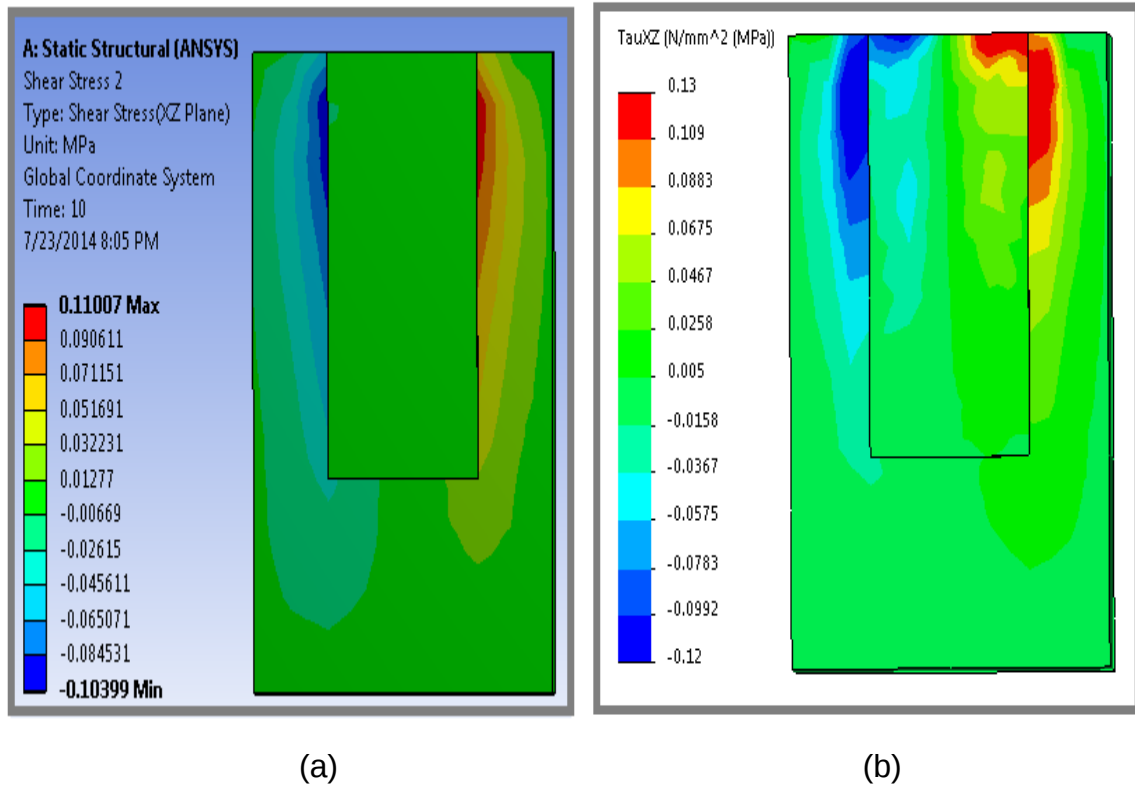


Şekil 4.22. C18P4Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.23. C18P4Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri

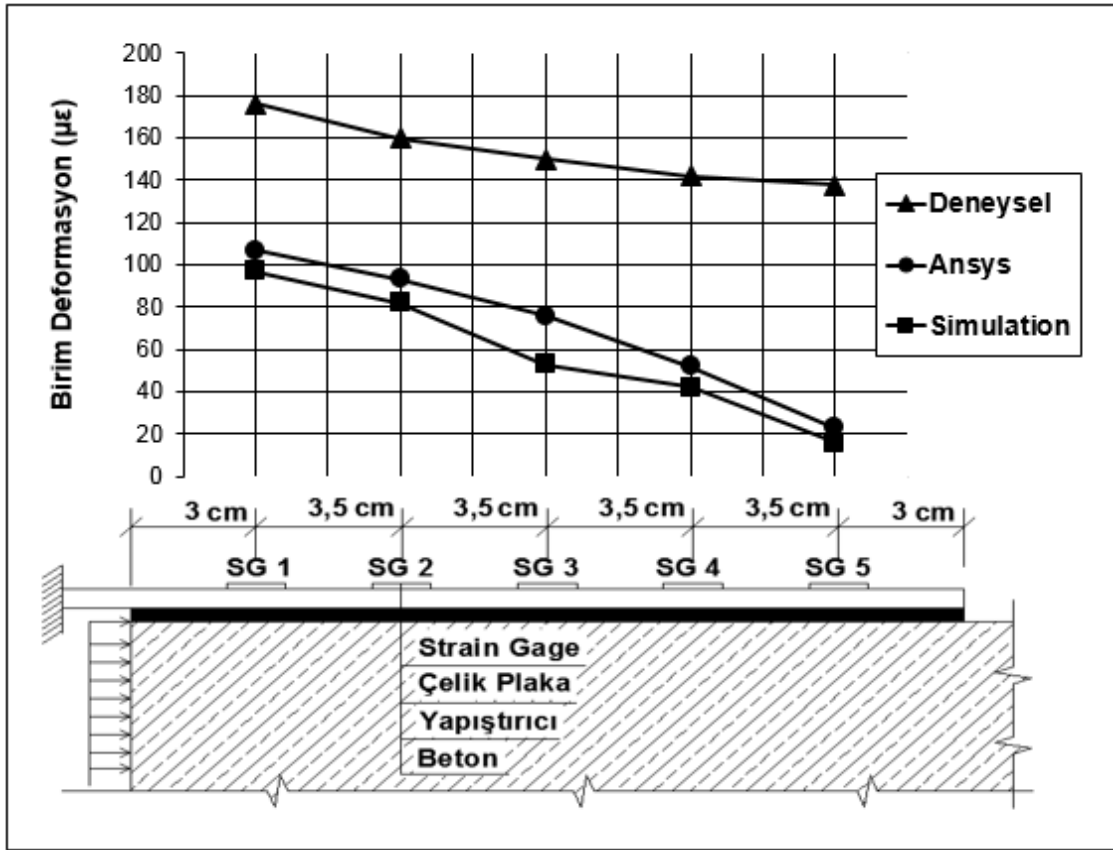
Şekil 4.23 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur. 1. bölgeden 6. bölgeye doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



Şekil 4.24. C18P4Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

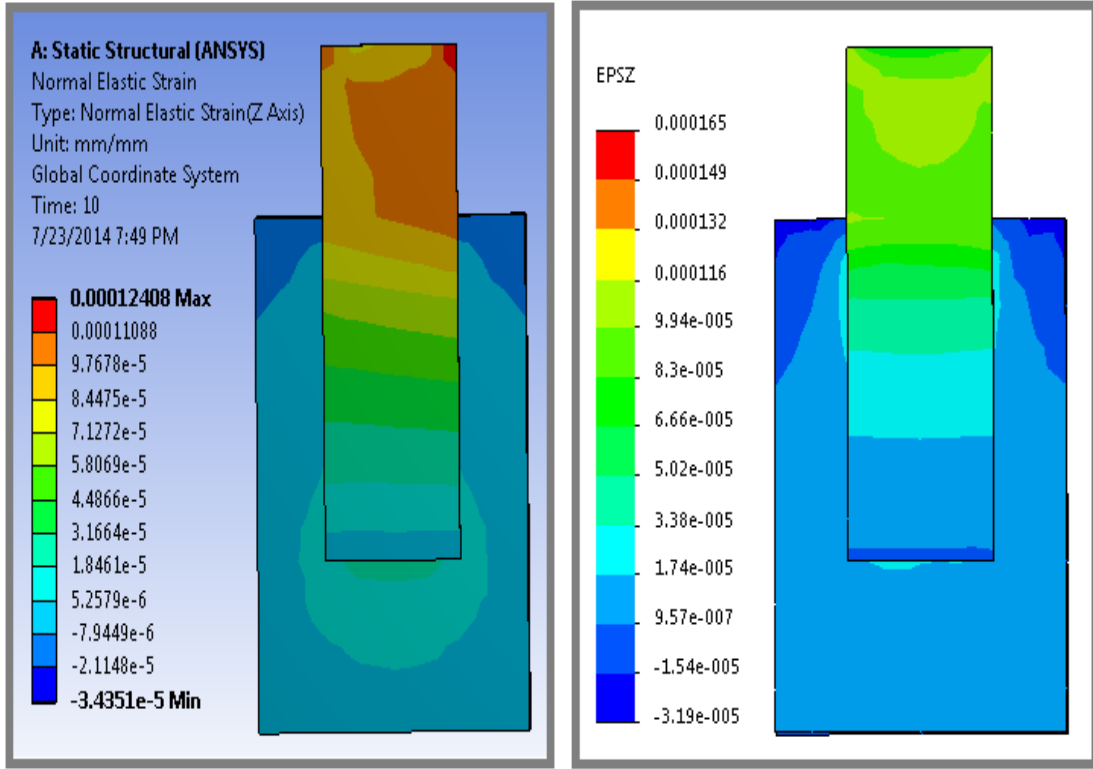
4.3.7. C18P6Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C18P6Y2 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 12,96 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. C18P6Y2 numunesi birim deformasyon değerleri

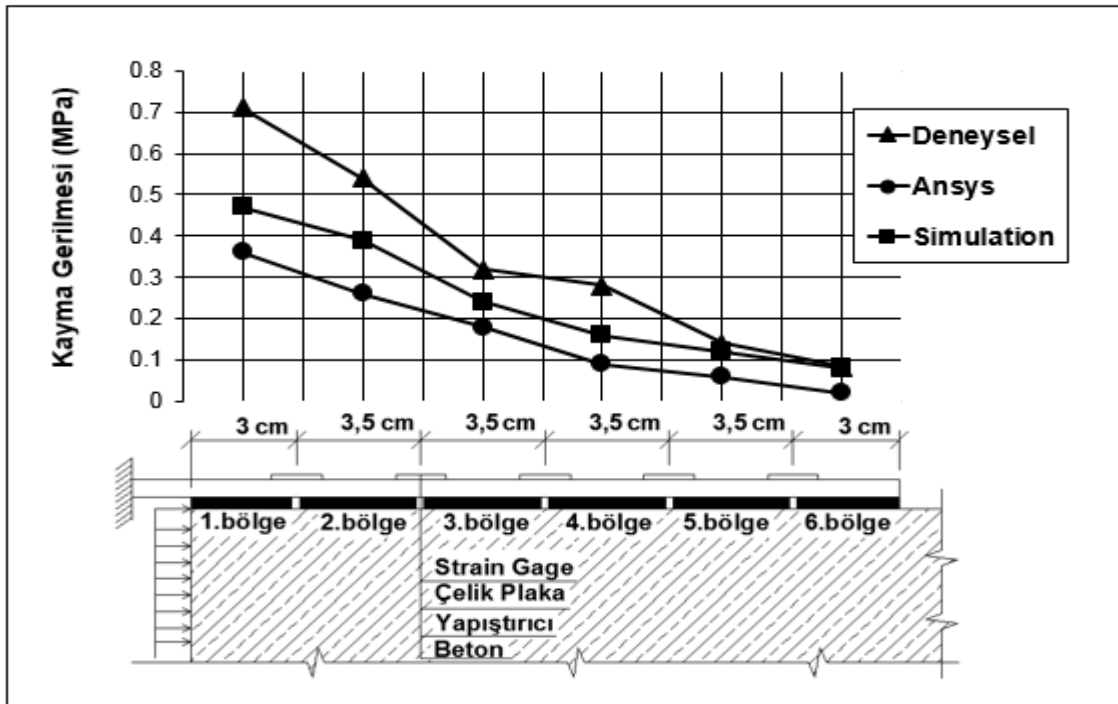
Şekil 4.25 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



(a)

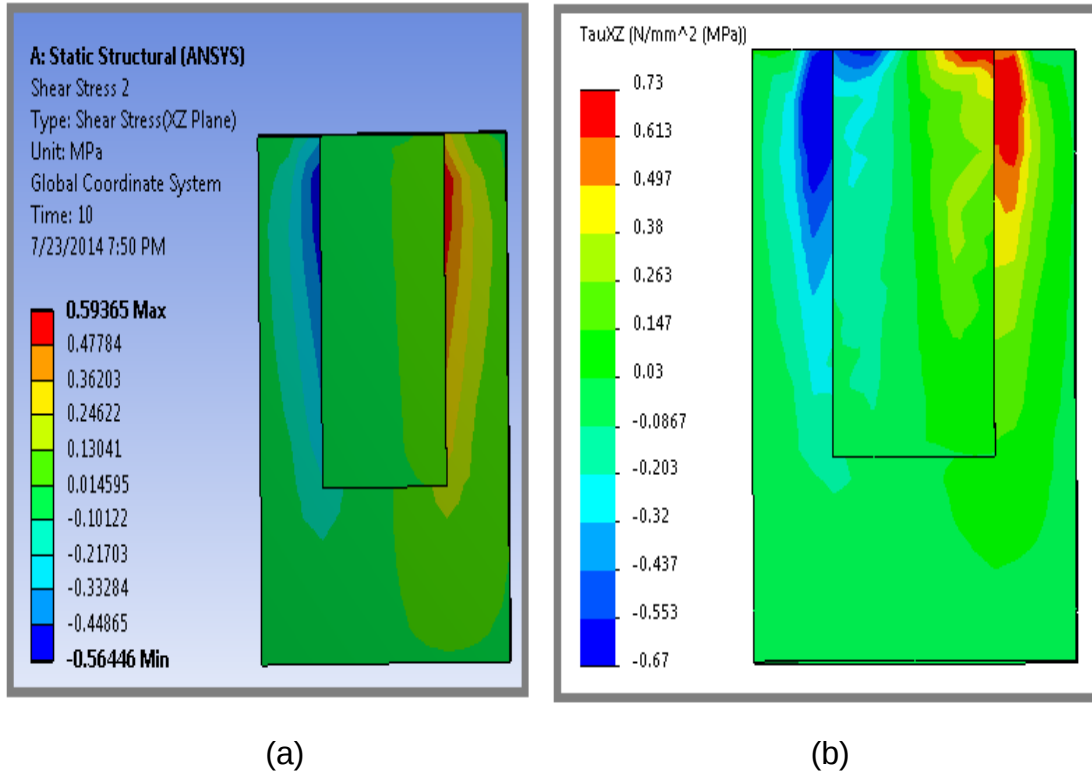
(b)

Şekil 4.26. C18P6Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.27. C18P6Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri

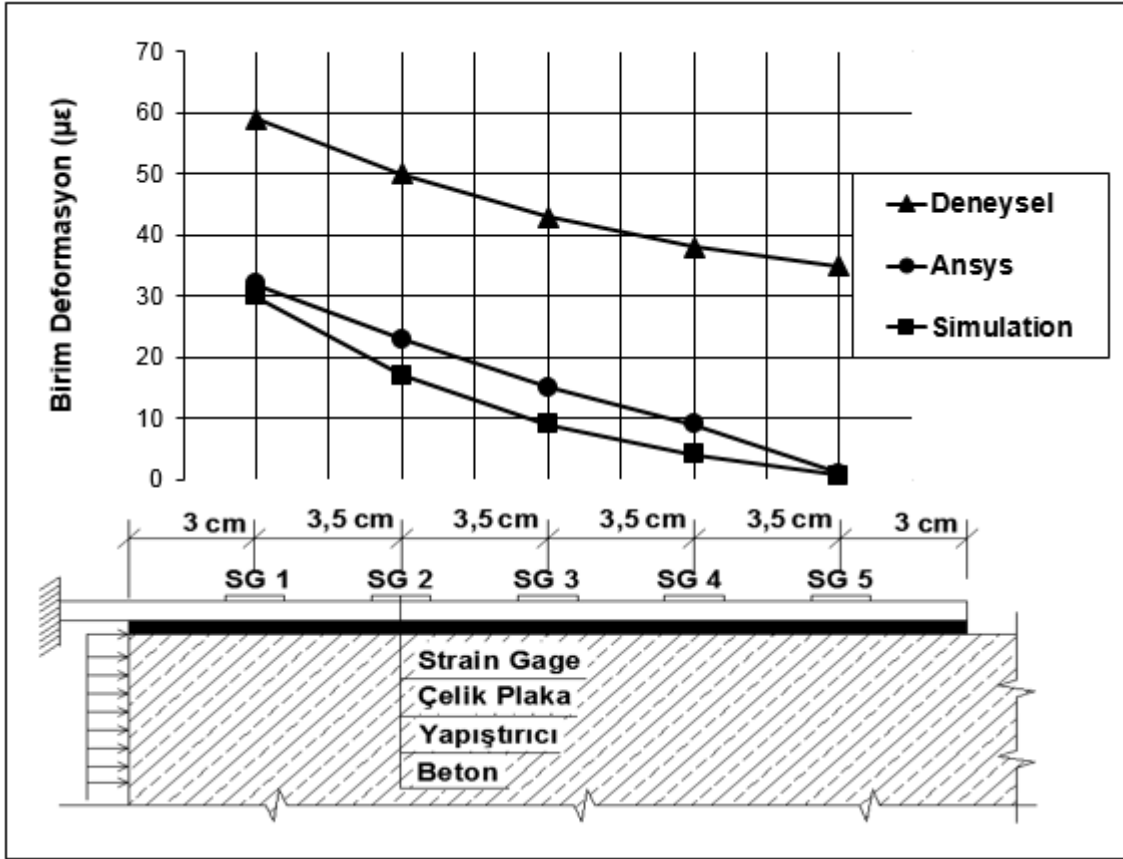
Şekil 4.27 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur. 1. bölgeden 6. bölgeye doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



Şekil 4.28. C18P6Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

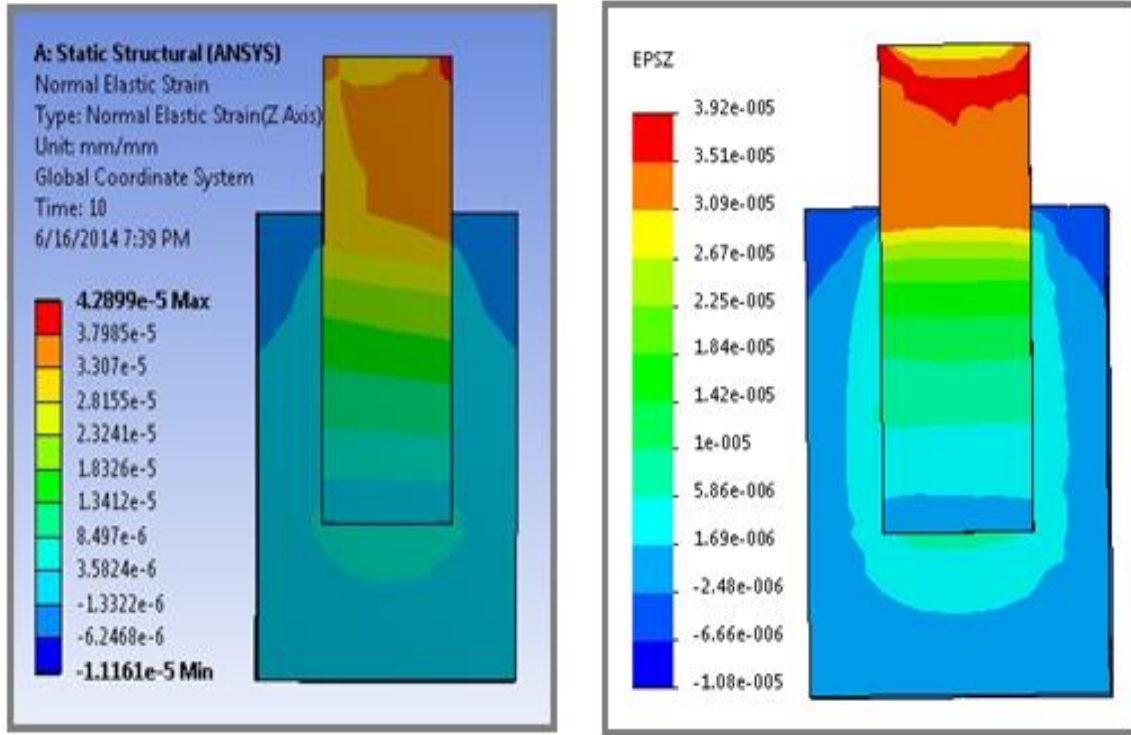
4.3.8. C18P6Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C18P6Y3 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 4,42 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir.

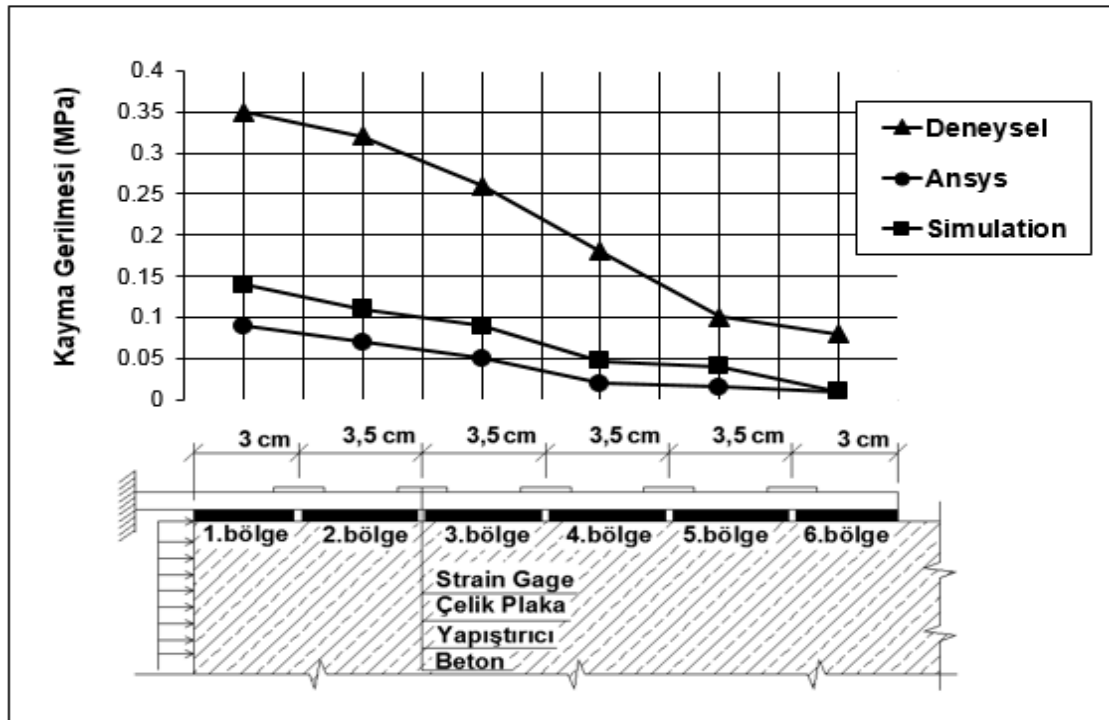


Şekil 4.29. C18P6Y3 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.29 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.

