TRM ile Güçlendirilmiş Döşemelerin Çarpma Yükü Altındaki Davranışının Sayısal Analizi

Ahmet Muhammed ULUDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2022

Numerical Analysis Of The Behavior Of Slabs Reinforced With TRM Under The Impact Load

Ahmet Muhammed ULUDOĞAN

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department Of Civil Engineering

February 2022

TRM ile Güçlendirilmiş Döşemelerin Çarpma Yükü Altındaki Davranışının Sayısal Analizi

Ahmet Muhammed ULUDOĞAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Mekanik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Selim ŞENGEL

Bu Tez Çalışması 2020 – 15006 Proje Koduyla ESOGÜ-BAP (Bilimsel Araştırma Projesi) Kapsamında Desteklenmiştir

Şubat 2022

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez tazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Hasan Selim ŞENGEL danışmanlığında hazırlamış olduğum "TRM ile Güçlendirilmiş Döşemelerin Çarpma Yükü Altındaki Davranışının Sayısal Analizi" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 01/02/2022

Ahmet Muhammed ULUDOĞAN

İmza

ÖZET

Bu çalışmada Textile Reinforced Mortar (TRM) malzemesi ile güçlendirilmiş hasır donatılı betonarme döşemelerin belirli bir yükseklikten bırakılan kütlenin çarpma yükü etkisi altındaki davranışının sayısal olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu tekstil malzemelerin yerleşim yerleri ve şekilleri çeşitlilik göstermektedir. Toplamda 17 adet farklı boyutlarda ve farklı dizilim sağlanmış döşemeler modellenmiştir. Öncelikle 1000x1000x80 mm boyutlarında betonarme döşemeler deneysel olarak çalışmalar yapılmış olup ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen değerler LS DYNA adlı bir sonlu elemanlar çözücüsü bilgisayar programı yardımıyla analizi yapılan numunelerin, karşılaştırılması yapılmıştır. Betonarme döşemeler ortogonal ve diyagonal şeklinde 50 mm ve 100 mm ebatlarındaki TRM şeritleri kullanılarak güçlendirilmiştir. Betonarme döşemesine etkiyen çarpma yüklerinin sonucunda elde edilen betonarme döşemenin ivme, deplasman, birim deformasyon ve kalıcı deplasman değerleri ölçülmüştür. Aynı zamanda döşemede oluşan hasar renkli grafik halinde gösterilmiştir. Bu çalışma akabinde, darbe yükünün güçlendirme yöntemi uygulanan betonarme döşemelerin davranışları üzerindeki etkileri sayısal analiz olarak araştırılmış ve yorumlanmıştır. Ayrıca nümerik sonuçların deneysel sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Textile Reinforced Mortar (TRM), Betonarme döşeme, çarpma yükü, Dinamik davranış, LS DYNA, sonlu elemanlar analizi,

SUMMARY

In this study, It is aimed to numerically investigate the behavior of the reinforced concrete slabs reinforced with Textile Reinforced Mortar (TRM) material under the impact load of the mass dropped from a certain height. The locations and the shapes of these textile materials vary. A total of 17 slabs in different sizes and with different arrangement were modeling. First of all, 1000x1000x80 mm reinforced concrete slabs were experimentally studied and the values obtained as a result of these studies were compared with the samples analyzed with the help of a finite element solver computer program called LS DYNA. Reinforced concrete slabs are reinforced orthogonally an diagonally using 50mm and 100mm wide TRM strips. The acceleration, displacement, strain and residual displacement values of the reinforced concrete slab obtained as a result the impact loads acting on the reinforced concrete slab were measured. At the same time, the damage to the slabs is shown in color graphics. As a result of this study, the effects of the impact load on the behavior of reinforced concrete slabs on which the reinforcement method was applied were determined and interpreted as numerical analysis. Additionally, numerical results were compared with experimental results.

Keywords: Textile Reinforced Mortar (TRM), Reinforced Concrete, İmpact Load, Dynamic behavior, Finite element analysis, LS DYNA

TEŞEKKÜR

Bu tez kapsamında yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteği sunan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan Selim ŞENGEL' e teşekkürlerimi sunarım. Bütün tez çalışmam boyunca çalışmamı yönlendiren bilgisini, emeğini, deneyimini paylaşan Dr. Öğr. Üyesi Tolga YILMAZ ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan EROL hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada çeşitli kısımlarda yer alan ve emeği geçen bütün öğrenci arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma kapsamında 2020 – 15006 kod numaralı "Karbon Tekstil ile Takviye Edilmiş Sıva Katmanı ile Güçlendirilmiş Çift Doğrultulu Betonarme Döşemelerin Çarpma Yüklemesi Etkisi Altındaki Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi" adlı BAP projesinden burs aldığımdan ötürü ESOGÜ BAP (Bilimsel Araştırma Projesi) kurumuna teşekkürlerimi sunarım.

Tez aşamamda ve hayatımın bütün alanında her zaman desteklerini hissettiğim kıymetli ailem; annem Ayşegül ULUDOĞAN' a, babam Arif ULUDOĞAN' a teşekkürlerimi en içten duygularımla sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vi**
SUMMARY ..... **vii**
TEŞEKKÜR ..... **viii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xviii**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xix**
1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **4**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **12**
3.1. Materyal 12
3.1.1. Ölçüm Düzenek Aleti 12
3.1.1.1. Kütle Düşürücü Düzenek 12
3.1.1.2. Kauçuk ve Çelik Plaka 14
3.1.1.3. Piezoelektrik İvmeölçerler 15
3.1.1.4. Kuvvet Algılayıcı 17
3.1.1.5. Potansiyometrik Lineer Cetvel 19
3.1.1.6. Strain-Gauge 22
3.1.1.7. Veri Toplayıcılar 23
3.1.2. Deney Malzemelerin Özellikleri 27
3.1.2.1. Beton 28
3.1.2.2. Donatı Çeliği 28
3.1.2.3. Textile Reinforced Mortar (TRM) 29
3.1.2.4. Epoksi 34
3.1.3. Deney Numunelerinin Deneye Hazır Hale Gelmesi 36
3.2. Yöntem 45

İÇİNDEKİLER

Sayfa

3.2.1. Deneysel Yöntem 45
3.2.2. Sayısal Analiz Yöntem 49
3.2.2.1. Geometrik Modelin Oluşturulması 49
3.2.2.2. Malzeme Özellikleri ve Davranışlarının Belirlenmesi 52
3.2.2.3. Modele Sonlu Elemanlar Mesh Özelliklerinin Atanması 57
3.2.2.4.Yük ve Mesnet Koşullarının Belirlenmesi 63
3.2.2.5. Kesit Özelliklerinin Atanması 65
3.2.2.6. Analiz Düzenlemelerin Yapılması 69
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 78
4.1. Bulgular 78
4.1.1. S1 Deney Numunesi 78
4.1.2. S2 Deney Numunesi 82
4.1.3. S3 Deney Numunesi 86
4.1.4. S4 Deney Numunesi 90
4.1.5. S5 Deney Numunesi 94
4.1.6. S6 Deney Numunesi 97
4.1.7. S7 Deney Numunesi 101
4.1.8. S8 Deney Numunesi 104
4.1.9. S9 Deney Numunesi 108
4.1.10. S10 Deney Numunesi 111
4.1.11. S11 Deney Numunesi 115
4.1.12. S12 Deney Numunesi 118
4.1.13. S13 Deney Numunesi 122
4.1.14. S14 Deney Numunesi 125
4.1.15. S15 Deney Numunesi 129
4.1.16. S16 Deney Numunesi 132
4.1.17. S17 Deney Numunesi 136

İÇİNDEKİLER

Sayfa

4.2. Tartışma 139
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 161
KAYNAKLAR DİZİNİ 163

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

3.1. Ağırlık düşürücü düzenek……..……..……...13
3.2. Çekiç ve vidalama sistemi……..……..…..14
3.3. Plaka - kauçuk montaj……..……..……..……..15
3.4. 352B70 model ivmeölçer…….....16
3.5. Pirinç ve ivmeölçer montajı……...……...…16
3.6. 200C50 Model kuvvet algılayıcı……..…….....18
3.7. Kuvvet algılayıcı montajı……..……....18
3.8. Doğrusal potansiyometrik cetvel……...20
3.9. Deneyde sarf edilen potansiyometrik cetveller……...……..21
3.10. Strain-gauge yapısı……..22
3.11. Strain-gauge montajı…….…..……....23
3.12. NI 9234 veri ekipmanı…….……...…….24
3.13. NI 9201 veri ekipmanı…….25
3.14. NI 9235 veri alma ekipmanı…….……...……...…….....25
3.15. NI cDAQ-9174 veri ana gövde ekipmanı……..…...…….....26
3.16. Beton karışım oranı…….....28
3.17. Donatı çeliği……..……...…29
3.18. TRM görünümü…….……...…30
3.19. TRM malzemesi teknik özellikleri…….…….33
3.20. Sikadur/330 bileşimi……...…….....34
3.21. Betonarme döşemenin detayları……..…….…...37
3.22. Betonarme elemanların hazır hale gelmesi…….…....38
3.23. 50 mm genişliğinde TRM şeritlerin yerleşim şekilleri……..…..39
3.24. 100 mm genişliğinde TRM şeritlerin yerleşim şekilleri……..…....40
3.25. 50 mm ve 100 mm genişliğinde TRM şeritlerin ankraj yerleri…….…….....41
3.26. Şeritlerin yerleştirileceği alanların belirlenmesi……...……...…42
3.27. Ankrajlı TRM şeritlerin döşemelere yapıştırılması…….……43
3.28. Döşeme elemanların TRM ile güçlendirilmesi…….…..44

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

3.29. Çelik plaka, ivme ve deplasman ölçü aletlerin yerleşim detayı……..…...47
3.30. Betonarme döşemelerin deneye hazır hale getirilmesi……....48
3.31. Deneysel modelin LS DYNA programında oluşturulması…….....50
3.32. Tetrahedron 10 noktalı şekil elemanı…….….51
3.33. Line eleman…….....52
3.34. CONSTRAINED_LAGRANGE_IN_SOLID tanımlanması…….....55
3.35. TRM şeritlerin materyal özelliklerinin tanımlanması…….....56
3.36. Çelik plakanın materyal özelliklerinin tanımlanması……..……....56
3.37. Çelik çekiç materyal özelliklerinin tanımlanması…….…..…57
3.38. Donatı çeliğinin sonlu elemanlara bölünme işlemi…….....58
3.39. Betonarme döşemenin sonlu elemanlara bölünme işlemi……...…59
3.40. Çelik plakanın sonlu elemanlara bölünme işlemi……....60
3.41. Çelicin sonlu elemanlara bölünme işlemi…….…..60
3.42. TRM şeritlerin sonlu elemanlara (mesh) bölünme işlemi…….…..…61
3.43. TRM şeritlerin mesh işlemlerinin tek part haline getirilmesi……..…….....62
3.44. Sonlu elemanlara bölünme işlemlerin genel görünümü…….….62
3.45. Sisteme yük atamasının yapılması…….…….…63
3.46. Mesnet noktalara bir grup oluşturulması…….....64
3.47. Mesnet atanması yapılma işlemi…….…….....64
3.48. Kesit özelliklerinin atanması…….……..66
3.49. PART özelliklerinin girilmesi…….……....68
3.50. Plaka ile çekiç arasındaki AUTOMATIC_SURFACE TO SURFACE kontak elemanının düzenlenmesi ……....69
3.51. Ankrajsız TRM şeritlerinin TIEBREAK_SURFACE TO SURFACE kontaklarının düzenlenmesi……..……..…70
3.52. Ankrajlı TRM şeritlerinin TIEBREAK_SURFACE TO SURFACE kontaklarının düzenlenmesi……...……71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

3.53. Ankrajlı TRM şeritlerinin TİED_SURFACE TO SURFACE kontak düzenlemesi…….…….72
3.54. Beton ile çelik donatı arasındaki aderansın sağlaması…….....73
3.55. TERMINATION ve D3PLOT tanımlamaların yapılması…….……..74
3.56. Bütün TRM şeritli betonarme döşemelerin gösterimi…….…....77
4.1. Referans ivme-zaman grafik değerleri…….…….79
4.2. Referans yer değiştirme-zaman grafik değerleri…….…..…80
4.3. Referans numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı…….……..…81
4.4. Referans deney numunelerine ait darbe yükü/zaman grafiği……..…..……..……81
4.5. C50sOr ivme-zaman grafik değerleri…….……...83
4.6. C50sOr yer değiştirme-zaman grafik değerleri…….…….....83
4.7. C50sOr numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı…….....84
4.8. C50sOr deney numunelerine ait darbe yükü/zaman grafiği…….....……...….85
4.9. C50sOr deney numunelerine ait birim deformasyon-zaman grafiği……..…85
4.10. C50dOr ivme-zaman grafik değerleri……..…....87
4.11. C50dOr yer değiştirme-zaman grafik değerleri……...…87
4.12. C50dOr numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı……..……..…88
4.13. C50dOr deney numunelerine ait darbe yükü-zaman grafiği…….....…….….89
4.14. C50dOr deney numunelerine ait birim deformasyon-zaman grafiği……...…....89
4.15. C50sDi ivme-zaman grafik değerleri…….....91
4.16. C50sDi yer değiştirme-zaman grafik değerleri…….……...…91
4.17. C50sDi numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı…….…..…92
4.18. C50sDi deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği……...……...……93
4.19. C50sDi deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği…….....93
4.20. C50dDi ivme-zaman grafik değerleri…….…….....94
4.21. C50dDi yer değiştirme-zaman grafik değerleri…….……..…95
4.22. C50dDi numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı……...…96

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

4.23. C50dDi deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği……..…….....96
4.24. C50dDi deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği…….…....97
4.25. C100sOr ivme-zaman grafik değerleri…….……...98
4.26. C100sOr yer değiştirme-zaman grafik değerleri…….....98
4.27. C100sOr numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı…….……99
4.28. C100sOr deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği……...……..….100
4.29. C100sOr deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği…….....100
4.30. C100dOr ivme-zaman grafik değerleri……..….....101
4.31 C100dOr yer değiştirme-zaman grafik değerleri……..…..102
4.32. C100dOr numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı……..…….103
4.33. C100dOr deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği…….....…….103
4.34. C100dOr deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği……..…...104
4.35. C100sDi ivme-zaman grafik değerleri…….....105
4.36. C100sDi yer değiştirme-zaman grafik değerleri……...……105
4.37. C100sDi numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı……...……106
4.38. C100sDi deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği……...……...…107
4.39. C100sDi deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği……..…107
4.40. C100dDi ivme-zaman grafik değerleri……..…….……...108
4.41. C100dDi yer değiştirme-zaman grafik değerleri……..…….……109
4.42. C100dDi numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı……..…….……110
4.43. C100dDi deney numunesine ait darbe kuvveti/zaman grafiği…….....110
4.44. C100dDi deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği…….....111
4.45. C50sOr-A ivme-zaman grafik değerleri……....112
4.46. C50sOr-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri…….....112
4.47. C50sOr-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı…….…....113
4.48. C50sOr-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği……..…….....114
4.49. C50sOr-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği……..…….114

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

4.50. C50dOr-A ivme-zaman grafik değerleri……..…..…115
4.51. C50dOr-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri…….…...116
4.52. C50dOr-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı…….…...117
4.53. C50dOr-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği……...…….…..…..117
4.54. C50dOr-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği……..….118
4.55. C50sDi-A ivme-zaman grafik değerleri……...….119
4.56. C50sDi-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri…….....119
4.57. C50sDi-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı…….....120
4.58. C50sDi-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği…….……...121
4.59. C50sDi-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği……...…121
4.60. C50dDi-A ivme-zaman grafik değerleri……..…..122
4.61. C50dDi-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri……..……...123
4.62. C50dDi-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı……..…...124
4.63. C50dDi-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği…….…...…….…...124
4.64. C50dDi-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği……..…….125
4.65. C100sOr-A ivme-zaman grafik değerleri…….….126
4.66. C100sOr-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri…….....126
4.67. C100sOr-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı……...…127
4.68. C100sOr-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği……...…….….128
4.69. C100sOr-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği…….…....128
4.70. C100dOr-A ivme-zaman grafik değerleri…….……129
4.71. C100dOr-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri…….…….130
4.72. C100dOr-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı……...…131
4.73. C100dOr-A deney numunesine ait çarpma yükü-zaman grafiği…….…….....131
4.74. C100dOr-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği…….....132
4.75. C100sDi-A ivme-zaman grafik değerleri…….….133
4.76. C100sDi-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri……...…133

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil **Sayfa**

4.77. C100sDi-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı……..…134
4.78. C100sDi-A deney elemanına ait darbe yükü/zaman grafiği……..….....135
4.79. C100sDi-A deney elemanına ait birim deformasyon-zaman grafiği…….....135
4.80. C100dDi-A ivme-zaman grafik değerleri……..……....136
4.81. C100dDi-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri……..…..…137
4.82. C100dDi-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı…….....138
4.83. C100dDi-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği…….....138
4.84. C100dDi-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği…….…....139
4.85. Deney ile sayısal analiz sonuçlarının ivme grafiği……....153
4.86. Deney ile sayısal analiz sonuçlarının deplasman grafiği……..….153

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

3.1. 352B70 Model ivmeölçerlerin standart özelliği…..……..17
3.2. 200C50 Model kuvvet algılama standart özelliği…….....…….19
3.3. Potansiyometrik cetvelin standart özelliği.……...20
3.4. NI 9234 veri alma ekipmanı standart özelliği…...……..……..24
3.5. NI 9201 veri algılama ekipmanı standart özelliği.……..……..25
3.6. NI 9235 veri alma aygıtı standart özelliği……...……..26
3.7. NI Cdaq-9174 veri ana gövde ekipmanı standart özellikleri.....27
3.8. TRM malzemesinin özellikleri……..30
3.9. Sikadur/330 standart özelliği……..……...35
3.10. Deney numunelerin özellikleri……46
4.1. Deneyden elde edilen sonuçlar……140
4.2. Deney sonucu ile nümerik sonucun karşılaştırılması……..152

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
Cm	Santimetre
M	Metre
Mm	Milimetre
g	Yerçekimi ivmesi
gr	Gram
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
N	Newton
Pa	Pascal
MPa	Megapascal
dB	Desibel
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
kJ	Kilojoule
V	Volt
mV	Milivolt
s	Saniye
ms	Milisaniye
ns	Nanosaniye
Ω	Ohm
Q	Çap
°C	Santigrat derece

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar	Açıklama
CFRP	Karbon lif takviyeli polimer
GFPR	Cam lif takviyeli polimer
FRP	Lif takviyeli polimer
AFRP	Aramit lif takviyeli polimer
BFRP	Bazalt lif takviyeli polimer
RUHPFC	Donatılı ultra yüksek performanslı fiber beton
C50dDi	Karbonlu 50mm double diagonal
C50dOr	Karbonlu 50mm double ortogonal
C50sDi	Karbonlu 50mm single diagonal
C50sOr	Karbonlu 50mm single
C100dDi	Karbonlu 100mm double diagonal
C100dOr	Karbonlu 100mm double ortogonal
C100sDi	Karbonlu 100mm single diagonal
C100sOr	Karbonlu 100mm single
C50sDi-A	Karbonlu 50mm single diagonal ankrajlı
C50sOr-A	Karbonlu 50mm single ortogonal ankrajlı
C50dOr-A	Karbonlu 50mm double ortogonal ankrajlı
C50dDi-A	Karbonlu 50mm double diagonal ankrajlı
C100sDi-A	Karbonlu 100mm single diagonal ankrajlı
C100sOr-A	Karbonlu 100mm single ortogonal ankrajlı
C100dOr-A	Karbonlu 100mm double ortogonal ankrajlı
C100dDi-A	Karbonlu 50mm double diagonal ankrajlı
TRM	Textile_Reinforced_Mortar

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Beton günümüzde kullanılan yaygın ve kullanışlı yapı malzemelerinden biridir. Beton kullanımında başlıca tercih edilmesinin nedenleri; donatı ile kullanıldığında hem basınç hem de çekme dayanımına sahip olması, yangına ve hava şartlarına karşı dayanıklı olması, başta plastik davranış gösterip sonradan sertleştiği için kolay işlenebilir olması, ekonomik olması ve istenilen yerde üretilebilir olması diye sıralanabilir. Beton; kum, çakıl (veya kırma taş, hafif agrega vb.), çimento, su ve çeşitli katkıların (kimyasal ve/veya mineral) karıştırılmasından elde edilen kompozit bir malzemedir. Beton gevrek bir malzeme özelliği taşıyan, aşırı basınç dayanımına ve cüzi çekme dayanımına sahiptir. Betonun eğilme ve çekme dayanımını yükseltmek için esnek davranış sergileyen çelik donatı ile güçlendirilmesiyle betonarme sistemler elde edilmiştir (Erson,2020).

Beton ve çelikten oluşan malzemenin betonarme olması için bu iki malzemenin birbirleriyle kaynaşmış olması gerekir. Beton ve çeliğin birlikte çalışmasını sağlayan bu olaya, kenetlenme veya aderans adı verilir. İki malzeme arasında oluşan kenetlenme gerilmeleri, çeliğin betondan sıyrılmasını önler.

Betonarme yapı elamanları, hizmet ömürleri boyunca statik yüklerin yanı sıra deprem, rüzgar, yorulma ve çarpma yükleri gibi dinamik yüklere de maruz kalmaktadır. Çarpma yükleme durumu her yapıda dikkat edilmesi gereken bir husus olmayabilir. Ama bazı önemli betonarme yapılarda çarpma yüklemesi dikkat edilmesi gereken önemli bir dinamik davranıştır. Çarpma durumunu meydana getiren olaylar örneğin; karayollarında bulunan betonarme yapılara (yol ayrımını sağlamak için kullanılan betonarme bloklar) araç çarpması, köprü ayaklarına gemilerin çarpması, betonarme yapılara otomobil, uçak vb. araçların çarpması, toprak kayması sonucunda kaya parçaların betonarme yapı elemanlarına çarpması gibi durumlar örnek verilebilir.

Betonarme döşemeler inşaatlarda yaygın olarak kullanılan yapı elamanlarıdır. Döşemeler hem düşey statik hem de dinamik yüklerin etkileri dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Çarpma yükü ise diğer yapı elemanları gibi döşemelerin tasarım sürecinde de göz ardı edilen bir yüktür. Betonarme döşemelerin darbe yükü altındaki

davranışı halen tam olarak anlaşılmayan bir araştırma alanıdır. Bununla birlikte çarpmaya dayanıklı tasarım prosedürleri geliştirmek ve çarpma yüküne maruz kalan betonarme yapıların performansını iyileştirmek için önemli çalışmalar yapılmıştır. Ancak statik ve dinamik yüklerin etkisi altında olan çalışmalara kıyasla çarpma yükü konusunda çok sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu yetersiz çalışmanın en önemli nedenlerinden biri, dinamik darbe yüküne maruz kalan yapıların analizlerinin ve tasarımının genellikle çok karmaşık olması ve bu analizlerin elastik olmayan davranış gösteren yapılarla çalışırken daha karmaşık hale gelmesidir. Bazı çalışmalarda, deneyler bilgisayar programlarında modellenerek elde edilen değer sonuçları nihai deney verileriyle uyumluluğunu karşılaştırılarak, deney sonuçlarına eş düzeyde bulgular verebilen sonlu elemanlar modeli meydana getirilmeye çalışılmıştır.

Betonarme yapılar çok uzun ömürlü kullanıldıklarından dolayı bazen betonarme yapı elemanlarının farklı nedenlerden dolayı güçlendirilmesi gerekebilir. Bu nedenlerden bazıları; yapının kullanım amacının değişmesi, ihtiyaç artışına bağlı olarak yapıdaki yüklerin artması, çevresel etkilerden kaynaklanan korozyon hasarı, proje ve imalat aşamalarında yapılan hatalar olarak örnekler verilebilir. Bu veya benzeri nedenlerle betonarme döşemelerin güçlendirilmesi kullanılabilir. Betonarme döşemelerin çelik şeritlerle parçalarla yapıştırma gibi güçlendirme teknikleri ve benzeri birçok yöntem bulunmaktadır. Ancak bazı kullanılan yöntemlerde, eleman ağırlığının artması, korozyon ve yangından etkilenmesi gibi dezavantajları vardır. Ayrıcı bazı yöntemler yapının her tarafına uygulanamaz. Çünkü ciddi bir işçilik gerektirir. Bu nedenlerden ötürü çalışmada TRM malzemesi kullanılmaya başlanılmıştır. Bunun yanında başka malzemeler de kullanılabilir. Örneğim karbon lif takviyeli polimer (CFRP), bazalt lif takviyeli polimer (BFRP), lif takviyeli polimer (FRP) gibi sıralanabilir. Bu tür malzemeler daha hafif olması, korozyona ve çevre koşullarına karşı dayanıklı olması, farklı ve her türlü yüzeye uygulanabilir olması ve çok yüksek çekme mukavemeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Literatürde betonarme elamanların statik ve dinamik yükler altında davranışlarını inceleyen birçok çalışma vardır. TRM ile güçlendirilmiş betonarme döşemelerin düşük hızda darbe etkisinde olan araştırmalar yeteri kadar fazla değildir. Bu nedenle TRM

şeritleriyle güçlendirilmiş betonarme döşemelerin darbe etkisi altında davranışlarının sayısal analizi amaçlanmıştır.

Araştırma gözlemlerinde darbe kuvveti etkisi altındaki, nihai taşıma kapasitesi yetersiz betonarme döşemeler, TRM ile güçlendirme yapılarak, davranışı deneysel olarak incelenmiş ve LS DYNA programında sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Bu değerler deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneyde 16 adet 1000x1000x80 mm ölçülerinde betonarme döşemeler kullanılmıştır. Betonarme döşemelerin darbe etkisindeki davranışı, 84 kg ağırlığında 1,5 m yüksekliğinden bırakılan ağırlık düşürücü alet ile deneye tabi tutulmuştur. Beton basınç dayanımın ağırlığı, yukarıdan bırakılan kütlenin ağırlığı ve düşüm yüksekliği aynı kalıp, araştırmada 50 mm ve 100 mm iki çeşit TRM şerit genişliğinde ve dört çeşit TRM şerit yerleşimi, değişiklik göstererek araştırılmıştır. LS DYNA programından ivme-zaman, deplasman-zaman ve kalıcı deplasman-zaman grafik dağılımları bulunmuş olup bu değerler deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve uygulanan güçlendirme detaylarının betonarme döşemelerin çarpma davranışı üzerindeki etkileri program yardımıyla sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Aynı zamanda bu programdan döşemenin çarpımından sonra davranış şekli görsel olarak gösterilmiş olup deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Darbe yüklemesi altındaki betonarme elemanlar ile ilgili geniş kapsamlı literatür incelenmeleri sağlandığında, bu elemanların çelik liflerle güçlendirilmesi, donatı yerleşimi, onarım ve güçlendirme işlemlerinde kullanılmakta olan farklı materyaller ile betonarme elemanların kuvvetlendirilmesi gibi çeşitli parametrelerin çarpma etkisi deneysel ve nümerik analiz halinde incelenmiştir. Araştırmalar içeriğinde genellikle kütle düşürülmesiyle test ekipmanları kullanılmıştır. Nümerik analiz hesaplarında ise ANSYS, ABAQUS ve LS DYNA gibi sonlu eleman çözücü programlardan yararlanılmıştır. Bu kısımda literatürdeki beton ve betonarme elemanların çarpma yükü etkisi altındaki davranışlarını konu alan çalışmalar açıklanmıştır.

Vimal Kumar, M.A. Iqbal ve A.K. Mittal (2018) tarafından yapılan çalışmada, Ön gerilmeli betonarme döşemelerin, 500mm ve 1000mm yüksekliğinden 243 kg çekiç düşürücü alet ile çarpma etkisi incelenmiştir. 800x800x100 mm ebatlarında olan betonarme döşemeler başlangıç karakteristik basınç dayanımının (40 N/mm^2) yaklaşık olarak %10'u ve %20'si indüklenmiştir ve tam merkezinden darbe etkisine maruz kalmıştır. Darbe kuvveti, mesnet tepkileri ve sonuçta ortaya çıkan yer değiştirme gibi dinamik tepkiler incelenmiş ve aynı zamanda eşdeğer ön gerilmeli olmayan betonarme döşemelerle de karşılaştırma yapılmıştır. ABAQUS/EXPLICIT sonlu elemanlar çözücüsü programından, hem indüklenmiş ön gerilmeli döşemelerin hem de ön gerilmeli olmayan betonarme döşemeler hasar mekaniğini simülasyon olarak çözülmüştür. Döşemelerdeki tepe yer değiştirmeyi hesaplamak için mekanik prensibine dayalı basitleştirilmiş bir analitik model yapılmış ve böylece gerçek sonuçlarla doğrudan karşılaştırma kolaylaştırılmış. Sonlu eleman simülasyonlarının amacı, betonda ön gerilmelerin transfer ve gelişiminin mekaniğini ve bunun, çarpma etkisi altında indüklenen hasar üzerindeki sonuçtaki etkisini sayısal olarak araştırmaktı. Problemin simülasyonu ABAQUS/EXPLICIT sonlu elemanlar kodu kullanarak iki adımda gerçekleştirilmiştir; ilk adımda tellere ilk gerilim verilerek betondaki ön gerilmenin transferi analiz edilirken, ikinci adımda çarpma etkisi simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan tepe darbe kuvveti ve mesnet reaksiyonları, ön gerilmeli betonarme döşemelere karşı eşdeğer betonarme döşemelere göre daha yüksek bulunmuştur. Tepe darbe kuvveti ve tepki, %10

ön gerilmeli levhaya karşı sırasıyla %12 ve %32, %20 ön gerilmeli levhaya karşı ise %11 ve %31 artmıştır. Sayısal sonuçlar sırasıyla %15 ve %14 sapma içinde tepe etkisi ve tepe kuvveti öngörülmüştür. Ayrıca deney sonuçlarında da ön gerilmeli beton levhaların, eşdeğer ön gerilmeli olmayan beton levhalara kıyasla daha az pik yer değiştirme yaşadığı bulunmuştur. Ön gerilmeli beton döşemede merkezdeki tepe deplasmanındaki maksimum azalma sırasıyla %10 ve %20 indüklenen gerilme ile %19,4 ve %32,8 olarak bulunmuştur. Bu nedenle ön gerilmeli beton levhaların eşdeğer ön gerilmeli beton levhaya kıyasla daha yüksek darbe direnci sunduğu sonucuna varılabilir.

Bhatti vd. (2011) aracılığıyla incelenen araştırmada altındaki kısmı AFRP ve CFRP şeritlerle kuvvetlendirilmiş betonarme döşemenin darbe etkisini araştırmak için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Betonarme döşemelerin darbe etkisini ağırlık düşürücü bir alet ile incelenmiş ve test edilmiştir. Deneyde on iki tane 1650x1650x150 mm ebatlarında hasır donatı ile sağlamlaştırılmış beton döşemeler kullanılmıştır. Betonarme döşemenin iki kenarı basit mesnetle tutulmuş, diğer iki kenarı ise serbest bırakılmıştır. Darbe etkisi 300 kg'lık çelik çekiç ile ağırlık düşürülmesiyle sağlanmıştır. Tekil yükleme ve arttırılmış yükleme olarak iki farklı yüke tabi tutulmuştur. Artımlı yükleme 1 m/sn başlangıç hızından 4 m/sn hızına 1 m/sn hız artırımıyla uygulanmıştır. 4 m/sn den sonra plak kırılana kadar 0,5 m/sn hız artırımı sağlanmıştır. Deneyde sağlanan sonuçlarda, betonarme plakların tamamı için elastik sınırın 3 m/sn darbe hızına tekabül ettiği bulunmuştur. Deneyde elde edilen çatlak kalıntıları plağın çift yönde aktığı gözlemlenmiş. Bu nedenle iki doğrultuda AFRP ile güçlendirilmenin daha avantajlı olduğu saptanmıştır. Dinamik arttırma faktörü değerini yükleme şekline, malzeme özelliklerine ve AFRP şerit hacimden bağımsız olduğu saptanmıştır. Betonarme döşemelerin darbe etkilerine karşı dayanımı, plakların alt yüzüne tutulan FRP güçlendirme ile arttırılabileceği sonucu elde edilmiştir.

Özgür Anıl, Nevzat Kıraç ve Tolga Yılmaz (2018) tarafından yapılan çalışmada, iki yönlü betonarme döşemelerin CFRP ile güçlendirilip düşük hızda çarpma etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada 1000x1000x80 mm ebatlarında betonarme döşemelerin altında 9 farklı 50mm ve 100mm genişliklerinde CFRP şeritleri ortogonal ve diyagonal şeklinde yerleştirilmiştir. Çarpma testi yük düşürücü alet ile yapılmıştır. 84 kg ağırlığında ve 1500mm yüksekliğinden bırakılan düşürme aleti ile CFRP ile güçlendirilmiş betonarme döşemeler çarpma etkileri incelenmiştir. Bu deneyler ABAQUS programı

yardımıyla sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analizleri yapılmış ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Programda modelleme yapılırken darbe problemine uygun üç boyutlu 10 düğümlü modifiye tetrahedron şekilli eleman (C3D10M) kullanılmıştır. Programda 3d modeli oluşturulduktan sonra ilgili bölümlere malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Beton için plastisite tabanlı bir hasar modeli olan Beton Hasarlı Plastisite (CDP) betonarme döşemelerin modellenmesinde kullanılmıştır. ABAQUS yazılımında zaten mevcut olan bu model, betonun tek eksenli basınç ve çekme tepkisinin, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi hasarlı plastisite ile karakterize edildiği kabul edilir. Tek eksenli çekme altında, gerilme-şekil değiştirme eğrisi, betonda meydana gelen mikro çatlaklarının başlangıcına karşılık gelen göçme gerilmesi σ_{tz} değerine ulaşana kadar doğrusal bir elastik davranış gösterir. Kırılma gerilmesinden sonra, mikro çatlakların oluşumu stress-strain ile tasarlanır. Ayrıca tek eksenli yük altında tepki, ilk verim değeri kadar lineerdir.(σ_{co}) Davranış plastik kısmında tepki, gerilim sertleşmesi ve ardından nihai gerilim olan σ_{cu} nun ötesinde gerilim yumuşaması ile karakterize edilir. Analiz ve deney sonuçlarında CFRP şeritleri ile güçlendirilmiş betonarme döşemelerin, kalıcı şekilde oluşan plastik deformasyon değerinin mühim bir oranında azalma sağlanmıştır.100 mm ebatta CFRP şeritlerinin çift doğrultulu ve çapraz yerleşim deseni ile güçlendirilmiş döşemelerin kalıcı yer değiştirme değeri, 50mm genişliğinde CFRP şeritleri ile tek doğrultuda ve ortogonal şeklinde olan döşemelere göre çok daha düşük elde edilmiştir.

Xiangqing Kong, Xuejian Qi ve Yihan Gu (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, Aramid lif takviyeli polimer (AFRP) ile güçlendirilmiş betonarme döşemenin patlama etkisi altındaki davranışı nümerik olarak incelenmiştir. Bu patlama altındaki AFRP ile güçlendirilmiş betonarme döşemeler, karmaşık malzeme modelleri, malzeme yüksek gerilim oranı etkilerinin yanı sıra AFRP ile beton arasındaki dinamik ara yüz davranışı dikkate alınarak sonlu elemanlar çözücüsü olan LS DYNA programından simülasyonda uygulanmıştır. Patlayıcı malzemesi olan TNT' nin (patlayıcı madde) beton levha yüzeyine etkisi kırılma ve malzeme ayırma sürecini yakalamak için uygun bir erozyon kriteri tanımlanmıştır. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş betonarme döşemelerin sayısal sonuçları, AFRP betonarme döşemelerin çarpmaya dayanıklı performansı üzerindeki güçlendirme etkilerini araştırmak için karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu parametrelerden etkilenen FRP ile güçlendirilmiş betonarme levhaların patlama tepkileri üzerine kapsamlı bir araştırma da yapılmıştır. FRP şeritleri betonarmenin dış yüzeyinde farklı şekillerde

birleştirilmiştir. AFRP levhalarla güçlendirilmiş betonarme levhanın patlama yüklemesi altındaki tepkimelerini incelemek için FRP'nin gerinim hızı etkileri ve dinamik ara yüz davranışını dikkate alan bir model geliştirilmiştir. 1000x1300x120mm boyutlarında betonarme levhaların basınç dayanımları 48MPa ve elastisite modülü 46GPa olarak belirlenmiştir. Betonarme levha 0,6m'lik mesafe (patlama kaynağı ile levha arasındaki mesafe) ile 2,09 kg eşdeğer TNT' den gelen patlama basıncına maruz bırakılmıştır. Betonun dinamik davranışı, plastisiteye dayalı davranışı CONCRETE DAMAGE REL3 (MAT72 REL3) modeli kullanılarak tasarlanmıştır. Bu model betonun yüksek yük altındaki yüksek gerilim oranı davranışını analiz etmek için çok uygundur. EOS_TABULATED_COMPACTION (EOS 8), betonun basınç ve gerilimdeki davranışını tanımlamak için MAT72 R3 ile eş zamanlı olarak kullanılır. Donatı özelliklerini tanımlamak için MAT_PLASTIC_KINEMATIC (MAT_003) tanımlanmıştır. Analiz sonuçlarında, hasar modu, donatı çeliği gerilmesi ve yer değiştirmesi zaman geçmişleri açısından sonuçlar güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş betonarme levhalar karşılaştırıldığında: AFRP' nin sisteme uygulanması yalnızca betonun çatlama süresini ilerletmekle kalmaz, bunun yanında betonarme döşemelerin hasar modunu, yerel parçalanmadan FRP kopması ve bağının ayrılması olarak değiştirilerek betonun çatlamasını azaltır. AFRP ile güçlendirilmiş betonarme levha çelik akma gerilimi ve maksimum yer değiştirme sırasıyla %50,9 ve %24,3 oranında önemli bir düşüş göstermiştir.