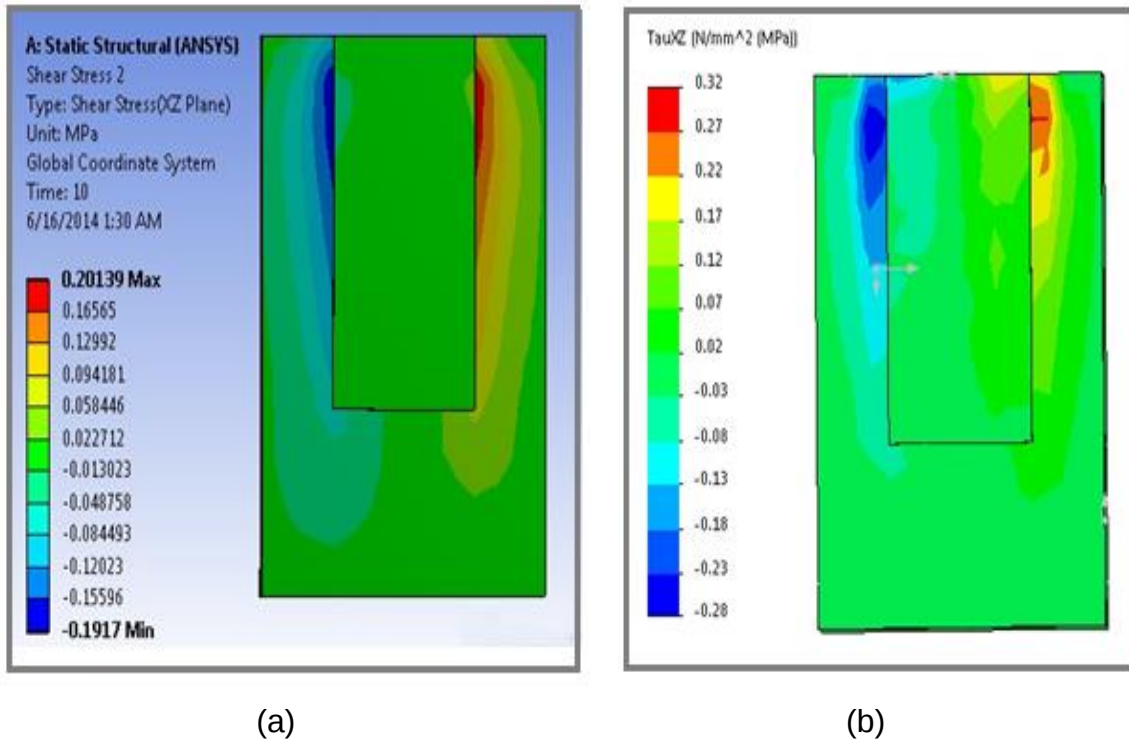


(a) (b)
 Şekil 4.30. C18P6Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.31. C18P6Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri

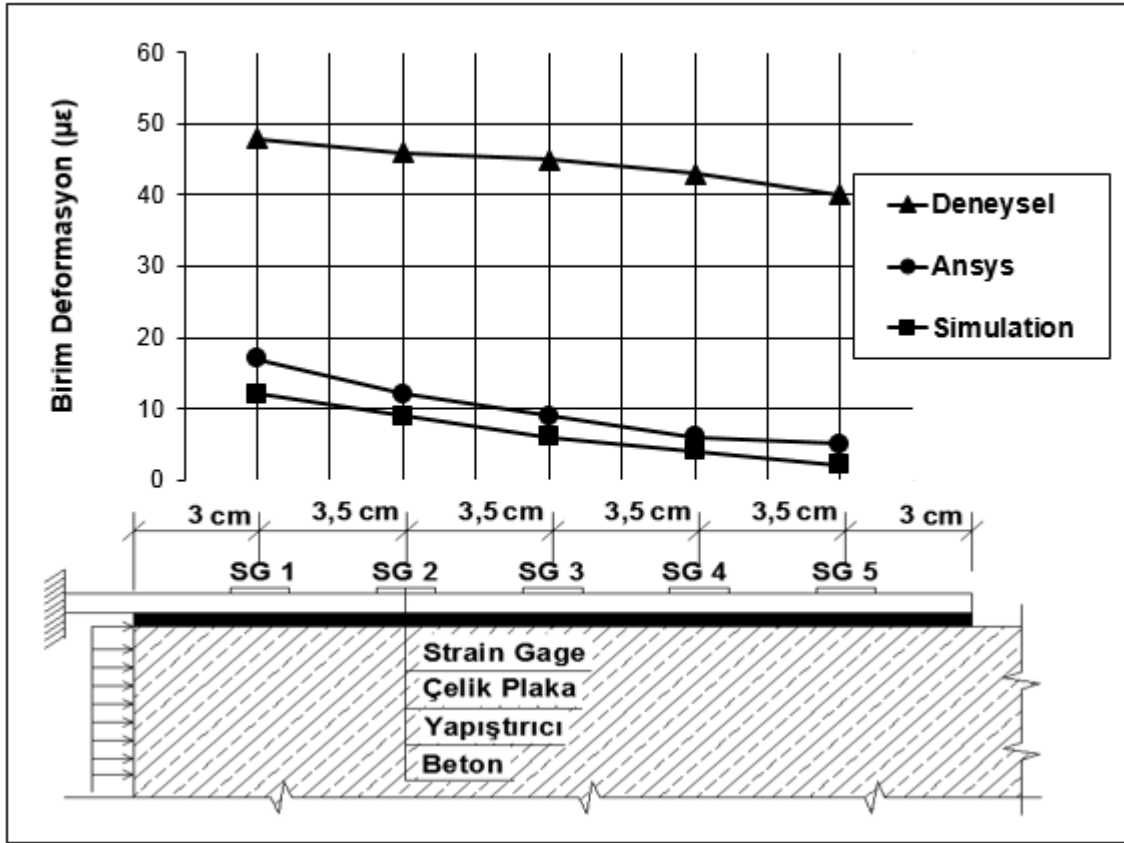
Şekil 4.31 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur. 1. bölgeden 6. bölgeye doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



Şekil 4.32. C18P6Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

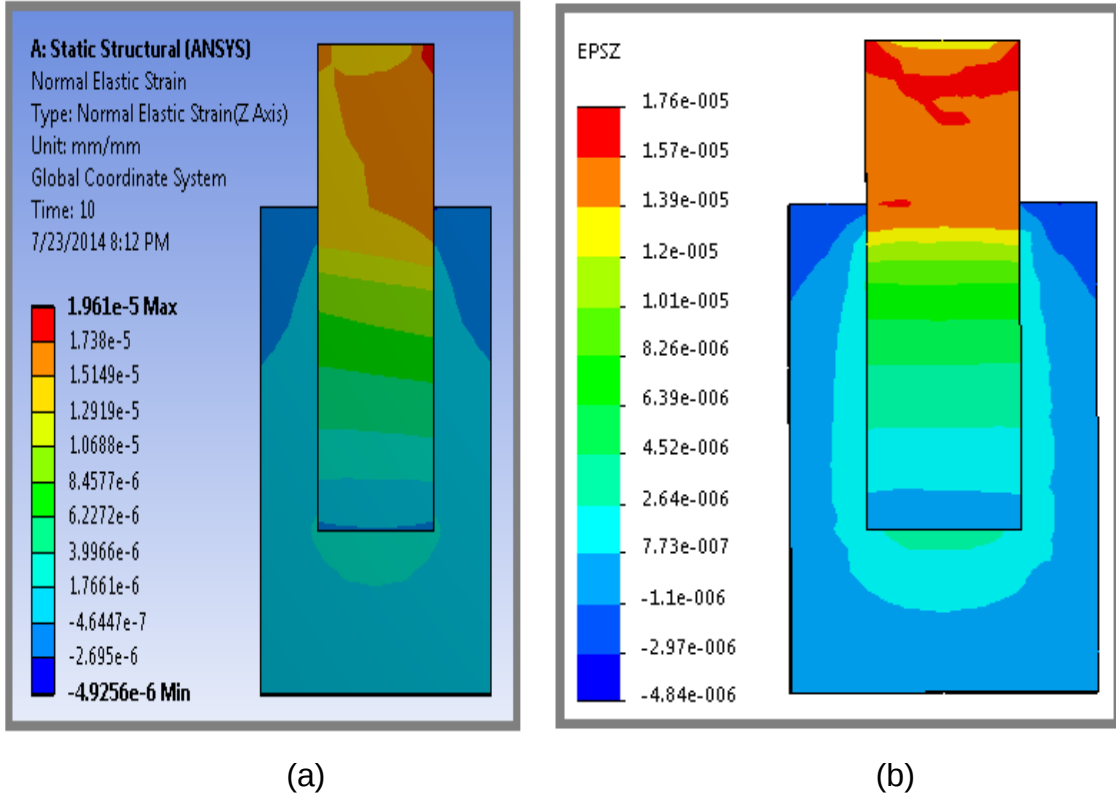
4.3.9. C18P6Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C18P6Y4 ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 2,10 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'de gösterilmiştir.

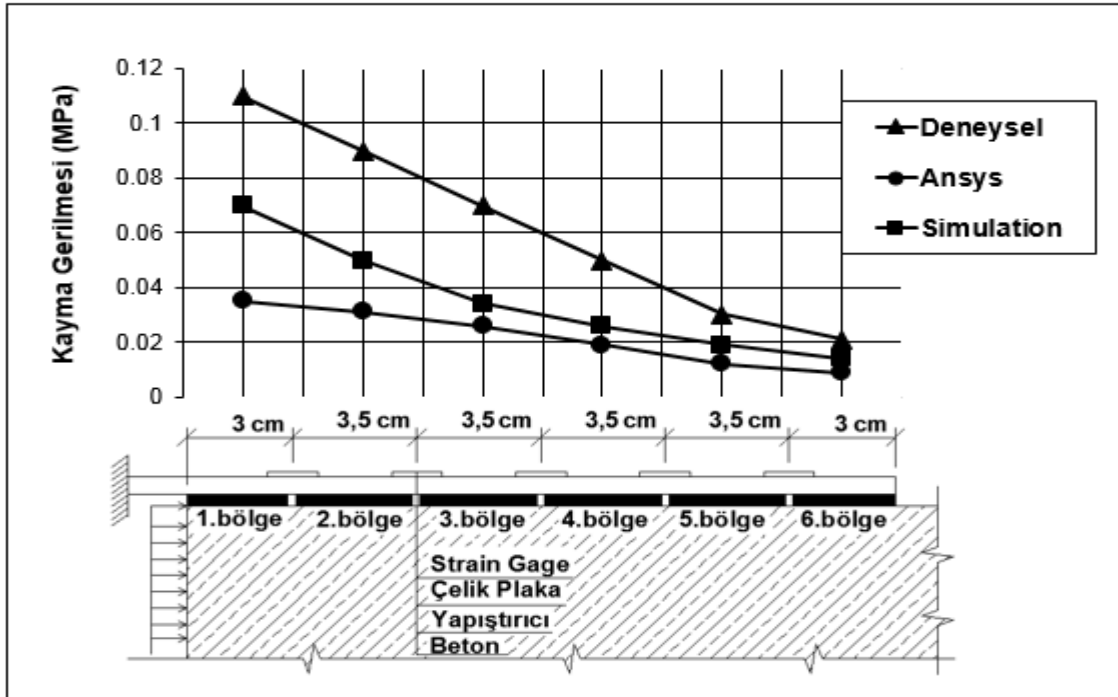


Şekil 4.33. C18P6Y4 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.33 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.

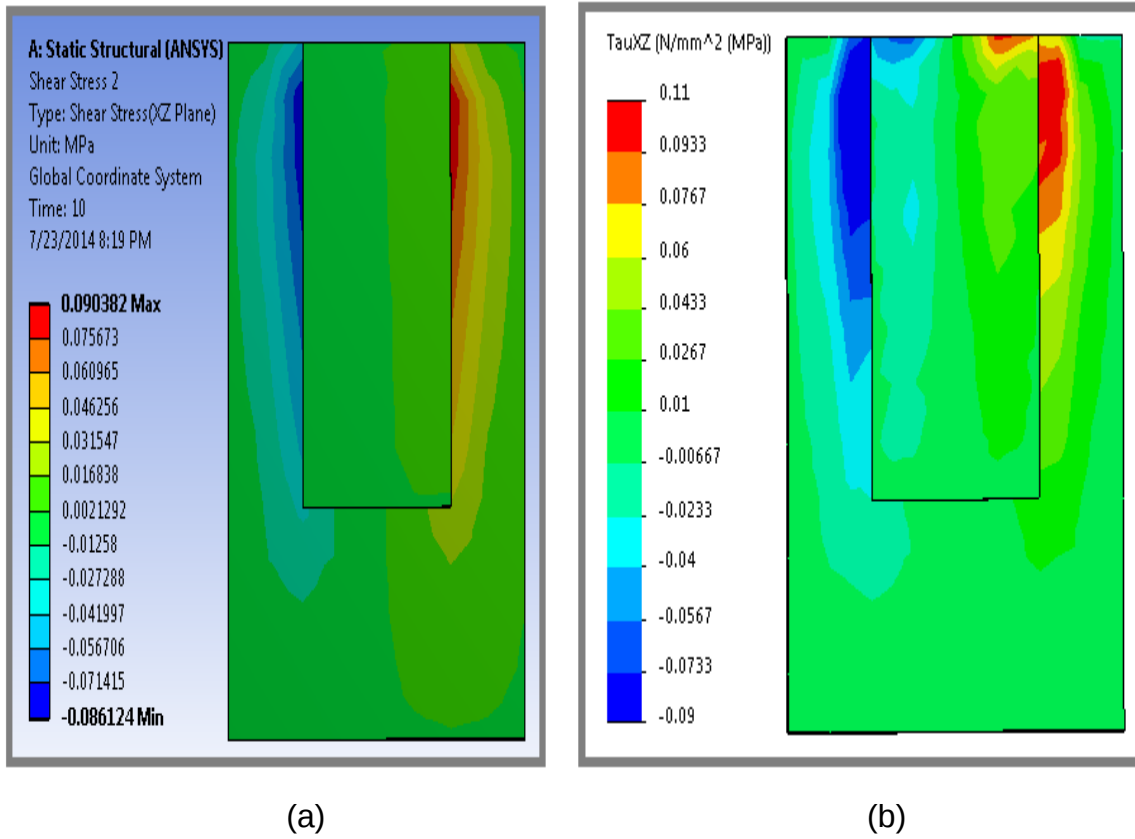


Şekil 4.34. C18P6Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.35. C18P6Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri

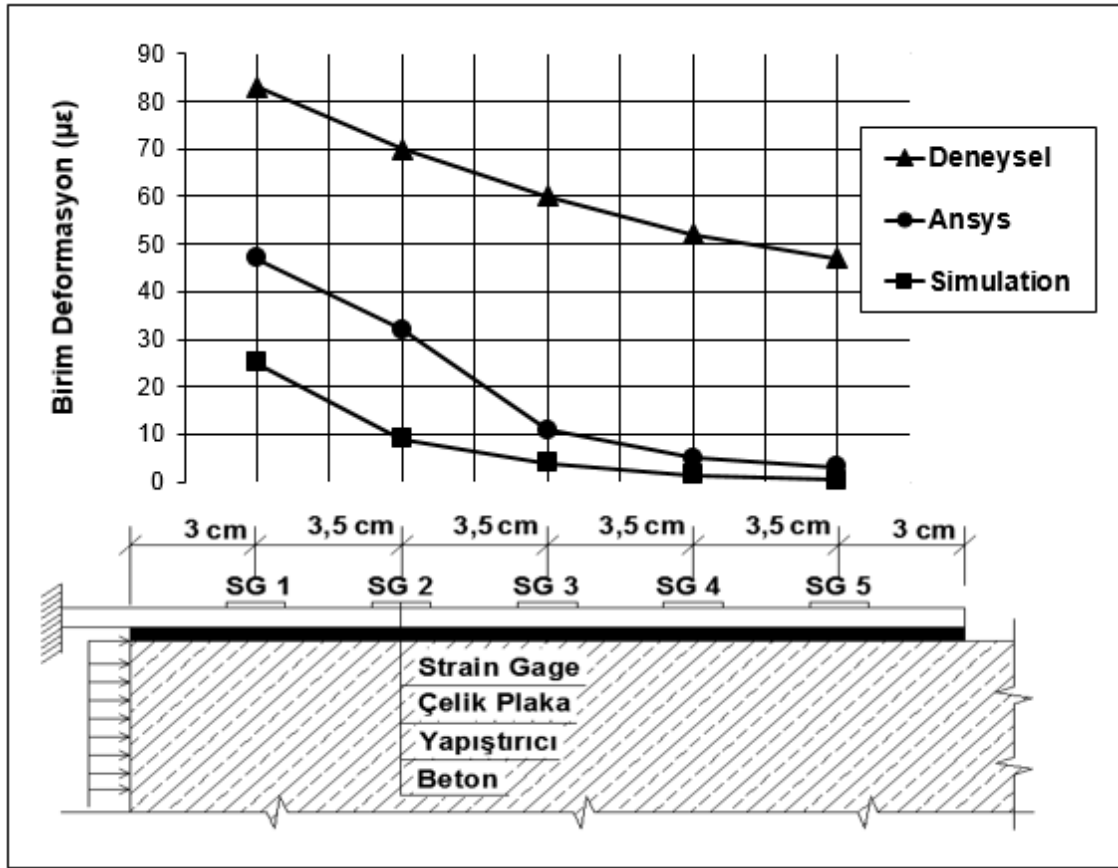
Şekil 4.35 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur.



Şekil 4.36. C18P6Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

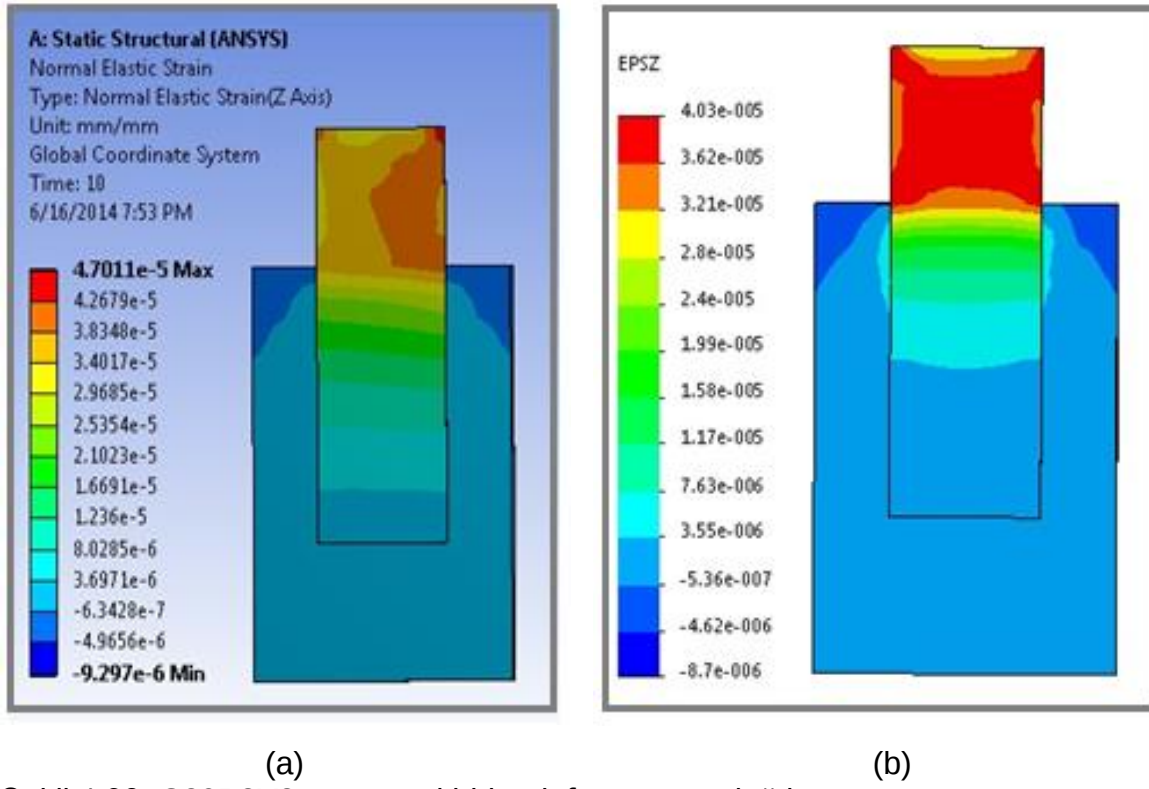
4.3.10. C30P2Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C30P2Y2 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 1,67 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da gösterilmiştir.

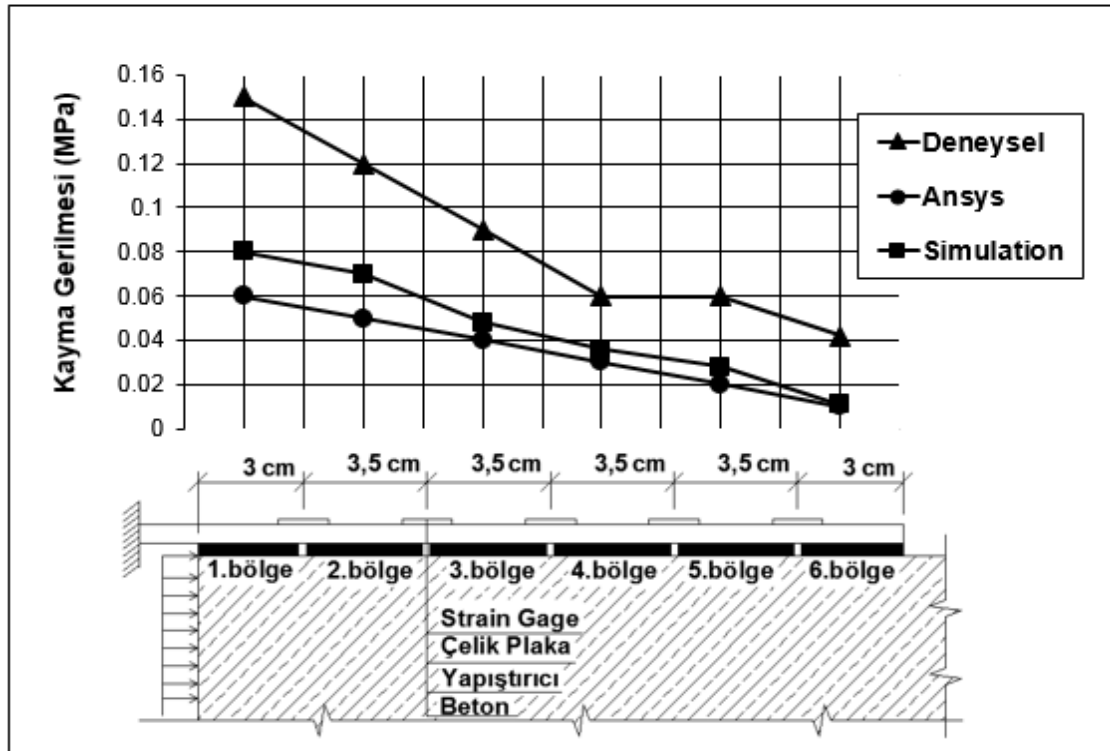


Şekil 4.37. C30P2Y2 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.37 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur.

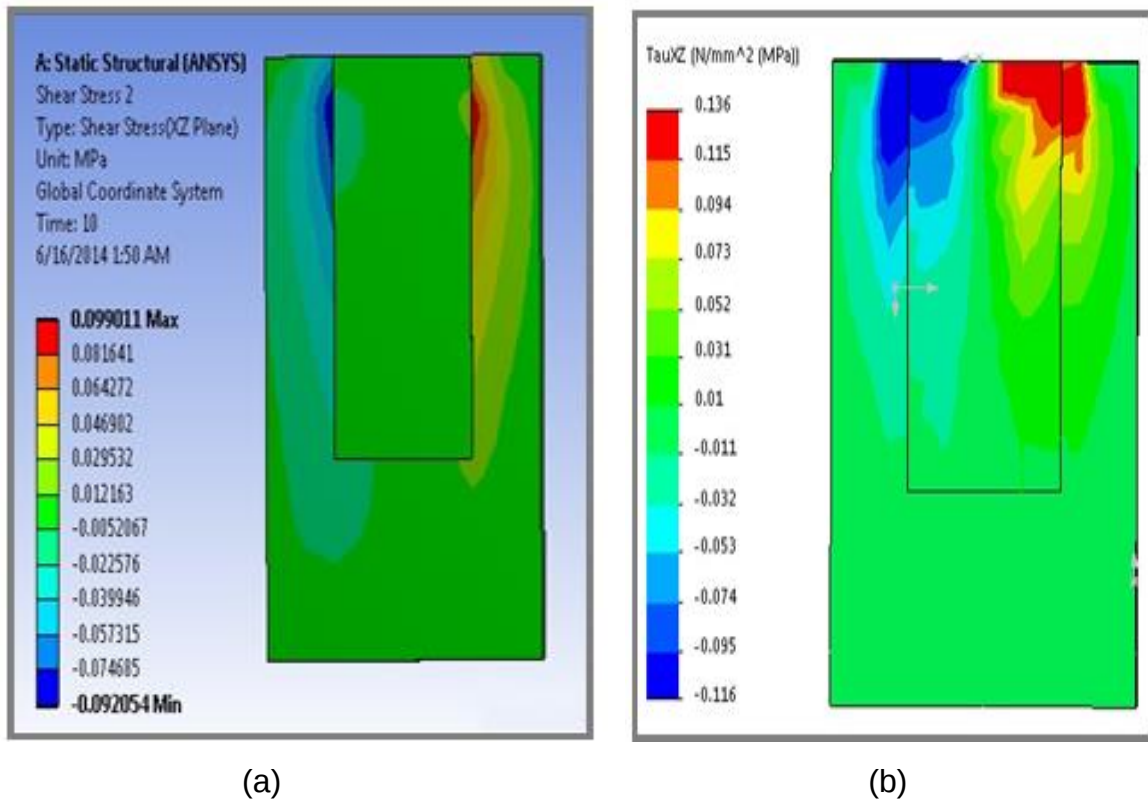


Şekil 4.38. C30P2Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı
a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.39. C30P2Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri

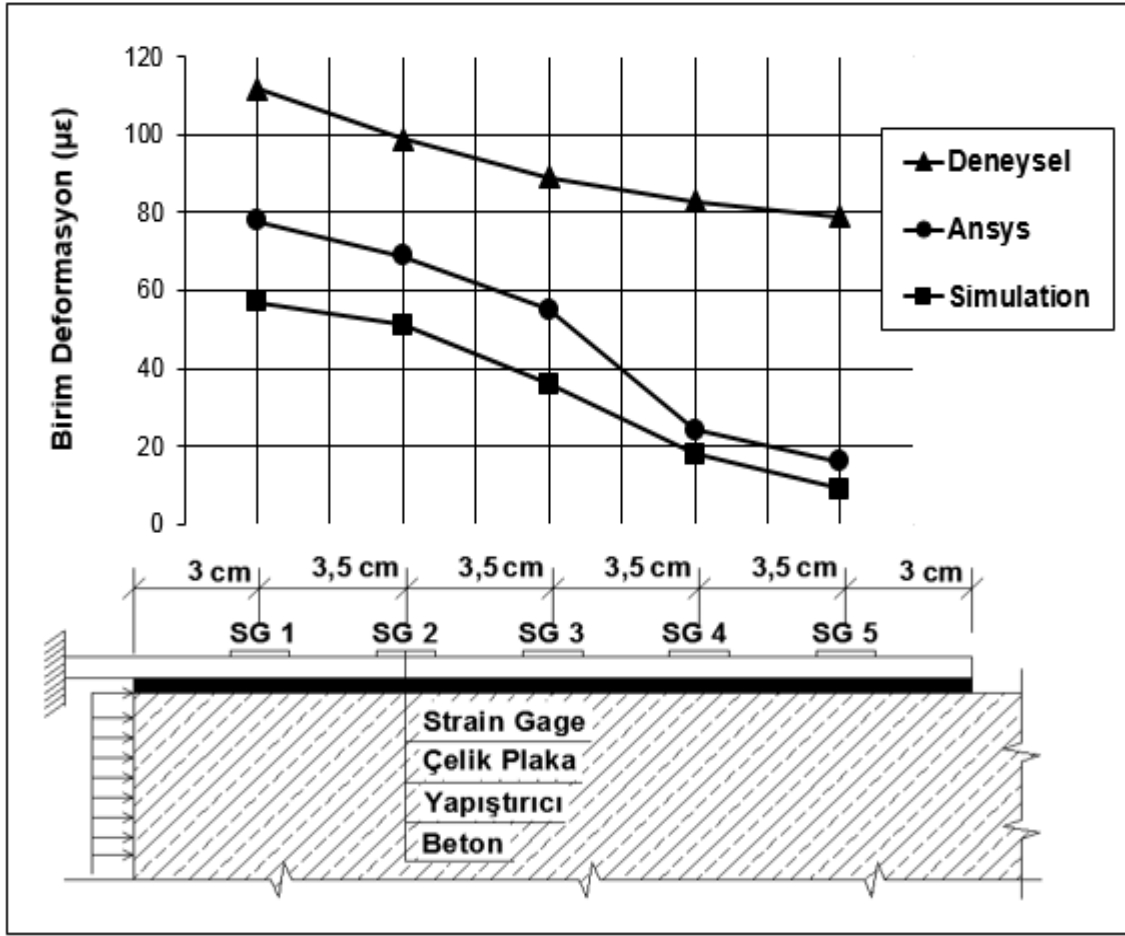
Şekil 4.39 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur. 1. bölgeden 6. bölgeye doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



Şekil 4.40. C30P2Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

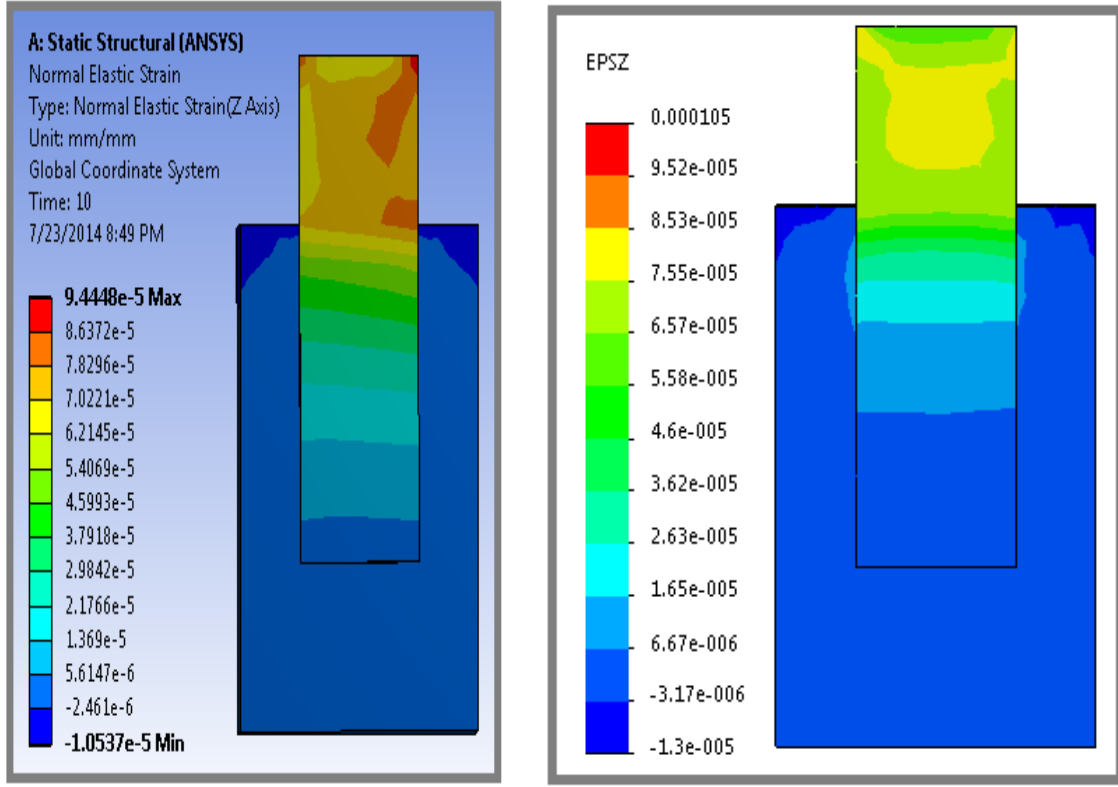
4.3.11. C30P2Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C30P2Y3 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 3,55 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'de gösterilmiştir.



Şekil 4.41. C30P2Y3 numunesi birim deformasyon değerleri

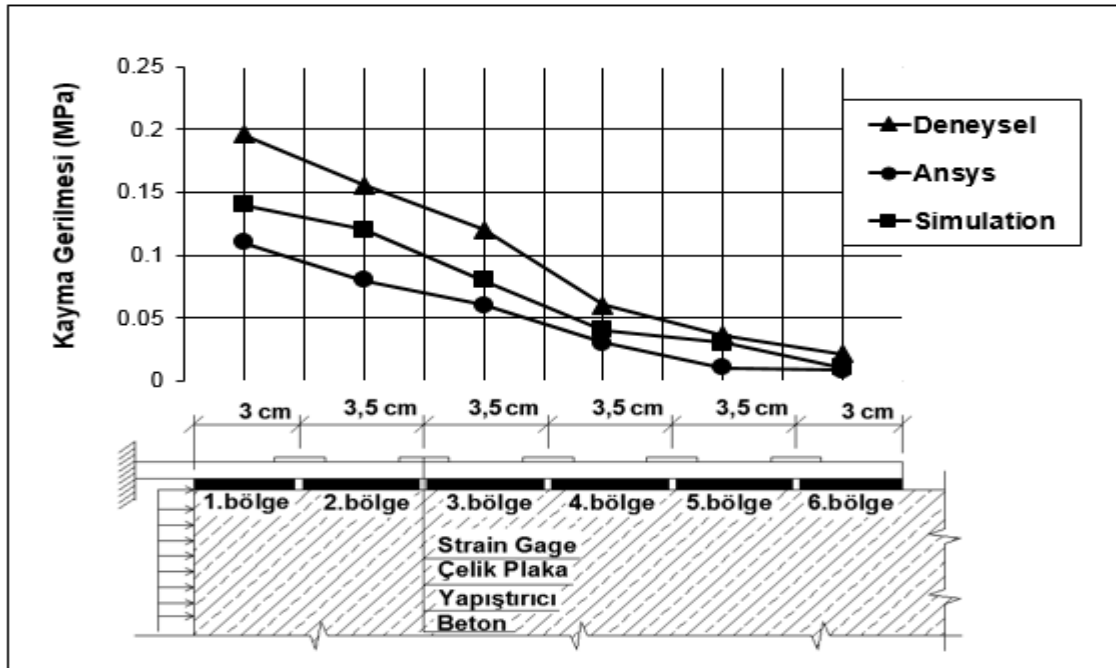
Şekil 4.41 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



(a)

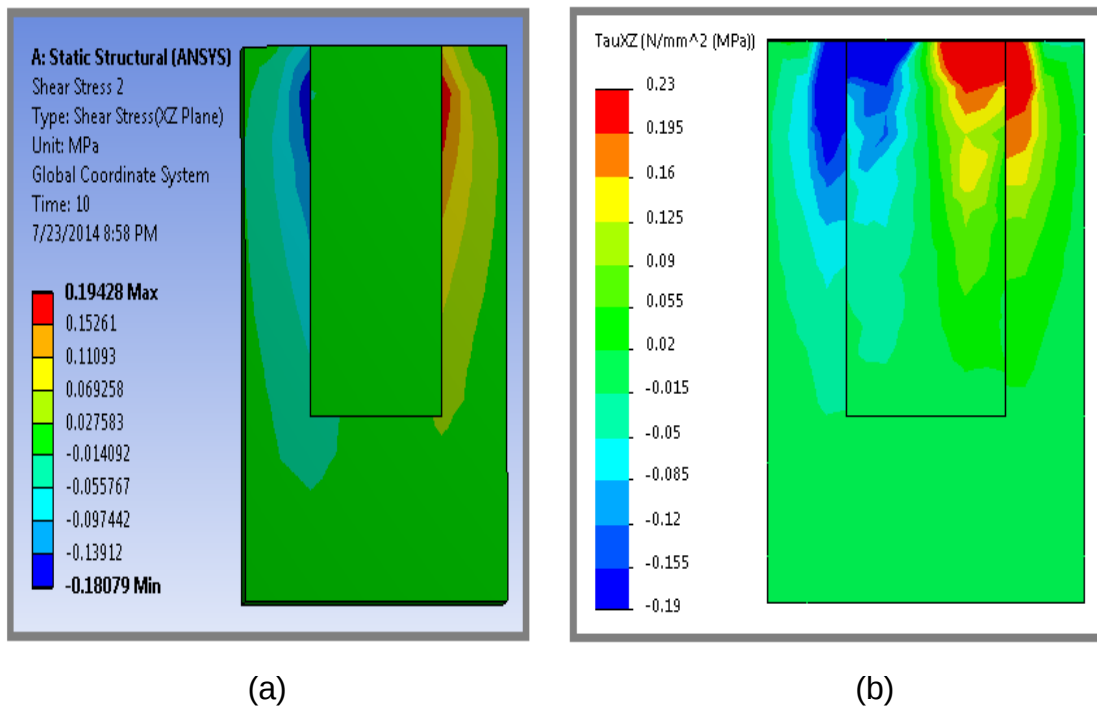
(b)

Şekil 4.42. C30P2Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.43. C30P2Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri

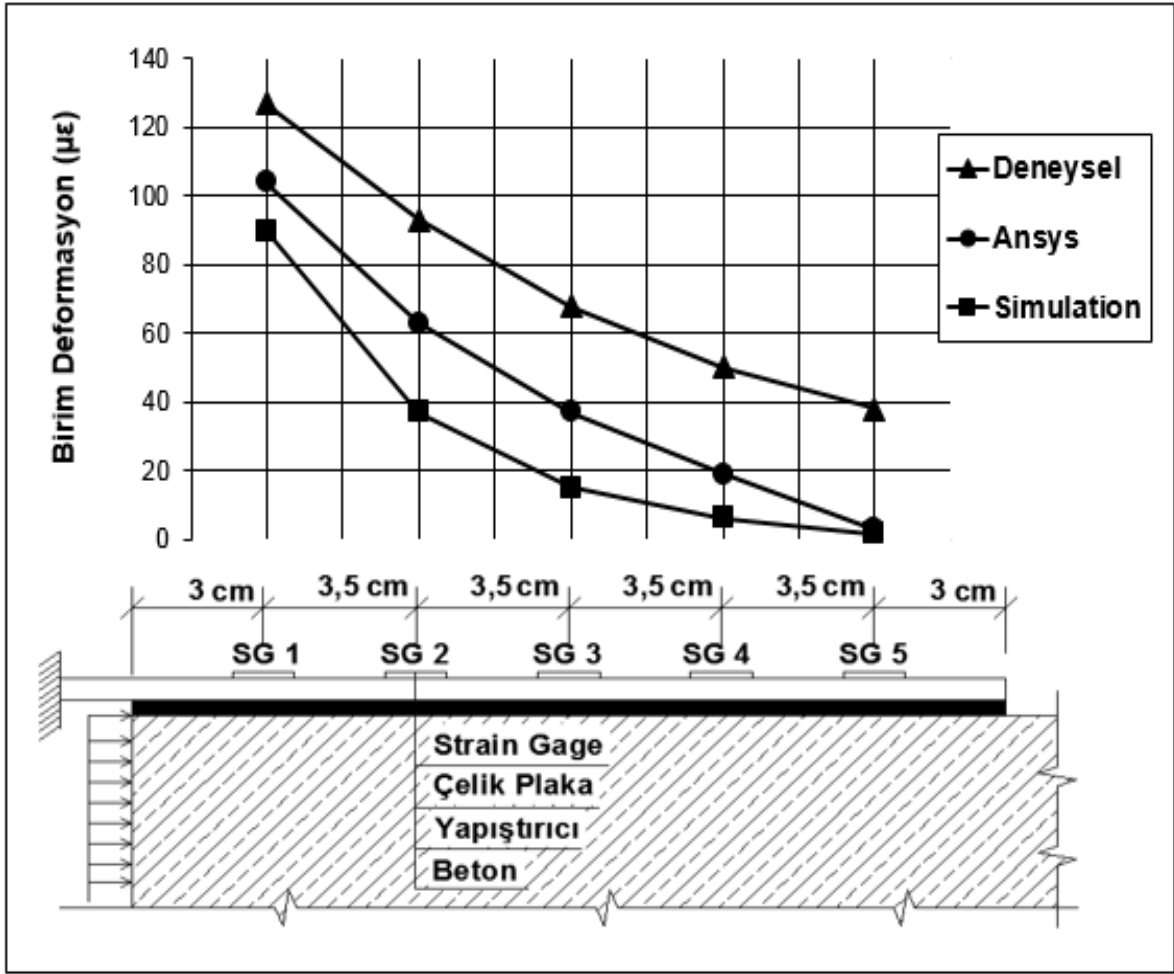
Şekil 4.43 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur. 1. bölgeden 6. bölgeye doğru deneysel, ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



Şekil 4.44. C30P2Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

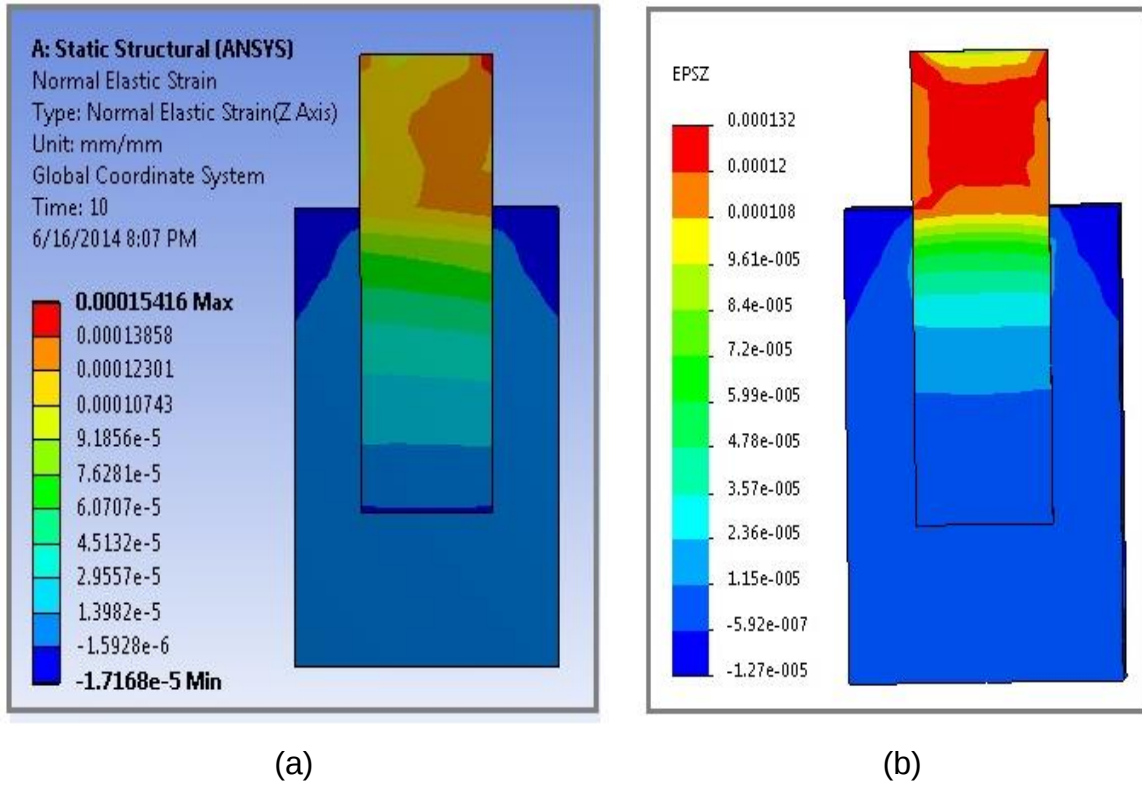
4.3.12. C30P2Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C30P2Y4 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 5,20 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47 ve Şekil 4.48'de gösterilmiştir.