J.Radnic vd. (2015) tarafından incelenen araştırmalarda,2 taraflı standart betonarme döşemeler ve CFRP ile güçlendirilmiş betonarme döşemelerin dinamik yükler altındaki davranışı deneysel olarak incelenmiştir. 8 adet 1000x1000x55mm boyutlarında betonarme plakların dört adedi 50mm genişliğinde 1,4mm kalınlığındaki dört adet CFRP şeritleri dik bir şekilde yerleştirilmesiyle güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Betonarme elemanların dinamik davranışı ağırlık düşürücü alet ile gözlemlenip, çekici ağırlığı ve düşüm yüksekliği değişken özelliğindedir. Standart donatılı ve CFRP ile kuvvetlendirilmiş betonarme döşemenin tek adedi kırılana kadar statik yüke tabi tutulmuştur, diğeri ise başka yükseklikteki 4,208 kg'lık çekicin tekrarlı düşüş sergileyerek darbe testi gerçekleştirilmiştir. Yine aynı şekilde plakların bir tanesi değişik yükseklikten 1,621 kg'lık çekicin tekrarlı düşüşüyle darbe testi yapılmış ve kalan döşemeler ise 8m yükseklikten 1,621 kg'lık çekicin bırakılmasıyla dinamik teste tabi tutulmuştur. Bunun yanında

kuvvetlendirilmiş döşemeler, ön germeli beton döşemeler ve kabuklu doğrusal olmayan statik ve dinamik analizleri için öncesinde ilerletilmiş olan sayısal bir model meydana getirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlarda, plaklar zımbalamadan göçme noktasındaki statik yükle karşılaştırıldığında hesaplanan darbe yükü ortalama 2 kat daha büyük olduğu saptanmıştır. Standart betonarme plakların, CFRP ile güçlendirilmiş plaklarla taşıma kapasitesi karşılaştırıldığında açık bir şekilde CFRP güçlendirme malzemesinin katkı sağladığı sonucuna erişilmiştir. Plaklardaki taşıma kapasite oranların benzerliği, yüksek bir ihtimalle CFRP şerit aralıklarındaki mesafeler oldukça fazla ve plakların zımbalama modunda göçmesinden kaynaklanabileceğine dayandırılmıştır.

Wensu Chen vd. (2019) yapmış olduğu çalışmada BFRP şeritleri ile güçlendirilmiş betonarme döşemelerin çeşitli düzenleri ve ankraj şemaları ile darbe etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Bir adet güçlendirilmemiş referans numune ve on adet BFRP şeritleri (ankrajlarla güçlendirilmiş plaklar da dahil olmak üzere) toplamda on bir adet iki yönlü kare şeklinde plaklar hazırlanmış ve teste tabi tutulmuştur. Betonarme döşemeler, kırılmaya kadar aran yükseklikle düşen bir ağırlıktan etkileri incelenmektedir. Gözlenen kırılma modlarında kesme kırılması, BFRP bağlarının ayrılması ve donatı kırılması yer alır. Aynı zamanda çeşitli güçlendirme şemalarının kullanılmasının betonarme döşemelerin darbeye dayanıklı kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte BFRP güçlendirilmeli ve güçlendirmemiş betonarme döşemelerin darbe testlerini simülasyon edilebilmesi için sonlu elemanlar çözücüsü LS DYNA programından tasarımı yapılıp sayısal analize tabi tutulmuştur. Böylece kalibre edilmiş sayısal model ile farklı darbe şiddetleri altında çeşitli boyutlarda ve farklı güçlendirme yerleşimlerine sahip döşemelerin darbe davranışı iyi bir doğrulukla tahmin elde edilebilir. Test edilen betonarme kare betonarme döşemelerin genişliği 600mm ve 60mm yüksekliğindedir. Donatıları ise 250mm aralıklar la 5mm çapında çelik hasır ile yerleştirilmiştir. Aynı zamanda tüm güçlendirme planları, döşemelerin çekme tarafında dört kat BFRP şeritleri ile hem ortogonal hem 45 ve 60 derecelik ölçü ile diyagonal olarak yerleştirilmiştir. Buna ek olarak ankrajın güçlendirme verimliliği üzerindeki etkisi araştırmak için de ankraj civataları ve plakaları dikkate alınmıştır. Bu araştırma sonucunda BFRP şeritlerinin kullanılması, darbe direnci kapasitesini iyileştirildiği gözlemlenmiştir. 10 BFRP şeridini tek yönde kullanmak yerine döşemenin tüm alanını güçlendirmek (her iki yönde de yerleştirmek) döşeme hasarını önemli bir ölçüde azalttığı anlaşılmıştır ve darbe yüklerinin neden olduğu beton

çatlaklarının sayısını ve genişliğini azalttığı gözlemlenmiştir. Bu şerit dizilimlerin arasında en düşük verimi döşemenin merkezindeki ortogonal yön boyunca güçlendirilen malzeme olmuştur ve en yüksek verimi diyagonal güçlendirme şeridi vermiştir. BFRP şeritlerin ankraj cıvataları ve plakaları kullanarak ankrajlanması, BFRP şeritlerinin betonla bağlarının çözülmesini azaltır ve darbe direncinde sınırlı bir iyileştirme sağlar.

Hesam Soltani, Alireza Khaloo vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, çelik liflerin hacim fraksiyonun, cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) levha katmanlarının sayısının (bir veya iki) ve GFRP levhaların düzeninin (yüzeyi tamamını veya bir kısmını kaplayan) etkisi darbe yüklemesi altında incelenmiştir. Bir adet klasik döşeme, farklı hacim oranlarına sahip çelik lifler içeren üç adet betonarme döşeme ve güçlendirilmiş dokuz çeşit betonarme döşeme dahil olmak üzere on dört adet 1000x1000x75mm beton döşemenin performansı, düşme ağırlığının neden olduğu darbe yükleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada çatlak gelişimi, göçme modları ve yer değiştirme zamanı, gerinim zamanı ve hızlanma zamanı dahil dinamik tepkiler incelenmiş ve çeşitli konfigürasyonlara sahip döşemeler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca sonlu elemanlar çözücüsü olan LS DYNA programından sayısal analiz yapılmıştır. Sonuçlar ise alt katman GFRP' nin arttırılmasının, darbe yükleri altındaki betonarme levhalarının performansını arttırdığını göstermektedir. Genel olarak tamamen alt GFRP katmanlarına sahip plakalar, çelik fiberlere göre daha iyi performans sağlamıştır. LS DYNA programından tasarım yapılırken, negatif hacim etkisinden ve hatalar nedeniyle termination' dan (LS DYNA programı içerisinde özel bir terim) kaçınmak için, beton döşemeleri, çarpma kütleleri ve kolon ve kirişlerin desteklerini modellemek için 8 düğümlü sabit gerilimli katı elemanlar uygulanmıştır. Beton plakların ve mesnetlerin, sonlu elemanlara bölünmesi işlemleri 10x10x10mm küpler ile gerçekleştirilmiş. Ayrıca çelik takviyeleri simülasyon etmek için 2x2 Gauss kareleme entegrasyonuna sahip 10mm uzunluğunda 2 düğümlü Hughes-Liu kiriş elemanı uygulanmıştır. Buna ek olarak GFRP katmanları 10x10 mm Belytschlo-Tsay kabuk elemanı ile modellenmiştir. Ağ boyutlarının (sonlu elemanlara bölümü) seçiminde ağ yakınsama testi kullanılmıştır. LS DYNA' da bulunan CONSTRAINED_LAGRANGE_IN_SOLID (CLS) özelliği ile donatılar yekpare beton elemanlarla aderansı sağlanmıştır. Beton ve donatıların destek ağları arasındaki nüfusu önlemek için CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE kontak algoritması kullanılmıştır. Düşürücü kütle ile beton arasındaki kontak elemanı sağlamak

için CONTACT_ERODING_SINGLE_SURFACE tanımlandı. Aynı zamanda CONTACT_AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE kontak algoritması donatı ile düşürücü kütle elemanı arasında uygulandı. CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE_TIEBREAK kontak algoritması beton levha yüzeyi ile GFRP arasındaki yapışkan teması simülasyon etmek ve GFRP kompozitinin deleminasyonunu modellemek için kullanıldı. Bu temas seçeneği kullanılarak, epoksinin çekme ve kesme kırılma gerilmelerine bağlı olan bağlanma mukavemeti simüle edilmiştir. Düşürücü çekiç için analizdeki başlangıç hızı, deneysel darbe testinde elde edilen başlangıç hızına eşittir ve hızı LS DYNA' da tanımlamak için INITIAL_VELOCITY_GENERATION kullanılarak düşen kütleye uygulandı. GFRP katmanları MAT_ENHANCED_COMPOSITE_DAMAGE (MAT54) modeli kullanılarak tasarlanmıştır. Beton MAT_159_CSCM_CONCRETE modeli kullanılarak tasarlanmıştır. Çünkü bu model bir dizi sayısal simülasyon durumundaki doğruluğu nedeniyle etki analizinde kullanıma uygundur. Bu araştırma sonucunda SFRC levhalarının elyafsız betonarme levhalarla karşılaştırıldığında, SFRC levhalarının darbe yükü altında daha iyi performans gösterdiği soncuna varılabilir. Çelik liflerin eklenmesi, azaltılmış çatlak gelişimi, çatlak genişliği, beton kabuğu kütlesi ve penetrasyon derinliğini azaltmıştır. Çelik fiber hacim fraksiyonunun eklenmesi, maksimum yer değiştirmeyi ve donatı gerilimini azaltmasına sebep olmuştur. Döşemenin alt yüzündeki GFRP katmanlarının sayısının arttırılması, döşemenin yer değiştirmesini azaltmada, darbe yükü altında döşemenin üst yüzeyinde GFRP katmanlarının kullanılmasından daha iyi bir etkiye sahiptir. Döşemenin çelik lifler eklenerek ve GFRP levhaların yapıştırılmasıyla güçlendirilmesi, beton plakların rijitliğinin yanı sıra rijitlikteki artıştan dolayı maksimum ivmede artışa neden olur. GFRP katmanlarının sayısı ile kaydedilen maksimum ivme arasında doğrudan bir ilişki vardır. Çarpma noktasının alt yüzeyinde GFRP katmanlarının yapıştırıldığı plaklarda maksimum ivme artışı oldukça fazladır.

Orton vd. (2013) aracılığıyla elde edilen bir araştırmada, CFRP ile kuvvetlendirilmiş betonarme döşeme veya duvar gibi yapıların çarpma kuvveti altındaki davranışı deneysel şekilde ele alınmıştır. Deneyde dört tane 1,8x3,0 m ebatlarındaki betonarme döşeme 1,2x2,4 m açıklığında dikdörtgen şeklinde, temel üzerinde tutturularak teste tabi tutulmuştur. Betonarme plakların iki tanesi CFRP ile güçlendirilmiş olup CFRP tabakalarını sabit tutmak için karbon fiber kullanılmıştır. CFRP numunelerin biri plağın alt

yüzündeki 1,24x2,4m açıklık boyunca güçlendirilmiştir. Diğer CFRP numunesi ise plağın 1,8x3,0m boyunca plağın alt yüzeyinin tamamına uygulanmıştır. Deneysel araştırmanın akabinde, 6 $m/kg^{1/3}$ ölçekli mesafede yapılmış çarpma kuvvet değeri, herhangi bir kuvvetlendirme yapılmamış betonarme döşeme yüzeyinde parça ayrılmaları belirlenmiştir. CFRP ile güçlendirilmiş döşemeden numunenin kopması ve yer değiştirmesi %60 oranında engellendiği saptanmıştır. 0,4 $m/kg^{1/3}$ ölçekli uzaklığında oluşan çarpma kuvveti, kuvvetlendirilmemiş plakta çok fazla hasar meydana gelmiştir. CFRP ile kuvvetlendirilmiş döşemede, plağın ortasında yüksek basınç oluşmasından dolayı betonu parçalamış, alt yüzeyindeki CFRP tabakasını yırtmasına yol açmıştır. Nihai deformasyonda %75 oranında azalma saptanmıştır. CFRP ile güçlendirme yapıldığında betonarme döşeme elemanlarının çarpma dayanımını iyileştirdiği saptanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneysel araştırmada; TRM şeritleri ile güçlendirilmiş betonarme plakların darbe etkisi altındaki davranışı ağırlık düşürme aleti araştırılmış ve LS DYNA programından sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Deneyde betonun nihai basınç dayanımı, serbest bırakılan çekiç kütlesinin ağırlığı ve düşüm mesafesi sabit kalırken, TRM şeritlerin genişliği ve yerleşim şekli değişkenlik göstermiş olup on altı tane döşemeler incelenmeye tabi tutulmuştur. Bunların sekiz adedi ankrajlı olup sıva katmanıyla betonarme elemanlara yapıştırılmıştır. Geri kalan sekiz adedi ise ankrajsız olup sadece sıva katmanıyla betonarme elemana tutulmuştur.

3.1.1. Ölçüm Düzenek Aleti

3.1.1.1. Kütle Düşürücü Düzenek

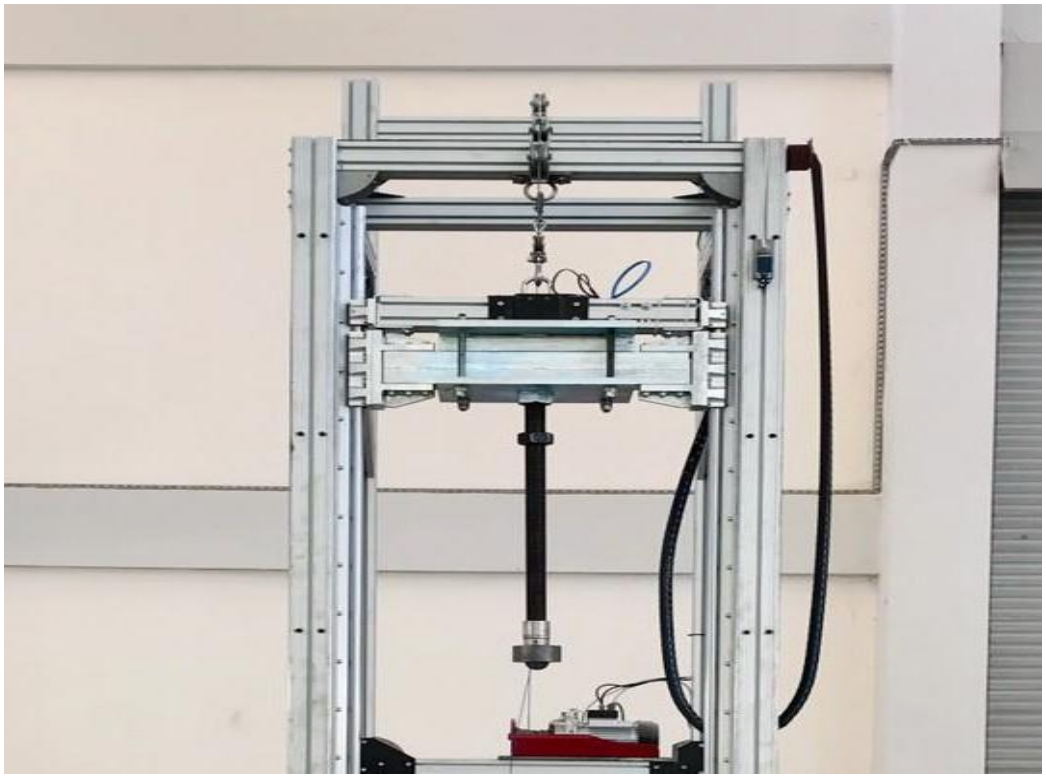
Kütle düşürücü düzenek; darbe kuvvetini oluşturan belirli bir mesafeden bırakılan çekicin, potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürerek betonarme döşemeye etki etmektedir. Bu düzenek istenilen şekilde kütlenin ve yüksekliğinin ayarlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanında farklı boyutlardaki yapısal elemanın test edilmesine de müsaittir.

Ağırlık düşürücü deney ekipmanında düşen kütleye çekiç olarak adlandırılmıştır. Çekicin ağırlığı 84 kg' dır. Çekice montelenen vidalama düzeneği sayesinde çarpışma durumunda çekicin ve ağırlıkların hareketi önlenmiş duruma getirilmiştir.

Çekiç, kızaklara oturtturularak istenilen mesafede serbest bir ivmelenme imkanı sağlanarak 1,5 m yükseklikten düşüm yapılacaktır. Çekice istenilen mesafeye motorlu kaldıraç yardımıyla sağlanmıştır ve kaldıraçtaki mıknatısın kilitlenmesiyle çekiç istenilen mesafede tutulmuştur. Çekicin sistemi kilitlemesi ve serbest bırakılması hava kopresörünün pnomatik valf ile sağlanmaktadır.



Şekil 3.1. Ağırlık düşürücü düzenek

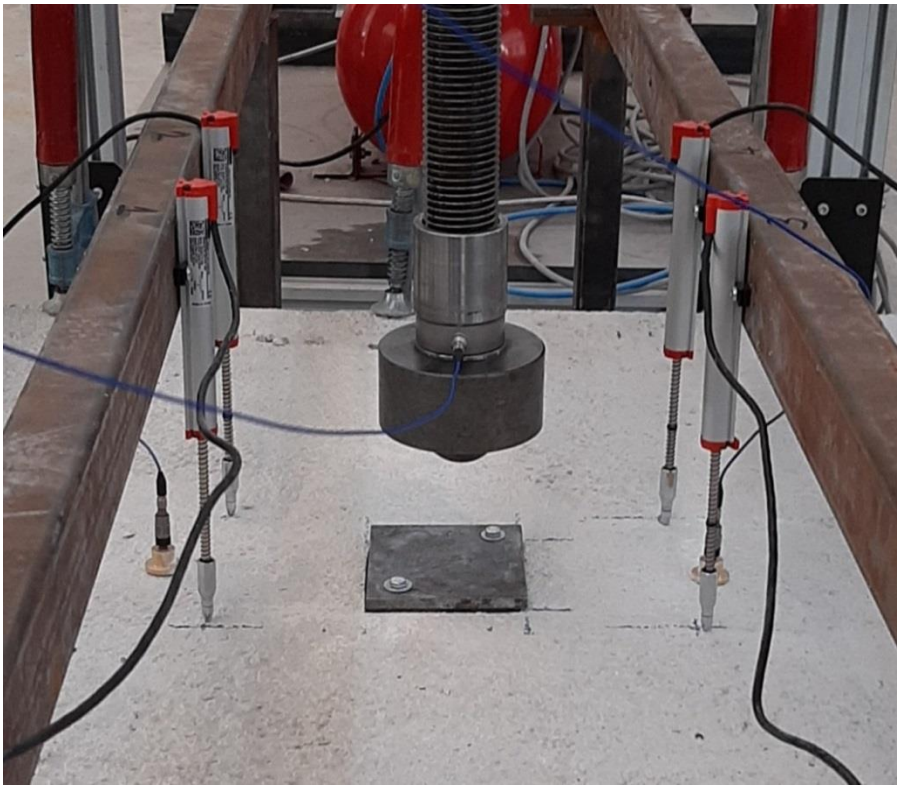


Şekil 3.2. Çekiç ve vidalama sistemi

3.1.1.2. Kauçuk ve Çelik Plaka

Kauçuk günümüz endüstrisinde büyük yer tutan, kauçuk ağacından elde edilen dayanıklı, esnek bir maddedir. Yüksek bir elastikiyete sahip olması kauçuğun en faydalı özelliklerinden biridir. Kauçuk bir diğer adıyla saf lastik olarak da bilinir bunun sebebi kauçuk ağacından elde edilen lastiğin %90 saf olmasından gelir. Aynı zamanda kauçuk elektrik akımı için bir iletken değildir ve bundan dolayı yalıtma izolasyon gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır (Bozkurt, 2016).

Deneyde kullanılan çekiç döşemelere direk olarak etki ederse, çarptığı yüzeyde delme etkisi meydana getirerek elemanda göçme sağlayabilir. Bunu önlemek için deneylerde çekicin çarpacağı döşemenin yerine neopren tipi kauçuk ve üzerine çelik plaka yerleştirilip, çarpma esnasında herhangi bir hareket yapmaması için döşemelere civatalarla Şekil 3.3' te gösterildiği gibi montajlanmıştır.



Şekil 3.3. Plaka - kauçuk montaj

.

3.1.1.3. Piezoelektrik İvmeölçerler

İvme, günlük yaşantımızın tüm anında devamlı rastlanan bir mefhumdur. Ortaya çıkan titreşimlerin bazıları katlanılabilir durumdayken, bazıları irite edici hem de yıkıcı seviyededir. Bu akabinde, titreşime sebep olan etkileri idrak edebilmek ve bunları ölçerek korunma metodlarını geliştirebilmesi için ivmeölçerlere önemli derecede ihtiyaç söz konusudur (Anonim, 2015).

Deneyde PCB Group şirketinde üretilen iki adet ICP tipi 352B70 model numaralı ivmeölçerler kullanılmıştır. Deneyde ölçüm değerleri hassasiyeti bakımından iletkenliği iyi olan pirinç aparatları ile ivmeölçerlerin döşemelere montajı yapılmıştır. Montaj için beton yüzeyine delikler açılarak, bu deliklere dübeller çakılmıştır. Böylece vidalar dübellere yerleştirilmiş, vidalar sayesinde de pirinç aparatlar monte edilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. 352B70 Model İvmeölçer



Şekil 3.5. Pirinç ve ivmeölçer montajı

Deneysel araştırmada kullanılmış ivmeölçerlerin standart özelliği Çizelge 3.1' de gösterilmiştir (Anonim, 2017).

Çizelge 3.1. 352B70 Model ivmeölçerlerin standart özelliği

Özellikleri	**Değerler**
Hassasiyet (±25%)	0.1 mV/(m/s^2)
Ölçüm Aralığı	±49,000 m/s^2 pk
Frekans aralığı (±5%)	0,7 to 9,000 Hz
Frekans aralığı (-3 dB)	0,4 to 20,000 Hz
Rezonans frekans	≥55 kHz
Geniş bant hassasiyet	0,25 m/s^2
Düzensizlik	≤1 %
Çaprazlama hassasiyeti	≤7 %
Aşırı yük sınırı	±98,000 m/s^2
Çalışma sıcaklığı	-54 ile +121 ℃
Uyarma voltajı	20-30 VDC
Sabit akım uyarma	2-20 mA
Çıkış empedansı	≤200 ohms
Çıkış ön gerilim voltajı	8-14 VDC
Boşaltım zamanı	0,5-1,5 s
Hazır hale gelme zamanı	< 5s
Algılama elemanı	Seramik
Elektrik bağlantısı	10-32 Koaksiyal Jak
Elektrik bağlantı yeri	Üst
Ağırlık	4,3 gr

3.1.1.4. Kuvvet Algılayıcı

Kuvvet algılayıcılar, basınç ve çekme gerilmeleriyle etki-tepki kuvvetlerini hesaplayan dinamik algılayıcı cihazdır. Darbe ve mukavemet deneyleri darbe ve basınç kuvvetlerinin kayda alınması gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Anonim 2014). Deneylerde 200C50 model numaralı halka kuvvet algılayıcısı kullanılmıştır (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. 200C50 model kuvvet algılayıcı

Deneylerde kullanılan kuvvet algılayıcısının standart özelliği Çizelge 3.2' de gösterilmiştir (Anonim, 2017).

Kuvvet algılayıcısı, çekicin köşesindeki topuzla çekiç gövdesine montajlanmıştır (Şekil 3.7). İkisi arasındaki montajı berilyum-bakır karışımı vida ile gerçekleşmiştir.



Şekil 3.7. Kuvvet algılayıcı montajı

Çizelge 3.2. 200C50 Model kuvvet algılama standart özelliği

Özellikler	**Değer**
Hassasiyet	22,48 mV/kN
Ölçüm aralığı (Basınç kuvveti)	222,4 kN
Maksimum statik kuvvet (Basınç kuvveti)	333,6 kN
Geniş bant Çözünürlüğü	4,45 N-rms
Düşük frekansa yanıtı	0,0003 Hz
En üst frekans sınırı	30 kNz
Düzensizlik	≤1 % FS
Çalışma sıcaklığı	-54 ile +121 ℃
Sıcaklık hassasiyet katsayısı	≤0,27 ℃
Boşaltma zaman sabiti	≥2 saniye
Uyarma voltajı	20 ile 30 VDC
Uyarma akım sabiti	2 ile 20 mA
Çıkış empedansı	≤100 ohms
Çıkış öngerilim voltajı	8 ile 14 VDC
Sertlik	17 kN/µm
Dış gövde	Paslanmaz Çelik
Elektrik bağlantısı	10-32 Koaksiyel Jak

3.1.1.5. Potansiyometrik Lineer Cetvel

Bu deneysel araştırmada döşemelerin yer değiştirme hareketlerini incelemek için potansiyometrik lineer cetvel kullanılmıştır. Bu cetvel; derinlik, gerginlik, kalınlık, yer değiştirme gibi ölçme uygulamalarında kullanılır. SLPS serisi ince gövde serisi yayılı tip olup geri dönüş dıştan yayılı (spring loaded), dar alan uygulamaları için üretilmişti (Anonim, 2017). Şekil 3.8’ de cetvel gösterilmiştir.



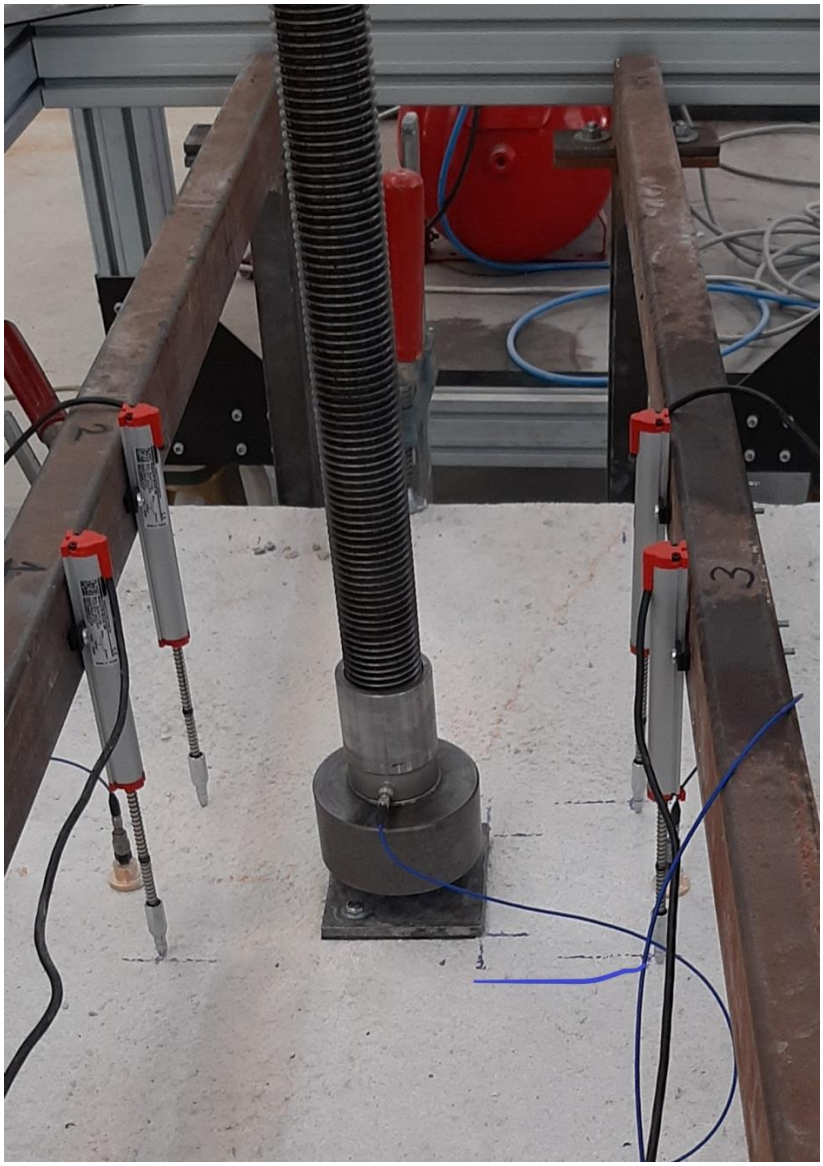
Şekil 3.8. Doğrusal potansiyometrik cetvel

Doğrusal potansiyometrik cetvelin standart özelliği Çizelge 3.3' te sunulmuştur (Anonim, 2017).

Çizelge 3.3. Potansiyometrik cetvelin standart özelliği

Teknik Özellikler	Değerleri
Ölçüm boyu	10 ile 100mm
Linearite	±%0,02
Tekrarlanabilirlik	<0,01mm
Çözünürlük	Sonsuz
Direnç	5 kohm ya da 10 kohm (10-50 mm için 2 kohm)
Direnç töleransı	±%20
Yük direnci	100 kohm min
Tavsiye edilen kontak akımı	<1 µA
Maksimum besleme voltajı	28 VDC maks
Elektriksel bağlantı	konnektör veya 1 m kablo çıkışı
Hız	<5 m/sn
Mekanik ömür	100 milyon hareket
Gövde ölçüleri	⌀18 mm
Gövde malzemesi	Eloksallı Alüminyum
Mil malzemesi	Paslanmaz çelik

Deneylerde dört adet doğrusal potansiyometrik cetvel kullanılarak farklı noktalardan yer değiştirmeler alınmıştır. Çarpma anında cetveller düzgün ölçümler almaları için çelik kutu profiller zemine montajlanmış ve potansiyometrik cetveller bu profile montajlanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Deneyde sarf edilen potansiyometrik cetveller

3.1.1.6. Strain-Gauge

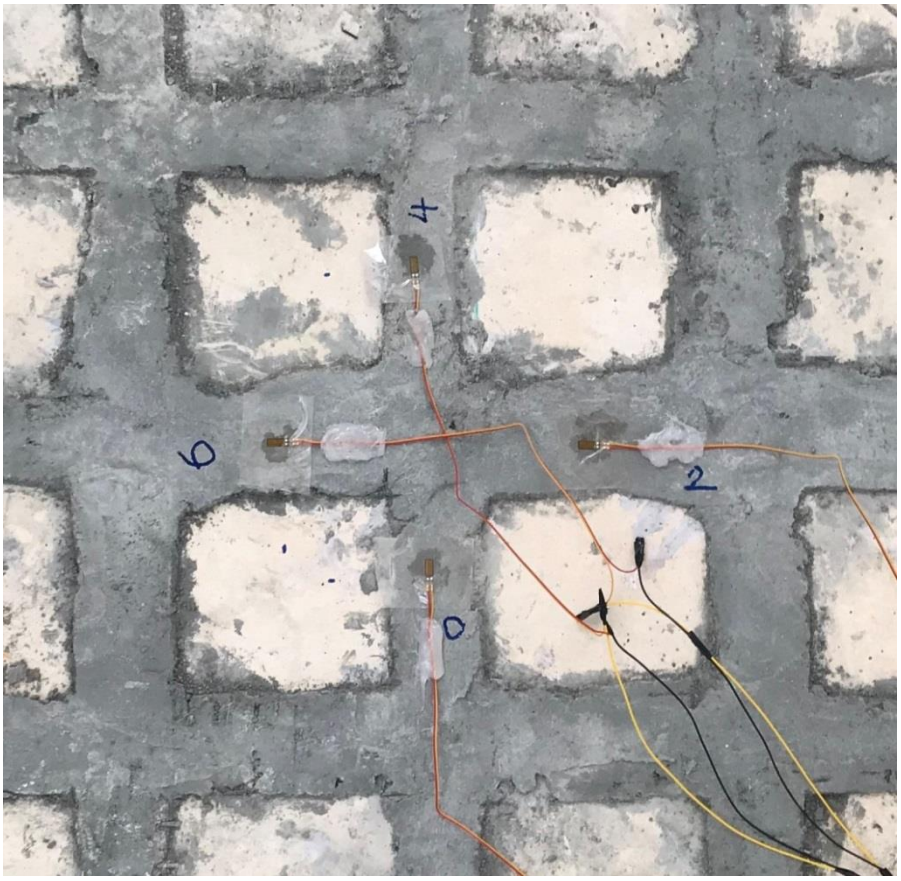
Gerinim ölçerler (Strain-gauge) parçaların yüzeylerinde oluşan birim uzamaları (strain) ölçmek için kullanılan sensörlerdir. Çok küçük kesitli iletken bir telin çok ince bir şerit üzerine tekrarlı sarımlar şeklinde yerleştirilmesinden oluşur. Şekil 3.10' da gösterilmiştir (Anonim, 2019).

Hesaplama işleminin temel mantığı; uzama esnasında gerinim ölçer telinin boyu uzayarak kesiti azalır. İletkenlerin kesiti azaldıkça karşı koyma dirençleri artacağından uygulanan kuvvetin akabinde iletkenin direncinde artma ya da azalma ortaya çıkacaktır. Bu durum gerinim ölçer üzerinden geçen akımın voltajını değiştirir. Bu voltaj değişimi ölçülerek tellerdeki ve dolayısıyla üzerine yapıştırılan parçadaki şekil değişimi ölçülmüş olur. Daha sonra elastisite teorisinin bilinen denklemleri kullanılarak ölçülen şekil değişimi $\sigma = E*\varepsilon$ formülünü kullanılarak gerilmeye dönüştürülür (Anonim, 2019).



Şekil 3.10. Strain-gauge yapısı

Deneylerde TRM şeritlerin birim deformasyonunu hesaplamak amacıyla kullanılan strain-gauge' ler, TRM' nin üzerine tek taraflı kuvvetlendirilmiş döşemeler için 4 tane, çift taraflı kuvvetlendirilmiş döşemeler için 5 tane strain gauge' ler yapıştırılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Strain-gauge montajı

3.1.1.7. Veri Toplayıcılar

Veri toplayıcılar, ölçüm cihazlarından elde edilen değerleri bilgisayar ortamına işlemesine yarar. Deney mekanizmasında toplamda üç tane veri toplayıcısı bulunmaktadır.

Darbe sırasında, kuvvet algılayıcısının elde ettiği darbe kuvveti büyüklüklerini ve ivmeölçerden elde edilen verileri bilgisayara aktarmak için NI 9234 model veri ekipmanı kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. NI 9234 veri ekipmanı

NI 9234 model veri cihazının standart özelliği Çizelge 3.4' te sunulmuştur (Anonim, 2015).

Çizelge 3.4. NI 9234 veri alma ekipmanı standart özelliği

Özellik	Değer
Kanal sayısı	4 adet analog giriş
Çözünürlük	24-Bit
Dinamik aralık	102dB
Maksimum veri oranı	51,2 kS/s
Frekans	13,1072 MHz
Çalışma sıcaklığı	-40°C ile +70°C arasında

Potansiyometrik lineer cetvelden okunan yer değiştirme değerleri bilgisayar ortamına aktarmak için NI 9201 model veri toplama aygıtı kullanılmıştır (Şekil 3.13). NI 9201 model veri toplayıcı aletinin standart özelliği Çizelge 3.5' de yer verilmiştir (Anonim, 2016).



Şekil 3.13. NI 9201 veri ekipmanı

Çizelge 3.5. NI 9201 veri algılama ekipmanı standart özelliği

Özellik	Değer
Kanal sayısı	8 Kanal
Çözünürlük	12-Bit
Maksimum veri oranı	500 kS/s
Giriş bant genişliği	690 kHz minimum
Çalışma sıcaklığı	-40°C ile +70°C arasında

Strain-gauge' den okunan birim yer değiştirmeyi ölçmek için NI 9235 model veri alma ekipmanı kullanılmıştır (Şekil 3.14). NI 9235 model veri alma ekipmanın standart özelliği Çizelge 3.6' de gösterilmiştir (Anonim, 2017).



Şekil 3.14. NI 9235 veri alma ekipmanı

Çizelge 3.6. NI 9235 veri alma ekipmanı standart özelliği

Özellik	Değer
Kanay sayısı	8 Kanal
Çözünürlük	24-Bit
Maksimum veri oranı	10 kS/s/ch
Çeyrek-köprü tamamlama	120 Ω
Çalışma sıcaklığı	-40 ℃ ile +70 ℃ arasında

Deney sarf edilen veri toplayıcılarının tamamı cDAQ-9174 model veri toplama ana gövdesine bağlanmıştır (Şekil 3.15). Bu sistem aynı zamanda bütün veri toplayıcı aletlerinden gelen verilerin bilgisayar ortamına aktarılmasına sağlamış olmaktadır. NI cDAQ-9174 model veri toplama ana gövdesinin tekniksel özellikler Çizelge 3.7’ de yer verilmiştir (Anonim, 2013).