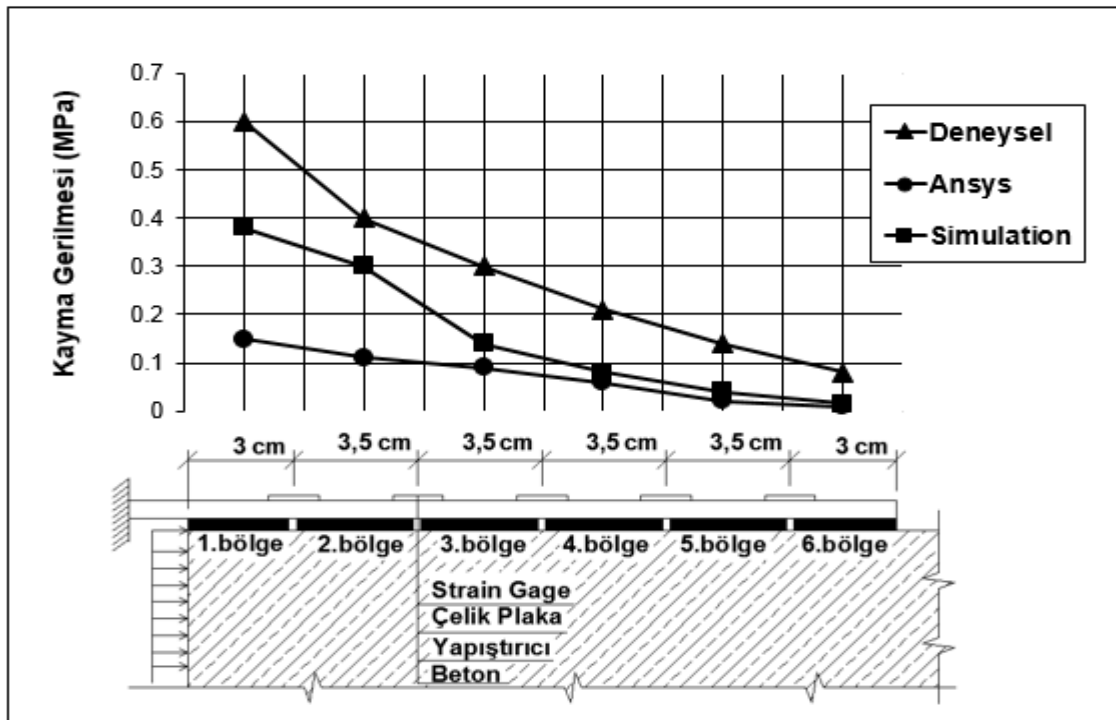


Şekil 4.45. C30P2Y4 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.45 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur.

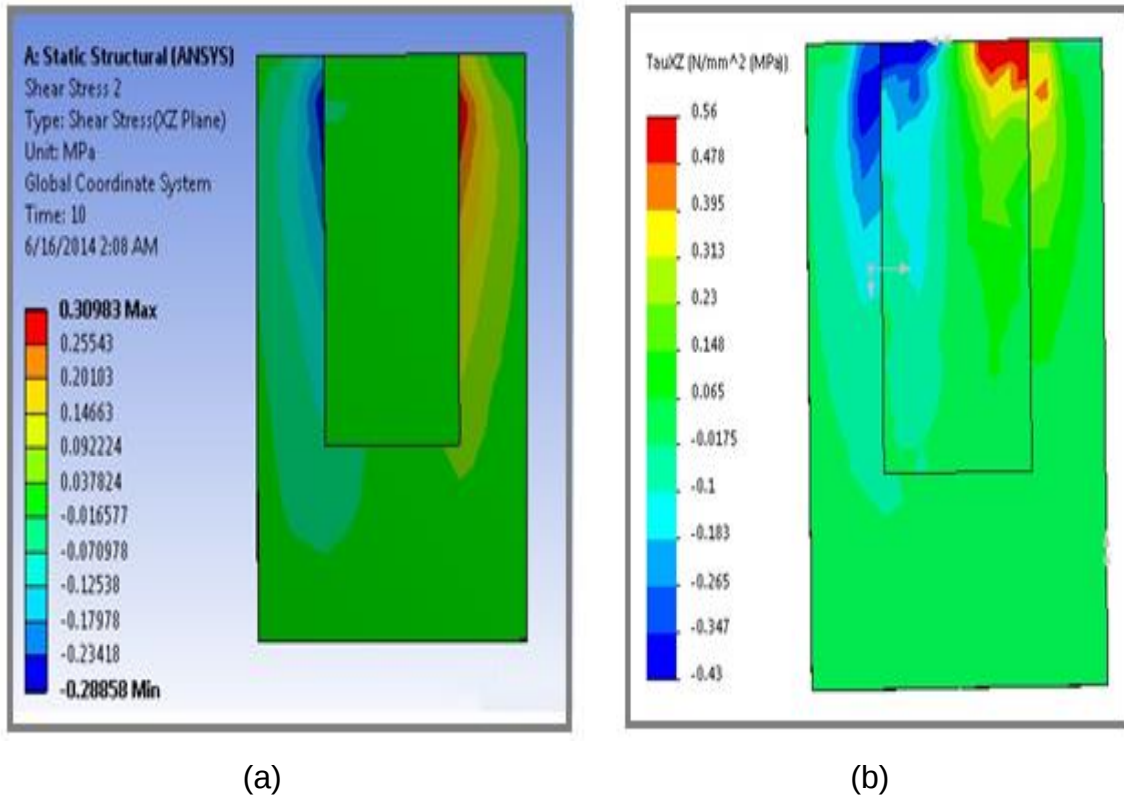


Şekil 4.46. C30P2Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.47. C30P2Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri

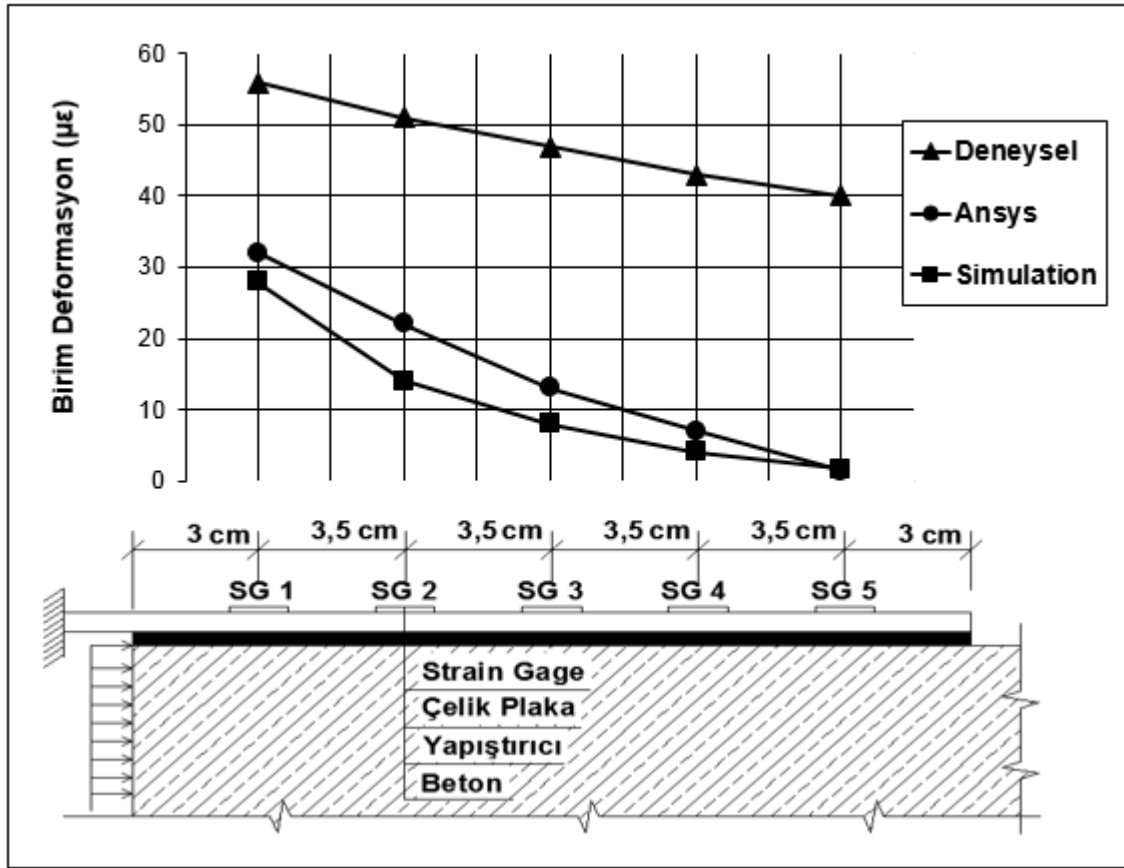
Şekil 4.47 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur.



Şekil 4.48. C30P2Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

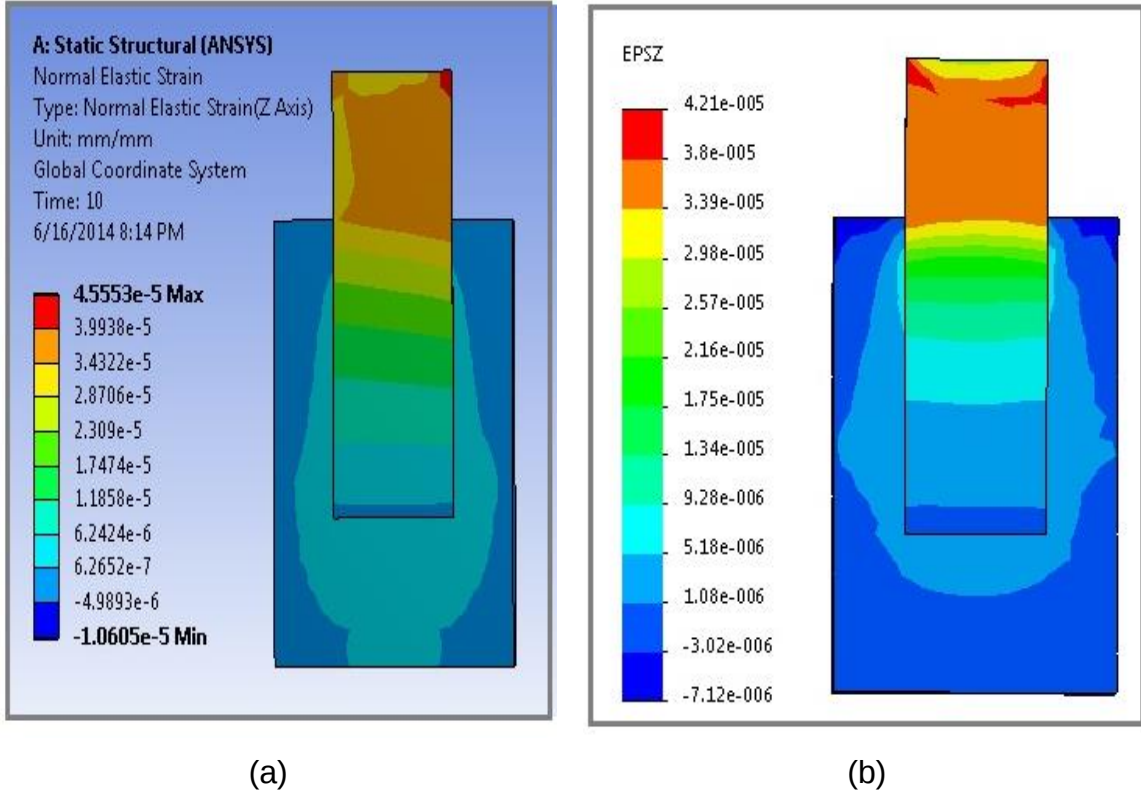
4.3.13. C30P4Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C30P4Y2 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 3,14 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51 ve Şekil 4.52'de gösterilmiştir.

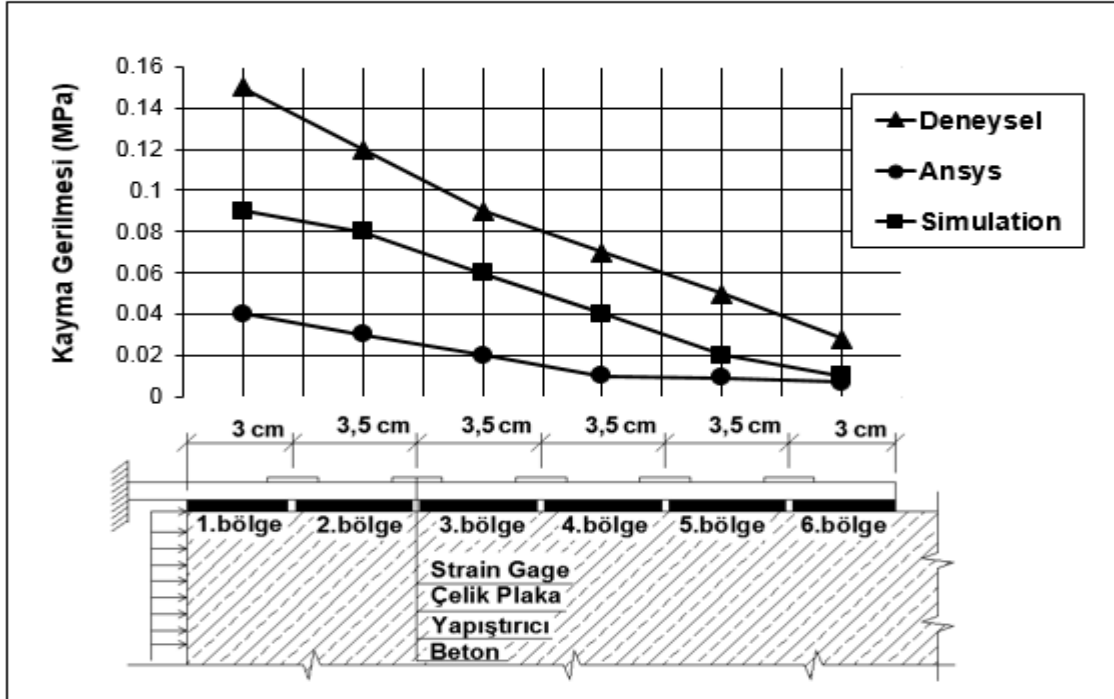


Şekil 4.49. C30P4Y2 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.49 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.

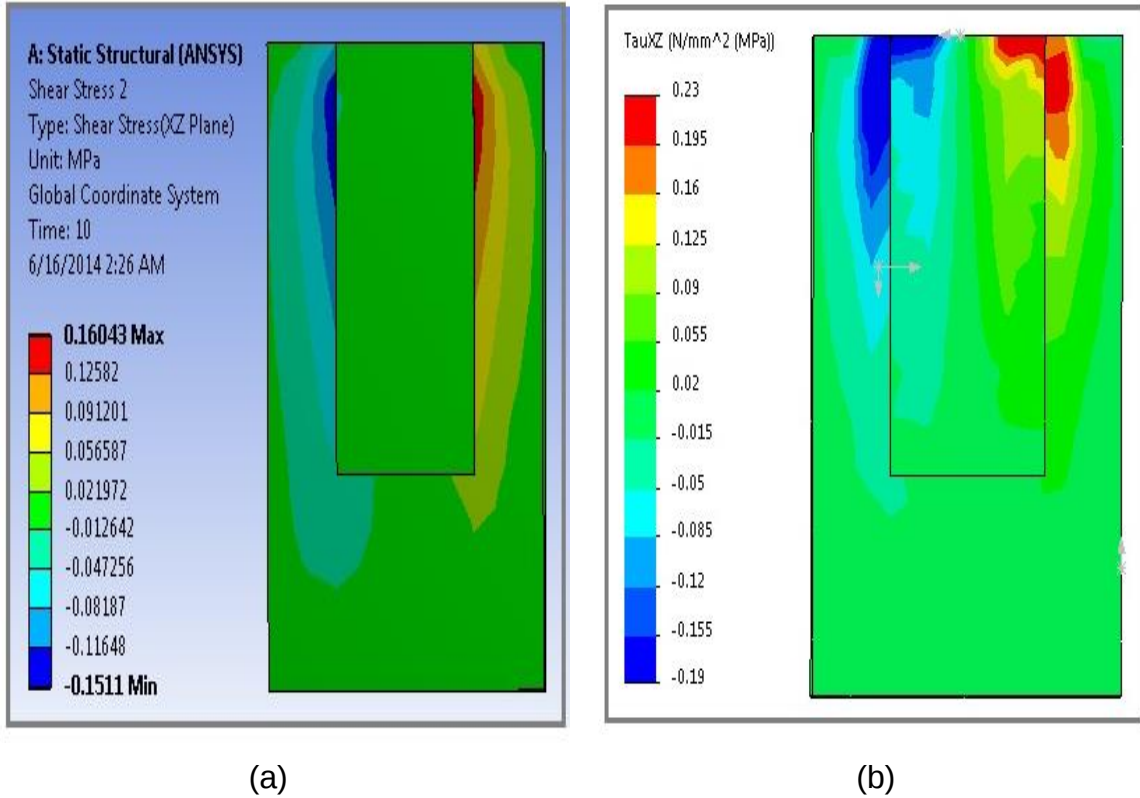


Şekil 4.50. C30P4Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.51. C30P4Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri

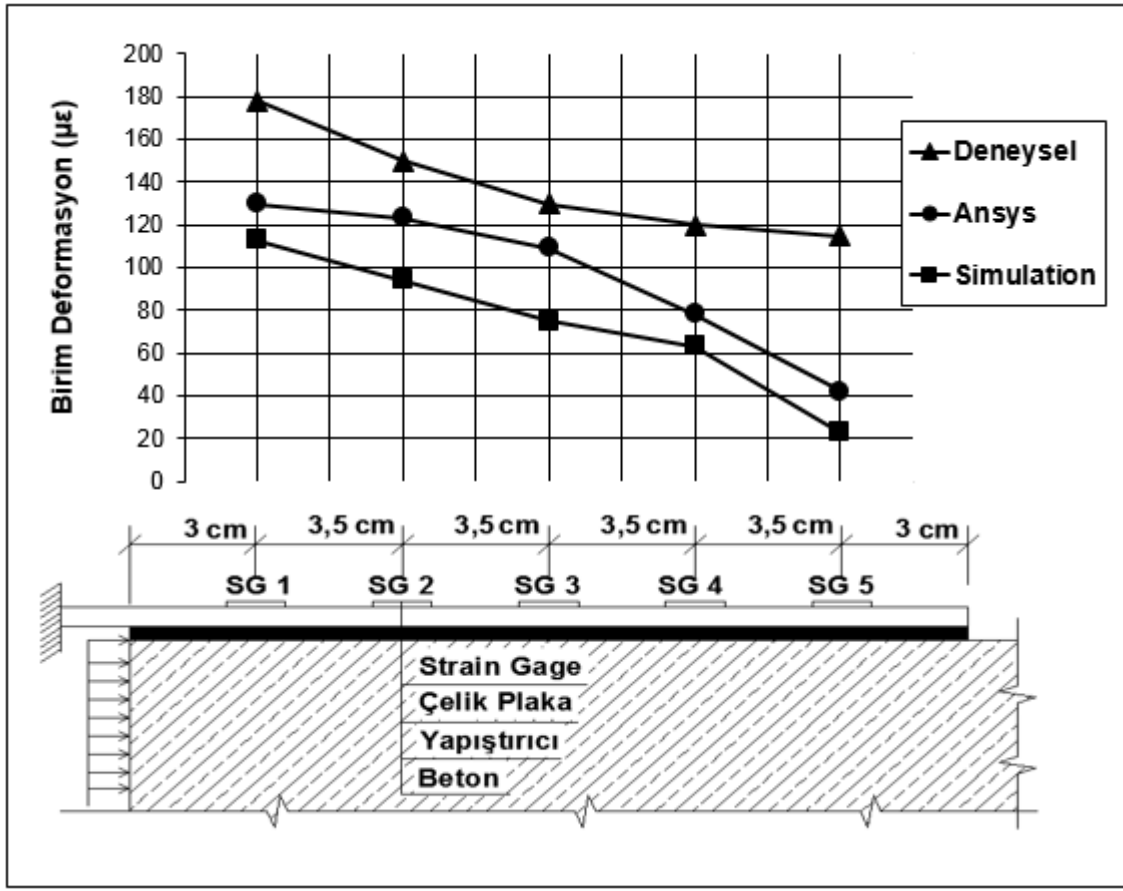
Şekil 4.51 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur.



Şekil 4.52. C30P4Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

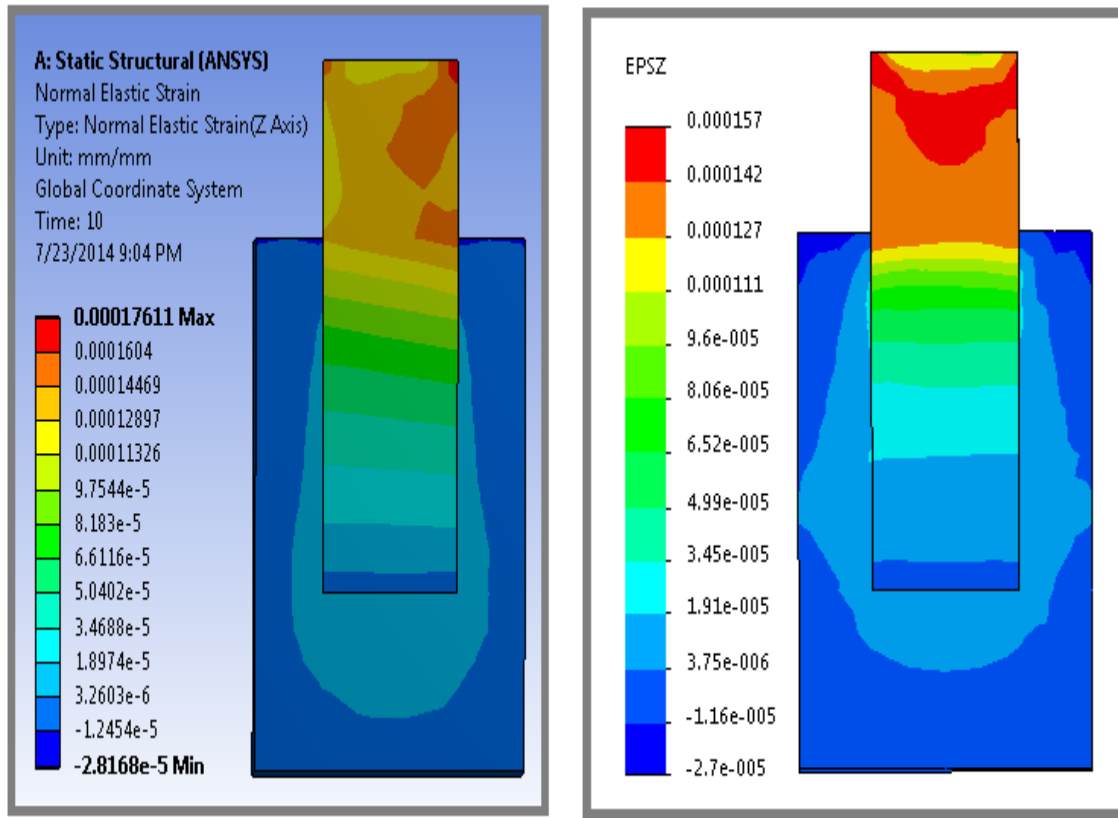
4.3.14. C30P4Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C30P4Y3 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 11,98 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56'da gösterilmiştir.