Şekil 3.15. NI cDAQ-9174 veri ana gövde ekipmanı

Çizelge 3.7. NI Cdaq-9174 veri ana gövde ekipmanı standart özellikleri

Özellik	Değer
Kanal sayısı	4 Kanal
Çözünürlük	32-Bit
Zamanlama hassasiyeti	50 ppm
Zamanlama çözünürlüğü	12,5 ns
Çalışma sıcaklığı	-20°C ile +55°C arasında

Veri toplayıcılardan alınan veriler LabVİEW Signal Express programından bilgisayar ortamında kayıt altına alınmaktadır.

3.1.2. Deney Malzemelerin Özellikleri

Deneyde kullanılacak olan malzemeler beton, TRM, epoksi ve donatı çeliği olarak sıralanabilir. Kullanılacak olan malzemelerin özellikleri ayrıntılı olarak bu bölümde incelenecektir.

3.1.2.1. Beton

Bu çalışmada çarpma yüklemesi altında TRM ile güçlendirilmiş 16 tane 1000x1000x80 mm ebatlarında betonarme döşemeler imal edilmiştir.

Deneyde kullanılan betonarme döşemelerin beton karakteristik silindir basınç dayanımı 40 MPa olacak şekilde üretilmiştir. Malzeme karışım oranları Şekil 3.16' da gösterilmiştir.

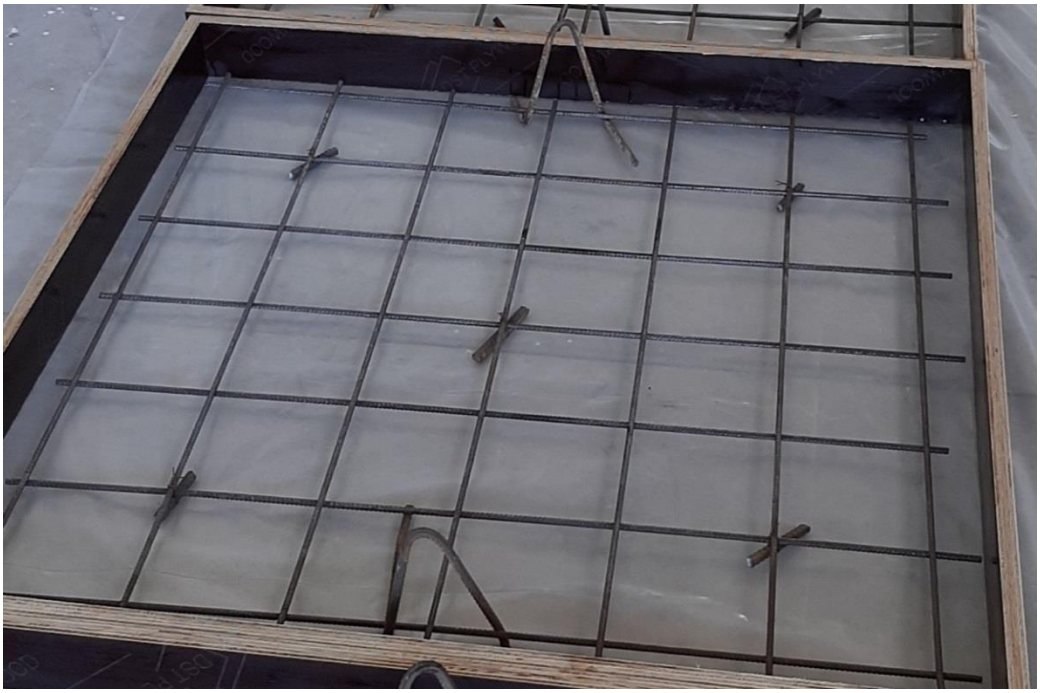
MALZEME CİNSİ VE ORANLARI		DKY ÖZGÜL AĞIRLIĞI (kg/dm3)	1 m3 BETON İÇİN , DKY MALZEME (kg)	AGREGA YÜZEY NEMLİLİĞİ (%)	1 M3 BETON İÇİN, BETON SANT. MALZEME MİKTARLARI (kg/m3)	Laboratuvar 0,02 m3 deney malzeme miktarları
0-5Taştozu (kg/m3)	54	2,680	1075	0	1075	21500
5-15 Kırm. (kg/m3)	15	2,700	250	0	250	5000
15-22 Kırm (kg/m3)	31	2,700	520	0	520	10400
KÜL		2	50	0	50	1000
ÇİMENTO		3,1	230	0	230	4600
SU		1	175		175	3500
KATKI (% 0,8 kg)		1,15	2,5		2,5	50
TOPLAM (kg)			2302,50		2303	46050

Şekil 3.16. Beton karışım oranı

Betonarme döşemelerin imalatı sırasında betondan standart 150x150 mm' lik 9 tane küp numune test edilmek için hazırlanmış ve eksenel basınç deneyi ile beton basınç nihai dayanımları belirlenmiştir. Numune sonuçlarında beton karakteristik silindir basınç dayanımı 40 MPa olduğu belirlenmiştir.

3.1.2.2. Donatı Çeliği

Deneylerde 6 mm çapında 150 mm aralıklı hasır donatı çelikleri kullanılmıştır (Şekil 3.17). Döşemelerde kullanılan donatıdan alınan numunelerde yapılan çelik çekme deneylerinde, donatının akma dayanımı 576 MPa ve çekme dayanımı 630 MPa olarak bulunmuştur.

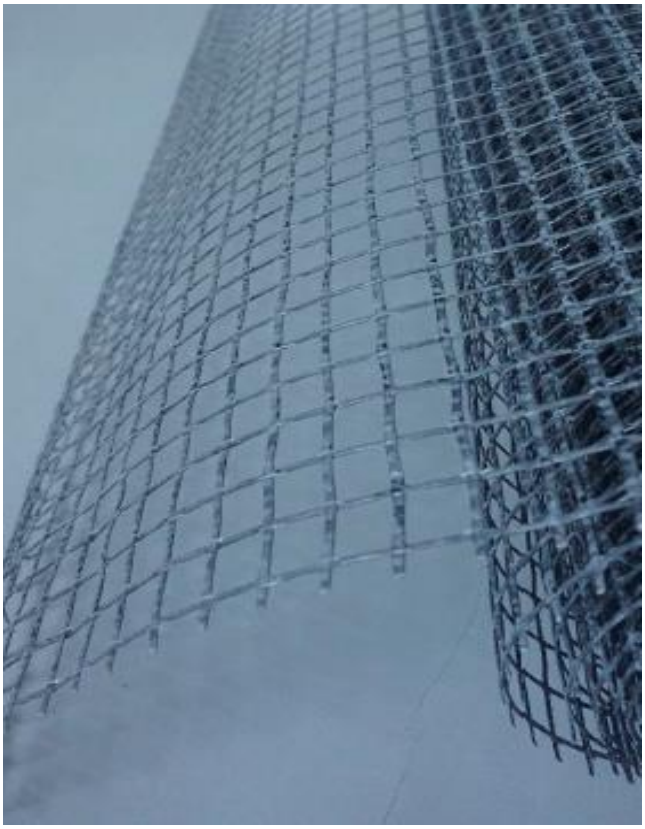


Şekil 3.17. Donatı çeliği

3.1.2.3. Textile Reinforced Mortar (TRM)

İnşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan TRM en sağlam yapı malzemelerinden biridir. Yüksek dayanımı ve özel reaktif kaplamasının gösterdiği yüksek aderans özelliği ile yapısal güçlendirme amacıyla üretilen tekstil bir malzemedir. Yapıların güçlendirilmesinde, ahşap binaların restorasyonunda, hasarlı binaların tamiratında, tarihi yapıların güçlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Deneylerde kullanılacak döşemelerin alt tabanları, 50 mm ve 100 mm olmak üzere iki farklı şerit ebatlarında ve bu şeritlerin dört çeşit yerleşim şekilleri TRM ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme malzemesi Şekil 3.18’ de gösterilmiştir. Kullanılan TRM malzemesinin özellikleri Çizelge 3.8’ de verilmiştir (Anonim, 2021).



Şekil 3.18. TRM görünümü

Çizelge 3.8. TRM malzemesinin özellikleri

Ürün Bilgileri	**Ürün Adı:** ticm TEX Karbon **Kaplama:** Özel reaktif kaplama **Standart Ölçüleri:** 1.95x50 m / 1x50 m **Saklama Koşulları:** Orijinal paketinde, kuru ve korunaklı bir alanda saklanmaktadır **Kesim:** Endüstriyel makaslar kullanarak kesilebilir.

Çizelge 3.8. TRM malzemesinin özellikleri (devam)

Kullanım Alanları	•Tarihi yapıların güçlendirilmesi, •Yığma elemanların takviye edilmesi, •Tonoz ve kemerlerin güçlendirilmesi, •Kazı çalışmalarında uygulanarak güvenlik önlemlerinin arttırılması, •Kolon, kiriş ve döşeme gibi elemanların yapısal güçlendirilmelerinde kullanılmaktadır.
Performans Özellikleri	•Yüksek çekme dayanımı, •Yüksek dayanım ve süneklik, •Yüksek durabilite özellikleri, •Yapıya zarar vermeden geri alınabilirlik, •Basit ve kolay uygulanabilirlik, •Tarihi yapı güçlendirme harcı ticm TGH 101, çimento esaslı tiksotropik güçlendirme harcı ticm RPM 60 ve ultra yüksek performanslı, yüksek mukavemetli ticm HPM100 ve HPM120 ile yüksek uyum gösterir. •Sahip olduğu özel reaktif kaplama ile yüksek aderans gösterir.

Çizelge 3.8. TRM malzemesinin özellikleri (devam)

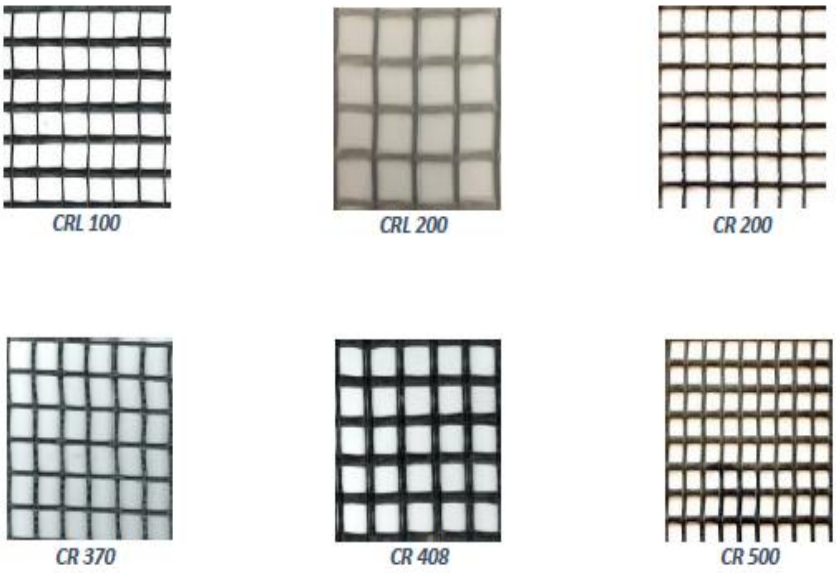
Duvar Güçlendirme için Uygulama Önerileri 	a. Mevcut duvar yüzeyi, gevşek malzeme, toz ve her türlü kirden arındırılır. b. Duvar, serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir. c. Ticm TGH101 ilk kat uygulaması yapılır d. İstenilen ticm TEX Karbon ürünü, aralarda boşluk kalmayacak ve birleşim yerlerinde yaklaşık 200mm bindirme yapılacak şekilde duvar üzerine elle yerleştirilir. e. İstenilen ticm Anchor, ilgili ankraj uygulama detayına uyularak yerleştirilir. f. ticm TGH 101 ikinci kat uygulaması yapılır. g. Bitiş kat sıvası, ticm Calce kullanılarak hazırlanmış bir harç ya da ticm TOH303 ile yapılır.
Döşeme Güçlendirme için Uygulama Önerileri	a. Uygulama öncesi, bozuk zemin kaldırılır ve mecut yüzey, gevşek malzeme, toz ve her türlü kirden arıldırılır. b. Yüzey, serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir. c. Uygulamanın döşeme üzerine ya da altına yapılacak olmasına göre ticm HPM 100 / 120 ya da ticm RPM 60 ilk kat uygulaması yapılır. d. istenilen ticm TEX Karbon ürünü, aralarda boşluk kalmayacak.

tcim TEX Karbon (TRM CR 370) malzemesinin teknik özellikleri Şekil 3.19’ da yer verilmiştir.

Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	CRL 100	CRL 200	CR 200	CR 370	CR 408	CR 500
Lif Tipi	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon	Karbon
Ana Doğrultuda Son Ağırlık (g/m²)	135	209	209	370	408	480
İkinci Doğrultuda Son Ağırlık (g/m²)	40,5	62,7	-	-	-	-
Elastisite Modülü (GPa)	≥ 240	≥ 240	≥ 240	≥ 240	≥ 240	≥ 240
Çekme Dayanımı (MPa)	> 4300	> 4300	> 4300	> 4300	> 4300	> 4300
Yoğunluk (g/cm³)	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
Uzama (%)	1,6	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Kaplama Tipi	SBR - Lateks	ÖAK*	ÖAK*	ÖAK*	SBR - Lateks	ÖAK*
Rulo Ölçüleri (m x m)	1 x 50	1,95 x 50 / 1 x 50	1 x 50	1 x 25	1 x 25	1,95 x 50 / 1 x 50
Açıklık Ölçüleri (mm x mm)	9 x 8	20 x 20	20 x 20	25 x 25	21,1 x 21,6	17 x 17
Ana Doğrultuda Kesit Alanı (mm²/m)	30	105	44	71	90	105

*ÖAK: özel aktif kaplama



Şekil 3.19. TRM malzemesi teknik özellikleri

3.1.2.4. Epoksi

Epoksi reçine terimi, nihai üründeki veya epoksi reçinesindeki herhangi bir temel bileşeni sertleştirmek için kullanılabilir. En az iki epoksi grubu içeren monomerlerden yapılan ısıyla sertleşen bir polimer türüdür. Epoksi reçineler, sertleştiriciler kullanılarak homopolimerize edilebilir. Ortam sıcaklığında kürleme veya termal kürleme için kullanılabilen çeşitli kürleme yöntemleri vardır. Bunlar, çok işlevli asitler, aminler, fenoller, merkaptanlar, alkoller ve asit anhidritleri içerir ve genellikle kürleme ajanları veya sertleştiriciler olarak anılırlar (Anonim, 2021).

Deneylerde Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. firması tarafından alınan, Skadur 4 kg A bileşenli ve 1 kg B bileşenli epoksi esaslı doyurma reçinesi olan Sikadur-330 kullanılmıştır. Sikadur-330 iki bileşenli, tiksotrpik özellikli epoksi esaslı doyurma reçinesi ve yapıştırıcıdır. Malzemenin özellikleri Çizelge 3.11' de verilmiştir (Anonim, 2020). Skadur-330 malzemesi Şekil 3.20' de gösterilmiştir (Anonim, 2020).



Şekil 3.20. Sikadur/330 bileşimi

Çizelge 3.9. Sikadur/330 standart özelliği

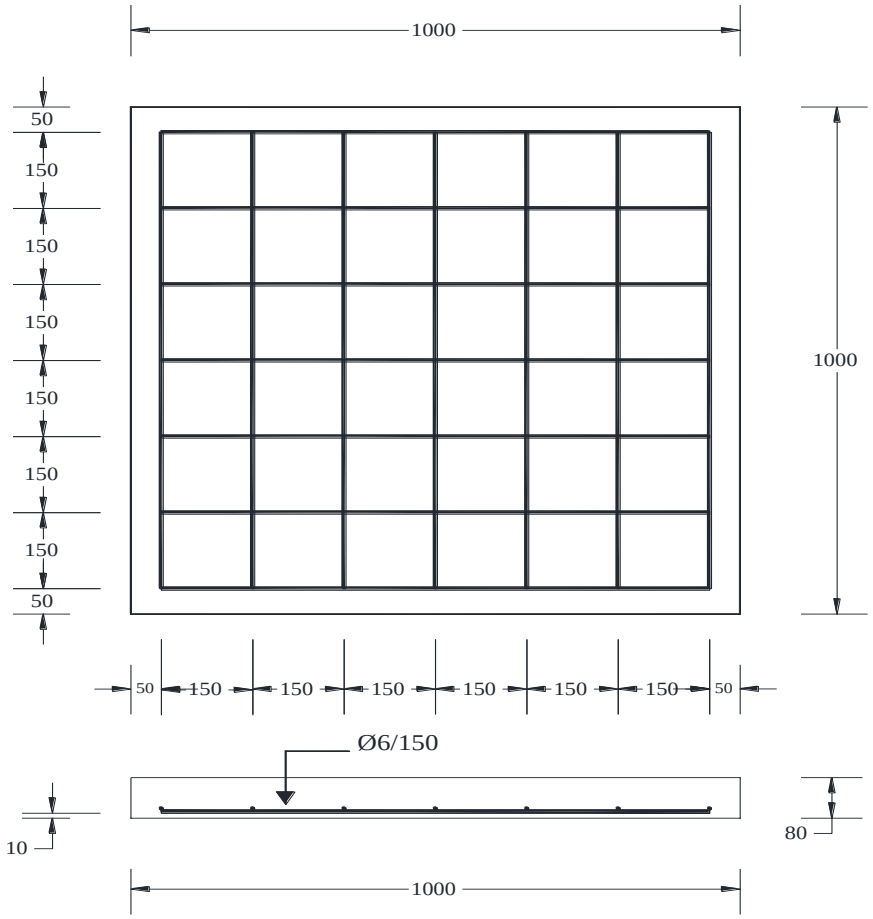
Kullanım Bölgeleri	- SikaWrap elyaflarının uygulanması yöntemleriyle uygulamasında kullanılır. - Düzgün yüzeylere SikaCarbonDur plaklarının yapıştırılmasında kullanılır.
Özelliği / Pozitif Etkileri	- Elle empregnasyon işlemi için kullanılır. - İyi aderans özelliğine sahiptir. - Yüksek mekanik özelliklidir.
Kimyasal Yapı	Epoksi reçine
Renk	A bileşeni: beyaz macun B bileşeni: gri macun A + B karışımı: açık gri macun
Yoğunluk	1.30 ± 0.1 kg/l (A+B bileşeni) (+23 °C'de)
Vizkozite	Kayma hızı: 50 /s Sıcaklık — Vizkozite +10°C — 10000 mPas +23°C — 6000 mPas +35°C — 5000 mPas
Termal Genleşme Katsayısı	4.5 × 10−5 1/K (−10 °C ile +40 °C arasında)
Eğilmede Elastisite Modülü	~ 3 800 N/mm2 (7 gün sonra,+23 °C'de)
Çekme Dayanımı	~ 30 N/mm2 (7 gün sonra,+23°C'de)
Gerilimde Elastisite Modülü	~ 4 500 N/mm2 (7 gün sonra,+23 °C'de)
Kopmada Uzama	0.9 % (7 gün sonra,+23 °C'de)
Çekme Yapışma Dayanımı	Kumlanmış yüzeyde betonda göçme (> 4 N/mm2)
Servis Sıcaklığı	–40 °C ile +45 °C

Çizelge 3.9. Sikadur-330 teknik özellikleri (devam)

Sistem Yapısı	Yüzey astarı - Sikadur®-330 Yapısal güçlendirme için dokuma/elyaf – ihtiyacı karşılayan uygun SikaWrap® ürünü
Karıştırma Oranı	A bileşeni : B bileşeni = 4 : 1 ağırlıkça Dökme malzeme kullanıldığında, bütün bileşenin uygun şekilde tartılması ve uygun dozla kesin karışım oranı korunmalıdır.
Sarfiyat	Genel olarak: 0.7 - 1.5 kg/m2
Dış Ortam Hava Sıcaklığı	+10 °C min. / +35 °C max.
Çiğ Noktası	Uygulama esnasında yüzey sıcaklığı, yoğuşma noktasının en az 3°C üzerinde olmalıdır.
Yüzey Sıcaklığı	+10 °C min. / +35 °C max.
Yüzey Nem İçeriği	< 4 % pbw

3.1.3. Deney Numunelerinin Deneye Hazır Hale Gelmesi

Deneysel çalışmalarda nihai taşıma kapasitesi yetersiz döşemeler ACI 440 standardına göre 50 mm ve 100 mm ebatlarında uygulanmasını ön görüp kuvvetlendirilmiştir. TRM şeritler, farklı yerleşim konumlarında döşemelerin alt yüzeylerine epoksi veya sıva katmanı ile yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Deneysel çalışmada 17 adet 1000x1000x80 mm boyutlarında betonarme döşemeler kullanılmıştır. Hepsinin beton ve donatı ebatları ve adetleri aynı olup Şekil 3.21’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Betonarme döşemenin detayları

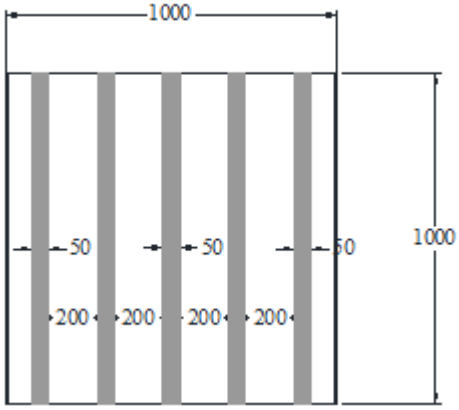
Döşemelerde, nervürlü ⌀6 hasır donatı çelikleri kullanılmış olup donatı, 150 mm aralıkları ile yerleştirilmiş ve pas paylarına dikkat edilecek biçimde yerleştirilmiştir. Beton kalıplarının, beton dökülecek yüzeyler temizlenmiş, kalıplar yağlanarak hazır hale getirilmiştir. Beton silindir basınç dayanımı 20 MPa olan beton kalıplara döküm işlemi gerçekleştirilerek etrafı mala ile düzenlemeler yapılarak yüzey pürüzsüz hale getirilmiştir (Şekil 3.22).



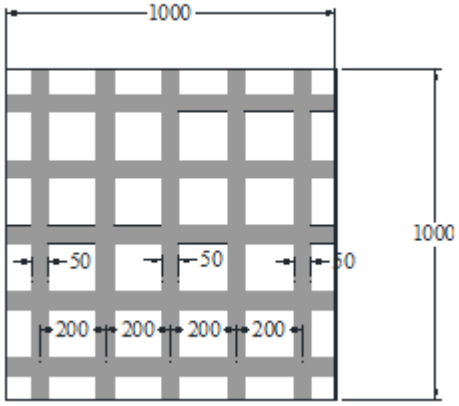
Şekil 3.22. Betonarme elemanların hazır hale gelmesi

Deneylerde toplamda 17 adet döşeme kullanılmıştır. Bu döşemelerin 8 tanesi ankrajlı ve 8 tanesi ankrajsız olmak üzere 16 tane TRM şeritleri güçlendirme yapılmıştır. Bir adet döşemeye hiçbir güçlendirme yapılmaksızın darbe yükünün etkilerini kıyaslamak için referans döşeme olarak yapılmıştır. Döşemelerde kullanılan TRM şeritleri 50 mm ve 100 mm genişliğinde olup, dört farklı yerleşim şekillerinde yapıştırılmıştır. 50 mm genişliğinde TRM şeritleri Şekil 3.23’ te, 100 mm genişliğinde TRM şeritleri Şekil 3.24’ te gösterilmiştir.

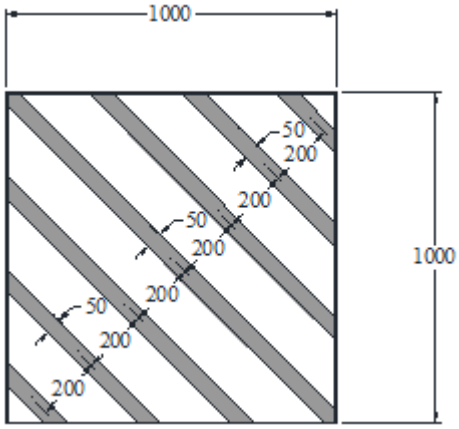
50 mm TRM Ortogonal Tek Yön



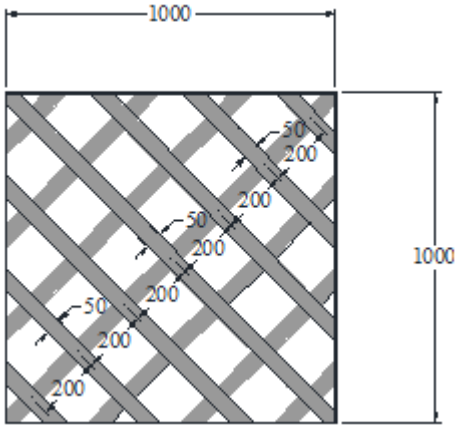
50 mm TRM Ortogonal Çift Yön



50 mm TRM Diyagonal Tek Yön

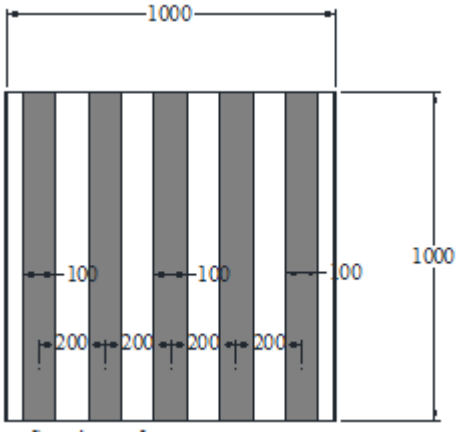


50 mm TRM Diyagonal Çift Yön

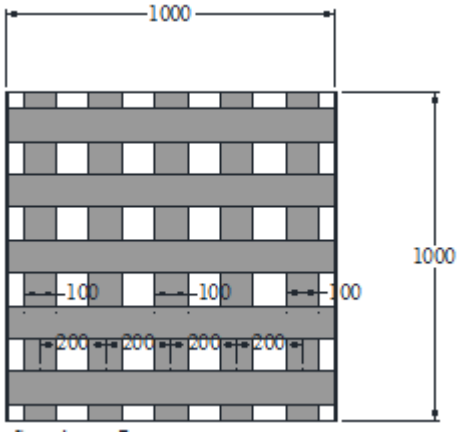


Şekil 3.23. 50 mm genişliğinde TRM şeritlerin yerleşim şekilleri

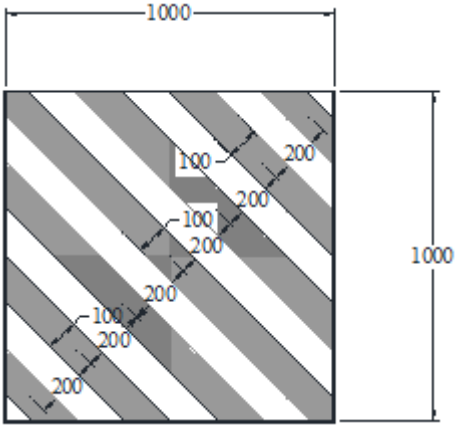
100 mm TRM Ortogonal Tek Yön



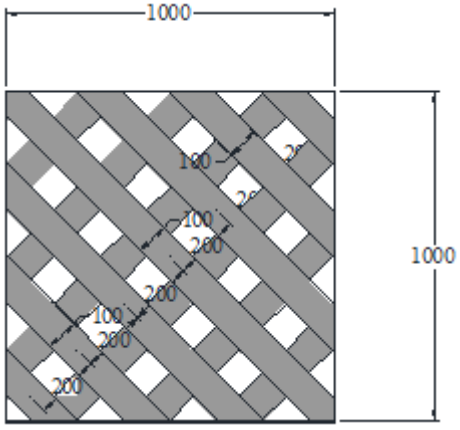
100 mm TRM Ortogonal Çift Yön



100 mm TRM Diyagonal Tek Yön

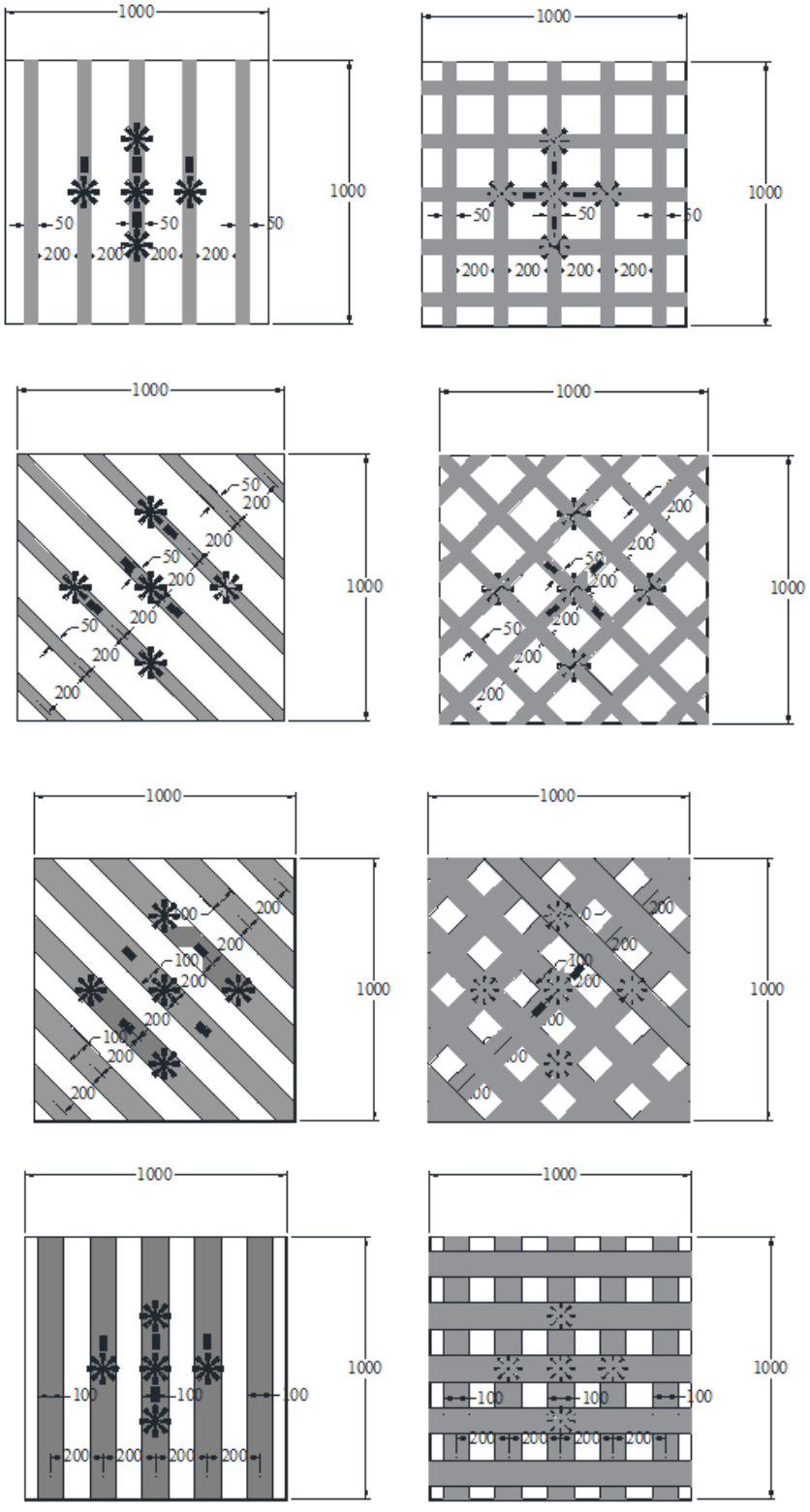


100 TRM Diyagonal Çift Yön



Şekil 3.24. 100 mm genişliğinde TRM şeritlerin yerleşim şekilleri

Deneysel çalışmadaki ankrajlı betonarme döşemelerin 50 mm ve 100 mm ortogonal ve diyagonal şeritlerin ankraj yerleri Şekil 3.25’ te yer verilmiştir.



Şekil 3.25. 50 mm ve 100 mm genişliğinde TRM şeritlerin ankraj yerleri

TRM şeritlerinin yapıştırılacak olan döşeme yerleri tespit edildikten sonra çarpma durumunda TRM şeritlerin betonarme döşemelerinden birden ayrılmaması için ince uçlu matkap kullanılarak bu şeritlerin oturacağı yerler pürüzlendirilmiştir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. Şeritlerin yerleştirileceği alanların belirlenmesi

Deneyde ankrajlı TRM şeritleri uygulamak için döşemelerin altına 4 santim delikler açılarak ankarj yerleri epoksi malzemesi ile doldurulmuştur. Hava komprasörü yardımı ile TRM şeritleri yapıştırılacağı yüzeyler tozdan arındırılmıştır.

Döşemelere yerleştirilecek 50 mm ve 100 mm genişliğindeki TRM şeritler, yerleşim yerlerine uygun ebatlarda kesilip hazır hale getirilmiştir. Hazır duruma gelen TRM şeritleri, ankrajlı yerlerde epoksi yardımıyla ankraj şerit birleştirilmesi yapılmış, üzerine 0,5 cm sıva katmanı ile döşemelere yapıştırılması sağlanmıştır (Şekil 3.27). Ankrajsız TRM şeritleri ise sadece sıva katmanı ile döşemelere yapıştırılmıştır.



Şekil 3.27. Ankrajlı TRM şeritlerin döşemelere yapıştırılması

Şekil 3.28’ de bütün güçlendirme döşemelerin hazır hale getirildiği gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Döşeme elemanların TRM ile güçlendirilmesi

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneysel Yöntem

TRM ile güçlendirilmiş betonarme döşemeler darbe yüklemesi altındaki davranışı ve çatlama biçimlerine; TRM şeritlerinin genişliği ve yerleşim şekillerinin etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Deney esnasında test edilecek olan döşemelerin silindir beton basınç dayanımı 40 MPa, donatı aralığı, 150 mm, çekicin ağırlığı 84 kg ve çekicin düşüm yüksekliği 1500 mm olup tüm deney numunelerinde sabit tutulmuştur.

Deneylerde 100mm ve 50mm genişliğinde iki farklı TRM şeritleri ve dört farklı TRM yerleşim şekli değişkendir. Deneylerde toplamda 17 adet döşemeler teste tabi tutulmuş olup S1’ den S17’ ye kadar numaralandırma yapılmıştır. Bu numaraların hangi tür dizilime ve şerit genişliğinin ne olduğu Çizelge 3.13’ de ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

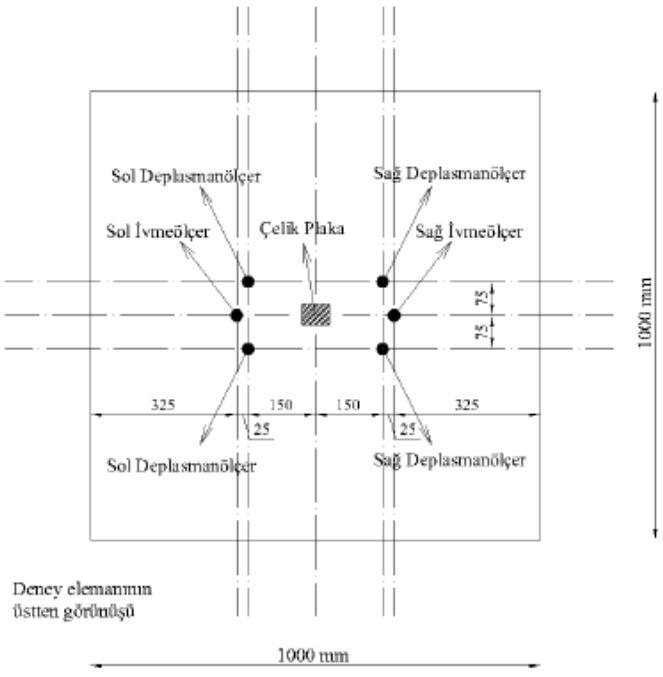
Deneylerde darbe etkisi sonucu döşemelerde oluşan ivmelerin zaman tanım alanındaki değişimi ivmeölçerlerle, döşemelerde meydana gelen yer değişimler potansiyometrik cetveller ile ölçülmüştür. İvmeölçerler döşemenin üzerinde olan ortadaki çelik plakanın her iki yüzeyine 125 mm mesafede pirinç vidalarla yerleştirilmiştir. Potansiyometrik cetveller çekicin döşemeye değdiği noktanın sağından ve solundan 150 mm, aşağısından ve yukarısından da 75 mm uzaklıkta dört adet potansiyometrik cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.29).