Şekil 4.53. C30P4Y3 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.53 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur.



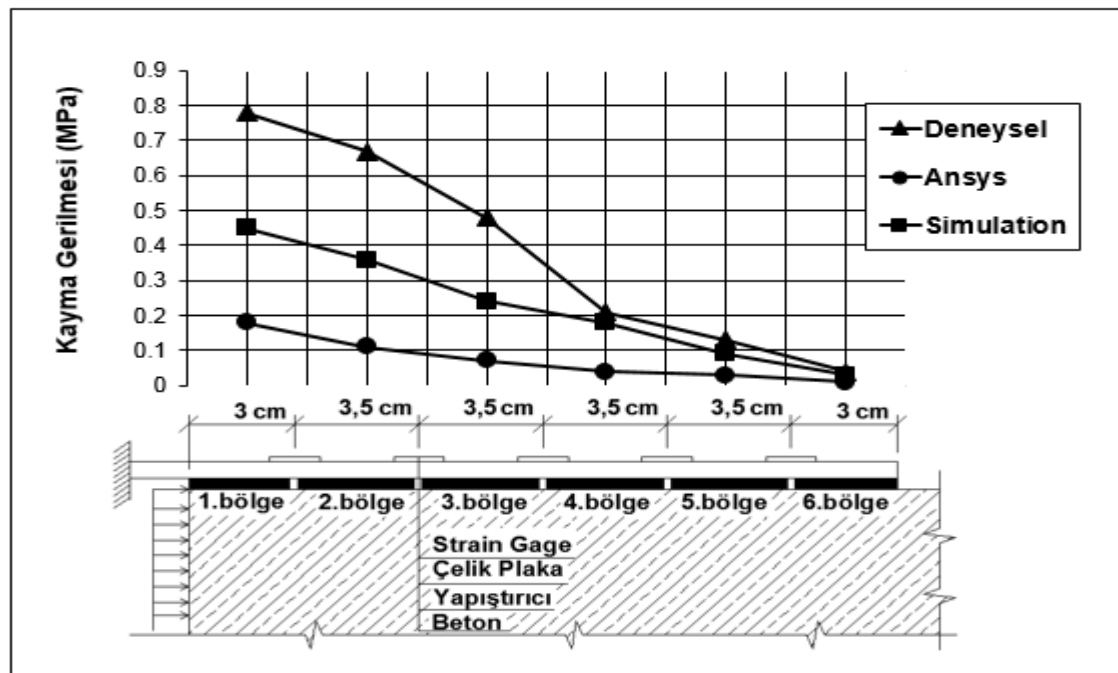
(a)

(b)

Şekil 4.54. C30P4Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı

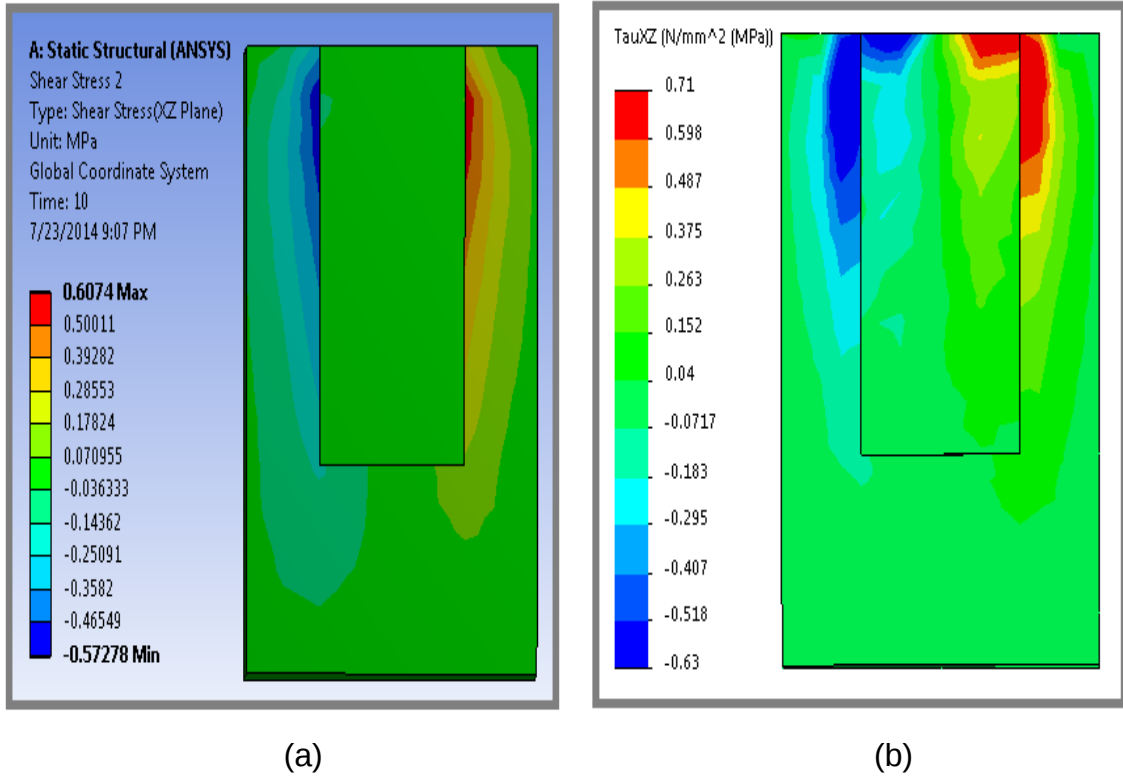
a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü

b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.55. C30P4Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri

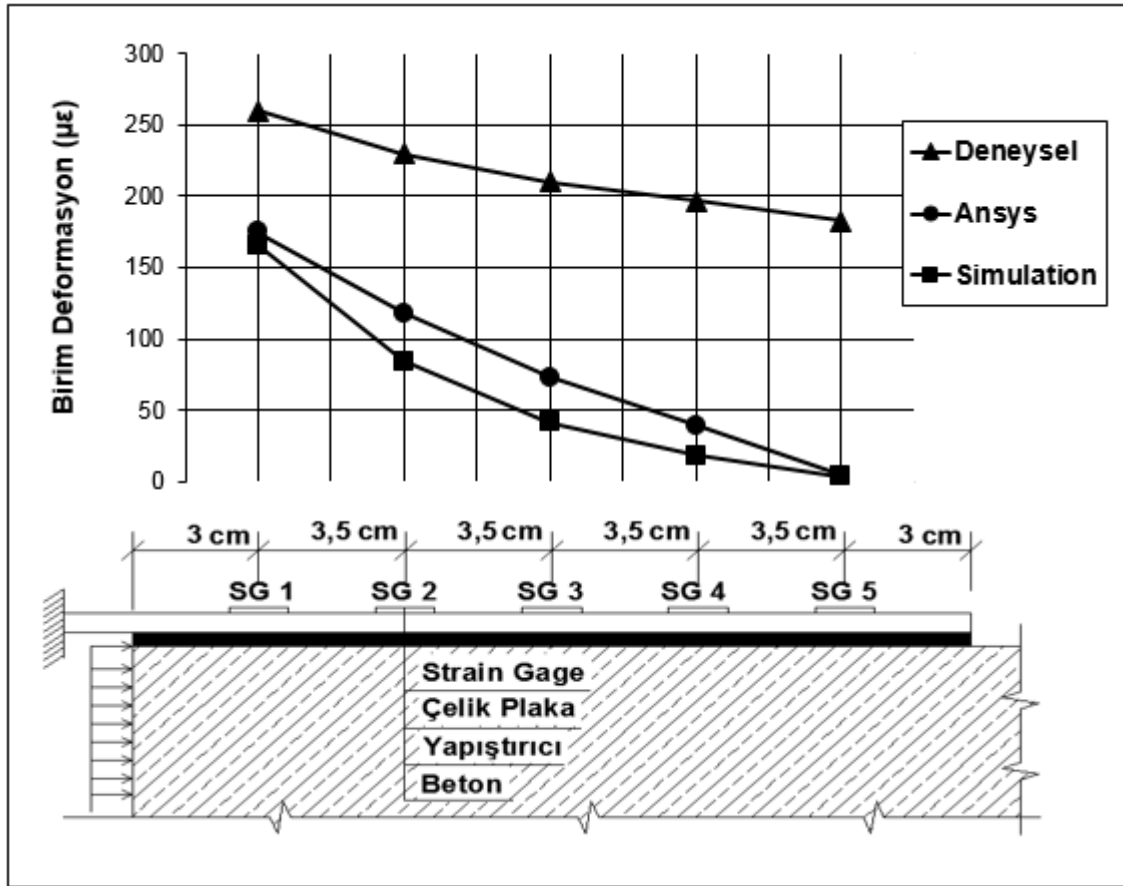
Şekil 4.55 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur.



Şekil 4.56. C30P4Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

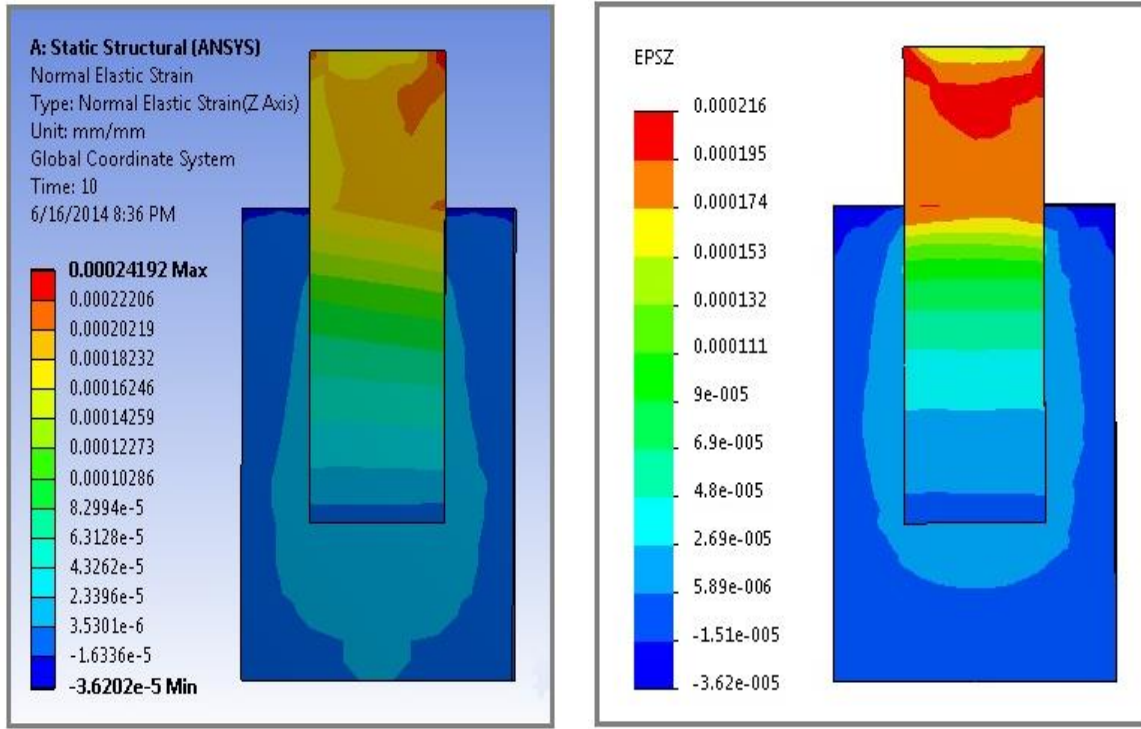
4.3.15. C30P4Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C30P4Y4 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 16,57 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.57, Şekil 4.58, Şekil 4.59 ve Şekil 4.60'da gösterilmiştir.



Şekil 4.57. C30P4Y4 numunesi birim deformasyon değerleri

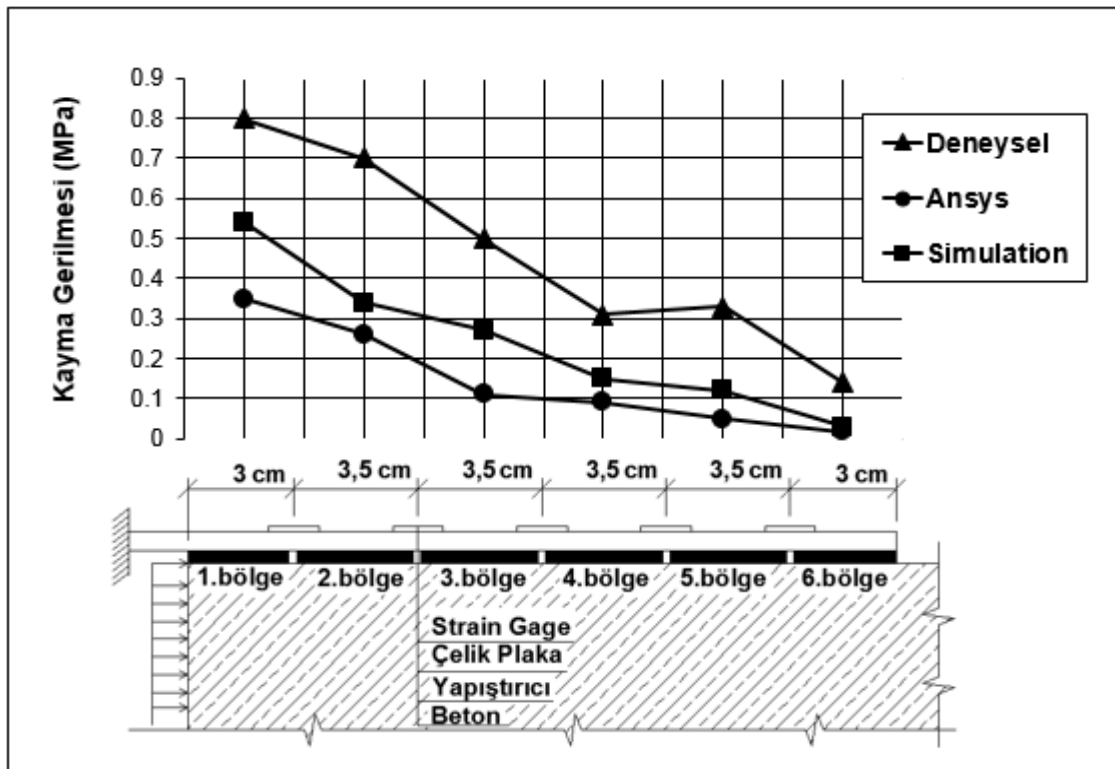
Şekil 4.57 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



(a)

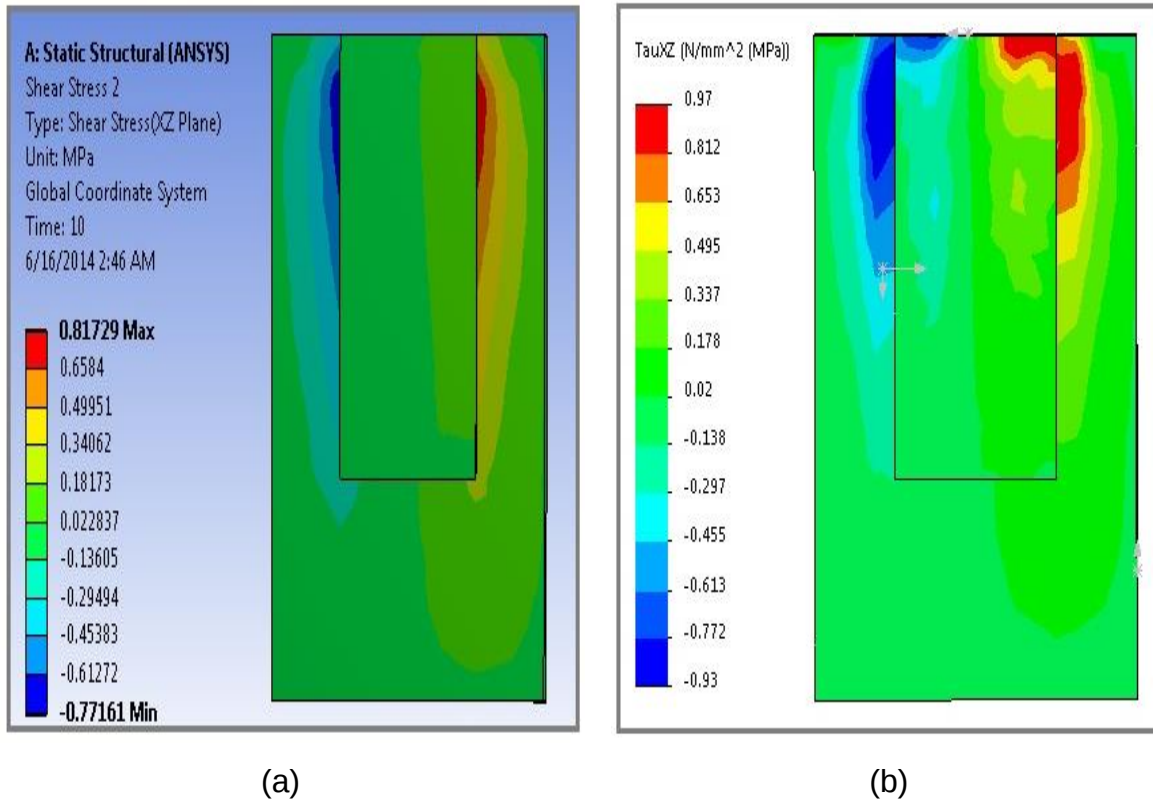
(b)

Şekil 4.58. C30P4Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.59. C30P4Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri

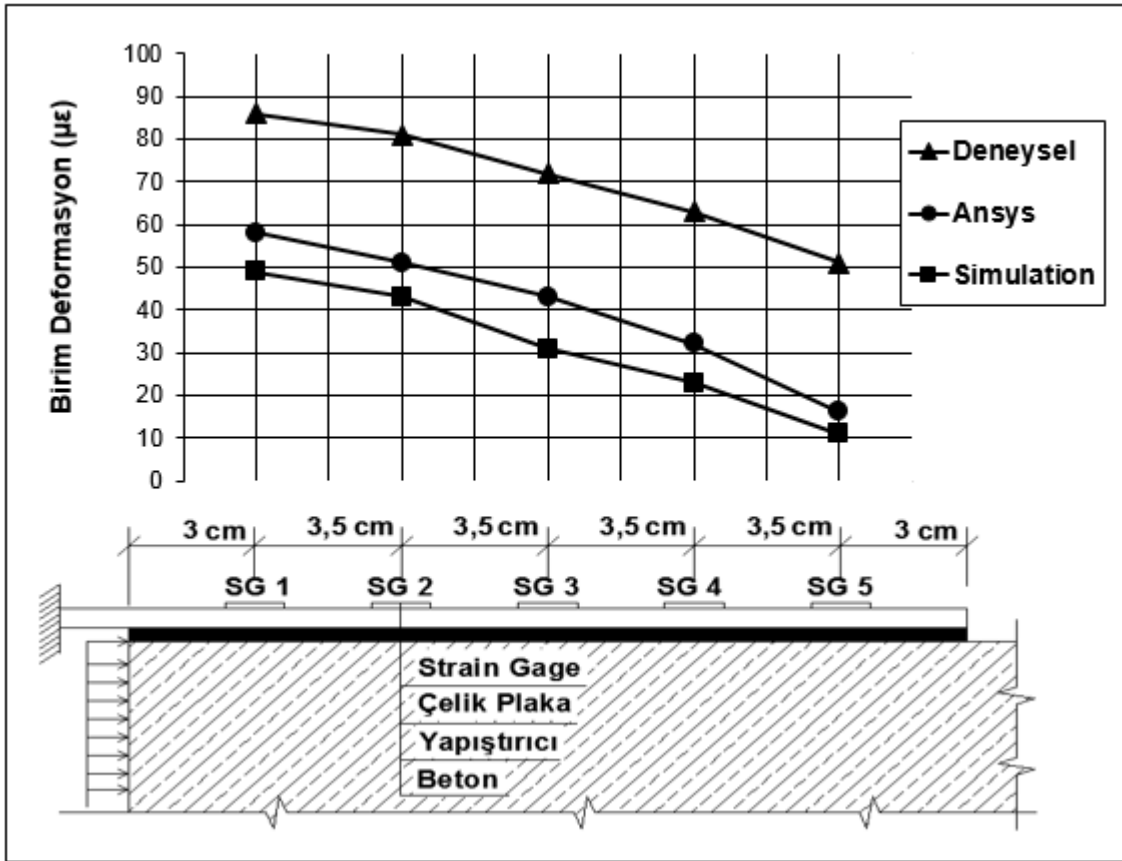
Şekil 4.59 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur.