Deneylerde kullanılacak döşeme mesnet mekanizması üzerine oturtularak işkenceler ile iyice sabitlenmiştir. Çelik plaka ve kauçuk vidalar ile montaj işlemi tamamlanmış olup, bütün sistem mekanizmaları hazır hale getirilmiştir. Bu sistemler kablolar yardımıyla veri toplama aparatlarına her biri bağlanmış olup bu veri toplama cihazları ile bilgisayar ortamına kayıt edilip bütün değerler bilgisayar programı yardımıyla toplanmıştır. Şekil 3.30’ da sistem deneye hazır hale getirildiği gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Deney numunelerin özellikleri

Deney Elemanı	**Çekiç Ağırlığı**	**Düşüm Yüksekliği**	**TRM Bağlanış Şekli**	**TRM Şerit Yerleşim Şekli**
S1 (Referans)	84 kg	1500 mm	------	Referans
S2 (C50sOr)			Ankrajsız	Carbon 50 mm single ortogonal
S3 (C50dOr)				Carbon 50 mm double ortogonal
S4 (C50sDi)				Carbon 50 mm single diyagonal
S5 (C50dDi)				Carbon 50 mm double diyagonal
S6 (C100sOr)				Carbon 100 mm single ortogonal
S7 (C100dOr)				Carbon 100 mm double ortogonal
S8 (C100sDi)				Carbon 100 mm single diyagonal
S9 (C100dDi)				Carbon 100 mm double diyagonal
S10 (C50sOr_A)			Ankrajlı	Carbon 50 mm single ortogonal ankrajlı
S11 (C50dOr_A)				Carbon 50 mm double ortogonal ankarajlı
S12 (C50sDi_A)				Carbon 50 mm single diyagonal ankrajlı
S13 (C50dDi_A)				Carbon 50 mm double diyagonal ankrajlı
S14 (C100sOr_A)				Carbon 100 mm single ortogonal ankarajlı
S15 (C100dOr_A)				Carbon 100 mm double ortogonal ankrajlı
S16 (C100sDi_A)				Carbon 100 mm single diyagonal ankrajlı
S17 (C100dDi_A)				Carbon 100 mm double diyagonal ankrajlı





Şekil 3.29. Çelik plaka, ivme ve deplasman ölçü aletlerin yerleşim detayı

Deneysel çalışmada on yedi adet döşemelerden çarpma yükü-zaman, ivme-zaman, deplasman-zaman, birim deformasyon-zaman ölçümlerin grafik durumlarını bilgisayar ortamında toplanmıştır. Deney sonunda çatlakların dağılımları incelenmiştir.



Şekil 3.30. Betonarme döşemelerin deneye hazır hale getirilmesi

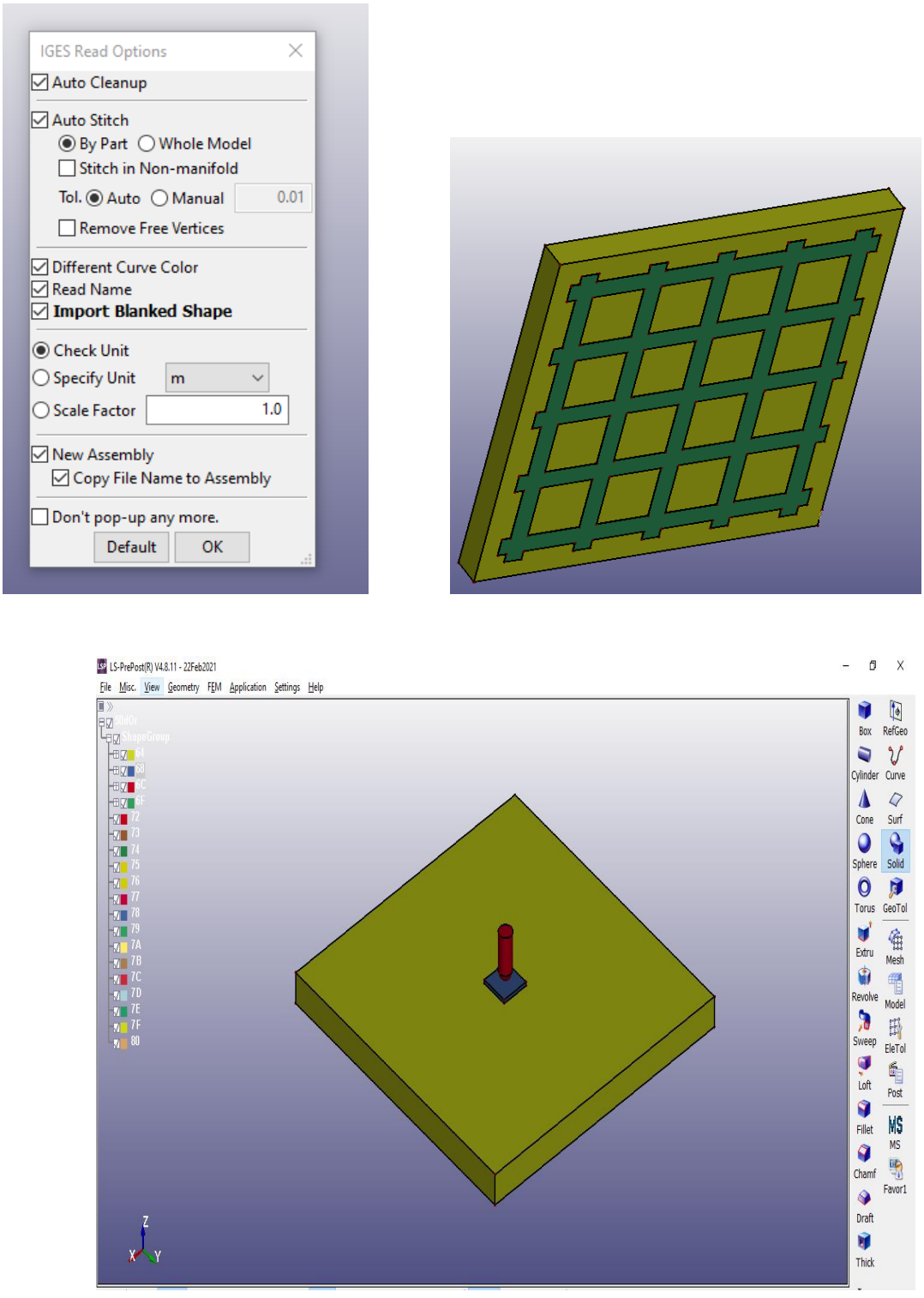
3.2.2. Sayısal Analiz Yöntem

Bu çalışmanın sayısal analiz bölümünde, çarpma etkisi altındaki betonarme döşemelerin dinamik analizini gerçekleştirmek için LS DYNA sonlu elemanlar analizi yazılımı kullanılmıştır. Arttırılmış dinamik analiz için en doğru sonucu veren explicit module kullanılmıştır. Bütün sistemde kullanılan birimler: kg, m, Pa, sn, N olarak değerler girilmiştir. Programda modelleme aşamaları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Geometrik modelin oluşturulması
- Malzeme özellikleri ve davranışların belirlenmesi
- Modele sonlu elemanlar mesh özelliklerin atanması
- Yük ve mesnet koşulların belirlenmesi
- Kesit özelliklerinin atanması
- Analiz düzenlemelerin yapılması
- Sonuç değerlerin belirlenmesi

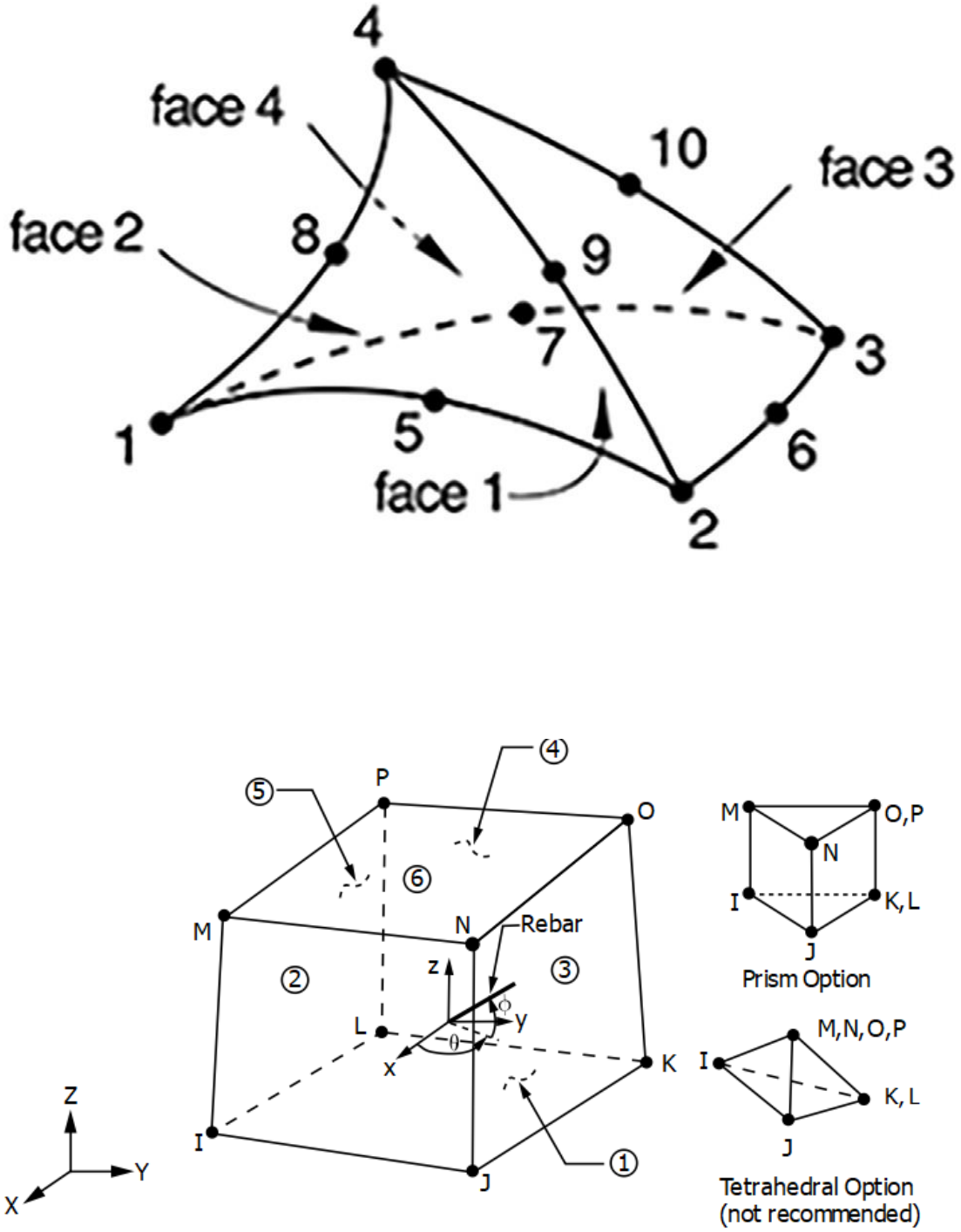
3.2.2.1. Geometrik Modelin Oluşturulması

Bu çalışmada 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Bunun için LS DYNA programından katı model oluşturmak için geometry kısmından solid bölümü açılıp istenilen şekilde ve boyutlarda modeller tanımlamalar yapılabilir. Bunun dışında başka programlar yardımıyla katı modeller çizilip LS DYNA programına aktarma işlemi yapılabilir. Başka programlardan çizim aktarmak için iges uzantılı dosya olması gerekir. Bu çalışmada bütün çizimler Autocad programından çizilmiş ve LS DYNA programına aktarım sağlanmıştır. Betonarme eleman, TRM güçlendirme malzemesi, çelik plaka ve çekiç üç boyutlu katı model olarak çizilmiştir. Ankraj elemanı ve donatı çizimleri line olarak çizilmiştir. Çizimler tamamlandıktan sonra Autocad formatından iges uzantılı dosya olarak kaydedilmiş ve LS DYNA programına import işlemi gerçekleştirilmiştir. Sistemde import edildiğinde hangi uzunluk biriminde çizim yapılırsa LS DYNA programı içerisinde o uzunluk birimi seçilmesi gereklidir. Bu çizimlerde uzunluk birim olarak metre kullanılmıştır (Şekil 3.31).



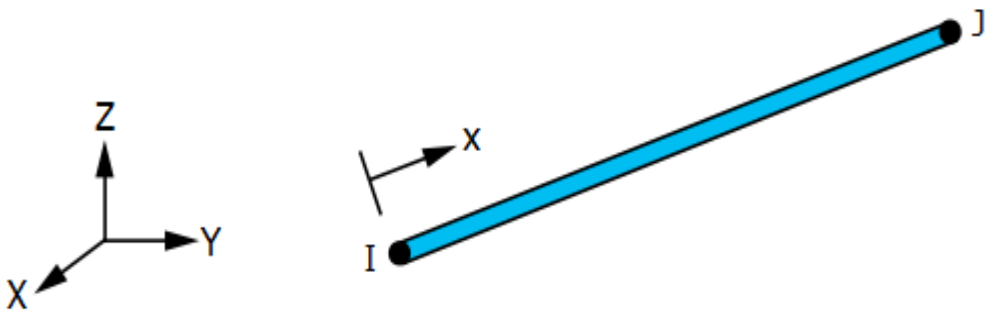
Şekil 3.31. Deneysel modelin LS DYNA programında oluşturulması

Yazılımda katı elemanlar için darbe problemine uygun üç boyutlu 10-düğümlü modifiye edilmiş tetrahedron şekilli elemanlar kullanılmıştır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Tetrahedron 10 noktalı şekil elemanı

Çelik donatıları için çubuk elemanlar atanmış olup her biri 3 serbestlik derecesine sahip iki noktadan oluşan line elemanlardır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33. Line eleman

3.2.2.2. Malzeme Özellikleri ve Davranışlarının Belirlenmesi

Laboratuvar deneylerinde elde edilen sonuçlara yakın değerler bulmak için LS DYNA programında kullanılan betonun, donatı çeliğinin ve TRM' nin malzeme özellikleri ile aynı özelliklere sahip olması önemlidir.

Deneyde kullanılan betonarme döşemelerin silindir basınç dayanımı 40 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu modelde darbeli yüklere maruz kalan gömülü çelik donatılı beton malzemeleri analiz etmek için MAT72_CONCRETE_DAMAGE_REL3 kullanılmıştır. Bu model üç kesme kırılma yüzeyi kullanır. Hasar ve gerinim oranı etkileri içerir. Pseudo-Tensor' a dayalı kökenlere sahiptir. Bu model tarafından sağlanan en önemli kullanıcı iyileştirmesi, yalnızca betonun sınırsız basınç dayanıma dayalı bir model yeteneğidir (Anonim, 2012). Bu materyalde üç doğrusal şekil fonksiyonlarına sahip tek noktalı entegresyon ve buna ilaveten hourglass kontrolü kullanan 10 düğümlü hekzahedran (altı yüzlü) bir katı eleman tarafından modellenmiştir. MAT72_REL3' ü tanımlamak için gerekli olan tek giriş parametresi serbest beton basınç dayanımıdır ve diğer parametreler beton basınç dayanım değerini kullanarak LS DYNA tarafından otomatik olarak üretilir. Kullanıcılar ayrıca yazılım tarafından oluşturulan parametreleri değiştirebilir. Serbest beton basınç dayanımı, 28. günde 45MPa olarak kübik beton basınç dayanımı olarak bulunmuştur. Bu değere karşılık gelen 40MPa silindir basınç dayanımı hesaba katılmıştır.

MAT72_REL3 malzeme modeli, betonarme döşemenin darbe taşıma kapasitesine katkı sağlamayan hasarlı betonu açık analizden çıkarmak için LS DYNA' da bulunan MAT_ADD_EROSION ile birleşim sağlanmıştır. Bu algoritma kullanıldığında, çekme dayanımı tanımlanan erozyon çekme dayanımını veya erozyon ana şekil değiştirmesini aşan beton elemanlar sayısal analizden çıkarılmıştır. Yapı elemanlarının darbe ve patlama analizi ile ilgili birçok çalışmada, hesaplamalı taşmaya neden olması nedeniyle aşırı bozulma ve deformasyon sergileyen beton elemanları kaldırılması için erozyon fonksiyonundan yararlanılmıştır. Bu kriter deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiş ve doğru sonuçlar elde etmek için 0.5 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca beton malzemenin yoğunluğu 2400 kg/m^3 olmuştur.

Darbe ve patlama gibi yüksek oranlı yüklere maruz kalan beton ve çelik malzemelerin mekanik davranışları yarı statik yük koşullarından farklıdır. Yüksek oranlı yükleme, malzemelerin basınç ve çekme mukavemetlerini arttırır. Bu nedenle sayısal analizde gerinim hızı etkisinin dikkate alınmasının, darbe yükü altında yapısal elemanların dinamik tepkilerinin ve göçme modlarının doğru bir şekilde değerlendirilmesinde çok önemli bir role sahiptir. Gerinim hızı etkisi, çelik ve beton malzeme modellerinde yaygın olarak, gerinim hızına göre dinamik artış faktörünün (DIF) değişimini ifade eden bir fonksiyonla dahil edilir. DIF dinamik gücün statik güce oranı olarak tanımlanır. Beton ve çelik malzemeler üzerinde gerinim hızı etkisini tahmin etmek için literatürde birçok ampirik denklem sunulmuştur. Sayısal çalışma kapsamında, Lie ve Heo tarafından beton basınç ve çekme dayanımının DIF' leri kullanılırken, çelik donatılar için Malvar tarafından önerilen DIF bağlantıları kullanılmıştır. Beton malzemesinin $\dot{\varepsilon}_d$ gerinim oranındaki basınç ve çekme DIF' leri Denklem 3.1 ve Denklem 3.2' de sunulmuştur.

Denklem 3.1

$$CDIF = \frac{f_{cd}}{f_{cs}} = \begin{cases} 0.0419\ (log\dot{\varepsilon}_d) + 1.2165 & for(\dot{\varepsilon}_d \leq 30s^{-1}) \\ 0.8988(log\dot{\varepsilon}_d)^2 - 2.8255(log\dot{\varepsilon}_d) + 3.4707 & for(\dot{\varepsilon}_d > 30s^{-1}) \end{cases}$$

Denklem 3.2

$$TDIF = \frac{f_{td}}{f_{ts}} = \begin{cases} 0.26(log\dot{\varepsilon}_d) + 2.06 & for\ (\dot{\varepsilon}_d \leq 1s^{-1}) \\ 2(log\dot{\varepsilon}_d) + 2.06 & for\ (1s^{-1} < \dot{\varepsilon} \leq 2s^{-1}) \\ 1.44331(log\dot{\varepsilon}_d) + 2.2276 & for\ (2s^{-1} < \dot{\varepsilon}_d \leq 150s^{-1}) \end{cases}$$

Burada CDIF ve TDIF, beton için sırasıyla basınç ve çekme DIF' leridir. f_{cd} ve f_{td}, $\dot{\varepsilon}_d$ lere oranındaki dinamik basınç ve çekme dayanımlar iken, f_{cs} ve f_{ts} sırasıyla basınç ve çekme dayanımlarıdır. Ayrıca belirli bir gerinim oranı $\dot{\varepsilon}$ için, hem çekme hem de basınç çelik malzemeye ait DIF'ler Denklem 3.3' te hesaplanabilir.

Denklem 3.3

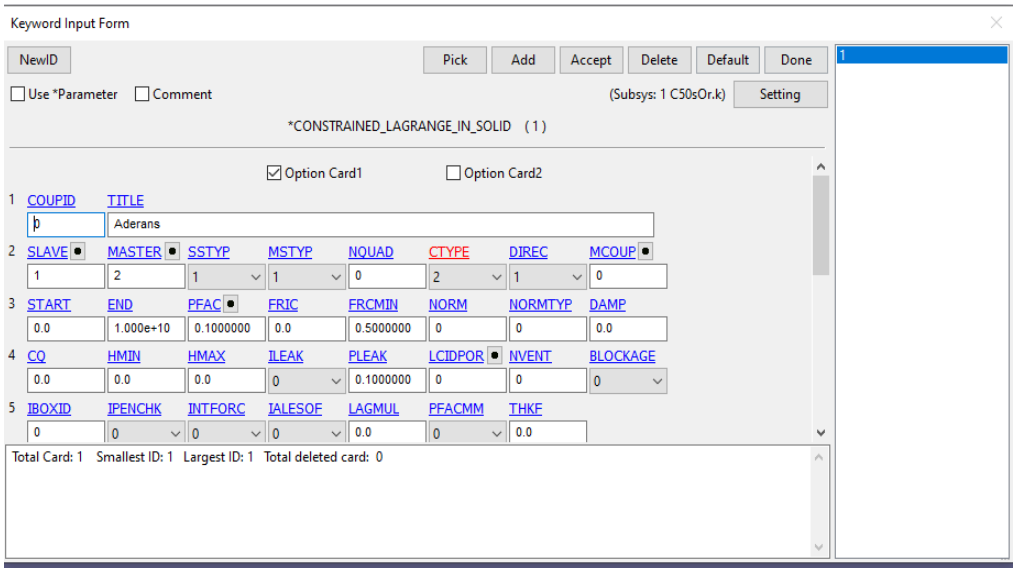
$$DIF = \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{10^{-4}}\right)^{\alpha}$$

Denklem 3.3' te bulunan $\boldsymbol{\alpha}$ katsayısı çeliğin akma dayanımına bağlı olarak f_y Denklem 3.4 gibi ifade edilebilir.

Denklem 3.4

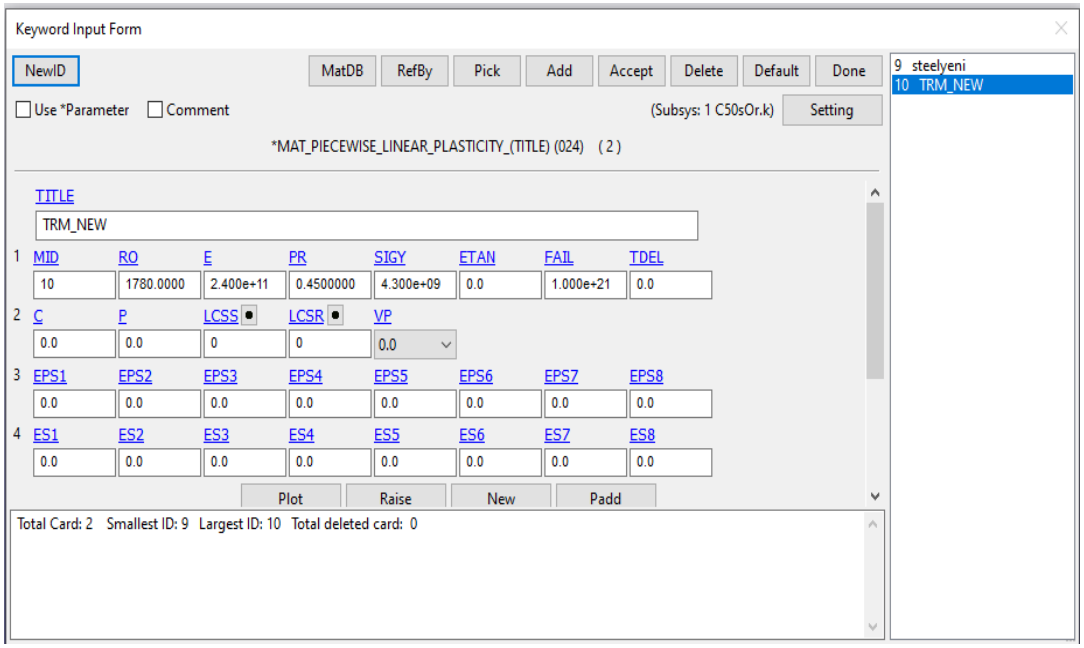
$$\alpha = 0.074 - \frac{0.04 f_y}{414}$$

Çelik donatı elemanların materyal özelliklerini tanımlamak için LS DYNA' da bulunan MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (MAT_24) modelini kullanarak elastik-plastik bir malzeme olarak modellenmiştir. Bu modelde, doğrusal olmayan davranış sergilemesi için STRESS-STRAIN-CURVE tanımlaması yapılmıştır. Bununla birlikte ayrıca bu model gerinim hızı etkisinin dikkate alınmasını sağlar. Sayısal modelde çelik akma dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı ve yoğunluğu sırasıyla 576 MPa, 200000 MPa, 0,3 ve 7850 kg/m^3 olarak tanımlanmıştır. Sayısal çalışma kapsamında, CONSTRAINED_LAGRANGE_IN_SOLID komut ile beton ile donatı arasındaki aderans sağlanmış oldu (Şekil 3.34).

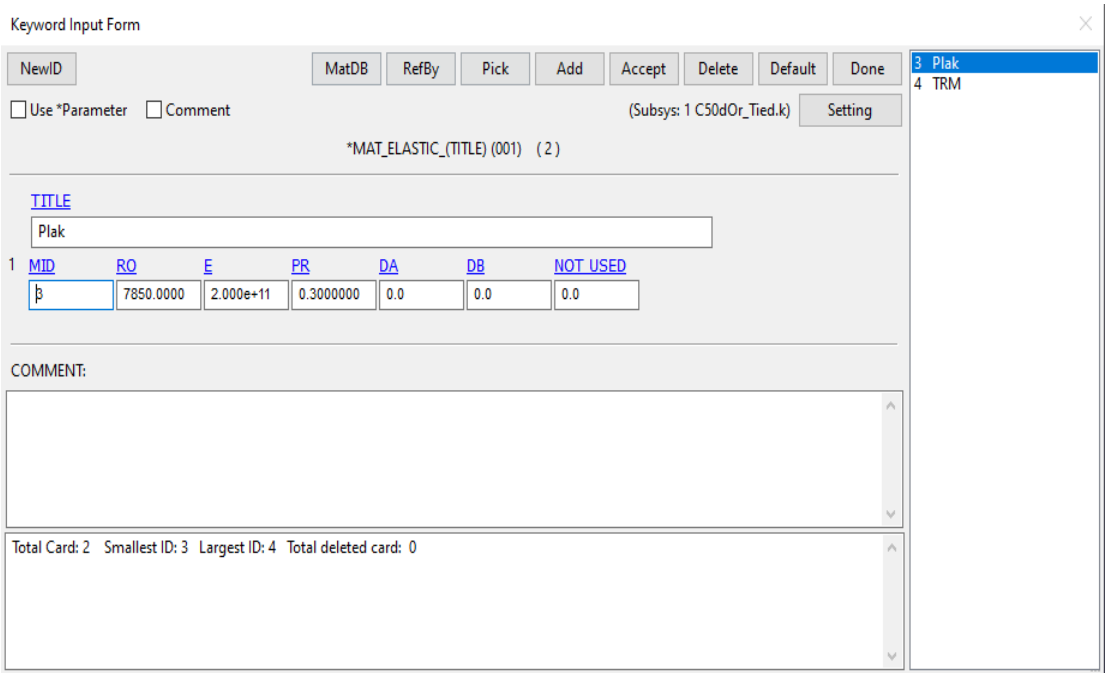


Şekil 3.34. CONSTRAINED_LAGRANGE_IN_SOLID tanımlanması

Deneyde kullanılmış olan TRM güçlendirme malzemesinin analiz programında materyal olarak MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (MAT_24) tanımlama yapılmıştır. Yoğunluk, elastisite modülü, poisson oranı, çekme dayanımı gibi özellikler programa tanılaması yapılmıştır. Deneysel çalışmada 1mm kalınlığında TRM şeridi kullanılmıştır. Programa tanımlanırken LS DYNA' da birbirine bağlı elemanların boyutlarındaki modellemede 1 mm kalınlığındaki TRM şeridi kullanılmıştır (Şekil 3.35). Aynı zamanda beton üzerindeki çelik plakanın materyal tanımlaması da 001-ELASTIC' de yapılmıştır. Çelik plakanın materyal tanımlaması Şekil 3.36' da gösterilmiştir.

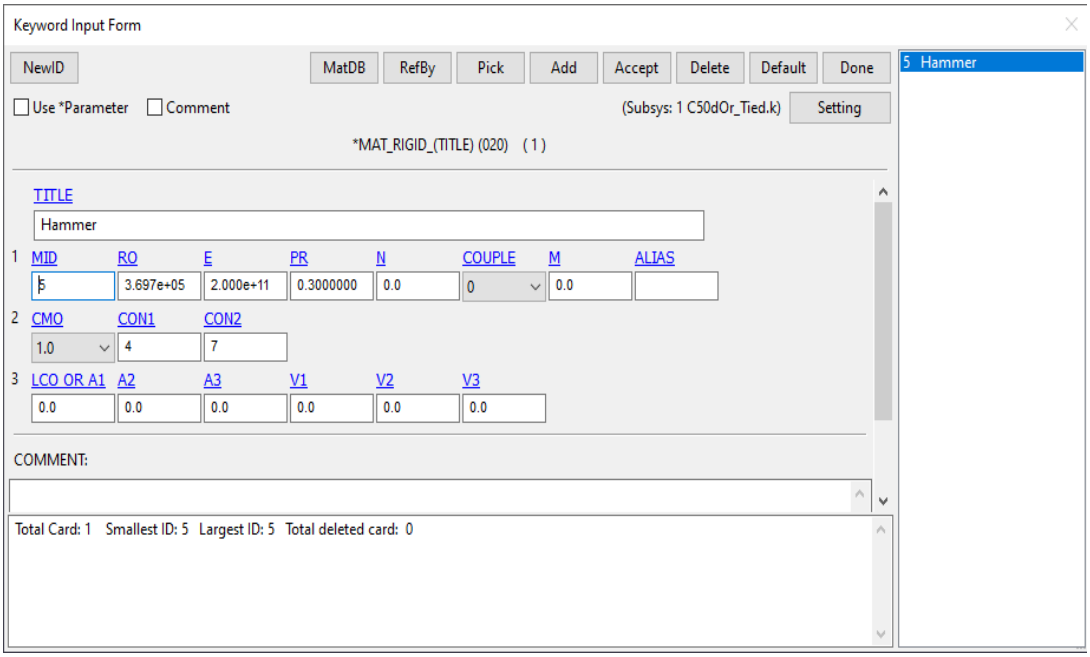


Şekil 3.35. TRM şeritlerin materyal özelliklerinin tanımlanması



Şekil 3.36. Çelik plakanın materyal özelliklerinin tanımlanması

Deney mekanizmasına düşürülen çelik çekicin materyal tanımlaması yapılırken LS DYNA materyal kısmından 020-RIGID kullanılmıştır. Program analizinde çekicin rijit bir özelliğe sahip olması istenilmiştir. 84 kg ağırlığında çekicin tanımlanmasında hacim ve kütle belli olduğu için yoğunluk programa girilmiştir (Şekil 3.37).

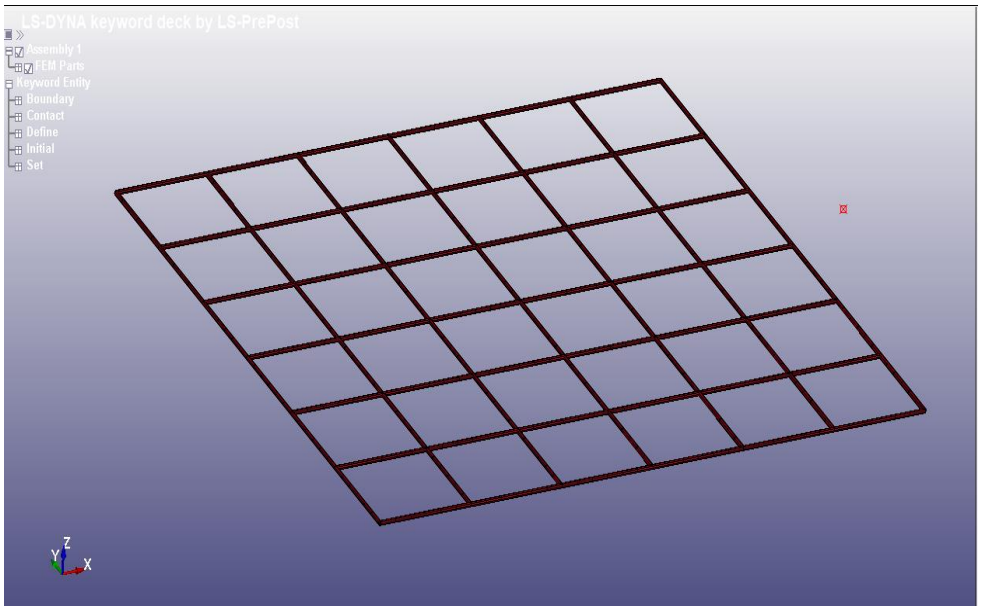


Şekil 3.37. Çelik çekiç materyal özelliklerinin tanımlanması

3.2.2.3. Modele Sonlu Elemanlar Mesh Özelliklerinin Atanması

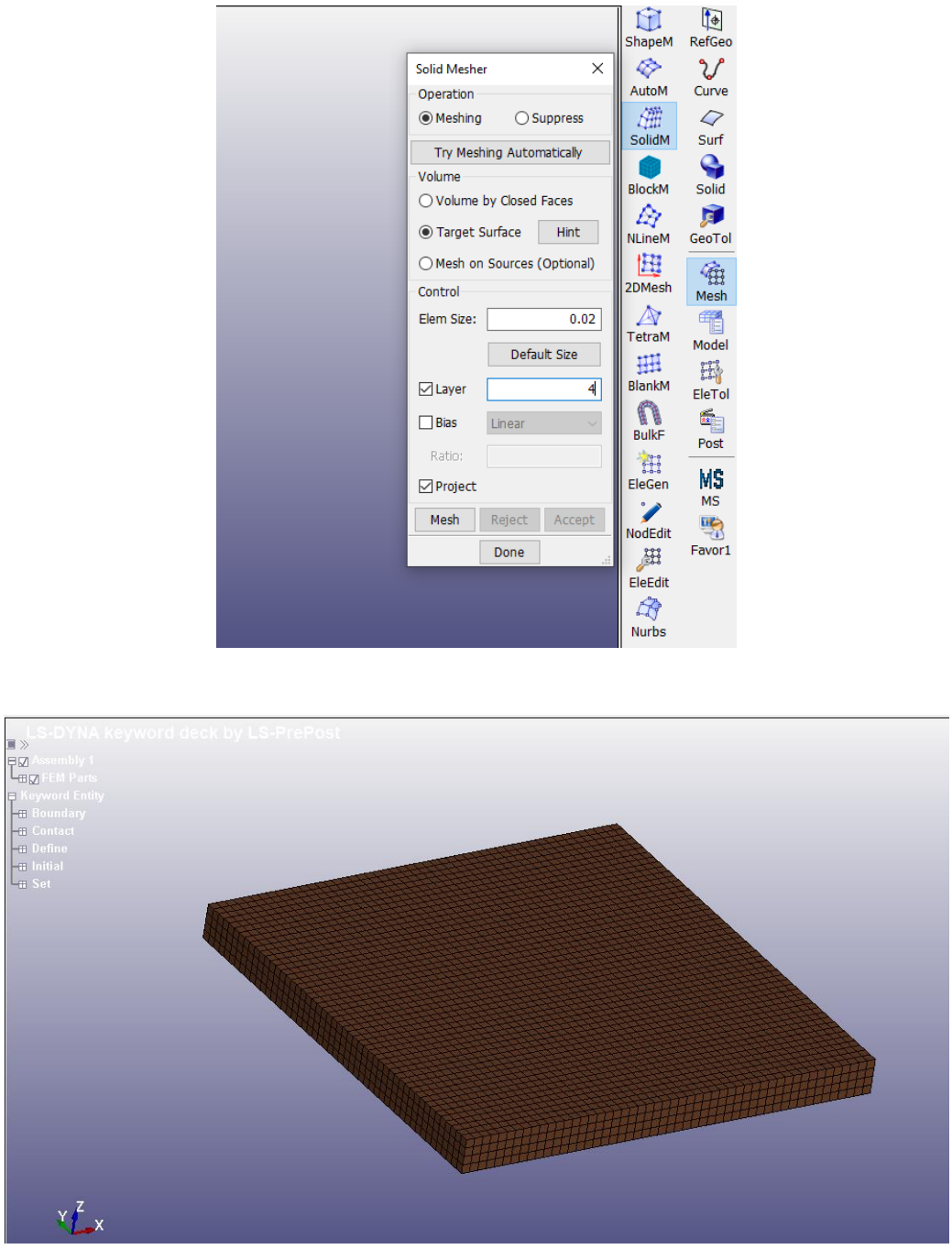
Mesh yoğunluğu seçimi sonlu elemanlar yöntemi için büyük bir önem içerir. Çünkü sonlu elemanlara bölüm sayısı ne kadar çok olursa programdan elde edilen sonuçlar daha doğru ve deney sonuçlarına daha yakın olur. Programda mesh yöntemler çok çeşitlilik gösterir. Automatic mesh özelliği rastgele sonlu elemanlara bölme işlemi yapar. Ama bu çalışmada mesh işlemleri kullanıcı tarafından ayarlanmış ve birkaç farklı mesh işlemler kullanılmıştır. Aralarında en doğru ve kullanışlı sonuç veren mesh ebatları girilmiştir.

Çelik donatı elemanların mesh işleminde ilk olarak LS DYNA programına aktarılan çizimden sonra programdan Mesh bölümü açılır. Size kutucuğu seçilip value: 0,025 değeri atanır ve donatı için sonlu elemanlar işlemi gerçekleşmiş olur (Şekil 3.38).



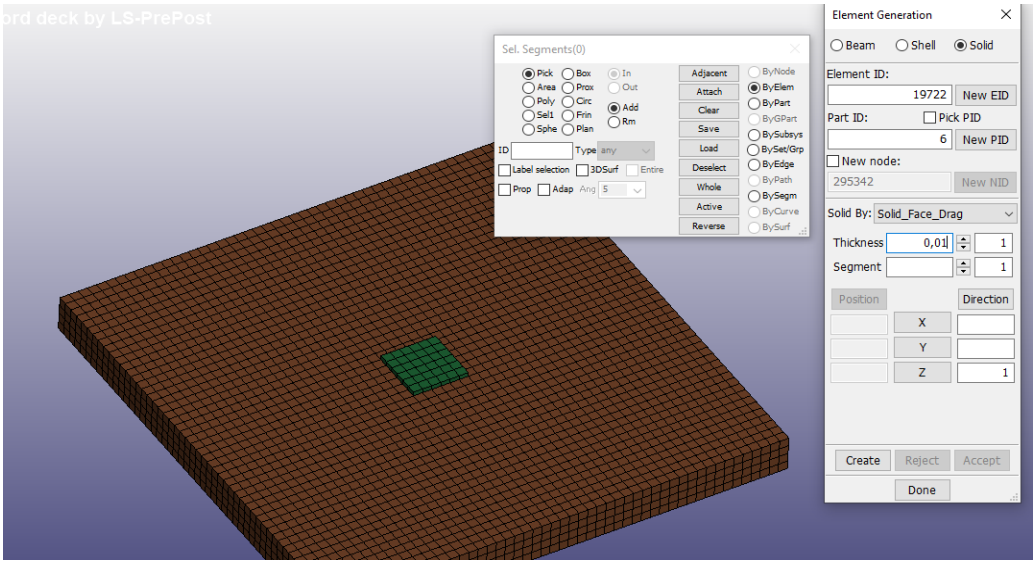
Şekil 3.38. Donatı çeliğinin sonlu elemanlara bölünme işlemi

Betonarme döşemeyi sonlu elemanlara bölmek için Mesh → SolidMesh kısmı açılır. Solid Mesher penceresinden Target Surface seçilir. Elem Size: 0,02 seçilir. Layer: 4 (Z yönünde kaç parçaya bölünmek için kullanılan kısım) seçilir ve betonarme döşemenin mesh işlemi tamamlanmış olur (Şekil 3.39).



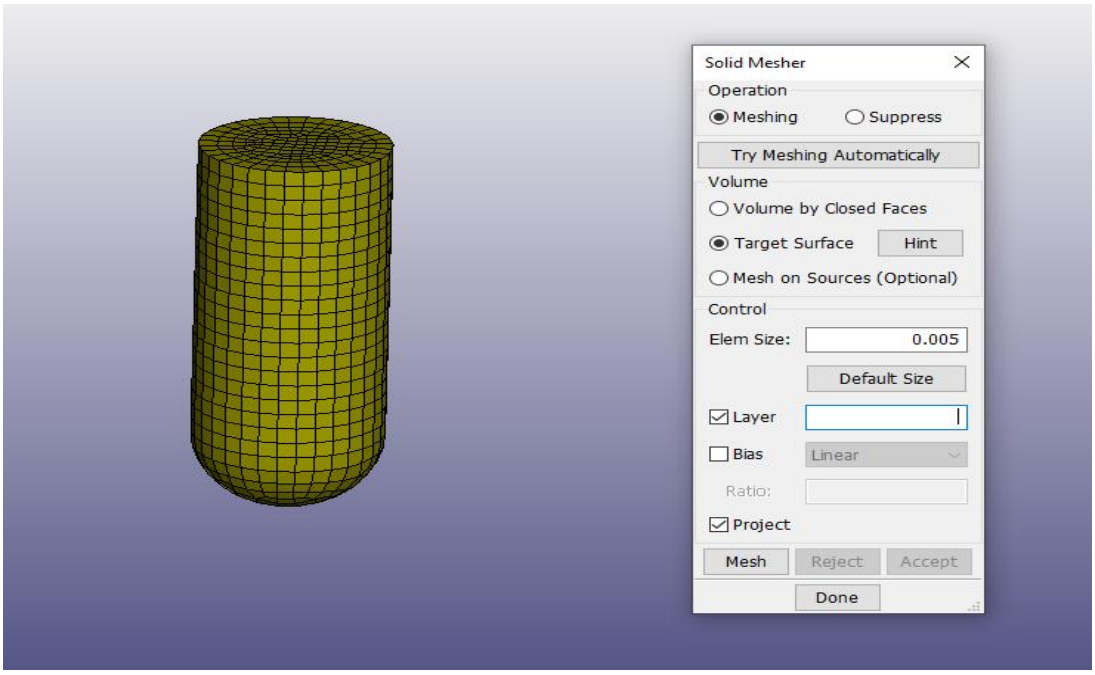
Şekil 3.39. Betonarme döşemenin sonlu elemanlara bölünme işlemi

Çelik plaka sonlu elemanların tanımlanmasında ise ELEMENT_GENERATION kısmından plakanın betonarme elemanın üst yüzeyine gelen alanları seçilir. Solid_face_drag kutucuğu seçilip kalınlık tanımlaması yapılır ve böylece çelik plakanın mesh atamaları tanımlanmış olur. Bu mesh işlemi ile beton ile plaka arasında kontak tanımlamasına gerek yoktur. Çünkü bu mesh sırasında program otomatik olarak bu iki yüzeyi tam tutulu olarak kabul eder (Şekil 3.40).



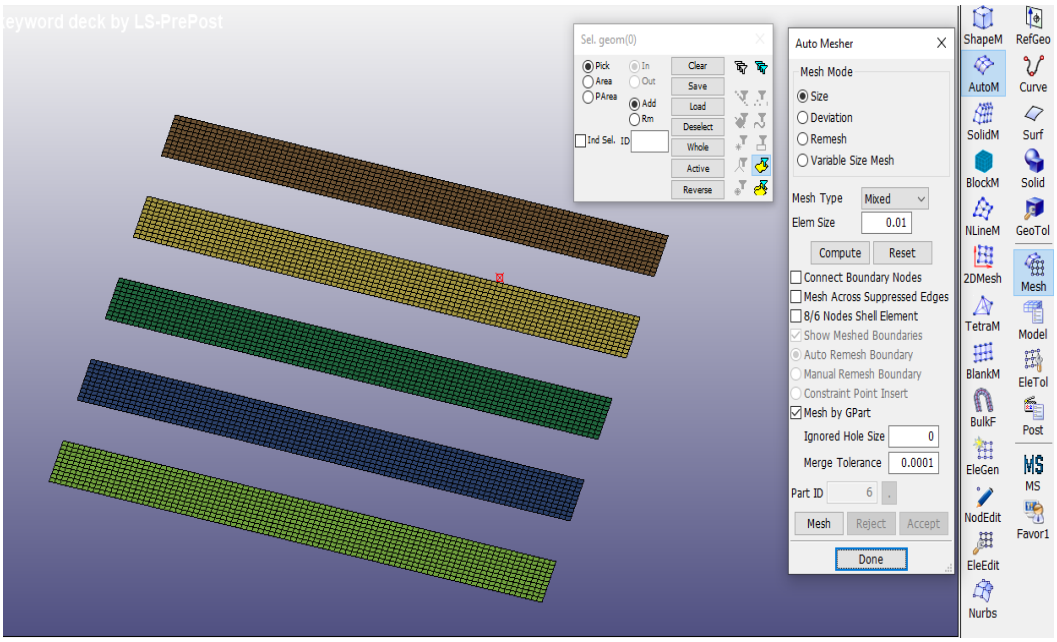
Şekil 3.40. Çelik plakanın sonlu elemanlara bölünme işlemi

Çekiç elemanın sonlu elemanlara bölünmesi işleminde Mesh → SolidMesh tıklanır. Solid Mesher penceresinden Target surface: Elem Size: 0,005 olarak seçilir. Layer kutucuğu boş bırakılır (Şekil 3.41).

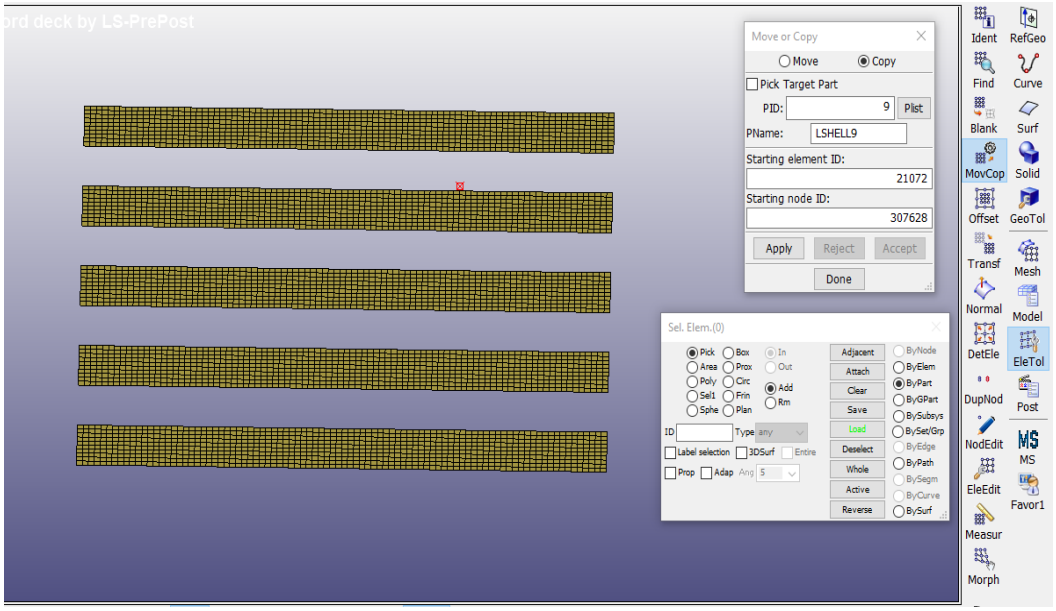


Şekil 3.41. Çelicin sonlu elemanlara bölünme işlemi

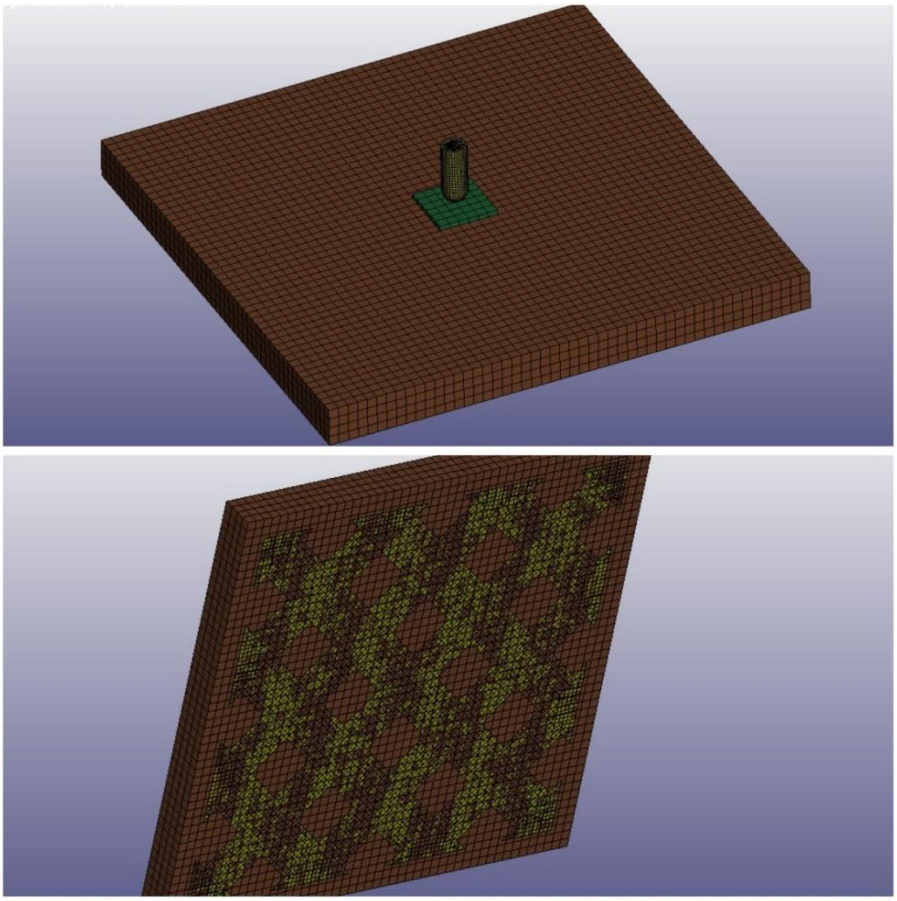
TRM şeritlerin sonlu elemanlara bölünmesi işlemi sırasında katı model olarak çizilen TRM modelin betonla birleştiği yüzeylerin seçilip Shell bir mesh işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada amaç program analiz süresini azaltmaktır. TRM özelliklerinde ve kalınlıkları ayrı ayrı programdan tanımlanıp katı model gibi davranması sağlanmıştır. Tek yönlü olan TRM şeritleri önce ayrı ayrı mesh işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ancak tek bir part haline getirilmesi için bazı işlemler yapılmıştır. Öncelikle TRM şeritlerin mesh işleminde Mesh → AutoMesher kısmına tıklanır. Auto Mesher penceresinden Mesh Mode: size seçilir. Elem Size: 0.01 yapılır ve TRM yüzeyi seçilip accept tuşuna basılır. TRM şeritlerin mesh işlemleri tanımlanmış olur (Şekil 3.42). Mesh işlemi gerçekleşmiş tek yönlü bütün TRM şeritlerin tek bir parta toplanması için EleTools → MovCop tıklanır. Move Copy açılır penceresinden copy kutucuğu işaretlenir. Sonrasında Pick Target Part kutucuğu işaretlenip 1 adet TRM şeridi seçilir. Bu diğer olan TRM şeritleri şeçilmiş olan partta toplanmış olur. Sonrasında SelElement bölümünden By Part seçilip diğer TRM şeritleri seçilir ve accept tuşuna basılır. Böylece bütün TRM elemanları tek bir part halinde toplanmış olur. Bunun yapılmasının sebebi hem analiz süresini daha kısa sürede tutmak ve aynı özellikte olan TRM şeritlerin ayrı ayrı part tanımlamaları ve kontak oluşturulmaları olduğu için program daha uzun süre işlem görmektedir (Şekil 3.43). Şekil 3.44' de bütün elemanların sonlu elemanlara bölünmüş hali gösterilmiştir.



Şekil 3.42. TRM şeritlerin sonlu elemanlara (mesh) bölünme işlemi



Şekil 3.43. TRM şeritlerin mesh işlemlerinin tek part haline getirilmesi



Şekil 3.44. Sonlu elemanlara bölünme işlemlerin genel görünümü

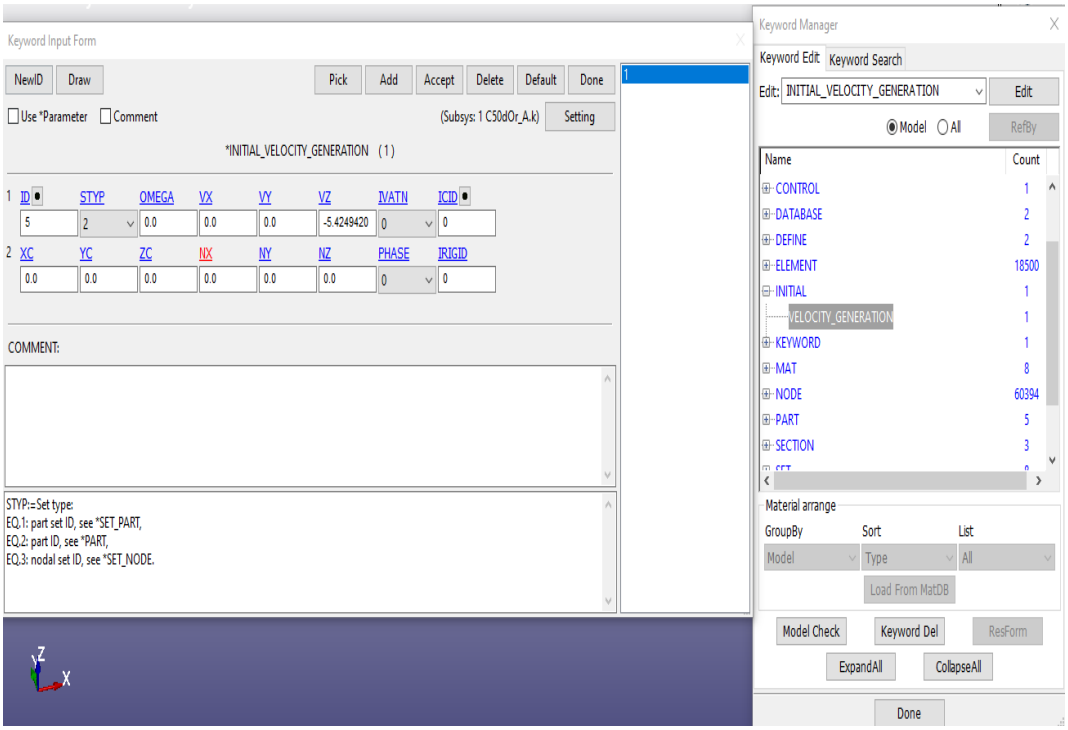
3.2.2.4.Yük ve Mesnet Koşullarının Belirlenmesi

Sonlu elemanlara bölünen model bir sonraki adımda yük ve mesnet koşulları uygulanmıştır. Bu çalışmada herhangi bir statik yükleme söz konusu değildir. Bunun yerine 84 kg ağırlığındaki çekiç, 1.5m mesafeden bırakılarak beton yüzeyine çarpma sonucu oluşan enerjinin betona ve güçlendirmeye dinamik etkisi incelenmiştir. Bu dinamik yükü modele tanımlamak için Initial_Velocity_Generation kısmından tanımlamalar yapılmıştır (Şekil 3.45). Çekice etkiyen yük (-) Z yönünde olmuştur. Burada hız tanımlanması yapmak gerekmektedir. Bunun için çekicin 1.5m yüksekliğindeki potansiyel enerji çarpma anındaki kinetik enerjiye dönüştürülerek Denklem 3.5' te hesaba katılmıştır.

Denklem 3.5

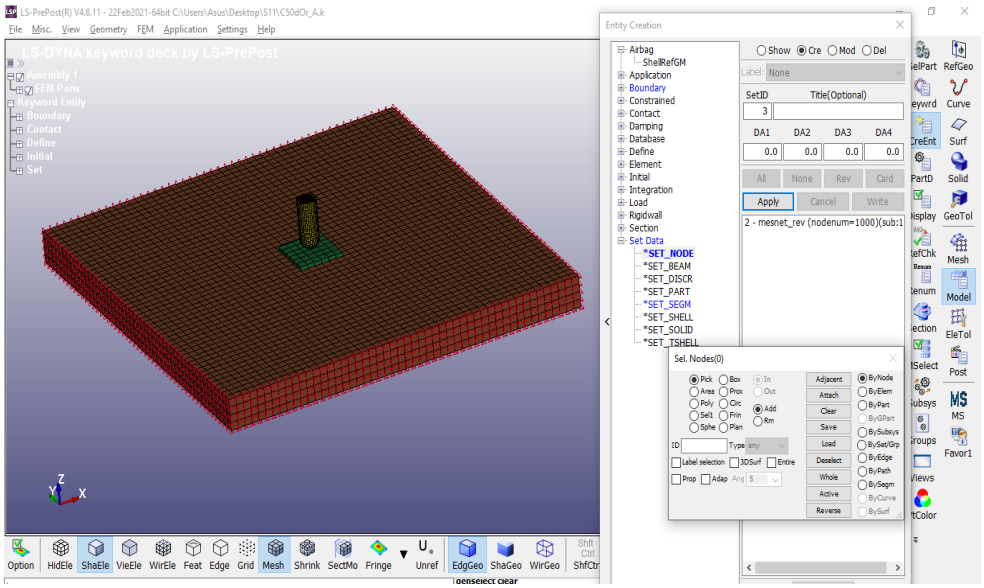
$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \rightarrow \frac{1}{2} * 84 * v^2 = 84 * 9.81 * 1.5$$

$$v = 5.42 \frac{m}{sn}$$

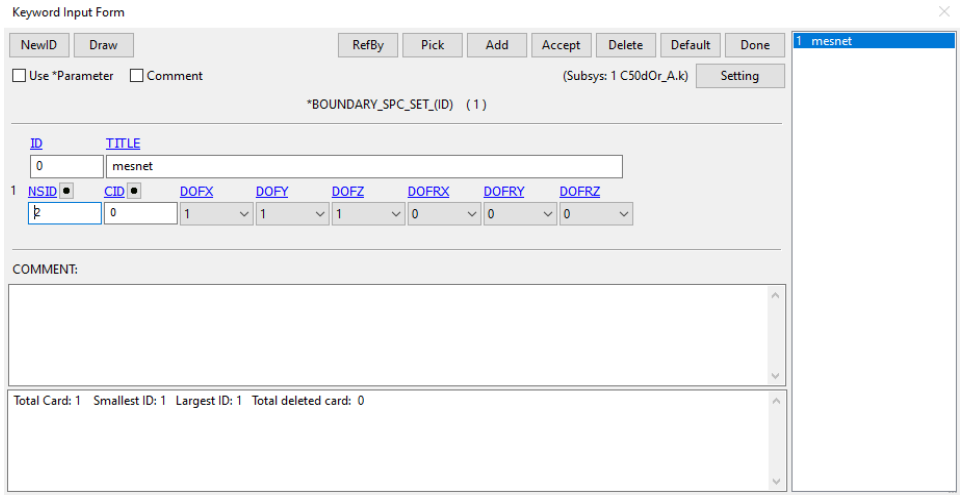


Şekil 3.45. Sisteme yük atamasının yapılması

Mesnet atamasının yapılmasında öncelikle betonun yan yüzeylerindeki bütün noktaları seçmek için Creat_Entity bölümünden Set Data → Set_Node kısmı açılıp create kısmına gelinir. Böylelikle betonun yan yüzeyleri seçilir ve Apply tuşuna basılır. Böylelikle mesnet atanacak yerlerin noktaları bir grup oluşturulur (Şekil 3.46). Mesnet ataması yapmak için Bondary → SPC_SET seçilir ve Şekil 3.47' deki gibi ayarlamalar yapılır ve mesnet ataması yapılmış olur. Mesnet olarak sadece x,y,z hareket yönleri tutulu hale getirilmiş olup, dönme hareketleri açık bırakılmıştır. Böylece deney mekanizmasına uygun bir şekilde hareket sağlamıştır.



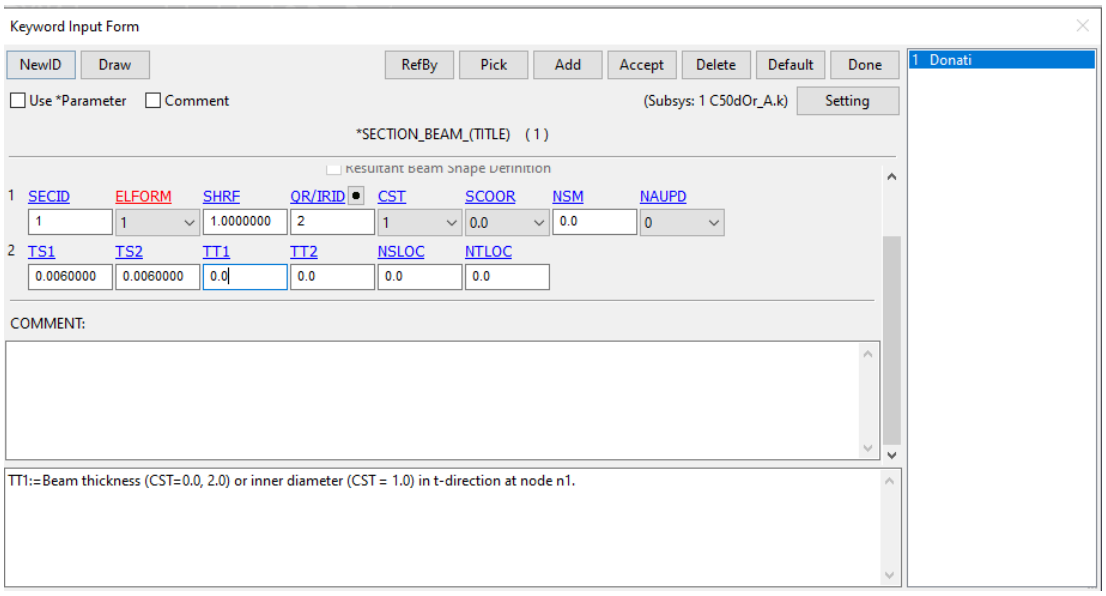
Şekil 3.46. Mesnet noktalara bir grup oluşturulması

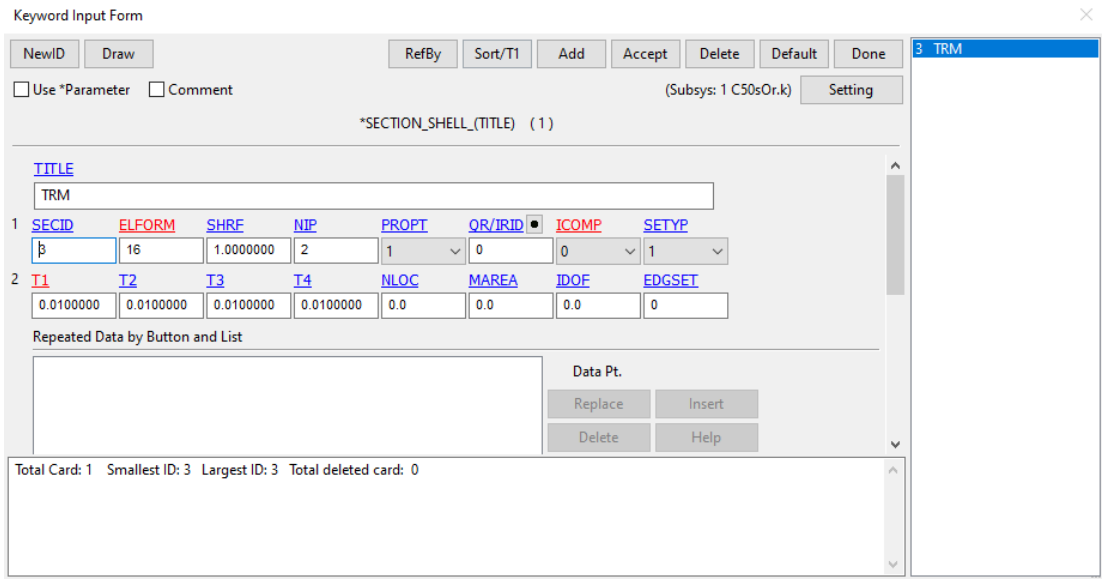


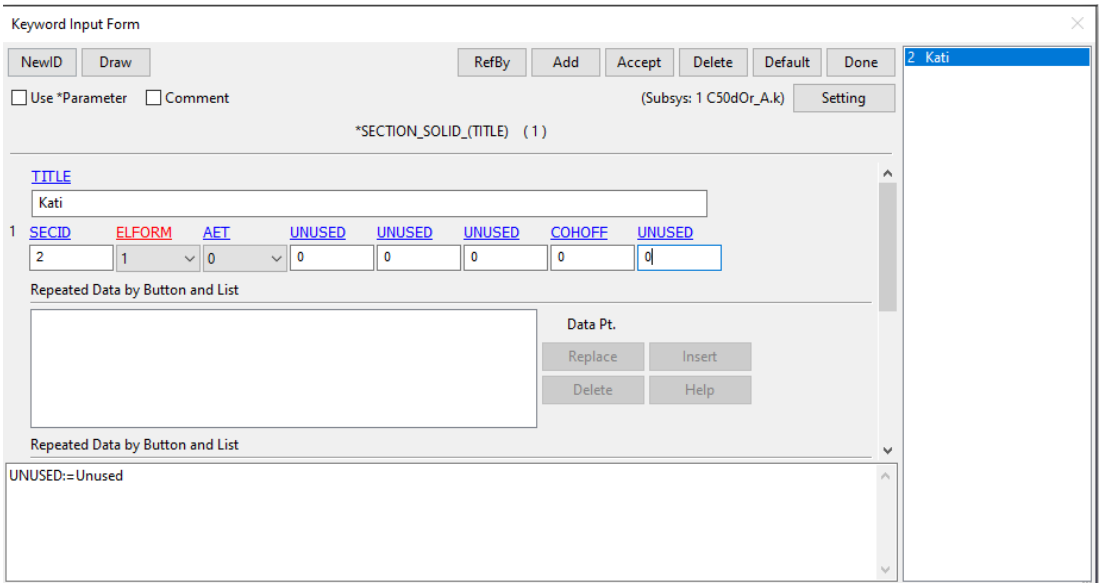
Şekil 3.47. Mesnet atanması yapılma işlemi

3.2.2.5. Kesit Özelliklerinin Atanması

Bu bölümde materyal özellikleri belirlenen yapıların modele nasıl tanımlanacağı anlatılacaktır. İlk olarak modelde çizilen kesitlerin kesit özelliklerini belirlemek için kesit tanımlamalar yapılmalıdır. Yani katı, yüzey ve çubuk eleman tanımlamaları yapılmalıdır. Bu çalışmada çekiç, beton, plaka katı model olarak tasarlanırken, TRM şeritleri yüzey elemanı olarak ve çelik donatılar, çubuk eleman olarak tanımlanmıştır. Bunları tanımlarken SECTION → BEAM / SHELL / SOLID kısımları Şekil 3.48' de gösterilmiştir. Donatı çapı 6 mm olacak şekilde ve TRM şeritlerinin kalınlıkları 1 mm olacak şekilde ayarlanmıştır.

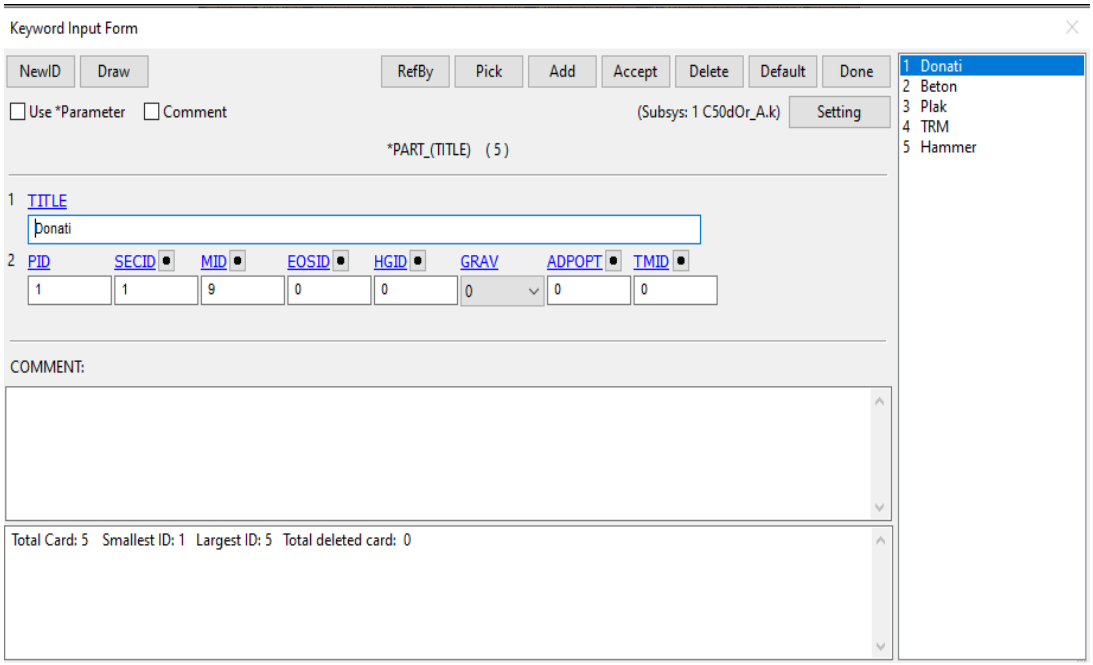


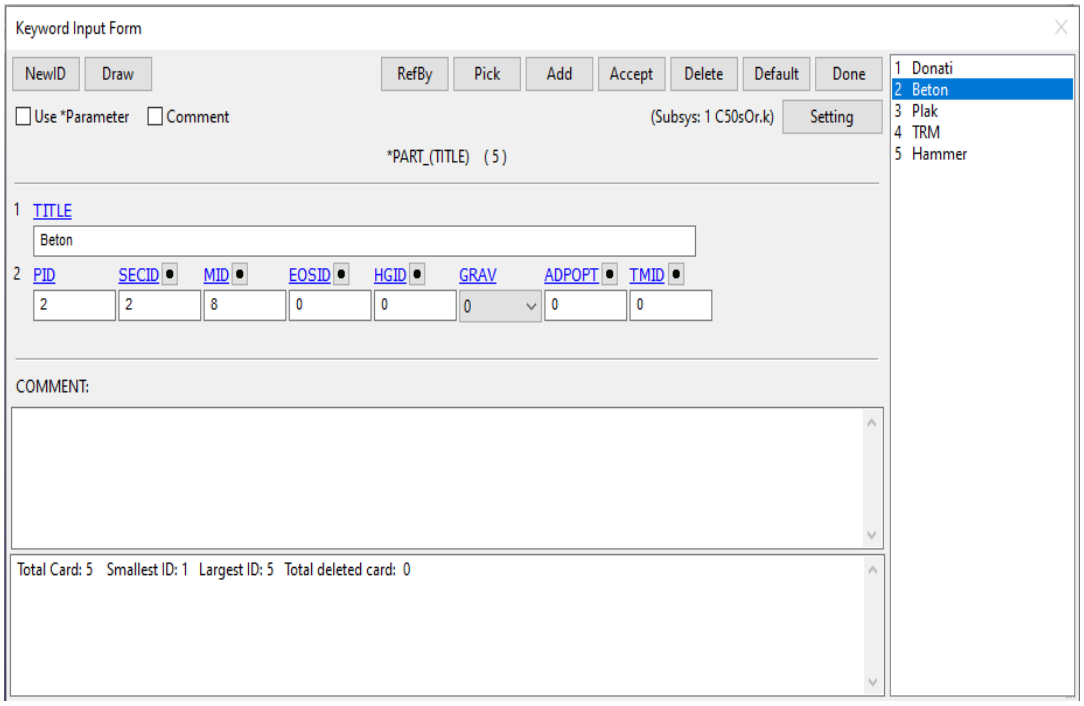


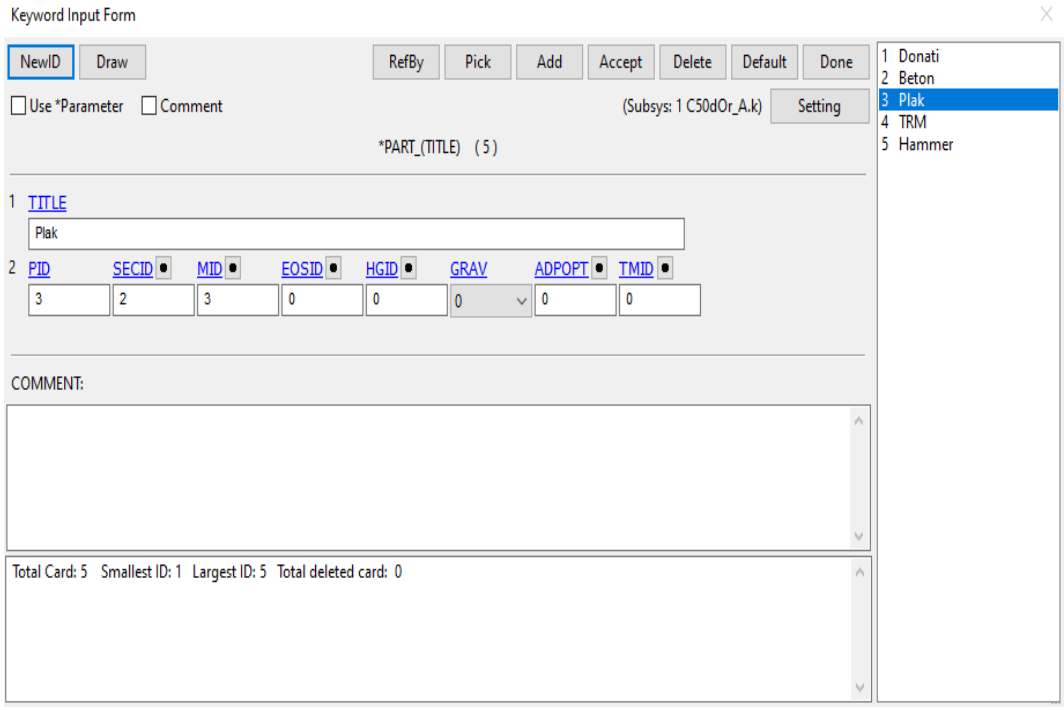


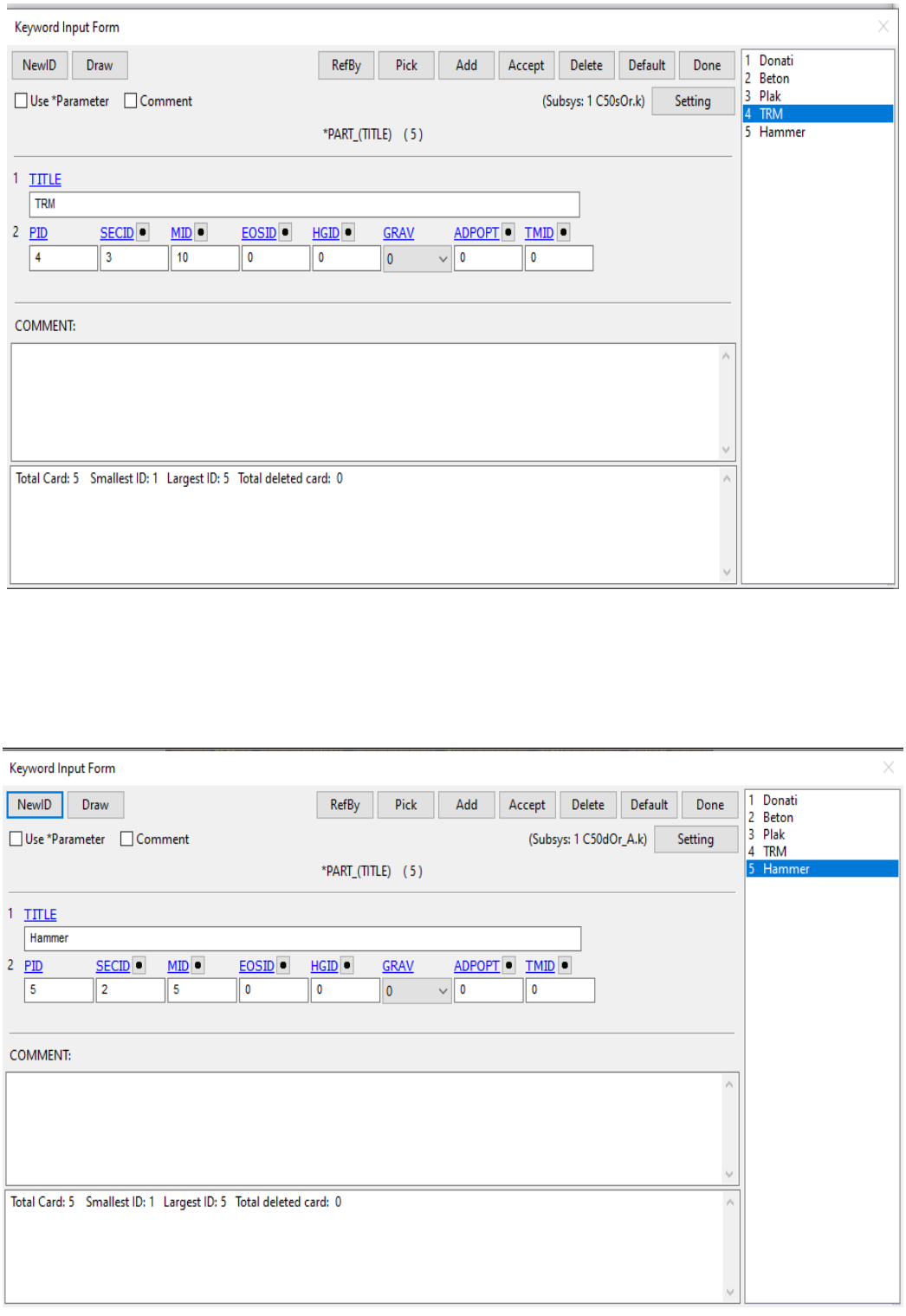
Şekil 3.48. Kesit özelliklerinin atanması

Kesit özelikleri belirlendikten sonra modellerin tanımlanması kısmı yapılmıştır. Bunun için PART kısmından çizilmiş olan model otomatik olarak gelmiştir. Bu partların özellikleri teker teker Şekil 3.49' gösterilmiştir.