Şekil 4.60. C30P4Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

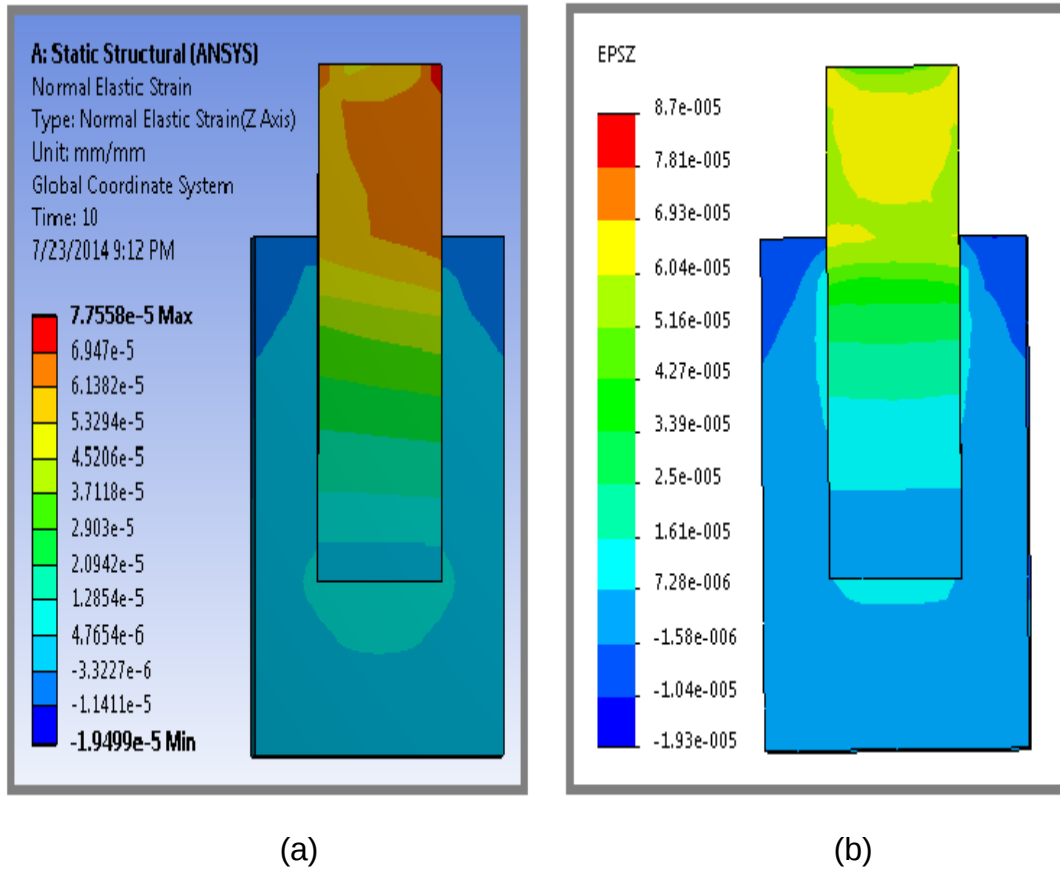
4.3.16. C30P6Y2 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C30P6Y2 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 8,26 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'de gösterilmiştir.

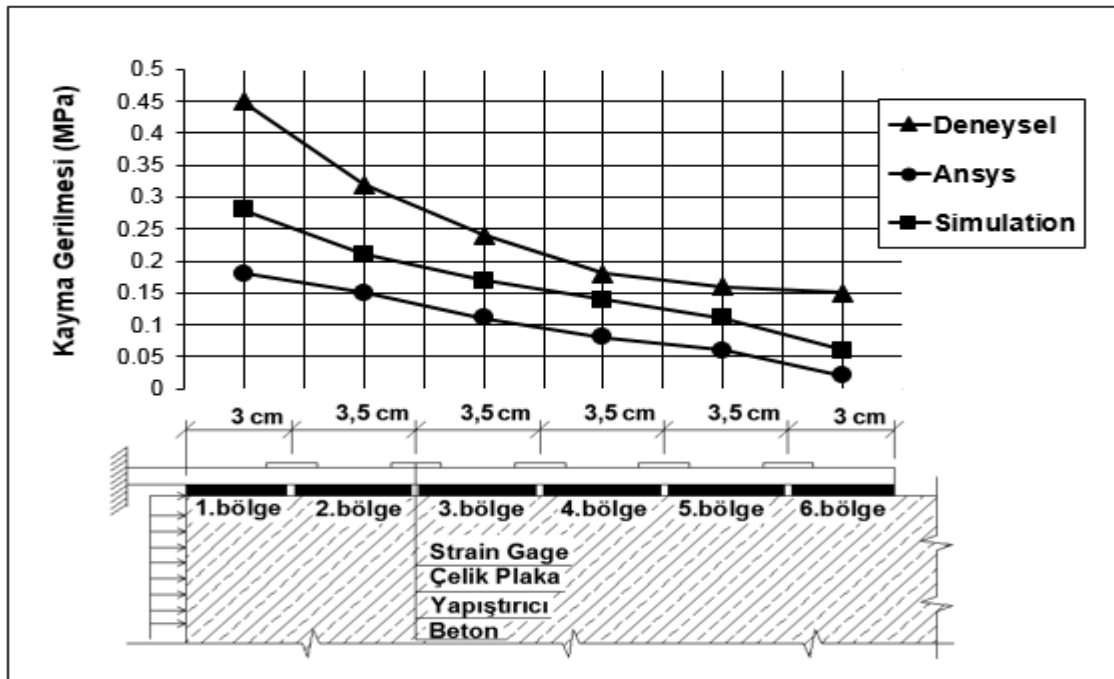


Şekil 4.61. C30P6Y2 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.61 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.

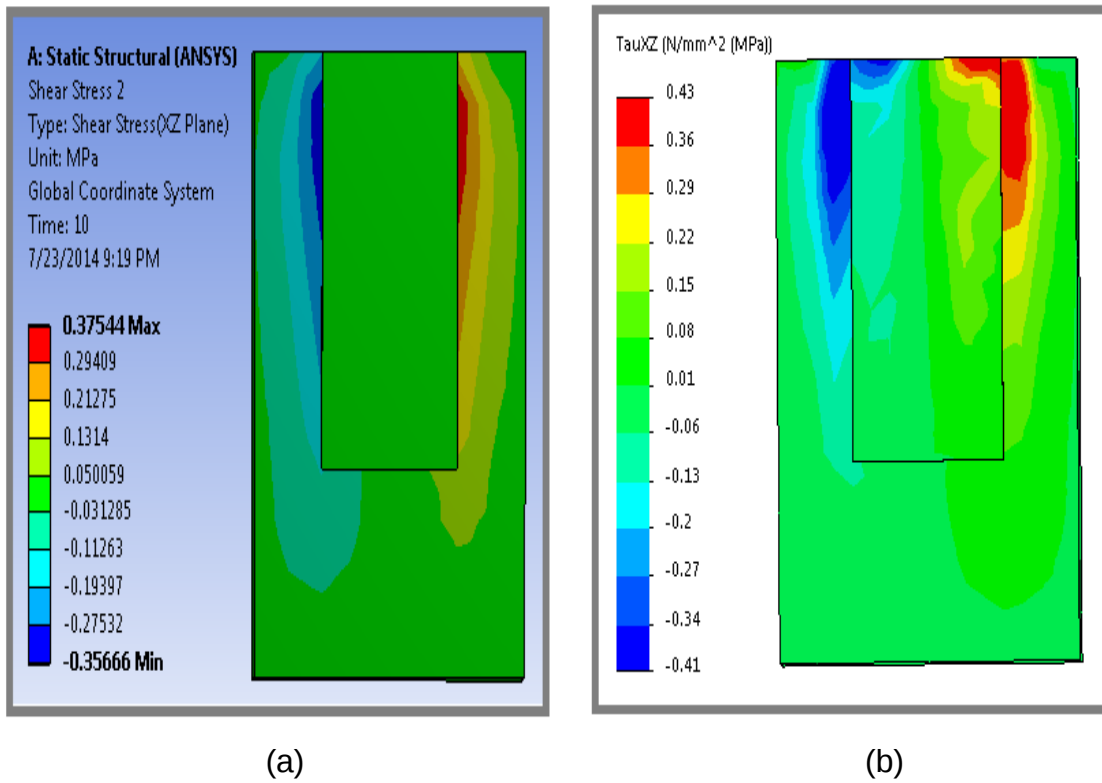


Şekil 4.62. C30P6Y2 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.63. C30P6Y2 numunesi kayma gerilmesi değerleri

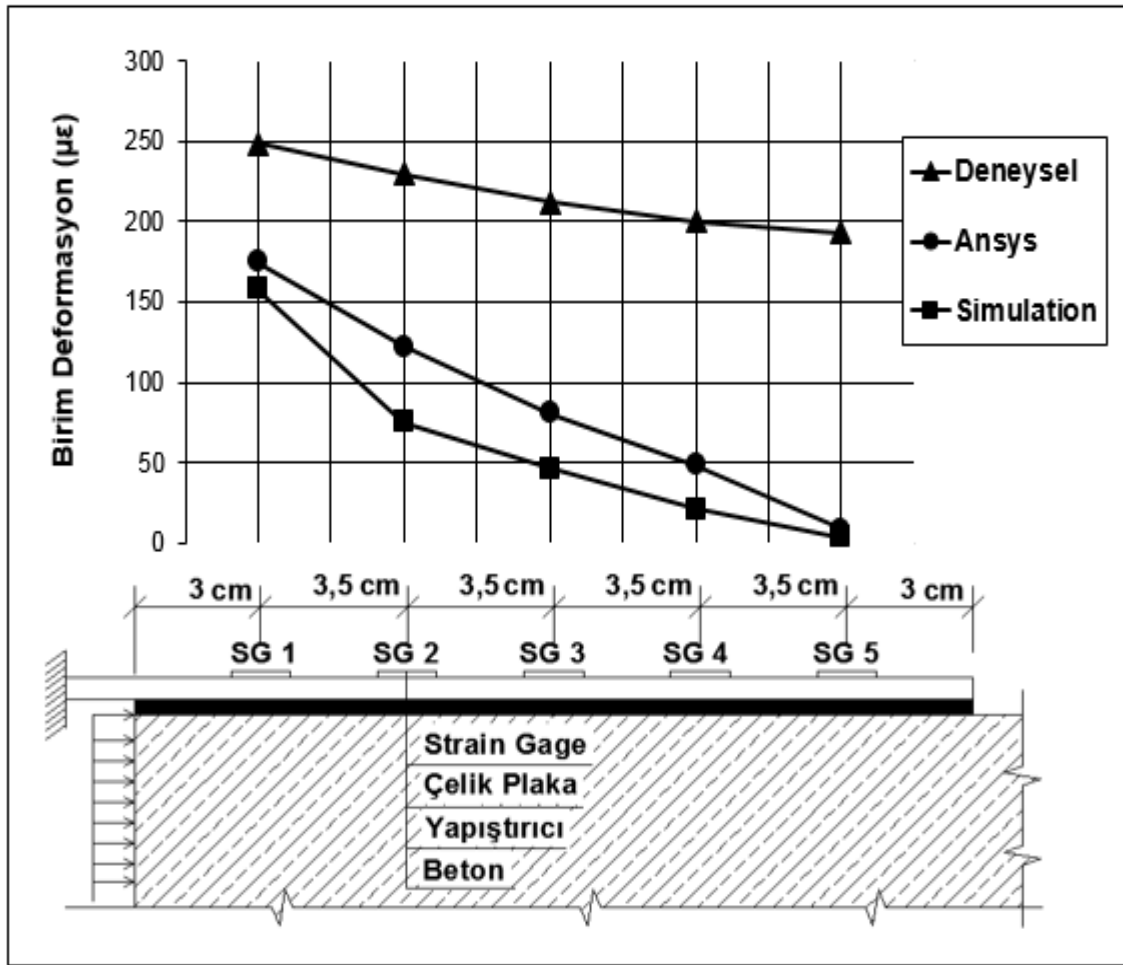
Şekil 4.63 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur. 1. bölgeden 6. bölgeye doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.



Şekil 4.64. C30P6Y2 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

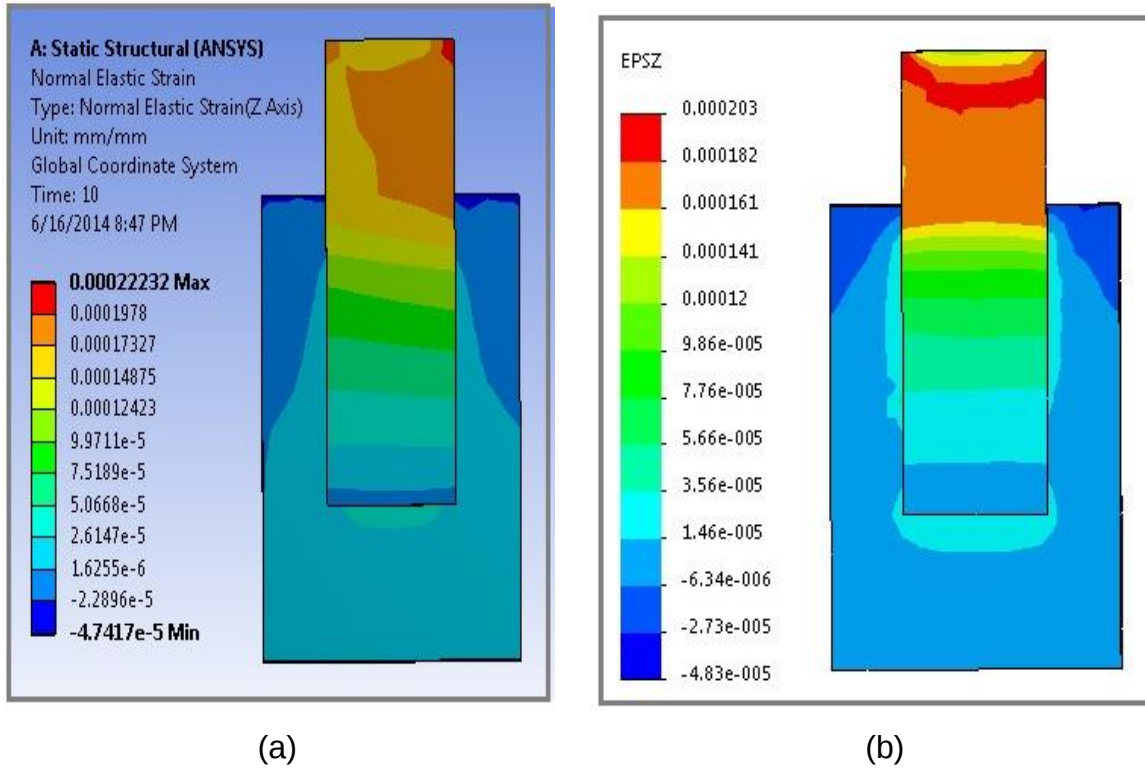
4.3.17. C30P6Y3 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C30P6Y3 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 23,08 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.65, Şekil 4.66, Şekil 4.67 ve Şekil 4.68'de gösterilmiştir.

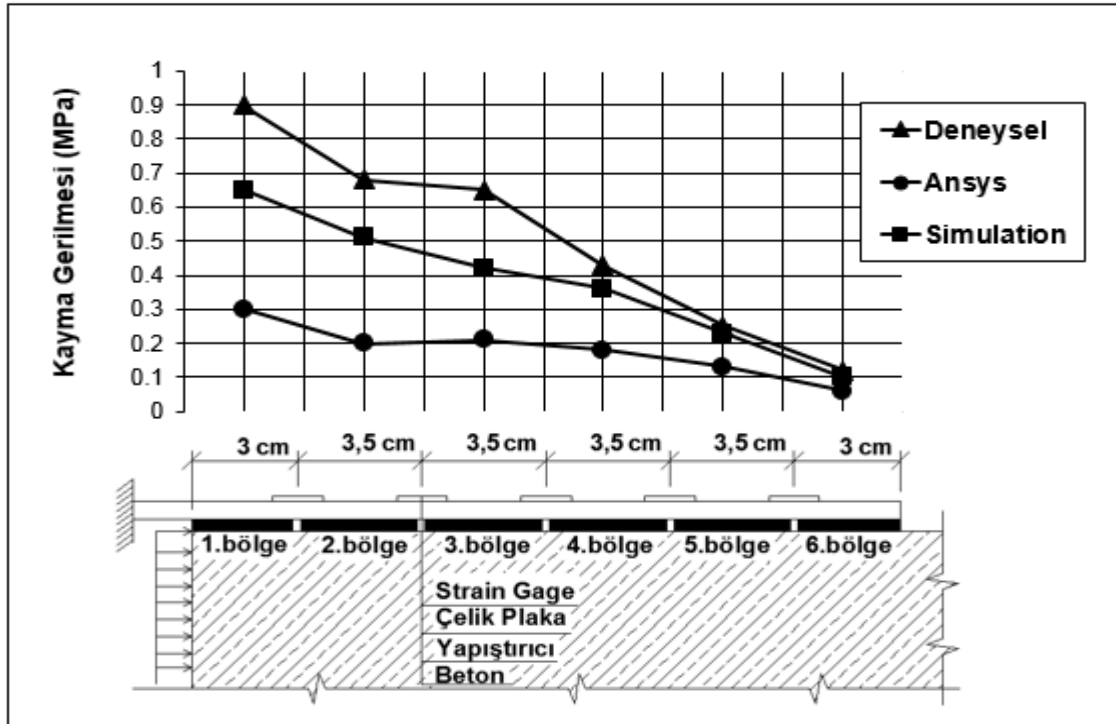


Şekil 4.65. C30P6Y3 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.65 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.

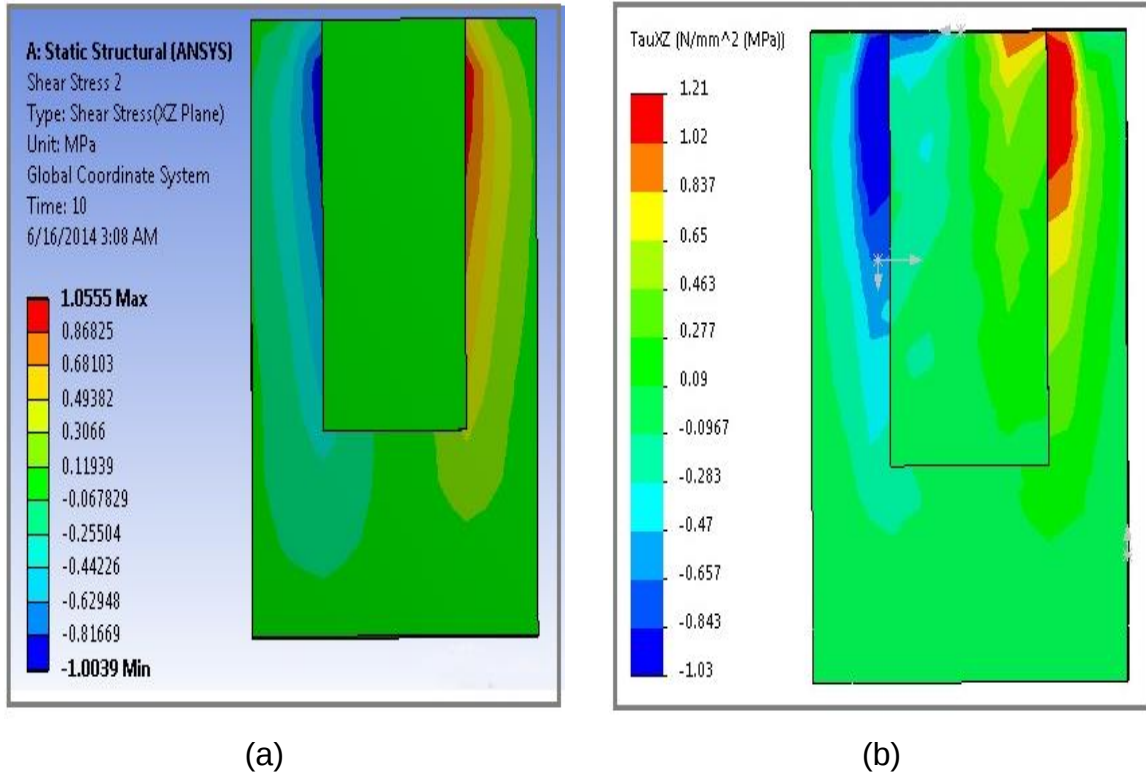


Şekil 4.66. C30P6Y3 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.67. C30P6Y3 numunesi kayma gerilmesi değerleri

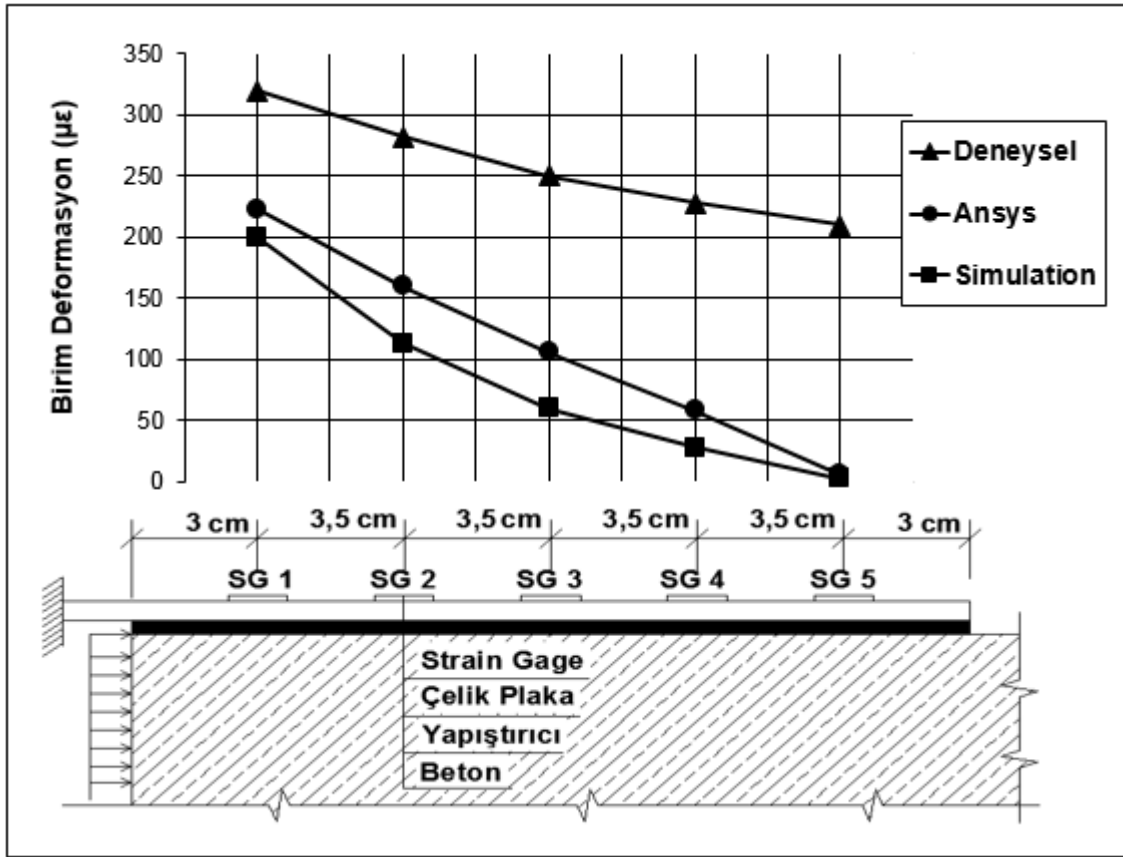
Şekil 4.67 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur.



Şekil 4.68. C30P6Y3 numunesi kayma gerilmesi dağılımı
a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

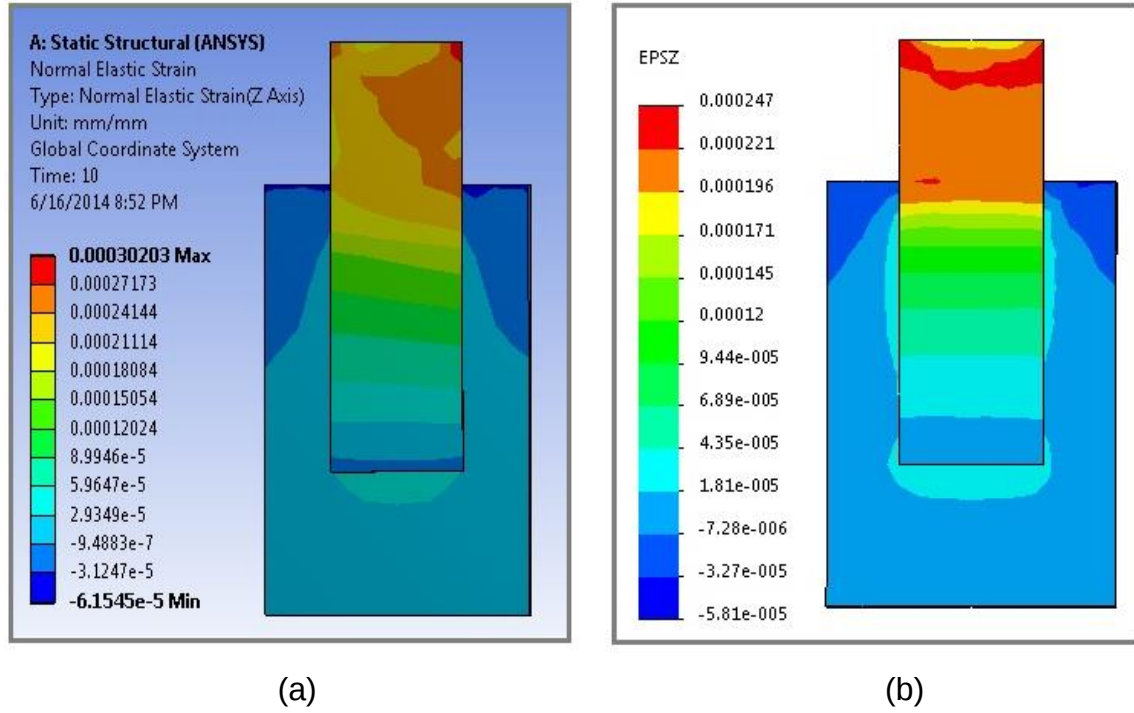
4.3.18. C30P6Y4 numunesi birim deformasyon ve kayma gerilmesi sonuçları

C30P6Y4 numunesi ANSYS ve Simulation programında modellenmiş, deneyden elde edilen göçme yükü değerleri modele tanımlanarak statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda 28,17 kN'luk yük sonucu çelik plaka yüzeyinde oluşan birim deformasyonlar ile yapıştırıcı katmanındaki kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler Şekil 4.69, Şekil 4.70, Şekil 4.71 ve Şekil 4.72'de gösterilmiştir.

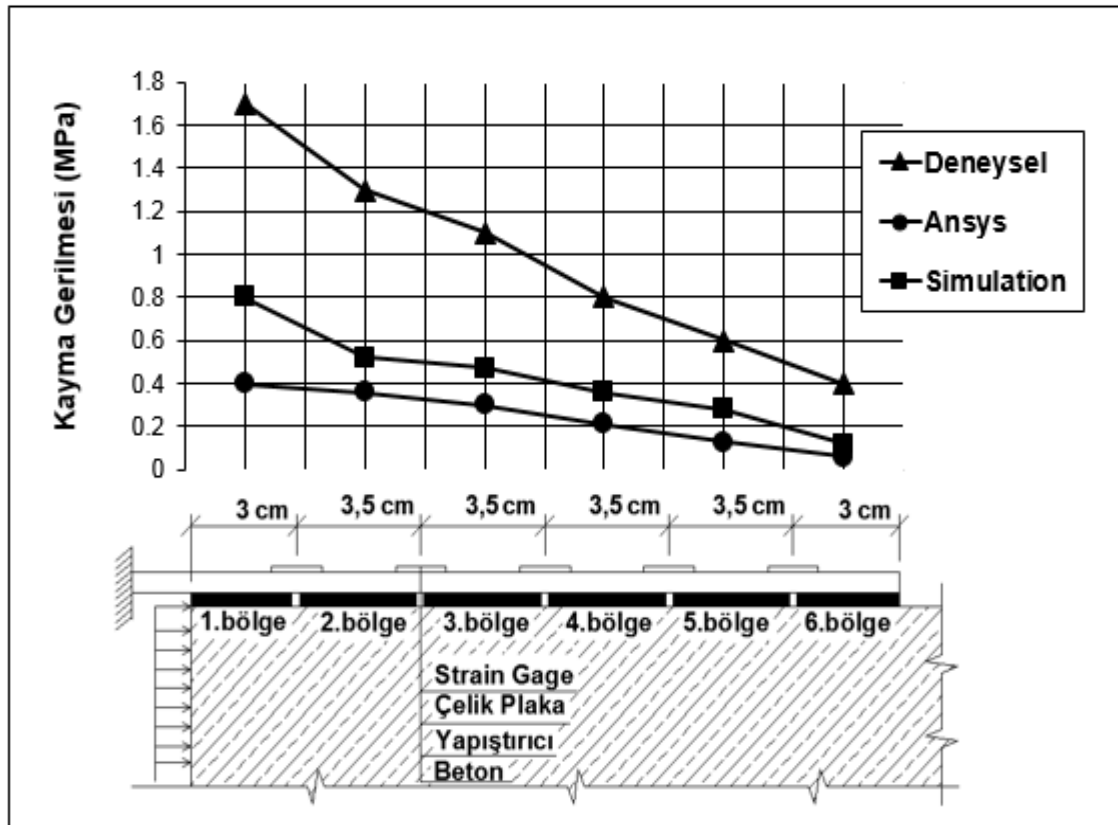


Şekil 4.69. C30P6Y4 numunesi birim deformasyon değerleri

Şekil 4.69 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük birim deformasyon değerlerinin SG1 noktasında, en küçük birim deformasyon değerlerinin ise SG5 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SG1 noktasından SG5 noktasına doğru gidildikçe birim deformasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. SG noktaları üzerindeki en büyük birim deformasyon değerleri deneysel yöntemle bulunurken, en düşük değerler Simulation ile bulunmuştur. SG1 noktasından SG5 noktasına doğru ANSYS ve Simulation değerleri genel olarak birbirleriyle uyumlu olarak azalmıştır.

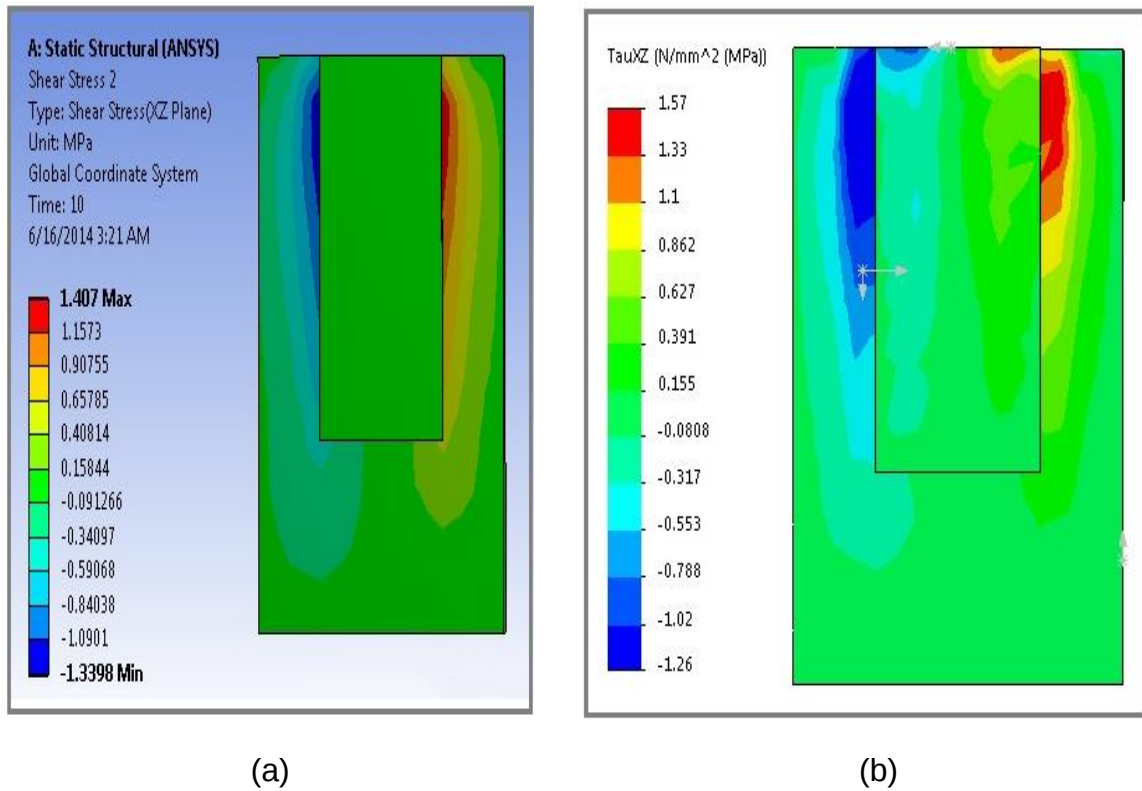


Şekil 4.70. C30P6Y4 numunesi birim deformasyon dağılımı
 a) Birim deformasyon dağılımı ANSYS görüntüsü
 b) Birim deformasyon dağılımı Simulation görüntüsü



Şekil 4.71. C30P6Y4 numunesi kayma gerilmesi değerleri

Şekil 4.71 incelendiğinde hem sonlu elemanlar programları hem de deneysel yöntemde, en büyük kayma gerilmeleri değerlerinin 1. bölgede, en küçük kayma gerilmeleri değerlerinin ise 6. bölgede olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 1. bölgeden 6. bölgeye doğru gidildikçe kayma gerilmeleri değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tüm bölgeler incelendiğinde en büyük kayma gerilmeleri deneysel yöntemle, en küçük kayma gerilmeleri ise ANSYS ile bulunmuştur.



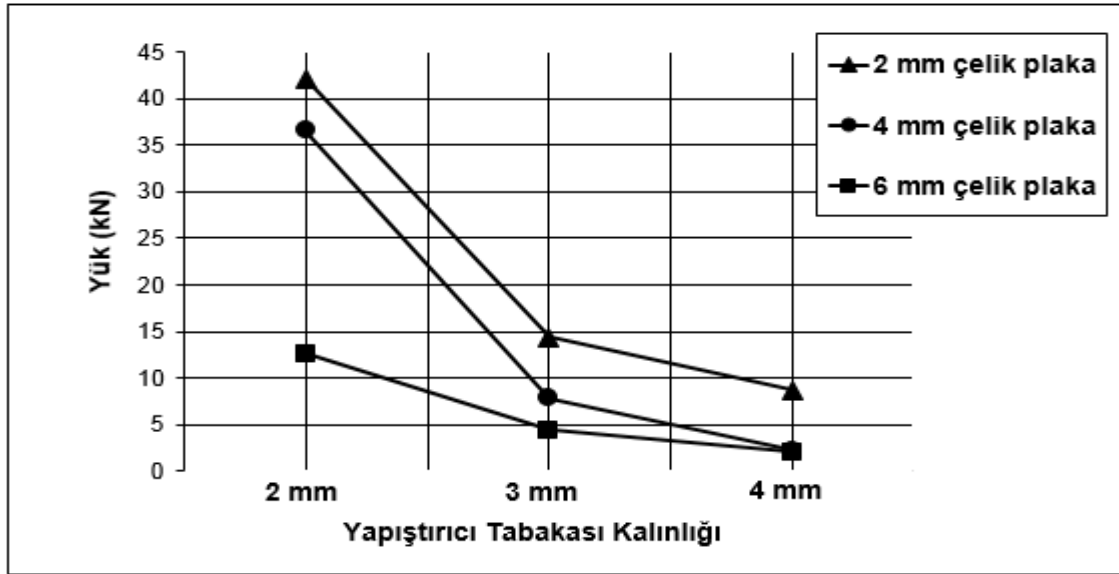
Şekil 4.72. (a) C30P6Y4 numunesi kayma gerilmesi dağılımı

a) Kayma gerilmesi dağılımı ANSYS görüntüsü

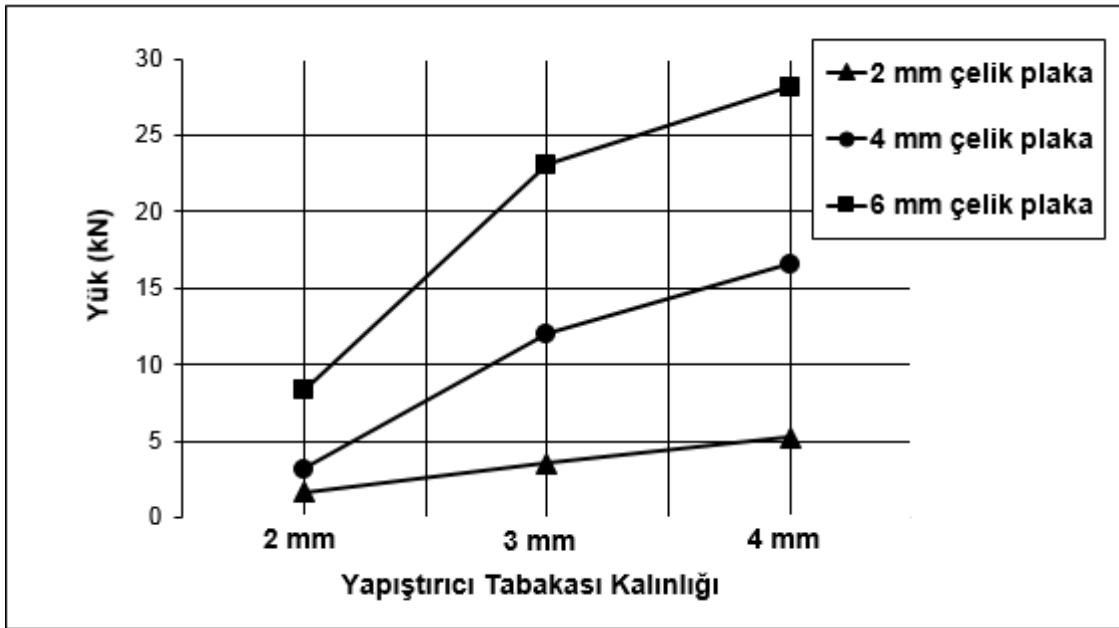
b) Kayma gerilmesi dağılımı Simulation görüntüsü

4.4. Çelik Plaka, Yapıştırıcı Tabakası Kalınlığı ve Beton Dayanımının Göçme Yüküne Etkisi

C18 ve C30 betonları için farklı çelik plaka ve yapıştırıcı tabakası kalınlığında gerçekleşen göçme yükleri Şekil 4.73 ve Şekil 4.74’de gösterilmiştir.



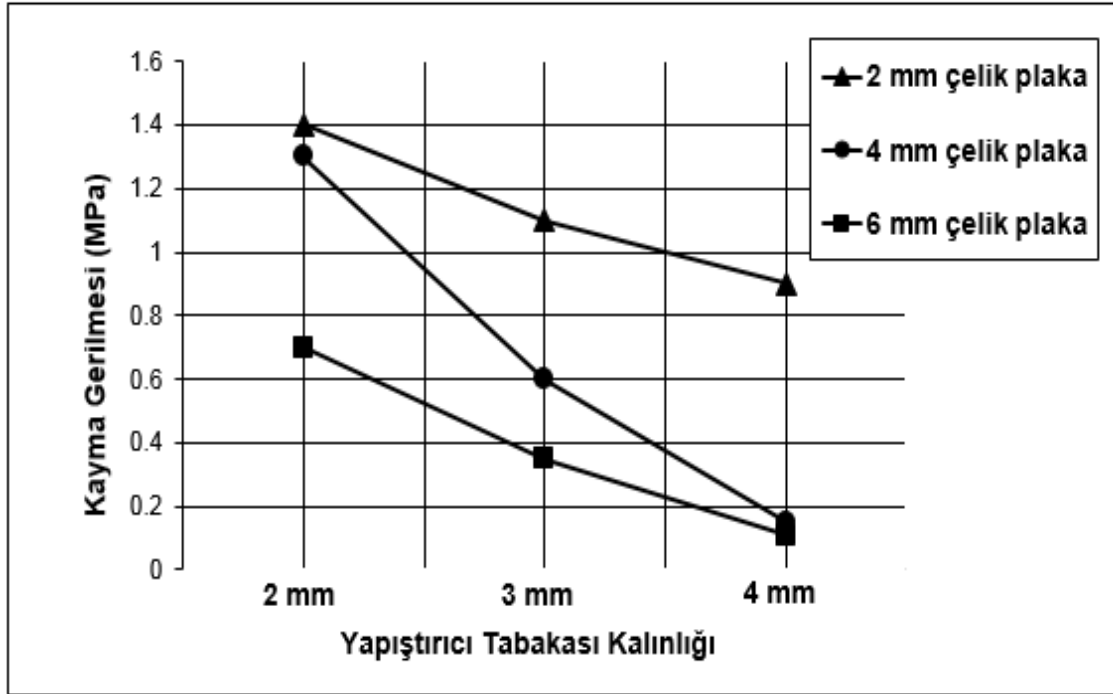
Şekil 4.73. C18 betonunda oluşan göçme yükleri



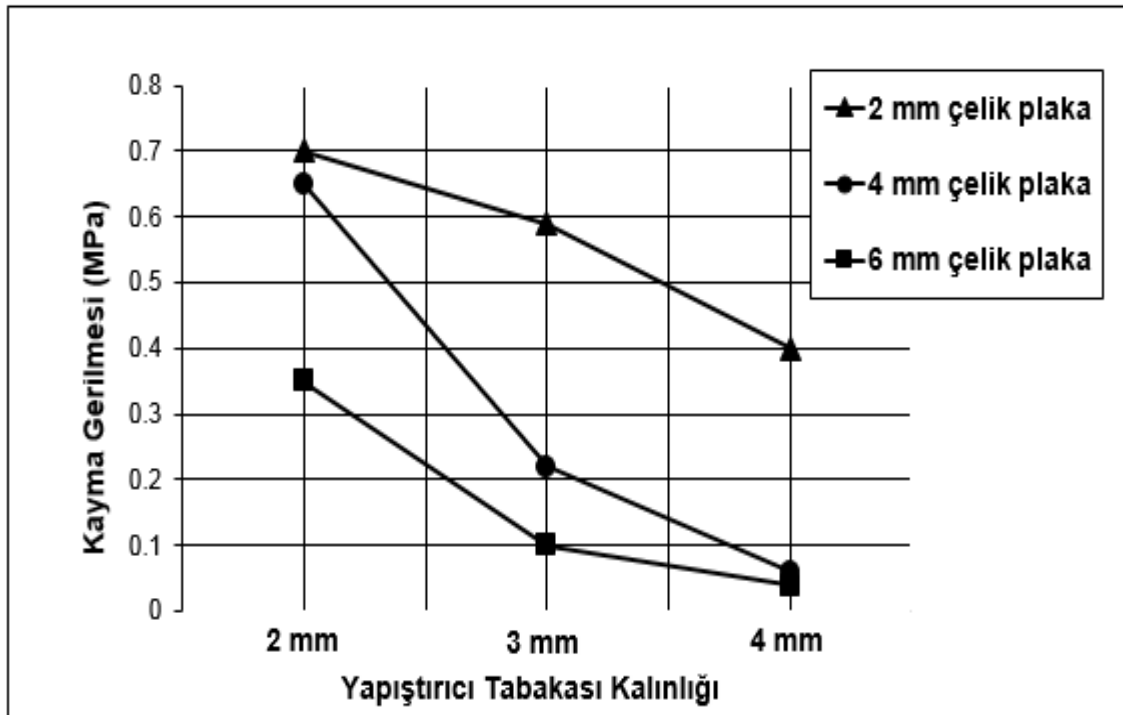
Şekil 4.74. C30 betonunda oluşan göçme yükleri

Şekil 4.73 ve Şekil 4.74 incelendiğinde C18 betonu için en büyük göçme yükü 2 mm yapıştırıcı - 2 mm çelik plaka kalınlığında; C30 betonu için ise 4 mm yapıştırıcı - 6 mm çelik plaka kalınlığında gerçekleşmiştir. En düşük göçme yükü ise C18 betonunda 4 mm yapıştırıcı- 6 mm çelik plaka kalınlığında; C30 betonunda ise 2 mm yapıştırıcı- 2 mm çelik plaka kalınlığında gerçekleşmiştir.