Keyword Input Form
NewID
Draw
RefBy
Pick
Add
Accept
Delete
Default
Done
Use *Parameter
Comment
(Subsys: 1 C50sOr.k)
Setting
*PART_(TITLE) (5)
1 TITLE
Beton
2 PID SECID MID EOSID HGID GRAV ADPOPT TMID
2 2 8 0 0 0 0 0
COMMENT:
Total Card: 5 Smallest ID: 1 Largest ID: 5 Total deleted card: 0
1 Donati
2 Beton
3 Plak
4 TRM
5 Hammer


Keyword Input Form
NewID
Draw
RefBy
Pick
Add
Accept
Delete
Default
Done
Use *Parameter
Comment
(Subsys: 1 C50dOr_A.k)
Setting
*PART_(TITLE) (5)
1 TITLE
Plak
2 PID SECID MID EOSID HGID GRAV ADPOPT TMID
3 2 3 0 0 0 0 0
COMMENT:
Total Card: 5 Smallest ID: 1 Largest ID: 5 Total deleted card: 0
1 Donati
2 Beton
3 Plak
4 TRM
5 Hammer

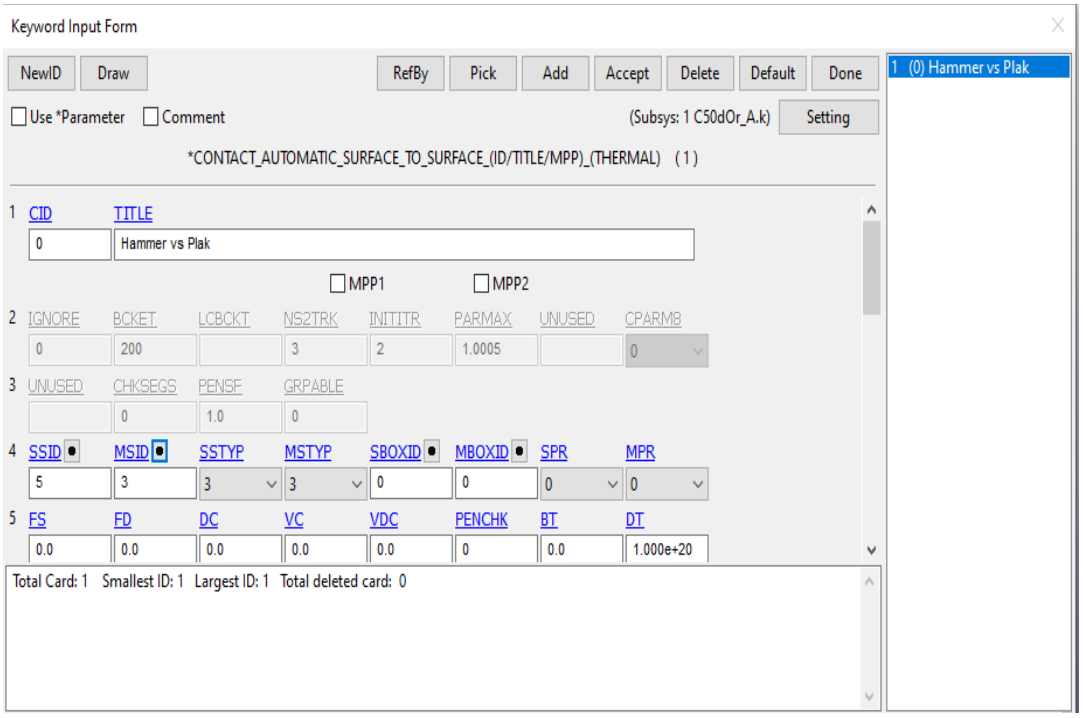


Şekil 3.49. PART özelliklerinin girilmesi

3.2.2.6. Analiz Düzenlemelerin Yapılması

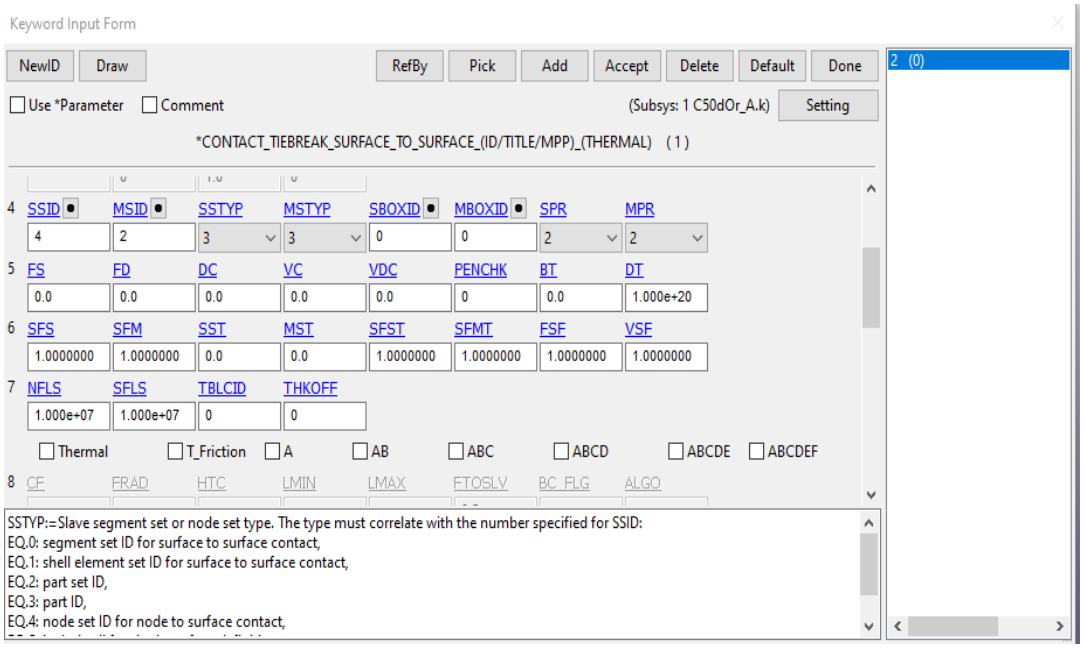
Bu kısımda sistemi analiz etmeden önce yapılması gereken adımlar anlatılmıştır. İlk olarak sistemlere kontak tanımlamaları yapılmaktadır. Kontak yardımıyla yüklerin nereden nereye hangi sınır koşulları altında nasıl aktarılacağını tanımlamış oluruz. Kuvvetlerin aktarılacağı unsur MASTER olarak tanımlanırken, kuvvetin aktarıldığı unsur SLAVE olarak tanımlanmıştır. Kontak, iki tane birbirinden ayrı parçalar arasında analiz esnasında yük transferi sağlayan elemanlardır.

CONTACK_AUTOMATIC_SURFACE TO SURFACE kontak elemanı ile çekiç ile plaka bağlantısının arasındaki kontak tanımlanmış olur (Şekil 3.50). Burada master plaka iken slave çekiç olarak tanımlanmıştır. Böylece çekiçteki kinetik enerji kontak yardımıyla plakaya aktarılmış olur. Sonra da beton elemana aktarılmış olur.

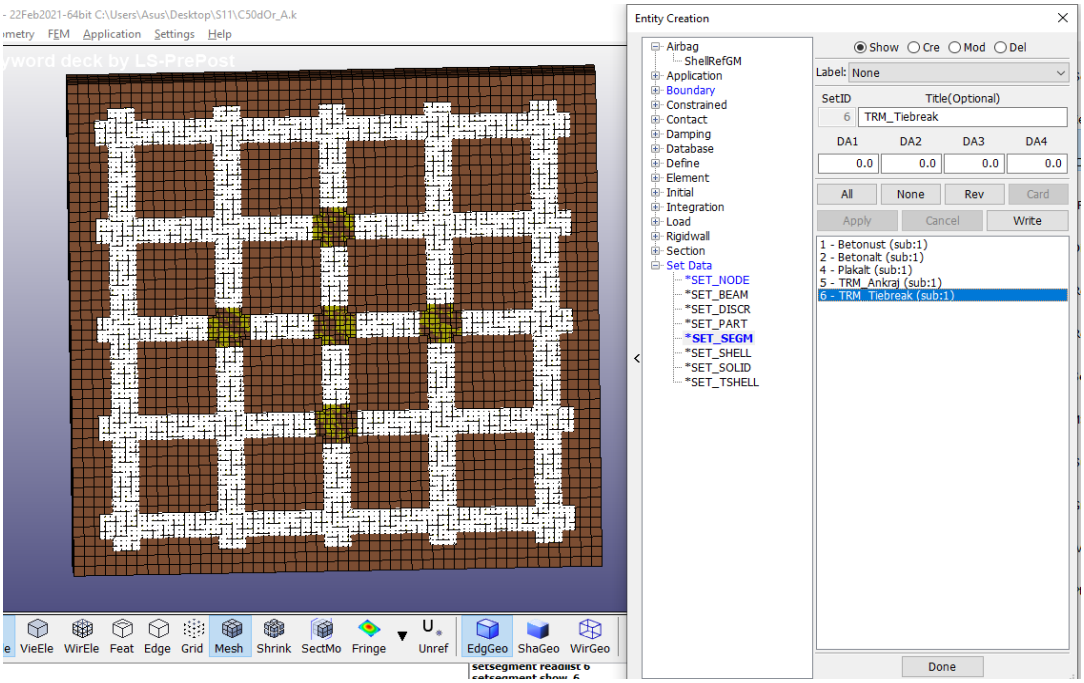


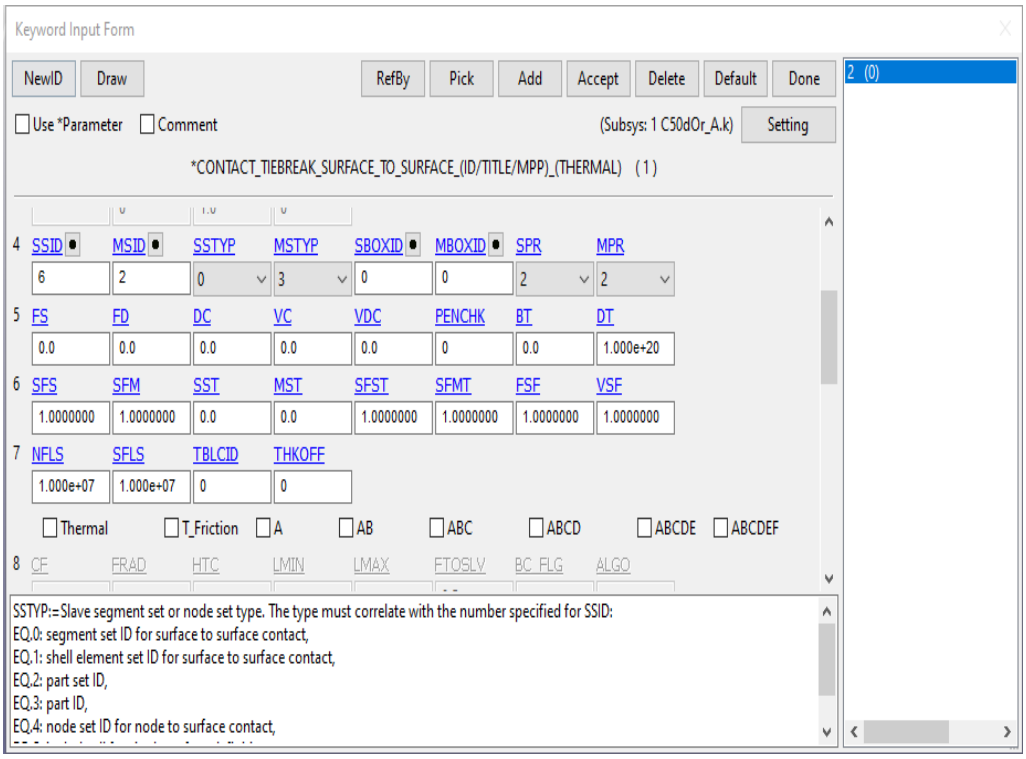
Şekil 3.50. Plaka ile çekiç arasındaki AUTOMATIC_SURFACE TO SURFACE kontak elemanının düzenlenmesi

TIEBREAK_SURFACE TO SURFACE kontak elemanı TRM şeritleri ile Beton elemanı arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Bu kontak elemanda master olan beton iken slave olan TRM şeritleridir. Bu kontak elemanları tanımlarken ankrajsız olanlar direk part to part olarak bağlanabilir (Şekil 3.51). Ancak ankrajlı olanlarda TRM şeritlerinin 2 farklı yüzey eleman grubu oluşturulmalıdır. Bunlardan ankrajlı kısım dışındaki elemanlar TIEBREAK ile bağlanmalıdır. Bu bağlantıda slave olan kısım segment, master olan kısım part olarak seçilme yapılmalıdır (Şekil 3.52). Tiebreak kontak elemanında önemli olan özellik 2 malzeme arasında birbirlerinden sıyrılma özelliğini manuel olarak tanımlanabilmesidir. Bu çalışmada deney sonuçlarına daha yakınsamak için 10MPa değerinde bir sıyrılma sınırı belirlenmiştir. Eğer betondan TRM şeritlerine yük aktarımı gerçekleştirilirken 10MPa değerini aşarsa TRM şeritleri beton yüzeyinden sıyrılacağı anlamına gelmektedir.



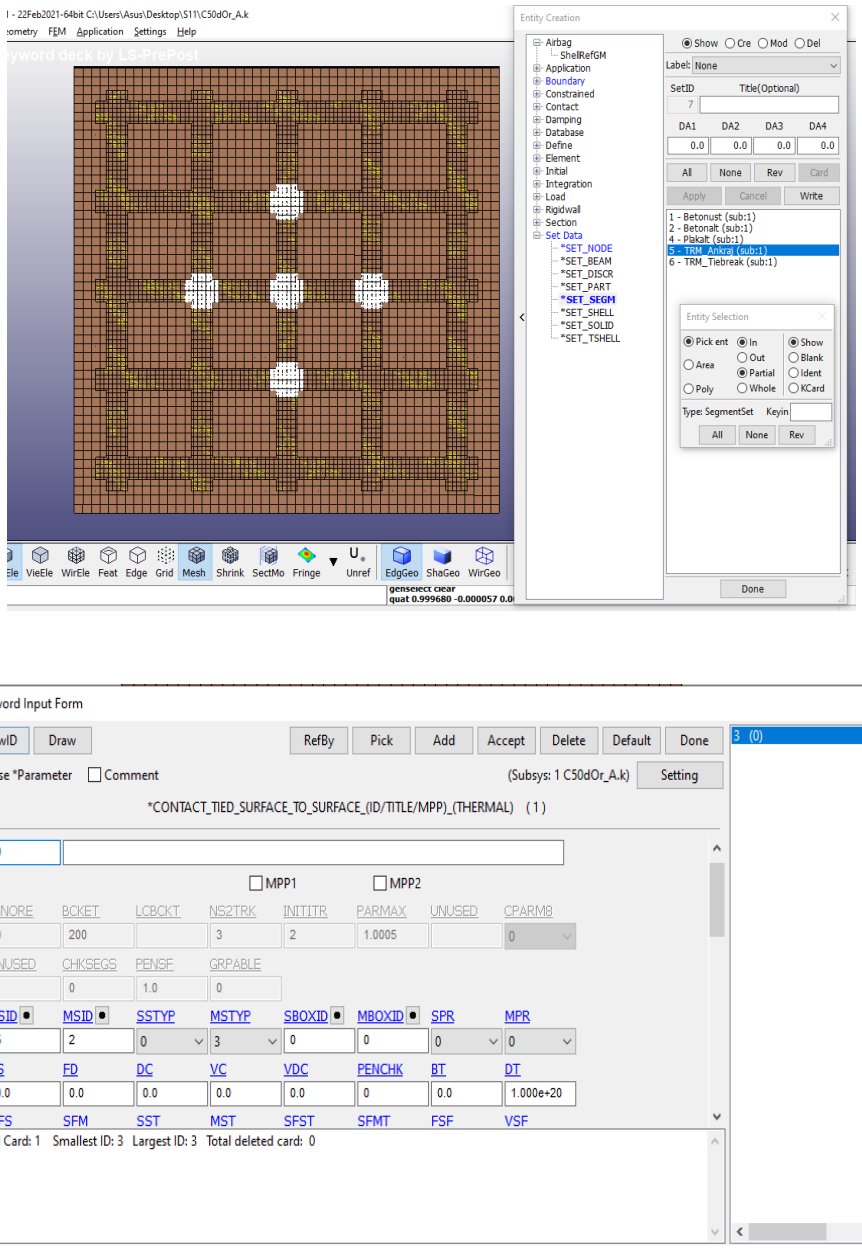
Şekil 3.51. Ankrajsız TRM şeritlerinin TIEBREAK_SURFACE TO SURFACE kontaklarının düzenlenmesi





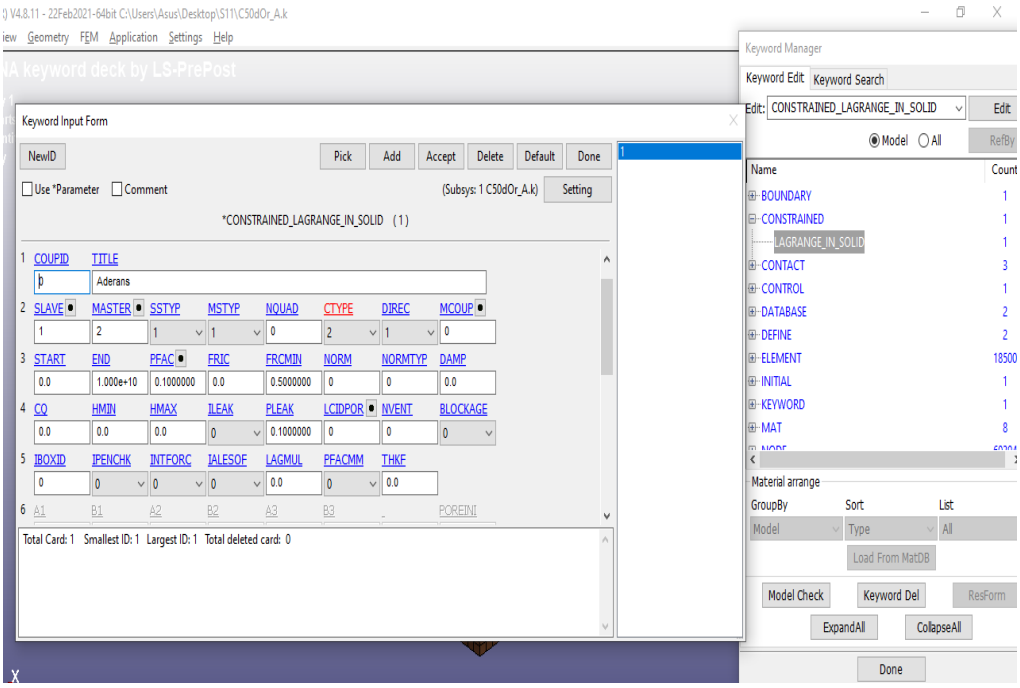
Şekil 3.52. Ankrajlı TRM şeritlerinin TIEBREAK_SURFACE TO SURFACE kontaklarının düzenlenmesi

TIED_SURFACE TO SURFACE kontak elemanı ankrajlı TRM bağlantıları için beton ile yüzeyine tam bağlı olmasına yarar. Beton ile TRM şeritleri arasında hiçbir sıyrılma olmayacak şekilde birbirleri ile etkileşimi sağlanır. Bu kontak elemanında slave olan TRM şeritleri iken master olan beton modelidir. Kontak bağlantısında slave olan segment, master olan ise part olarak tanımlama yapılmalıdır. TRM şeritlerinin üzerine gelecek olan ankraj bölgesi belirlendikten sonra o kısımlara segment seçeneğinden grup ataması yapılmıştır. Böylece sadece ankrajlı olan alanlar seçilip TIED kontak ataması yapılmıştır (Şekil 3.53).



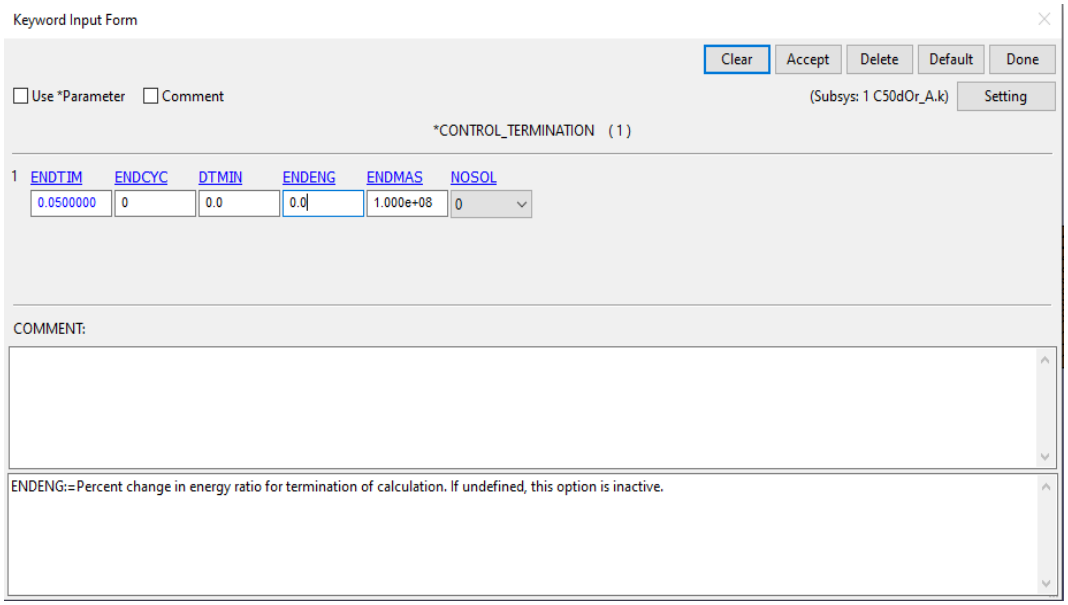
Şekil 3.53. Ankrajlı TRM şeritlerinin TİED_SURFACE TO SURFACE kontak düzenlemesi

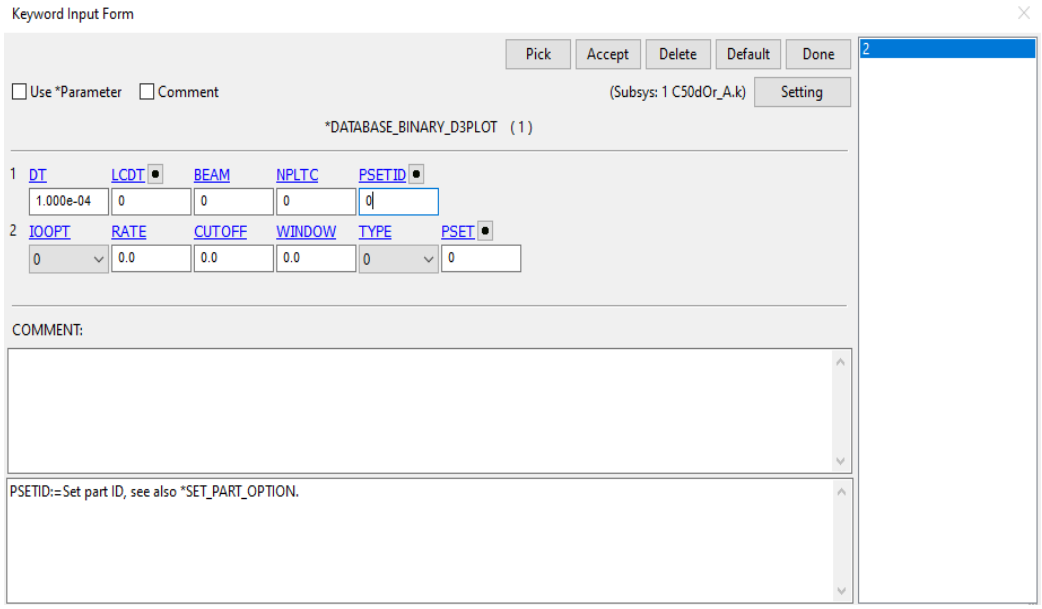
Beton malzemesi ile çelik donatı arasındaki aderansı sağlamak için programda tanımlanan CONSTRAINED kısmından LAGRANGE_IN_SOLID tanımlaması yapılmıştır. Böylece beton ile donatı arasında tam aderans sağlanmış olup beton ile çelik donatının birlikte çalışması sağlanmıştır.



Şekil 3.54. Beton ile çelik donatı arasındaki aderansın sağlaması

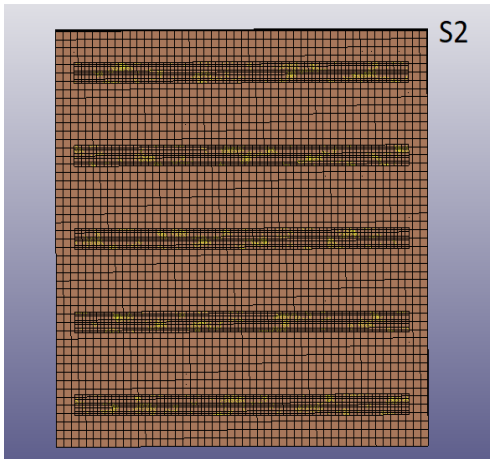
Analiz kısmına geçmeden önce analiz sonuçlarını almak için yapılması gereken iki adet tanımlama yapılmalıdır. Bunlardan birincisi CONTROL_TERMINATION tanımlaması, diğeri ise DATABASE_D3PLOT tanımlaması yapılmalıdır. Şekil 3.55' te detayları gösterilmiştir. Bu tanımlamalar da tamamlandıktan sonra sistem analiz edilmiştir. İstenilen sonuçlar okunmuştur.

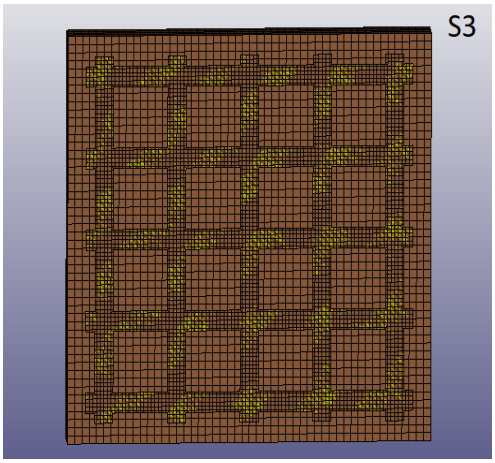


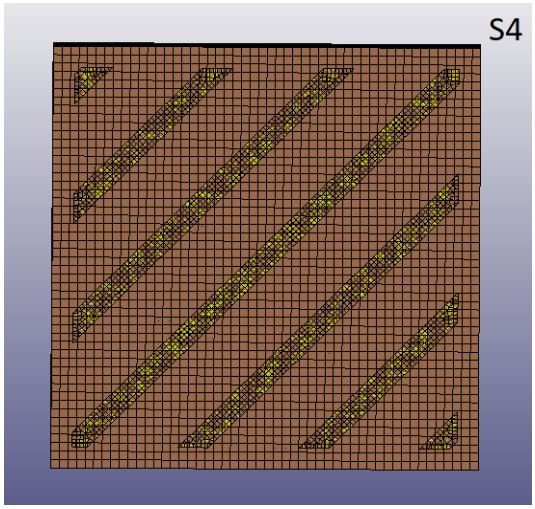


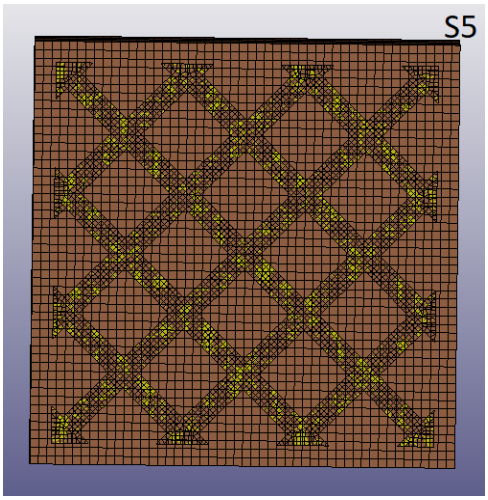
Şekil 3.55. TERMINATION ve D3PLOT tanımlamaların yapılması

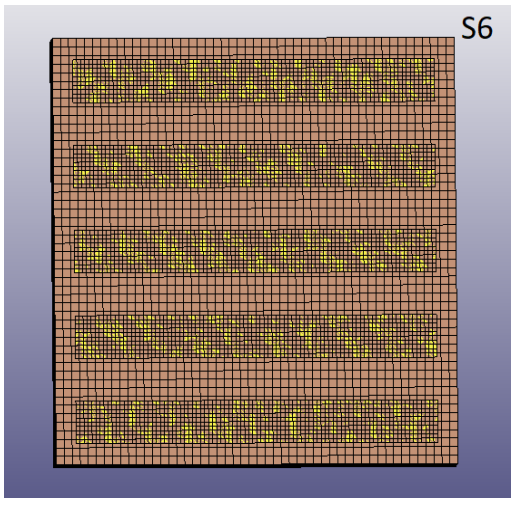
Bütün modeller Şekil 3.56’ da gösterilmiş olup bütün sistemlerin analizleri tamamlanmıştır.

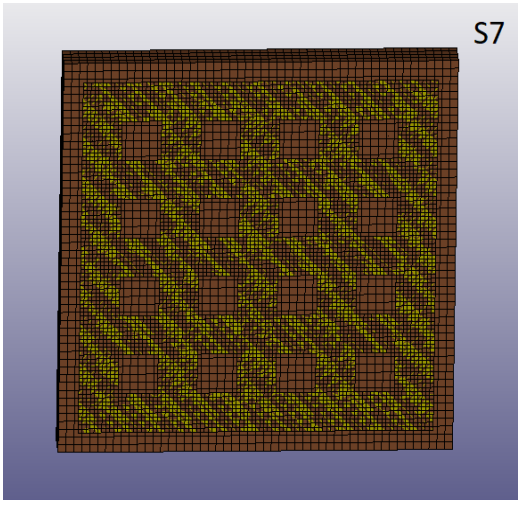


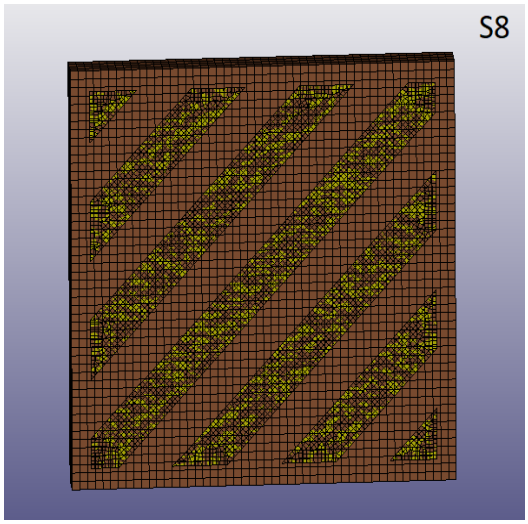


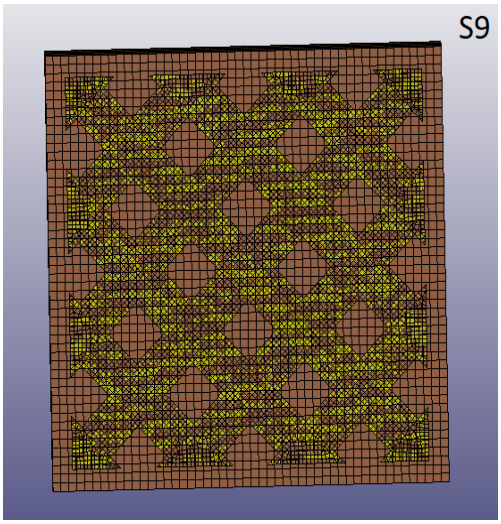


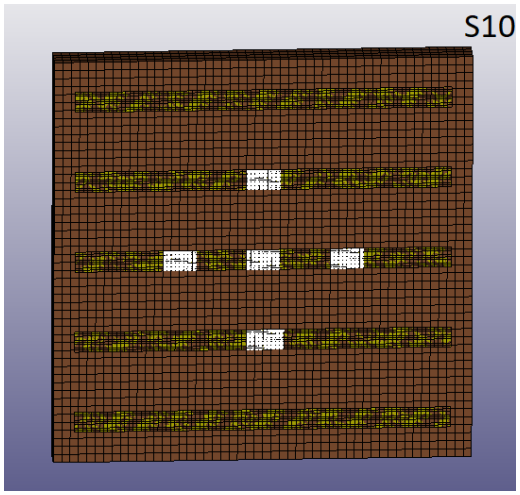


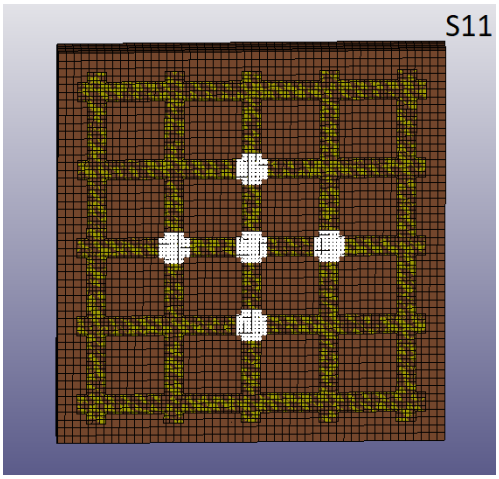


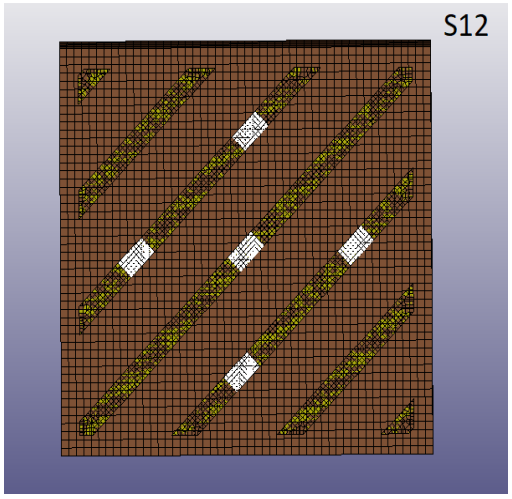



S8

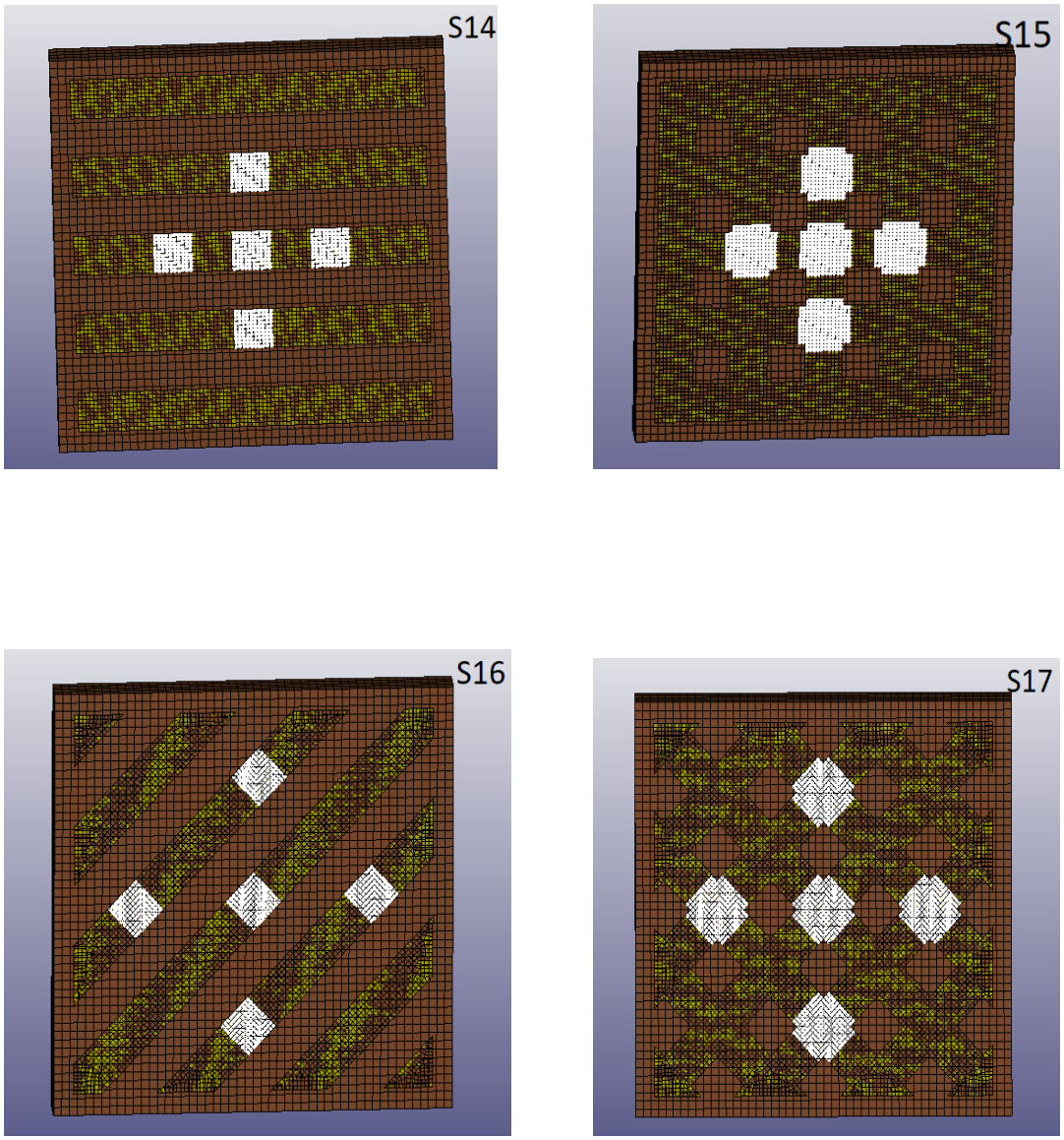

S9


S10


S11


S12


S13



Şekil 3.56. Bütün TRM şeritli betonarme döşemelerin gösterimi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

Deneysel çalışmalarda TRM ile güçlendirilmiş döşemelerin darbe kuvveti etkisindeki davranışları gözlemlenmiştir. LS DYNA programından ise nümerik analiz yapılmıştır. Araştırmanın bu kısmında, çarpma etkisini incelemek için deneyden alınan ivme-zaman ve deplasman-zaman ölçümleri ile LS DYNA programından alınan ivme-zaman ve deplasman-zaman değerleri karşılaştırılmıştır. Bütün döşemeler için incelemeler yapılmıştır. Deneyde ve analizde uygulanan bütün elemanlarda, çekiç ağırlığı 84kg olup 1.5m yüksekliğinden serbest düşüş bırakılarak çarpma davranışı incelenmiştir. Betonun ve donatının boyutlarında ve dizilişlerinde bütün numuneler boyunca aynı kalmıştır. Sadece TRM şeritlerini dizilimi ve boyutları değiştirilmiştir. Bu durum önceki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bütün grafik gösterimlerde kırmızı renkli çizimler nümerik değerler iken siyah renkli çizimler ise deney değerleri olarak gösterilmiştir.

İvme değerleri için nümerik değerin çizimi deneysel değerin sonuçlarından önce başlamasının nedeni deneysel çalışmada çekicin düşürülme süresi ile alakalıdır. Nümerik çalışmada çekiç betonun hemen yüzeyinde başladığı için çekicin betondan yüzeyinden 1,5 metre yukarıdan bırakma süresi ihmal edilmiştir. Bu nedenle deneysel sonuçta ivme değerleri daha geç sürede çizilmeye başlanmıştır.

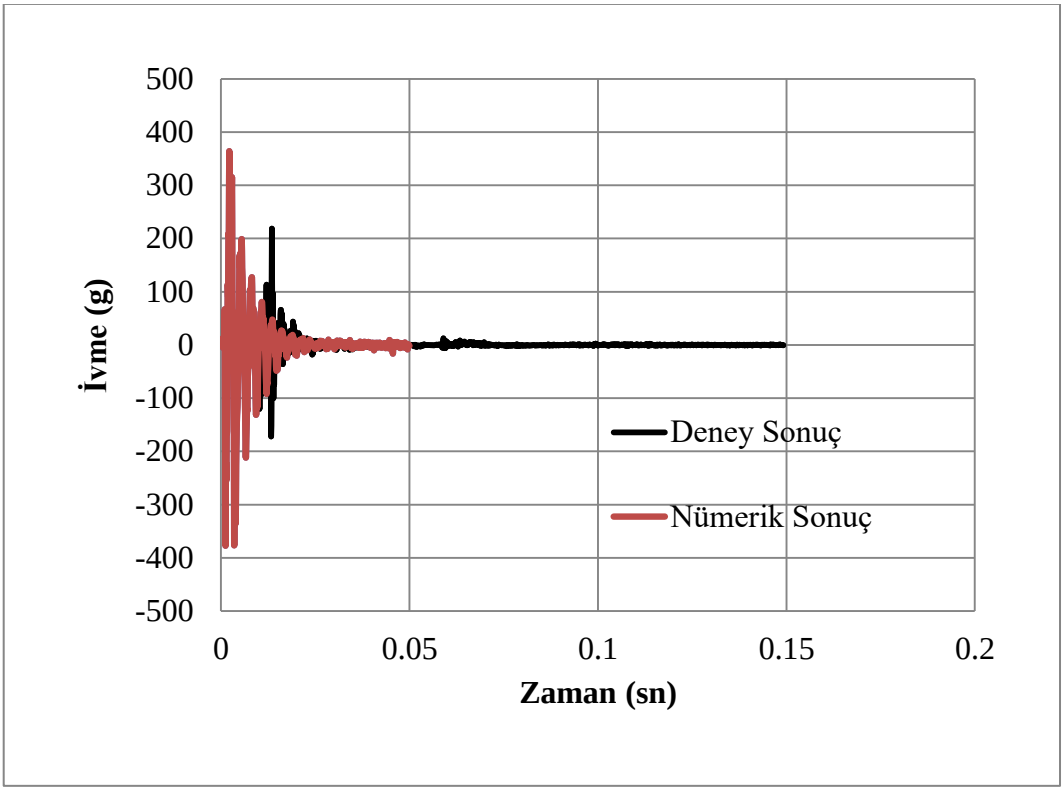
4.1.1. S1 Deney Numunesi

S1 deney numunesi, hiçbir kuvvetlendirme yapılmaksızın darbe kuvvetinin etkilerini karşılaştırmak amacıyla referans döşemesi olarak yapılmıştır. S1 deney elemanına etkiyen darbe kuvvetinin etkisi ile ivmeölçerlerde hesaplanan maksimum ivme değeri 218.64 g, minimum ivme değeri ise -171.97 g olarak ölçülmüştür. Döşeme orta bölgesinde meydana gelen maksimum deplasman -2.939 mm ve kalıcı deplasman 1.124 mm olarak data değerleri alınmıştır.

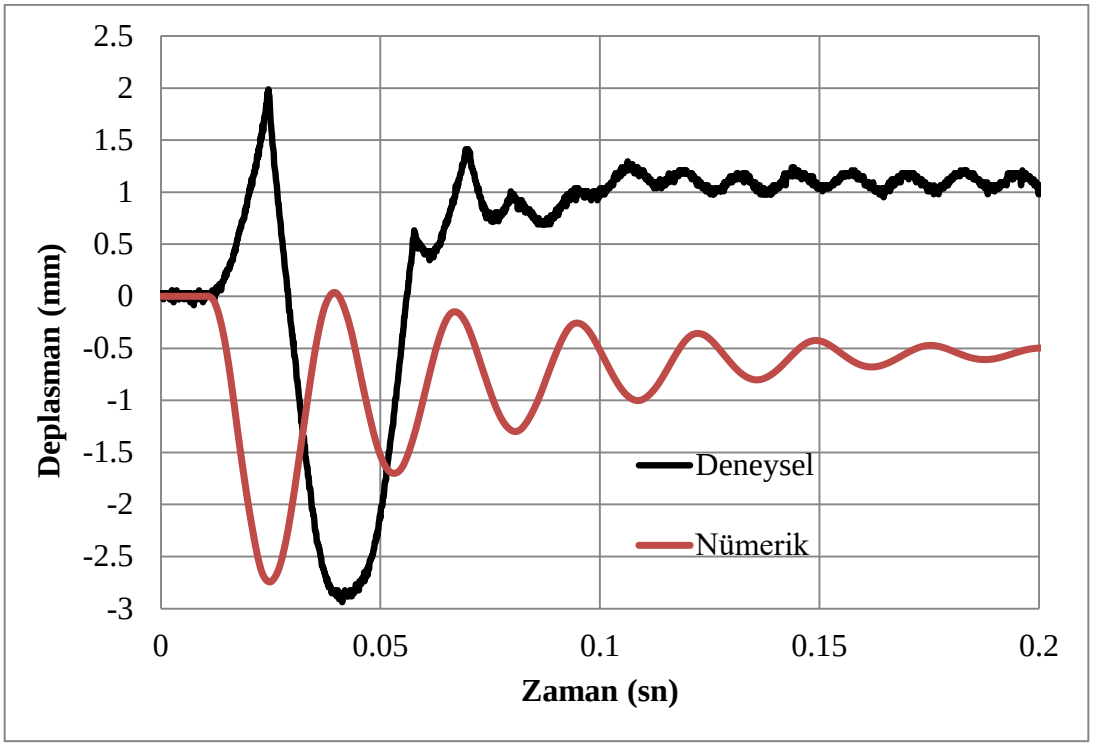
S1 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 377 g minimum ivme değeri ise -364 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -2,75 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.548 mm olarak gözlemlenmiştir.

S1 deney elemanında yapılan gözlemlemelerde derin çatlaklar oluşarak, göçme meydana gelmiştir. Aynı zamanda LS DYNA' da çarpma sonucu kalıcı deformasyon görülmüştür.

S1 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.1' de gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.2' de gösterilmiştir.

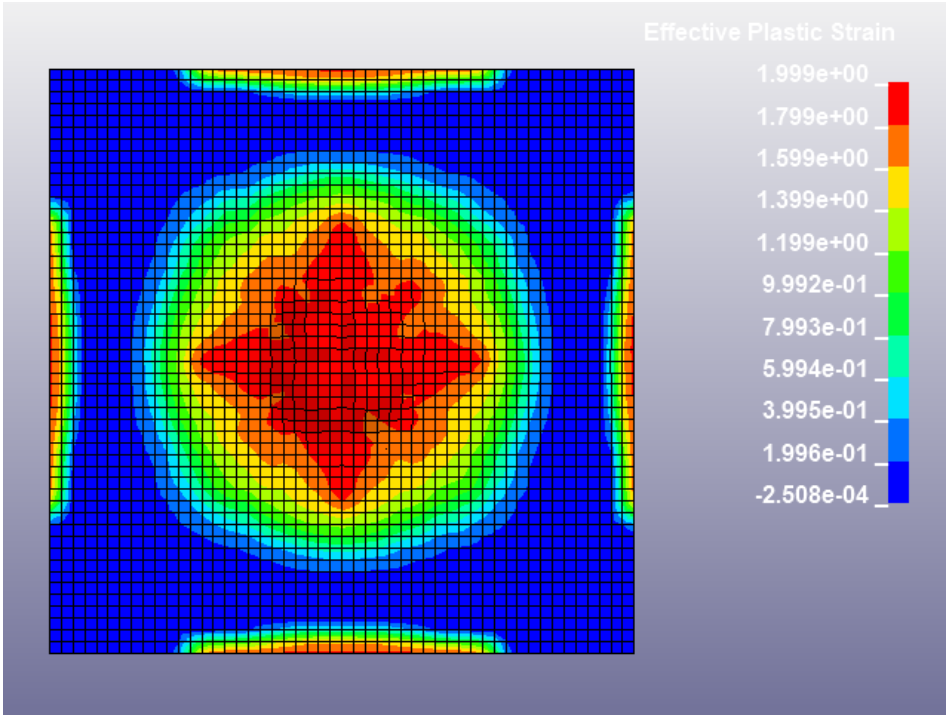


Şekil 4.1. Referans ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.2. Referans yer değiştirme-zaman grafik değerleri

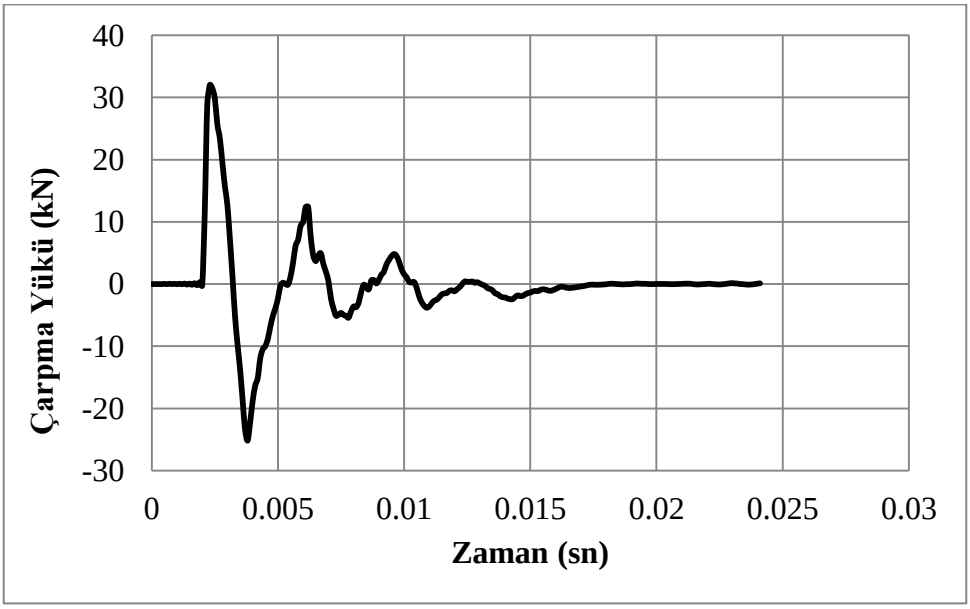
Darbe etkisinde S1 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.3' te takdim edilmiştir.





Şekil 4.3. Referans numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1,236 kj darbe etkisiyle S1 deney numunesine etkiyen darbe yükü Şekil 4.4' te verilmiştir.



Şekil 4.4. Referans deney numunelerine ait darbe yükü/zaman grafiği

4.1.2. S2 Deney Numunesi

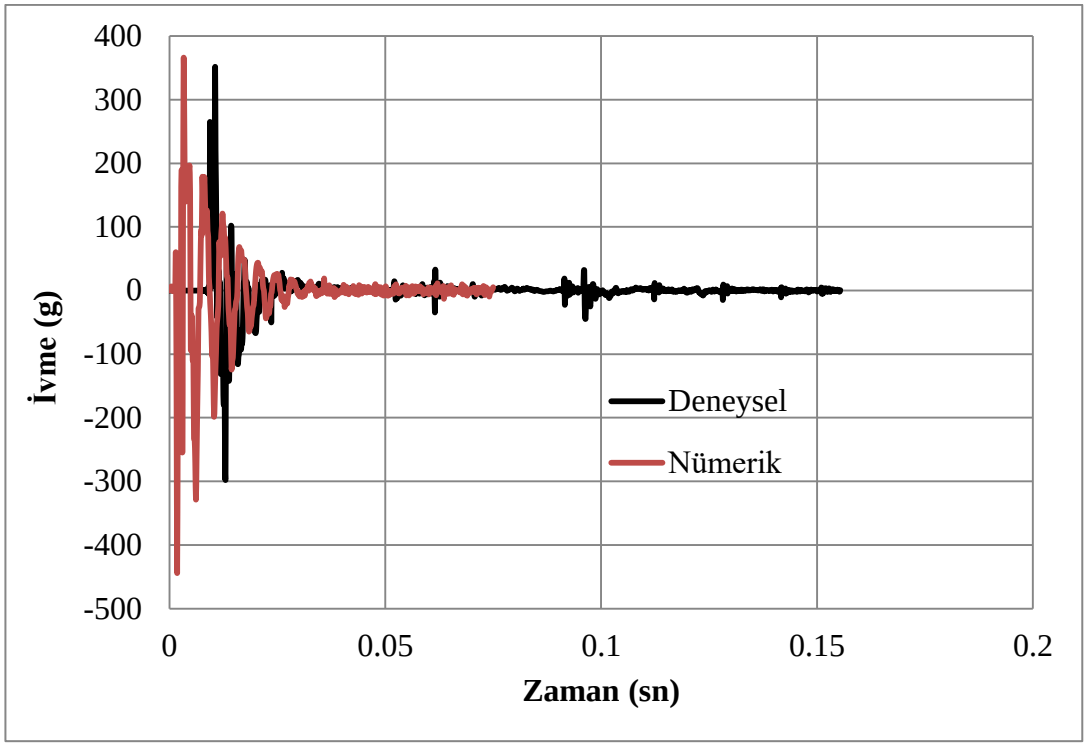
S2 deney elemanı 50mm genişliğinde TRM şeritleri ortogonal tek yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmamıştır. Sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

Çarpma yükünün etkisiyle S2 döşeme deney elemanına etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerde hesaplanan maksimum ivme değeri 351.66 g ve minimum ivme değeri -297,98 g olarak ölçülmüştür. Döşeme orta bölgesinde meydana gelen maksimum deplasman -2.377 mm ve kalıcı deplasman 0.533 mm olarak data değerleri elde edilmiştir.

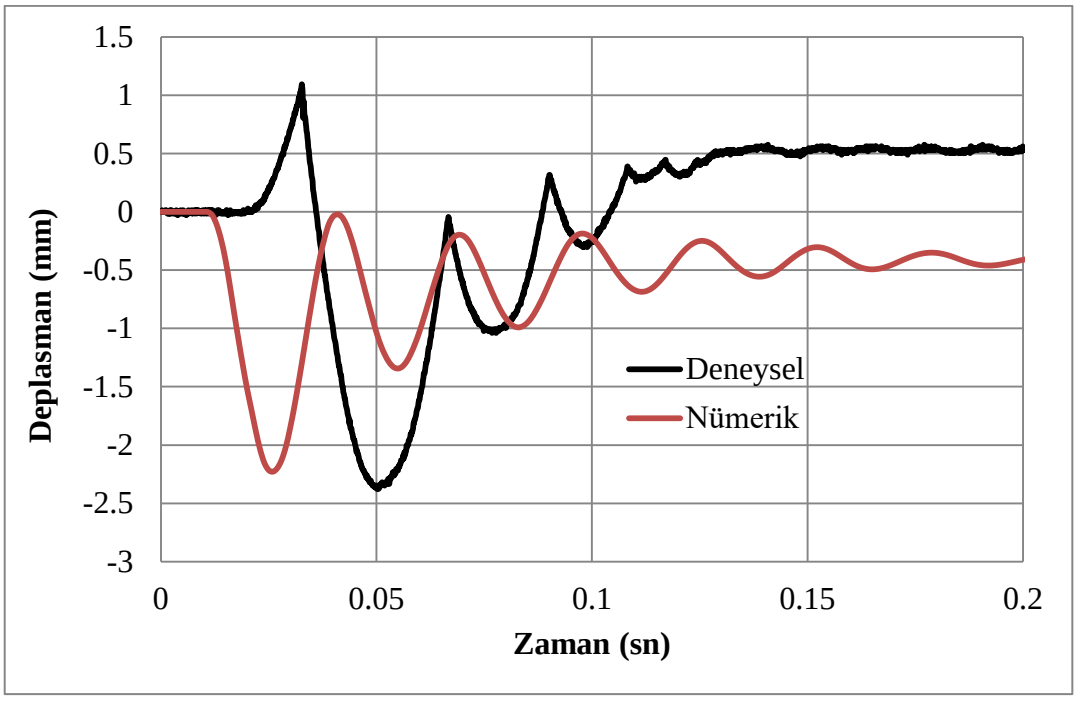
S2 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 357 g minimum ivme değeri ise -444 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -2.223 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.433 mm olarak gözlemlenmiştir.

S2 deney elemanında yapılan gözlemlemelerde derin çatlaklar oluşmuştur. Ancak çatlak sayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca TRM şeritlerin yüzeysen sıyrılması meydana gelmiştir. Bu durum LS DYNA analiz programında da saptanmıştır.

S2 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.5’ te gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.6’ da gösterilmiştir.

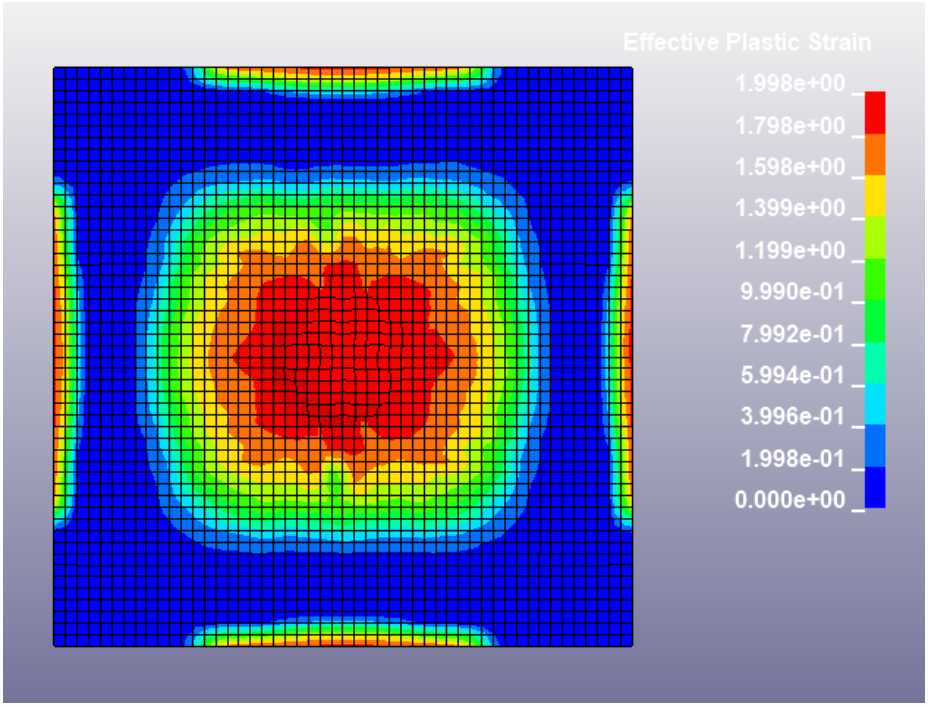


Şekil 4.5. C50sOr ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.6. C50sOr yer değiştirme-zaman grafik değerleri

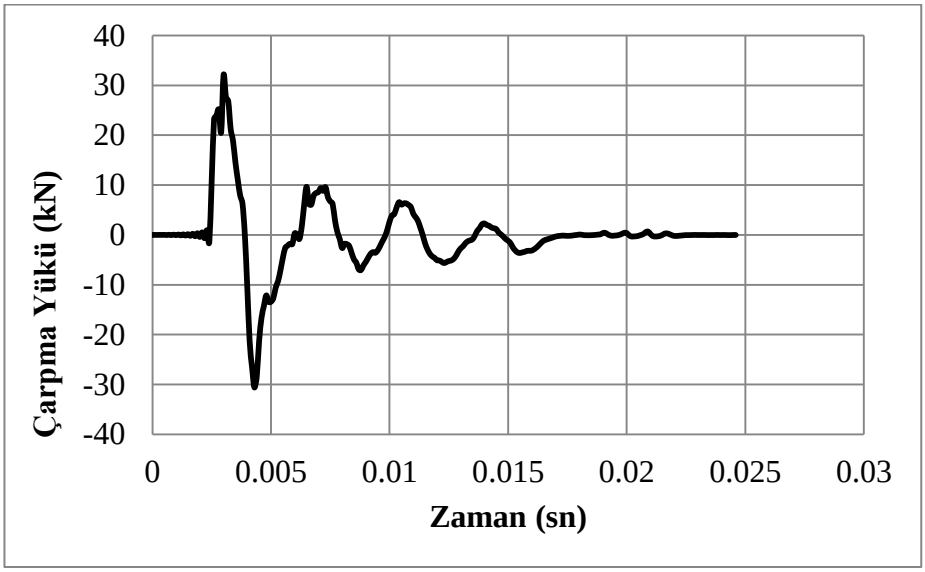
Darbe etkisinde S2 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.7’ de gösterilmiştir.





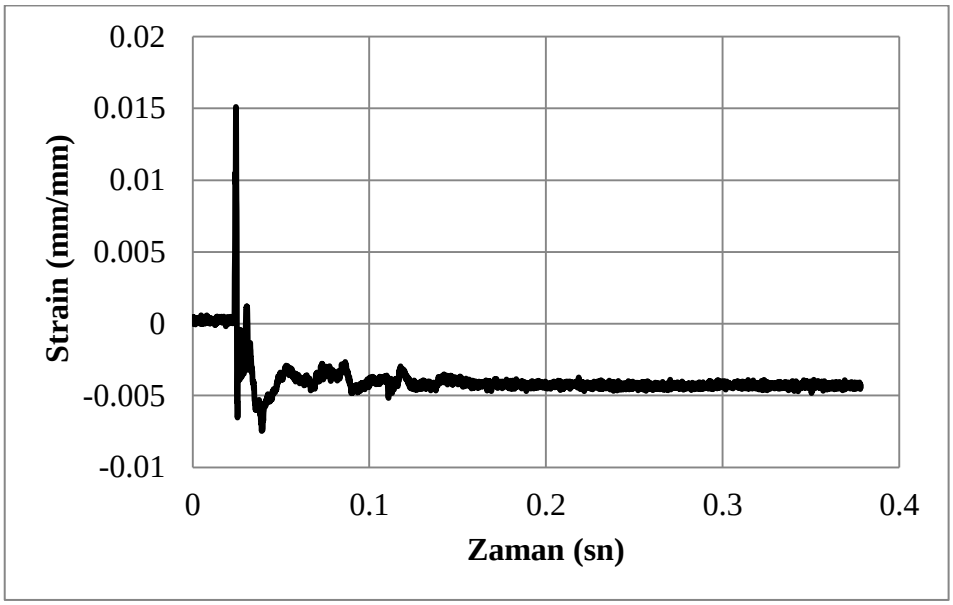
Şekil 4.7. C50sOr numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbe enerjisi nedeniyle S2 deney numunesine etkiyen darbe yükü Şekil 4.8’ de sunulmuştur.



Şekil 4.8. C50sOr deney numunelerine ait darbe yükü/zaman grafiği

S2 deney elemanının TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.9’ da verilmiştir.



Şekil 4.9. C50sOr deney numunelerine ait birim deformasyon-zaman grafiği

4.1.3. S3 Deney Numunesi

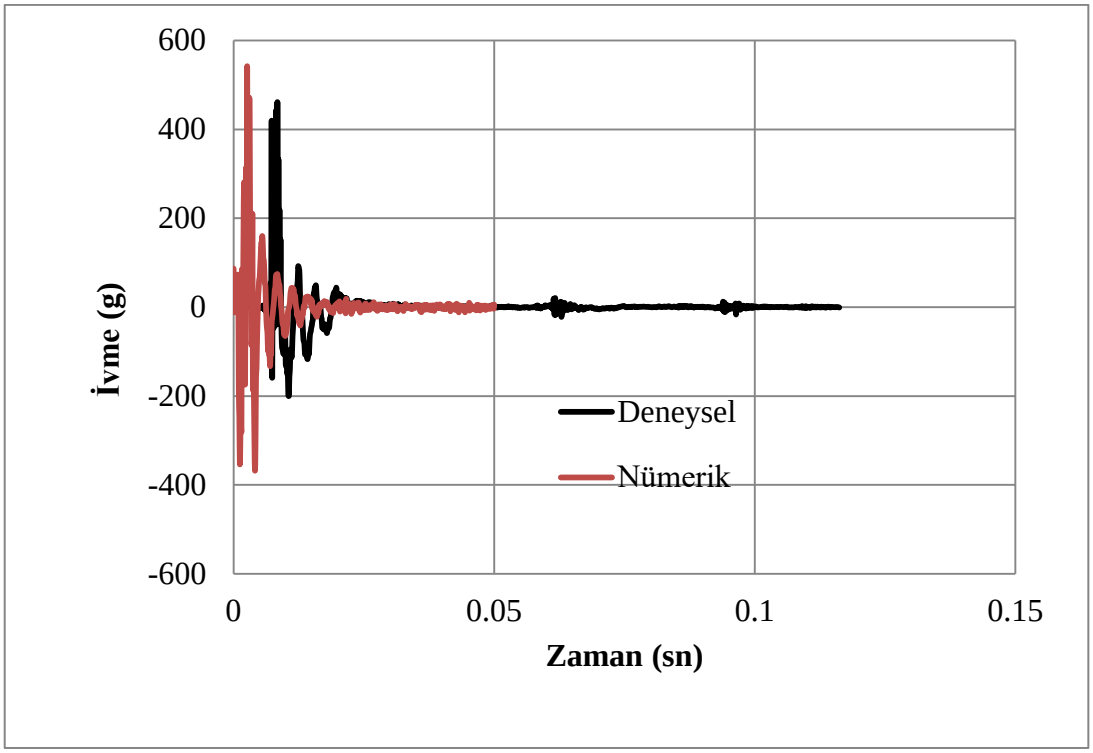
S3 deney numunesi 50mm genişliğinde TRM şeritleri ortogonal çift yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmamıştır. Sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

Çarpma yükünün etkisiyle S3 döşeme deney elemanına etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerde elde edilen maksimum ivme değeri 461.39 g ve minimum ivme değeri -200.09 g olarak ölçülmüştür. Döşeme orta bölgesinde gerçekleşen maksimum deplasman -1.846 mm ve kalıcı deplasman 0.257 mm olarak data değerleri kaydedilmiştir.

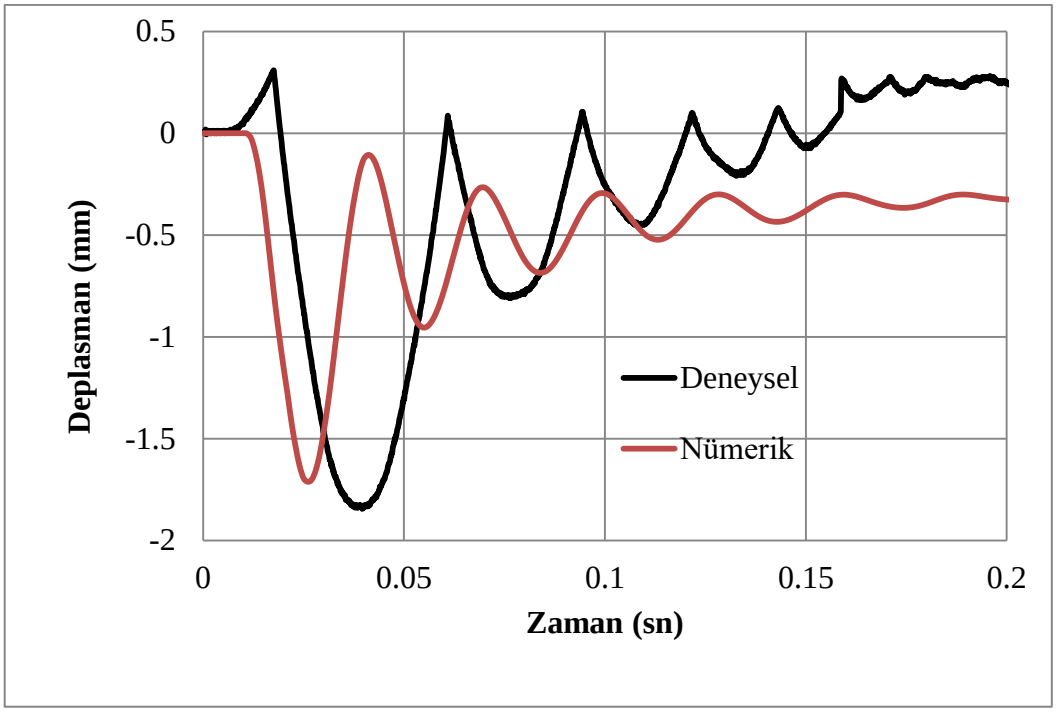
S3 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 542 g minimum ivme değeri ise -354 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -1.7172 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.357 mm olarak gözlemlenmiştir.

S3 deney numunesinde yapılan gözlemlerde çatlak sayısının ve genişliğinin azaldığı gözlemlenmiştir.

S3 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.10’ da gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.11’ de gösterilmiştir.

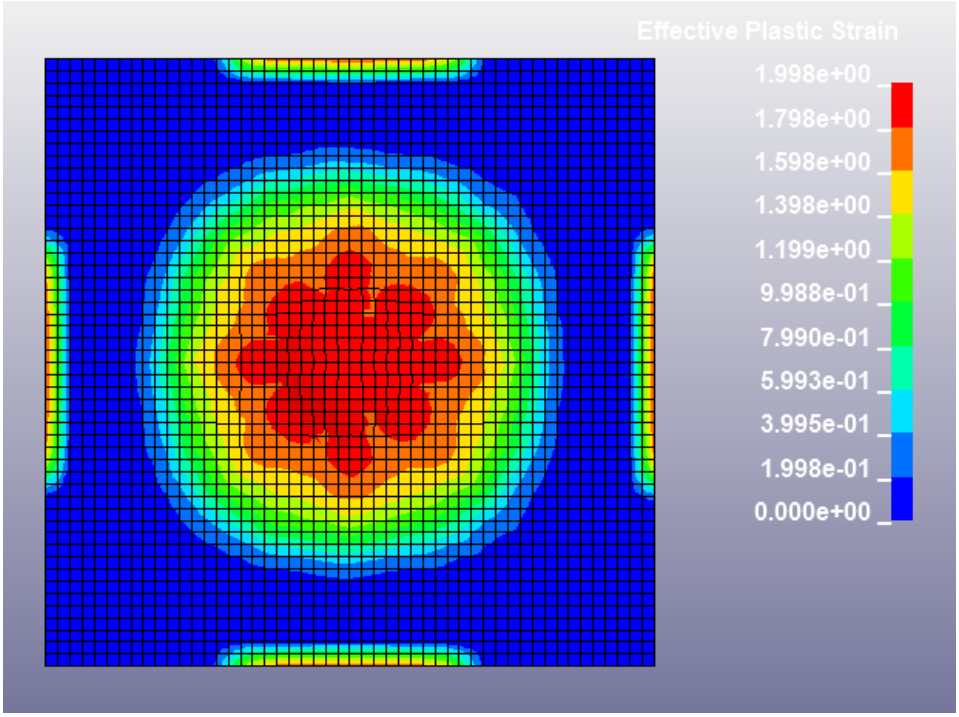


Şekil 4.10. C50dOr ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.11. C50dOr yer değiştirme-zaman grafik değerleri

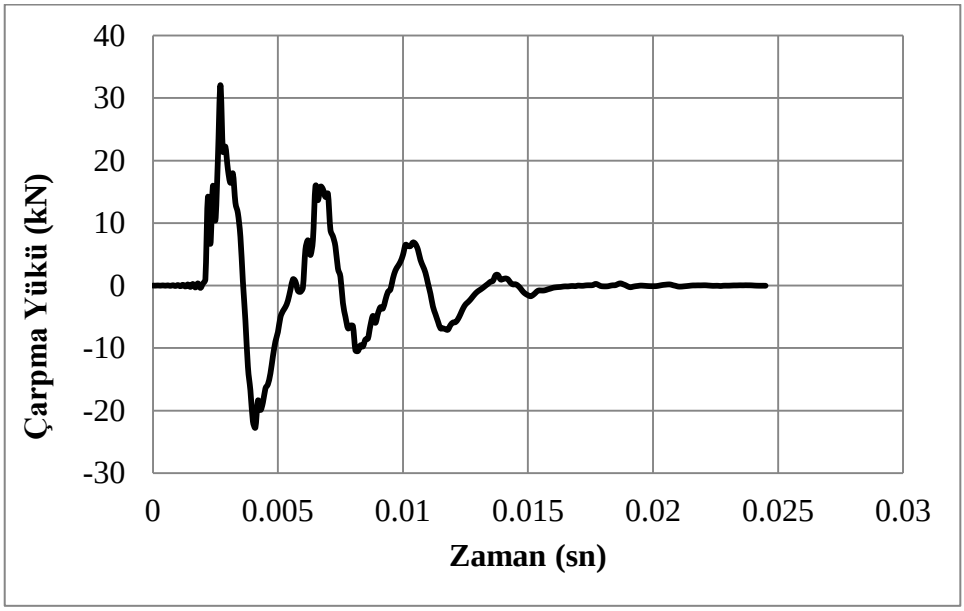
Çarpma etkisinde S3 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.12' de gösterilmiştir.