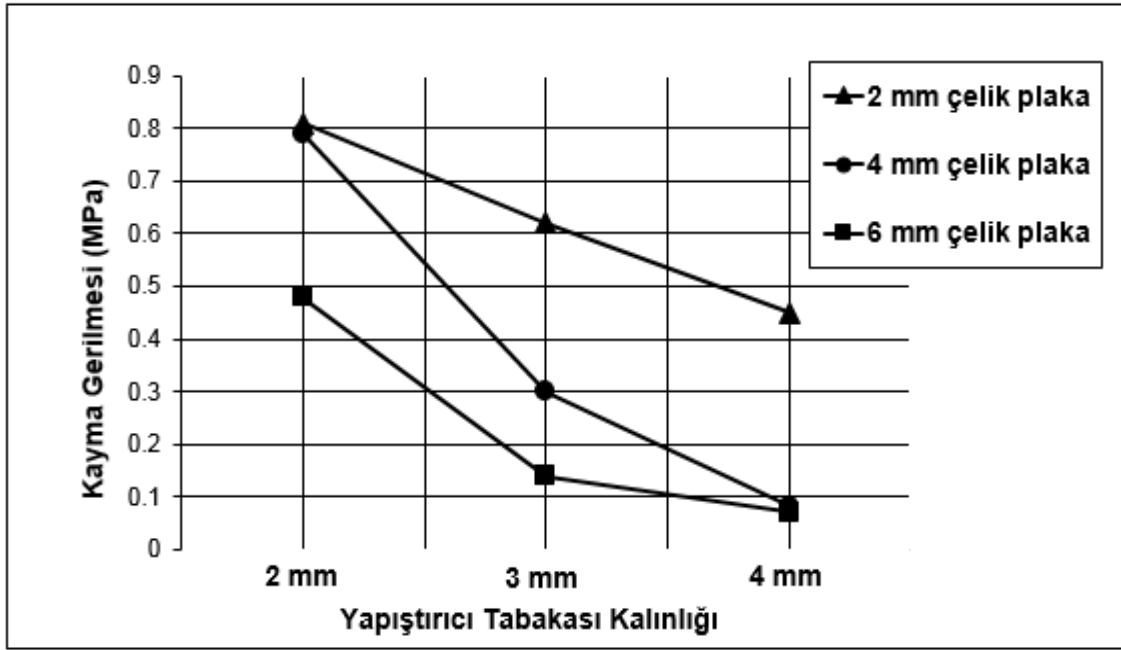
4.5. Çelik Plaka, Yapıştırıcı Tabakası Kalınlığı ve Beton Dayanımının Kayma Gerilmelerine Etkisi



Şekil 4.75. C18 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (Deneysel)

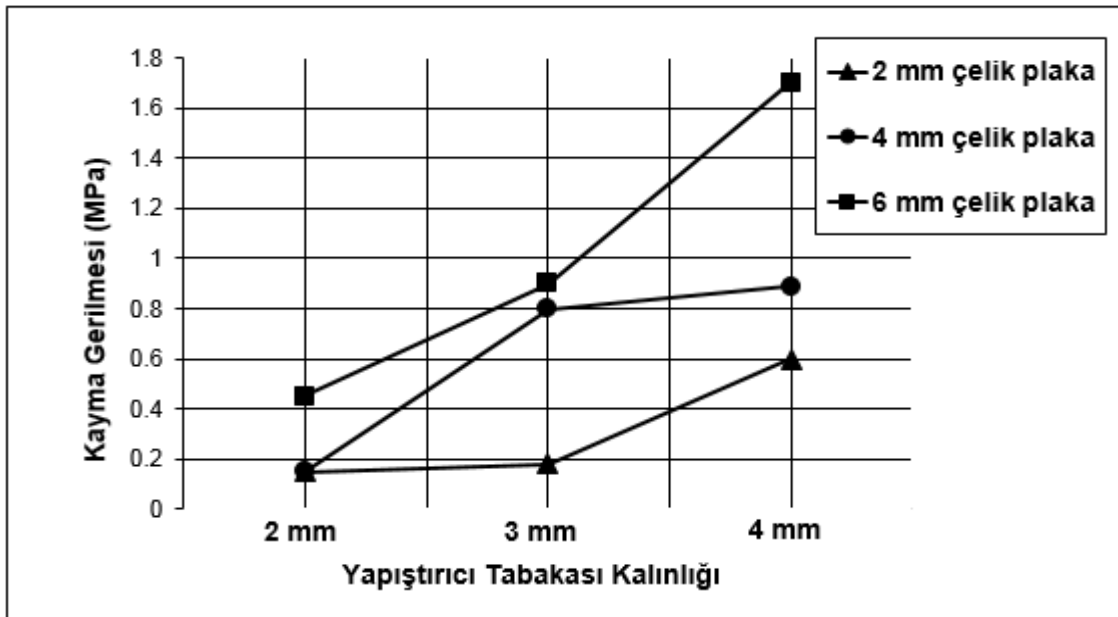


Şekil 4.76. C18 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (ANSYS)

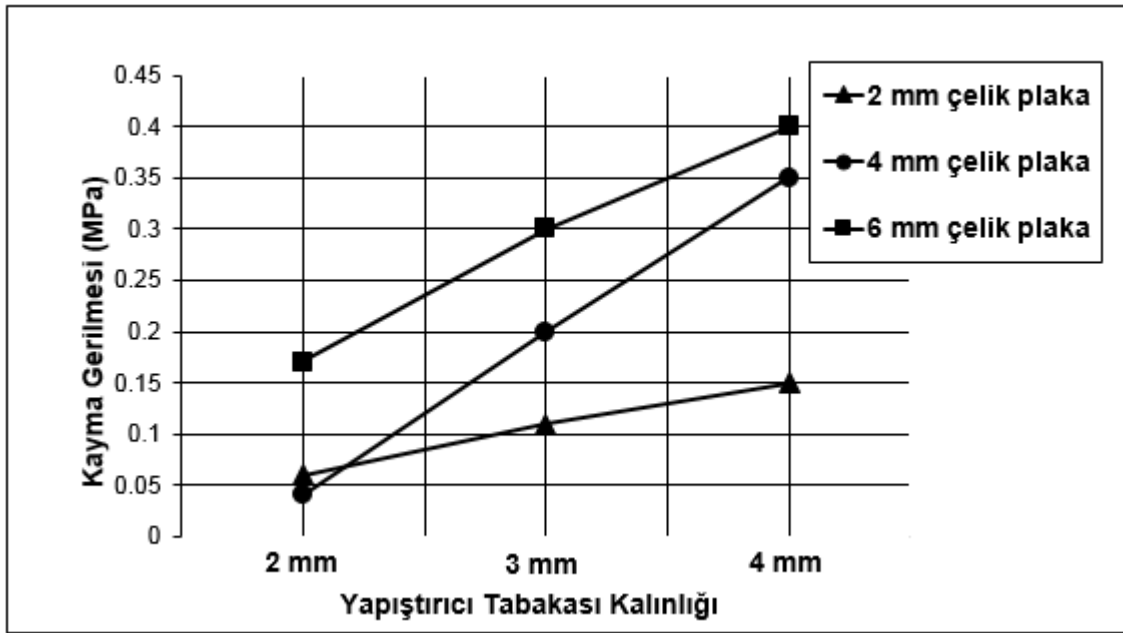


Şekil 4.77. C18 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (Simulation)

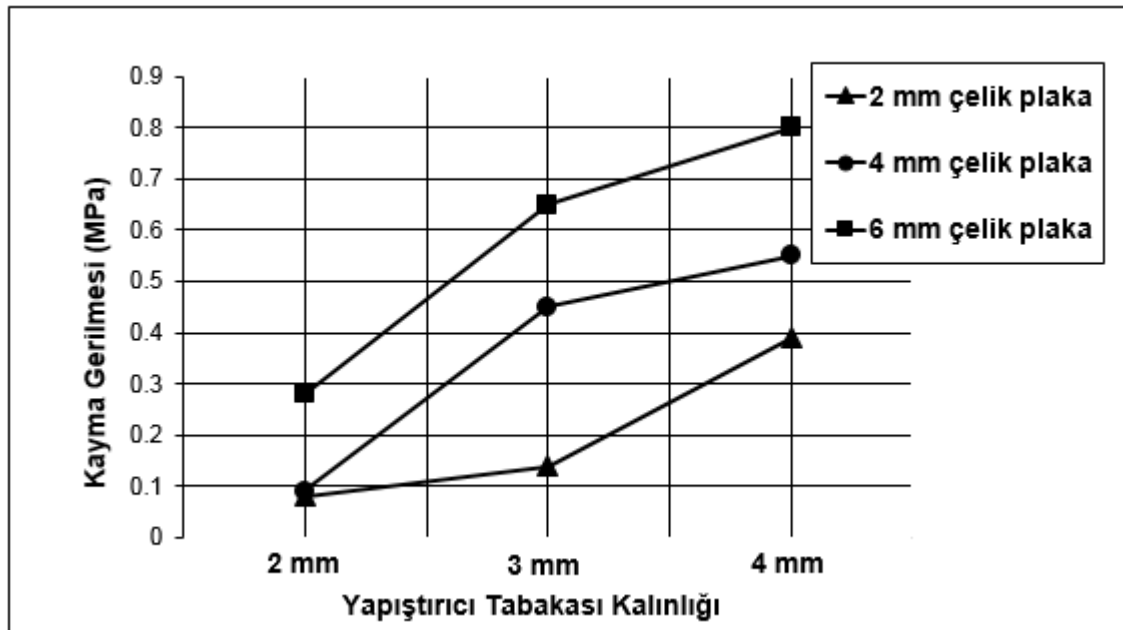
Şekil 4.75, Şekil 4.76 ve Şekil 4.77 incelendiğinde C18 betonu için deneysel yöntem, ANSYS ve Simulation programlarıyla yapılan analizlerde en büyük kayma gerilmelerinin 2 mm yapıştırıcı kalınlığında, en düşük gerilmelerin ise 4 mm yapıştırıcı kalınlığında olduğu tespit edilmiştir. Yapıştırıcı ve çelik plaka kalınlığı arttıkça kayma gerilmesi değerleri azalmıştır.



Şekil 4.78. C30 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (Deneysel)



Şekil 4.79. C30 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (ANSYS)



Şekil 4.80. C30 betonunda oluşan kayma gerilmeleri (Simulation)

Şekil 4.78, Şekil 4.79 ve Şekil 4.80 incelendiğinde C30 betonu için deneysel yöntem, ANSYS ve Simulation programlarıyla yapılan analizlerde en büyük kayma gerilmelerinin 4 mm yapıştırıcı kalınlığında, en düşük gerilmelerin ise 2 mm yapıştırıcı kalınlığında olduğu tespit edilmiştir. Yapıştırıcı ve çelik plaka kalınlığı arttıkça kayma gerilmesi değerleri artmıştır.

C18 betonunda en büyük kayma gerilmeleri 2 mm yapıştırıcı kalınlığında ve 2 mm çelik plaka kalınlığında gerçekleşirken, C30 betonunda 4 mm yapıştırıcı kalınlığında ve 6 mm çelik plaka kalınlığında gerçekleşmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çalışmanın deneysel kısmı incelendiğinde sadece 2 mm plaka kalınlığında çelik yüzeyinden ayrılmalar gerçekleşmiştir. Diğer 4 ve 6 mm plaka kalınlığında beton yüzeyinin soyulması şeklinde ayrılma olmuştur. Beton yüzeyinin soyulması şeklinde oluşan göçmelerde, betonun yapıştırıcı ile temas halinde olan bölgelerinin 1-2 mm derinlikte soyulduğu, buna karşılık betonun genel yapısının bozulmadığı görülmüştür.

C18 betonu için çelik plaka kalınlığı ve yapıştırıcı tabakası kalınlığı arttıkça göçme yükü azalmıştır. En büyük göçme yüküne 2 mm çelik plaka - 2 mm yapıştırıcı kalınlığında ulaşılrken, en düşük göçme yüküne 6 mm çelik plaka - 4 mm yapıştırıcı kalınlığında ulaşılmıştır.

C30 betonu için çelik plaka kalınlığı ve yapıştırıcı tabakası kalınlığı arttıkça göçme yükü de artmıştır. En büyük göçme yüküne 6 mm çelik plaka - 4 mm yapıştırıcı kalınlığında ulaşılrken, en düşük göçme yüküne 2 mm çelik plaka - 2 mm yapıştırıcı kalınlığında ulaşılmıştır.

C18 betonu için çelik plaka kalınlığı ve yapıştırıcı tabakası kalınlığı arttıkça kayma gerilmeleri değeri azalmıştır. Hem sonlu elemanlar yöntemi hem de deneysel yöntemde en büyük kayma gerilmelerine 2 mm çelik plaka - 2 mm yapıştırıcı kalınlığında ulaşılrken, en düşük kayma gerilmelerine 6 mm çelik plaka - 4 mm yapıştırıcı kalınlığında ulaşılmıştır.

C30 betonu için çelik plaka kalınlığı ve yapıştırıcı tabakası kalınlığı arttıkça kayma gerilmeleri değeri de artmıştır. Hem sonlu elemanlar yöntemi hem de deneysel yöntemde en büyük kayma gerilmelerine 6 mm çelik plaka - 4 mm yapıştırıcı kalınlığında ulaşılrken, en düşük kayma gerilmelerine 2 mm çelik plaka - 2 mm yapıştırıcı kalınlığında ulaşılmıştır.

C18 betonu için en büyük göçme yükü ve kayma gerilmesi değerleri çelik plaka ve yapıştırıcı tabakası kalınlığının düşük tutulduğu durumlarda, C30 betonu için ise yüksek tutulduğu durumlarda gerçekleşmiştir. Buradan düşük dayanımlı betonlarda çelik plaka ve yapıştırıcı kalınlığını düşük tutmanın, yüksek dayanımlı betonlarda ise yüksek tutmanın faydalı olacağı yorumu yapılabilir.

ANSYS, Simulation ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında en büyük birim deformasyon ve kayma gerilmeleri değerlerinin deneysel yöntemle elde edildiği görülmüştür. Diğer taraftan en küçük birim deformasyon değerleri Simulation sonuçlarında, en küçük kayma gerilmeleri değerleri de ANSYS sonuçlarında görülmüştür. ANSYS, Simulation ve deneysel sonuçlarının hepsinde kayma gerilmelerinin yükün uygulandığı üst kısımlarda yoğunlaştığı, alt kısımlara gidildikçe azaldığı görülmüştür.

5.2. Öneriler

Beton sınıfı, plaka ve yapıştırıcı tabakası kalınlıkları değiştirilerek; beton dayanımının, plaka ve yapıştırıcı tabakası kalınlığının kayma gerilmelerine etkisi yeniden araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Kayar, S. (2008). *Güçlendirilmiş / onarılmış betonarme kirişlerin rehabilitasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-2.
2. Doğangün, A. (2013). *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*.(10). İstanbul/Türkiye: Birsan Yayınevi, 3-4, 24-25, 27-32.
3. Şimşek, O. (2004). *Beton ve Beton Teknolojisi*.(1). Ankara/Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 16-17, 77-78.
4. TS 500, (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
5. Arslan, M. (2008). *Yapı Teknolojileri 2*.(1). Ankara/Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 68-70.
6. Ersoy, U. (2004). *Betonarme*.(2). İstanbul/Türkiye: Evrim Yayınevi, 68-70.
7. Şimşek, O. (2004). *Yapı Malzemesi 2*.(2). Ankara/Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 25-26.
8. Yörükçü, B. (2007). *Hasarlı yapıların onarım ve güçlendirme ilkeleri*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 8-10, 38-39, 49-51, 54-56.
9. Aydın, S., Solmaz M.Y., ve Turgut, Ş. (2011). *Epoksi ve Akrilik Bazlı Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi*. 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, 383-384.
10. Başhelvacı, Z.D. (2004) *Depremi betonarme prefabrike endüstri yapısına etkileri ve onarım / güçlendirme ilkeleri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 86-98.
11. Öztürk, K. (2001). *Depremi yapıya zararları ve deprem sonrası yapı onarım – güçlendirme ilkeleri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 96-110.
12. Ergin, C. (1998). *Betonarme yapıların onarım ve güçlendirme teknikleri ve çok katlı bir yapıya uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 40-43
13. DüNDAR, B. (2008). *Kesme yönünden yetersiz dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin cfrp ile güçlendirilerek kesme kapasitelerinin artırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-3.

14. Bulut, N. (2009). *Cfrp ile kesmeye karşı güçlendirilmiş betonarme kirişlerin sonlu elemanlar yöntemiyle doğrusal olmayan analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-3.
15. Özbek, E (2008). *T-kesitli betonarme kirişlerin kesme-eğilmeye karşı güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-3.
16. Şakar, G., ve Alku, Ö.Z. (2010). Etriyesiz betonarme kirişlerin CFRP levhalarla kesmeye karşı güçlendirilmesi. *İTÜ Dergisi*, 9(6), 3-12.
17. Kurtipek, Y.F. (2007). *Beton ile cfrp şeritler arasındaki kayma gerilmesi dağılımının deneysel olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-5.
18. Köse, M., ve Özgen, K. (2003). Betonarme elemanların çelik lamalarla güçlendirilmesi. *İTÜ Dergisi/a*, 2(1), 41-50.
19. Arslan, G., Sevük, F., ve Ekiz,İ. (2006). Çelik plaka ile güçlendirilen betonarme kirişlerde yan plakaların etkisi. *Deprem Sempozyumu*, 974-978.
20. Hanmehmet, Z., ve Hanmehmet, E.T. (2008). *Betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesi*. Ankara/Türkiye: Nobel Yayın, 466-467.
21. Arslan, G., Sevük, F., ve Ekiz,İ. (2006). Comparison of two and three dimensional nonlinear finite element analysis of strengthened reinforced concrete beam by using steel plate. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 67-74.
22. Triantafillou, T.C., and Plevris, N. (1992). Strengthening of RC beams with epoxy-bonded fibre-composite materials. *Materials and Structures*, 25, 201-211.
23. Taljsten, B. (1997). Defining anchor lengths of steel and CFRP plates bonded to concrete. *Int. J. Adhesion and Adhesives*, 17, 319-327.
24. Kara, M.E., ve Bayat, K. (2011). Betona yapıştırılmış ankrajlı lifli polimer levhaların araştırılması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 26(2), 253-261.
25. Köse,M., ve Özgen, K. (2003). Betonarme elemanların çelik lamalarla güçlendirilmesi. *İTÜ Dergisi/a*, 2(1), 41-50.
26. Aykaç, S., ve Özbek, E. (2011). T- kesitli betonarme kirişlerin çelik levhalar ile güçlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 5319-5334.
27. İlki, A., Demir, C., Karadeniz, A., ve Kumbasar N. (2003). Hasarlı betonarme elemanların çelik köşebent ve lamalar ile güçlendirilmesi. *İTÜ Dergisi/d*, 2(3), 3-16.

28. Tankut, T., ve Arslan, M. (1992). Epoksili çelik plakala ile güçlendirilmiş betonarme kiriş davranışı. *İMO Teknik Dergi*, 43, 575-584.
29. Arslan, G., Sevük, F., and Ekiz, İ. (2006). Comparison of two and three dimensional nonlinear finite element analysis of strengthened reinforced concrete beam by using steel plate. *Sigma*, 1, 67-74.
30. Can, Ö., ve Tokgöz, H. (2008). Çeşitli yöntemlerle güçlendirilen hasar görmüş betonarme kirişlerde performansların karşılaştırılması. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 3(4), 656-666.
31. Oh, B.H., Cho, J.Y., and Park, D.G. (2003). Failure behavior and separation criterion for strengthened concrete members with steel plates. *Journal of Structural Engineering*, 129, 1191-1198.
32. Ziraba Y. N., Baluch M. H., Basunbul, I. A., Azad, A.K., Al-Sulaimani, G. J., and Sharif, A. M. (1995). Combined experimental-numerical approach to characterization of steel-glue-concrete interface. *Materials and Structures*, 28, 518-525.
33. Barnes, R.A., and Mays, G.C. (2001). The transfer of stress through a steel to concrete adhesive bond. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 21, 495-502.
34. Adhikary, B.B., and Mutsuyoshi, H. (2006). Shear strengthening of RC beams with web-bonded continuous steel plates. *Construction and Building Materials*, 20, 296-307.
35. Kılıç, R. (2012). *Çelik çerçevelerin boyutlandırılmasında kiriş - kolon bağlantı türlerinin etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 59-70.
36. Omurtag, M.H. (2010). *Çubuk Sonlu Elemanlar*. (1). İstanbul/Türkiye: Birsan Yayınevi, 53,55.
37. Uyaroğlu, B. (2011). *Prefabrike betonarme kolonlardan düz yüzeyli yuvalı temellere aktarılan yüklemenin sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 9-17.
38. Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. Ürün Kataloğu
39. TS EN 12390-2,(2010) Sertleşmiş Beton Deneyleri - Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması Ve Küre Tabi Tutulması. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
40. Şık, A. (2004) Mıg/mag metodu ile kaynak yapılan yapı çeliği (st37-2) levhaların eğme yorulması gerilmesine çeşitli aktif gazlarının etkisi. *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*. 15: 45-57

41. TS EN 802, (2009) Beton karışım hesap ve esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
42. TS EN 12350-2, (2010) Taze beton deneyleri, çökme (slump) deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara,
43. TS EN 12390-3,(2010) Beton - sertleşmiş beton deneyleri -bölüm 3: deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
44. Savcı, M., ve Arpacı, A. (1999). *Mukavemet*. İstanbul/Türkiye: Birsen Yayınevi, 357-359.
45. Doğan, A.B. (2008). *Karbon polimer elyaflar ile güçlendirilmiş beton kirişlerin sonlu elemanlar metodu ile lineer olmayan analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 21-23.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILDIRIM, Yusuf
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.03.1983, Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (544) 738 10 91
Faks : 0 (344) 280 23 23
E-Posta : yyildirim@ksu.edu.tr



Eğitim

Derece	Okul/Program	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Yapı Eğitimi	2014
Lisans	Gazi Üniversitesi/Yapı Eğitim	2008
Lise	Ankara Ticaret Meslek Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2013-Halen	KSÜ- Andırın Meslek Yüksekokulu	Öğretim Görevlisi
2012-2013	Betonel A.Ş.	Proje Hazırlama
2011-2012	Es Proje Mühendislik LTD.ŞTİ.	Proje Hazırlama

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap okumak, Seyahat etmek



GAZİ GELECEKTİR..