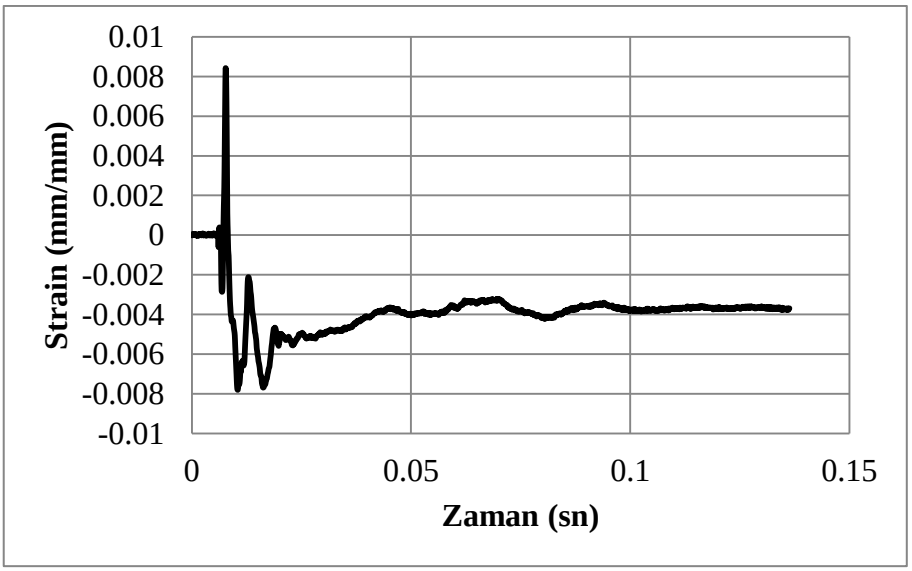
Şekil 4.12. C50dOr numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbe etkisiyle S3 deneye etkiyen darbe yükü Şekil 4.13’ de izah edilmiştir.



Şekil 4.13. C50dOr deney numunelerine ait darbe yükü/zaman grafiği

S3 deney durumunun TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.14’ te verilmiştir.



Şekil 4.14. C50dOr deney numunelerine ait birim deformasyon-zaman grafiği

4.1.4. S4 Deney Numunesi

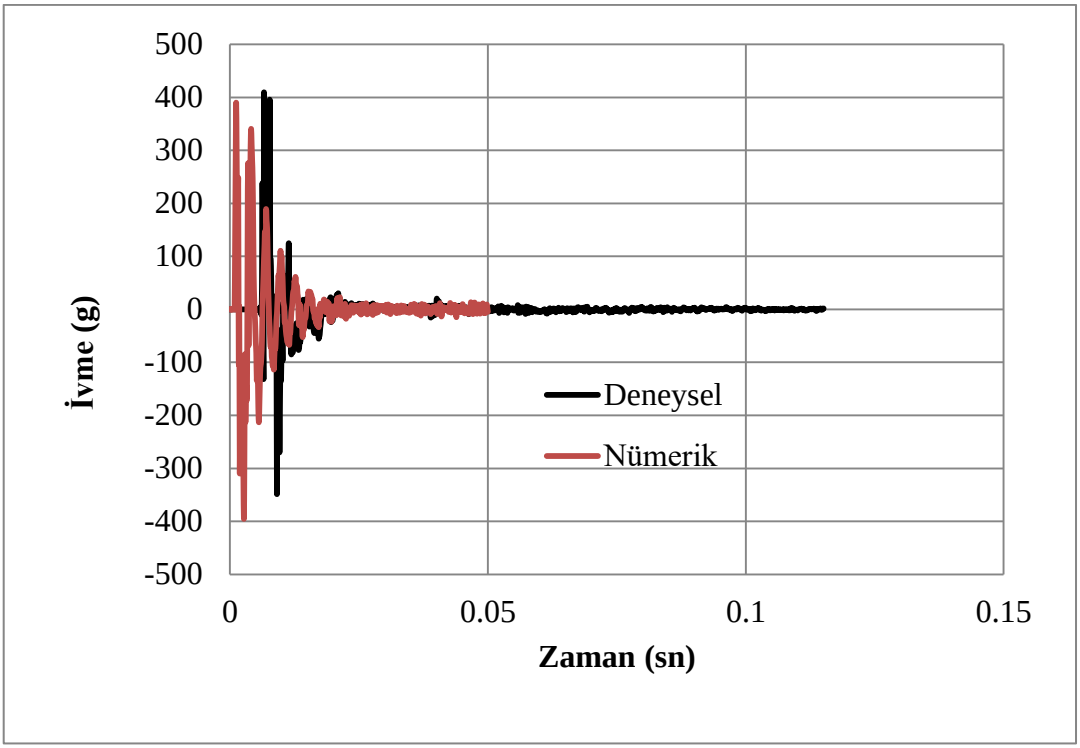
S4 deney elemanı 50mm genişliğinde TRM şeritleri diyagonal tek yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmamıştır. Sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

Çarpma yükünün etkisiyle S4 döşeme deney elemanına etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerde hesaplanan maksimum ivme değeri 409.49 g ve minimum ivme değeri -348.61 g olarak ölçülmüştür. Döşeme orta bölgesinde ortaya çıkan maksimum deplasman -1.564 mm ve kalıcı deplasman 0.247 mm olarak data değerleri gözlemlenmiştir.

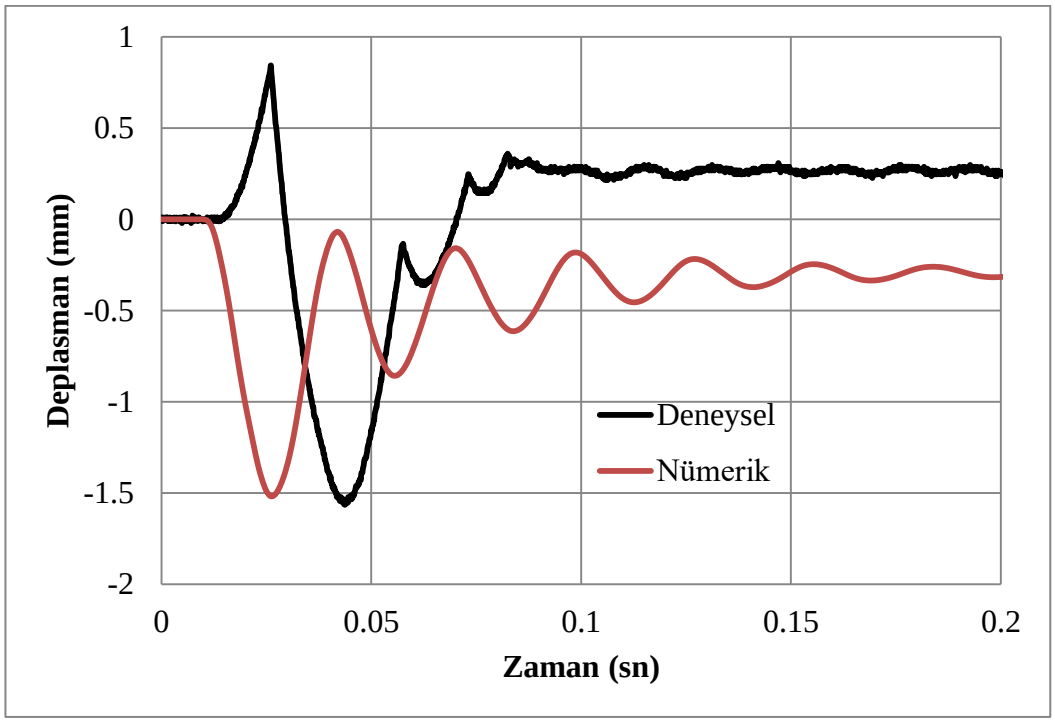
S4 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 390 g minimum ivme değeri ise -395 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -1.52 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.309 mm olarak gözlemlenmiştir.

S4 deney numunesinde yapılan gözlemlerde derin çatlakların oluştuğu sayısının daha azaldığı gözlemlenmiştir.

S4 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.15’ de gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.16’ da gösterilmiştir.

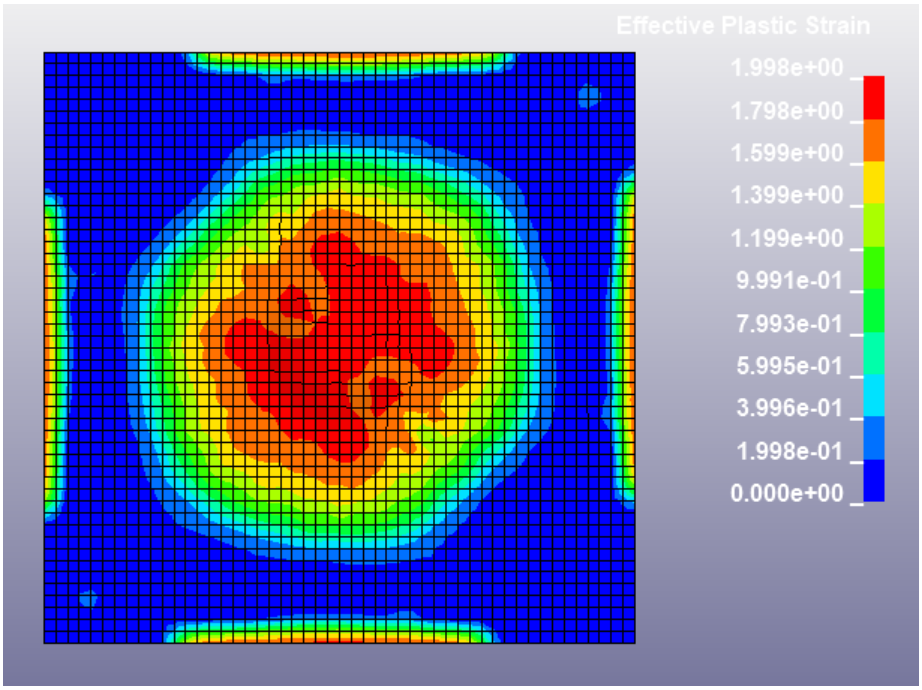


Şekil 4.15. C50sDi ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.16. C50sDi yer değiştirme-zaman grafik değerleri

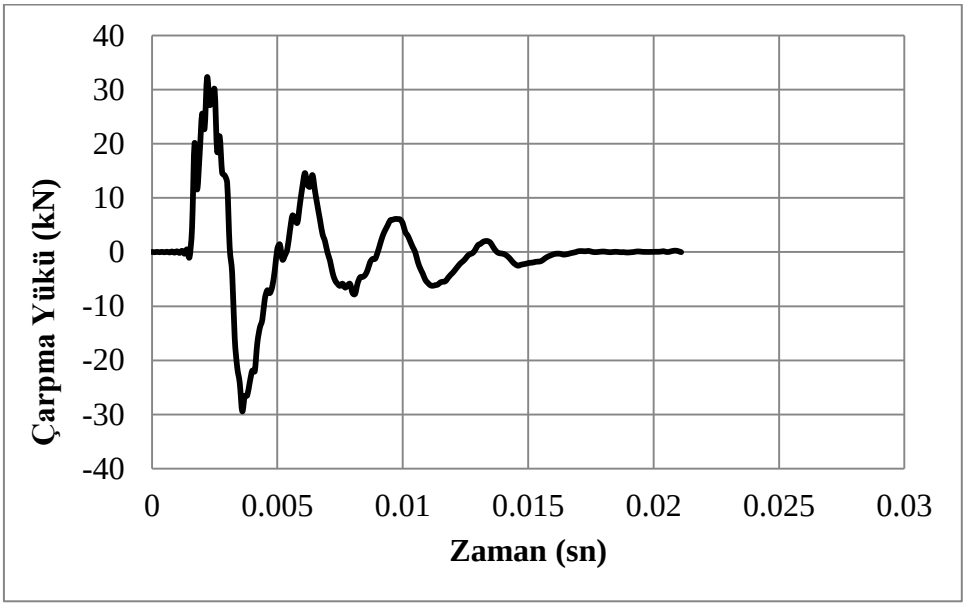
Çarpma etkisinde S4 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.17’ de incelenmiştir.





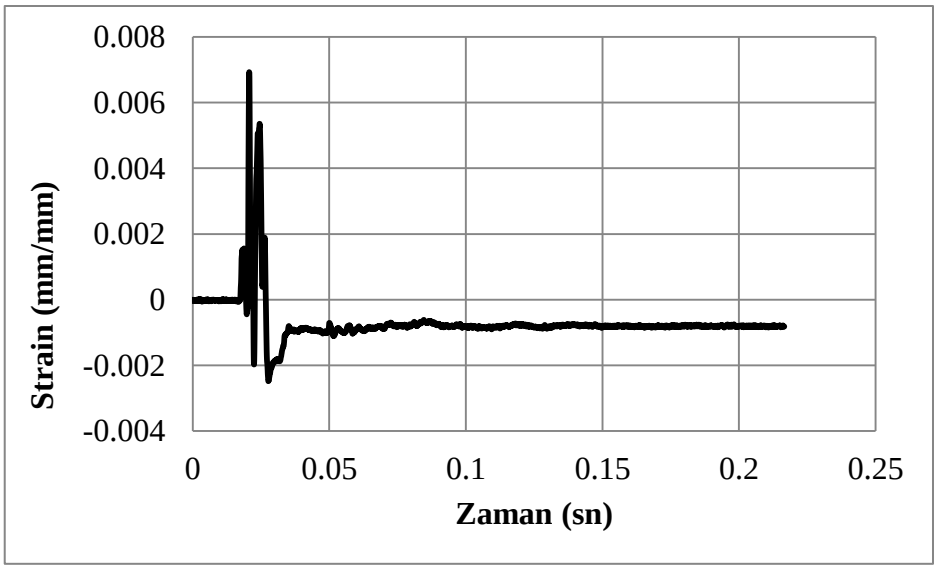
Şekil 4.17. C50sDi numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbe enerjisinden dolayı S4 deney numunesine etki eden darbe kuvveti Şekil 4.18’ de gözlemlenmiştir.



Şekil 4.18. C50sDi deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S4 deney numunesinin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.19’ da verilmiştir.



Şekil 4.19. C50sDi deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

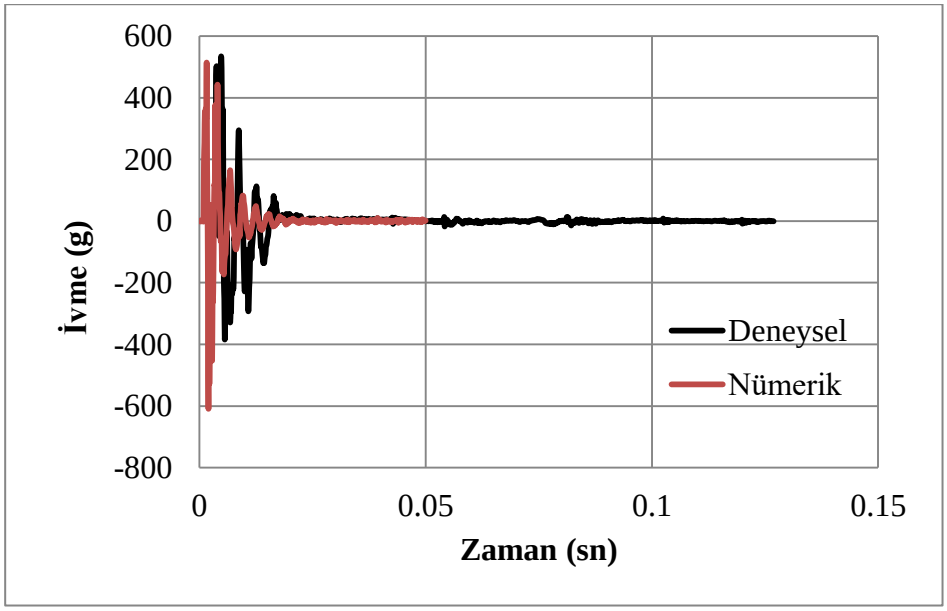
4.1.5. S5 Deney Numunesi

S5 deney numunesi 50mm genişliğinde TRM şeritleri diyagonal çift yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmamıştır. Sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

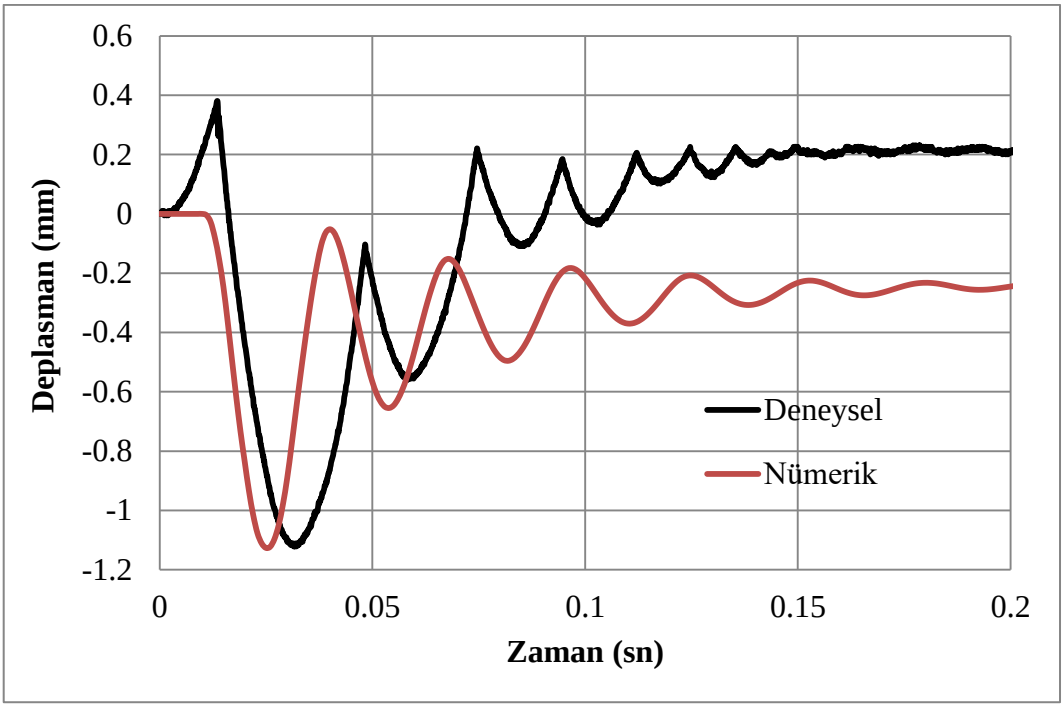
Çarpma yükünün etkisiyle S5 döşeme deney elemanına etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerde alınan maksimum ivme değeri 534.35 g ve minimum ivme değeri -384.28 g olarak ölçülmüştür. Döşemenin ortasında meydana maksimum deplasman -1.122 mm ve kalıcı deplasman 0.216 mm olarak data değerleri hesaplanmıştır.

S5 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 514 g minimum ivme değeri ise -609 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -1.13 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.245 mm olarak gözlemlenmiştir.

S5 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.20' de gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.21' de gösterilmiştir.

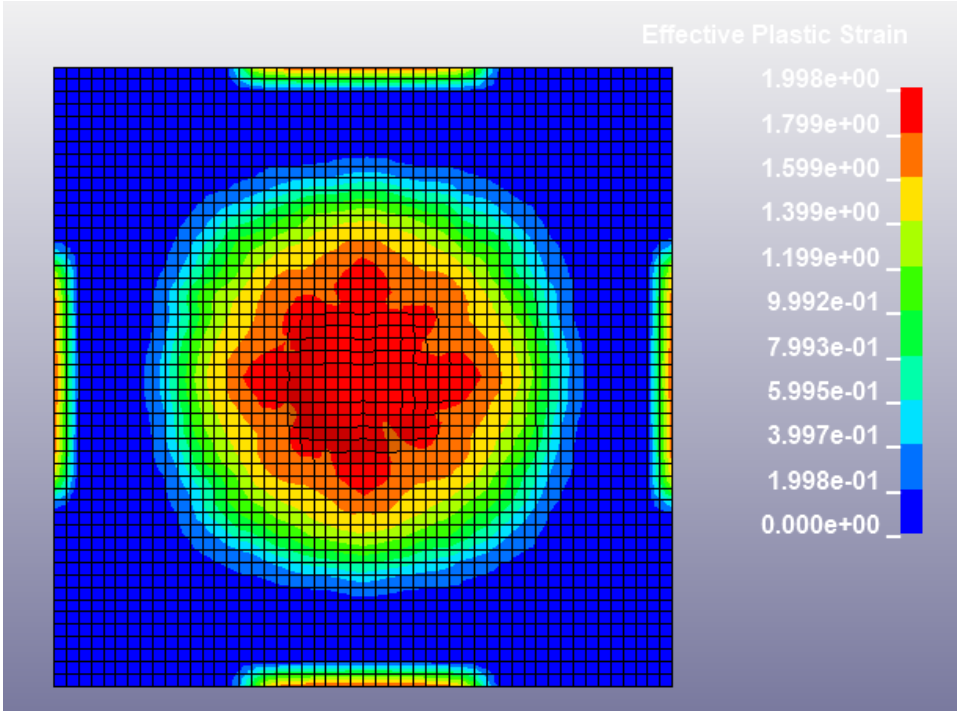


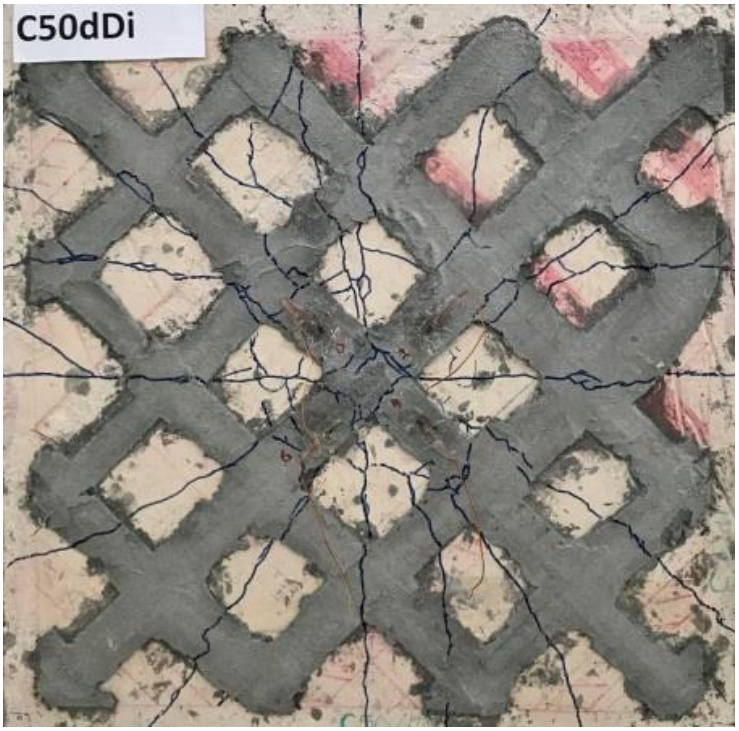
Şekil 4.20. C50dDi ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.21. C50dDi yer değiştirme-zaman grafik değerleri

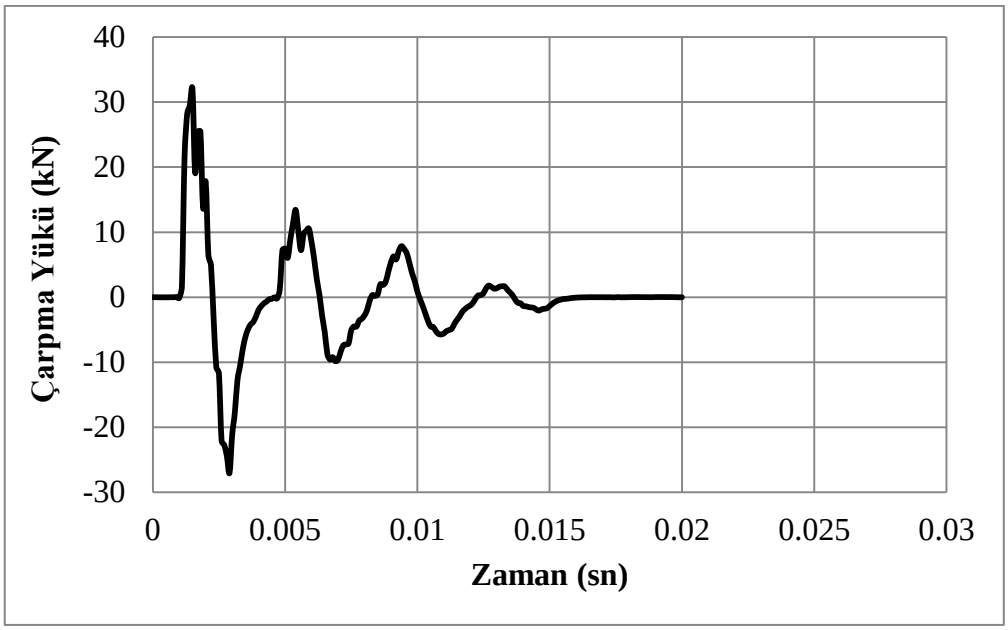
Çarpma etkisinde S5 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.22' de gösterilmiştir.





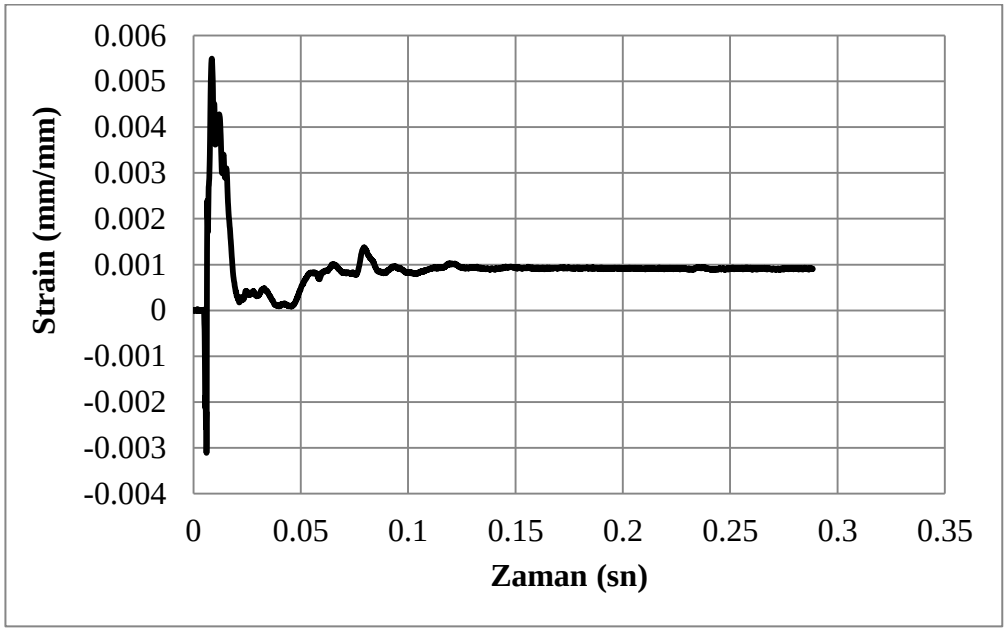
Şekil 4.22. C50dDi numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbe enerjisinden dolayı S5 deney numunesine etki eden darbe kuvvet Şekil 4.23’ te sunulmuştur.



Şekil 4.23. C50dDi deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S5 deney numunesinin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.24' de verilmiştir.



Şekil 4.24. C50dDi deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

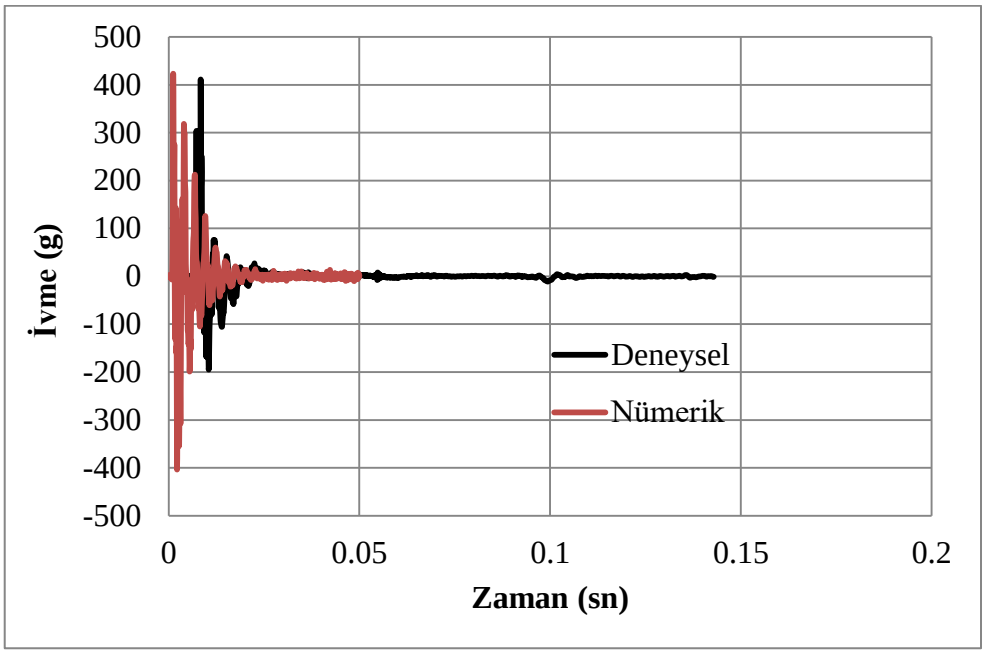
4.1.6. S6 Deney Numunesi

S6 deneysel eleman 100 mm genişliğinde TRM şeritleri ortogonal tek yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmamıştır. Sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

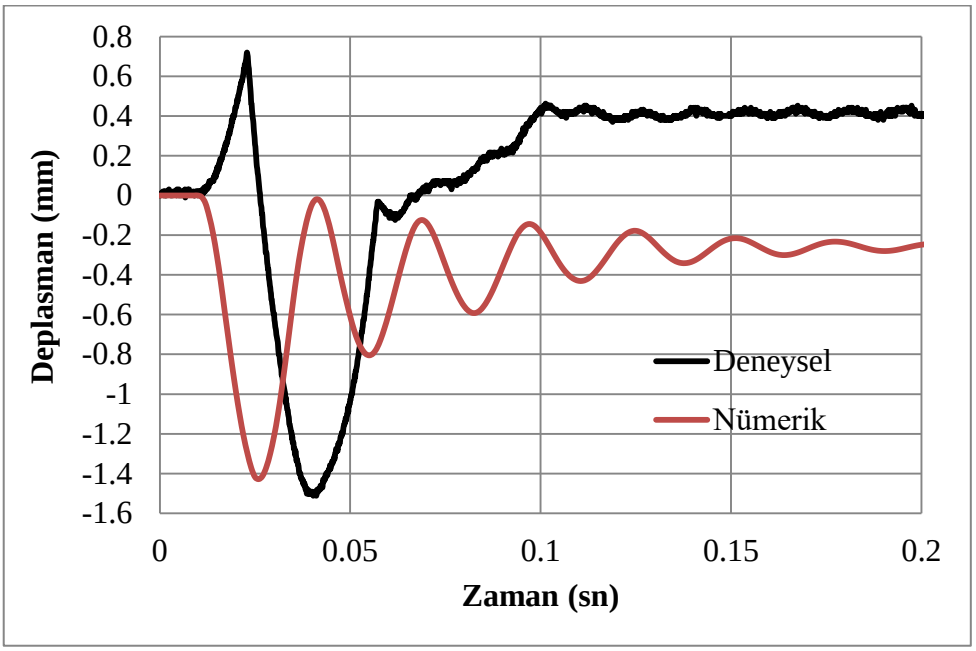
Çarpma yükünün etkisiyle S6 döşeme deney elemanına etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerde belirlenen maksimum ivme değeri 411.09 g ve en küçük ivme değeri -194.82 g olarak ölçülmüştür. Döşemenin ortasında oluşan maksimum deplasman -1.512 mm ve kalıcı deplasman 0.411 mm değerleri bulunmuştur.

S6 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 423 g, minimum ivme değeri ise -404 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -1.43 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.267 mm olarak gözlemlenmiştir.

S6 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.25' te gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.26' da gösterilmiştir.

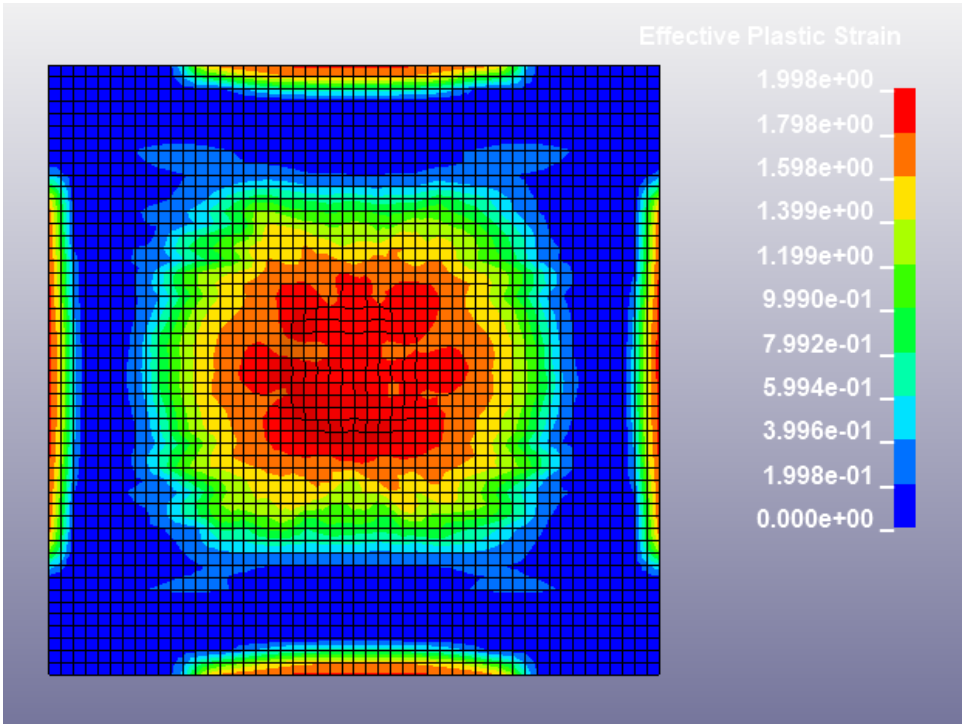


Şekil 4.25. C100sOr ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.26. C100sOr yer değiştirme-zaman grafik değerleri

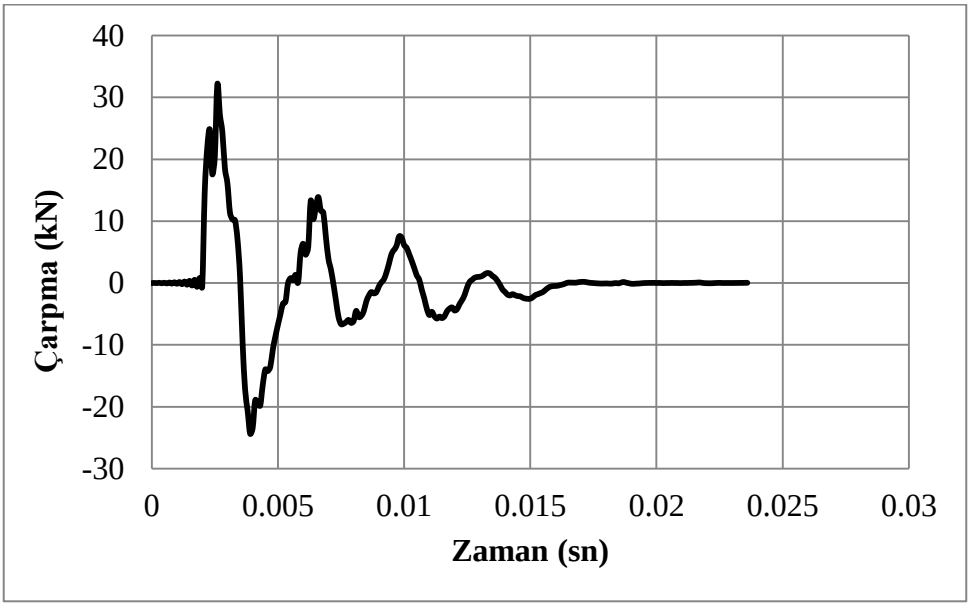
S6 deney elemanında yapılan gözlemlerde kılcal çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Çarpma etkisinde S6 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.27’ de gösterilmiştir.





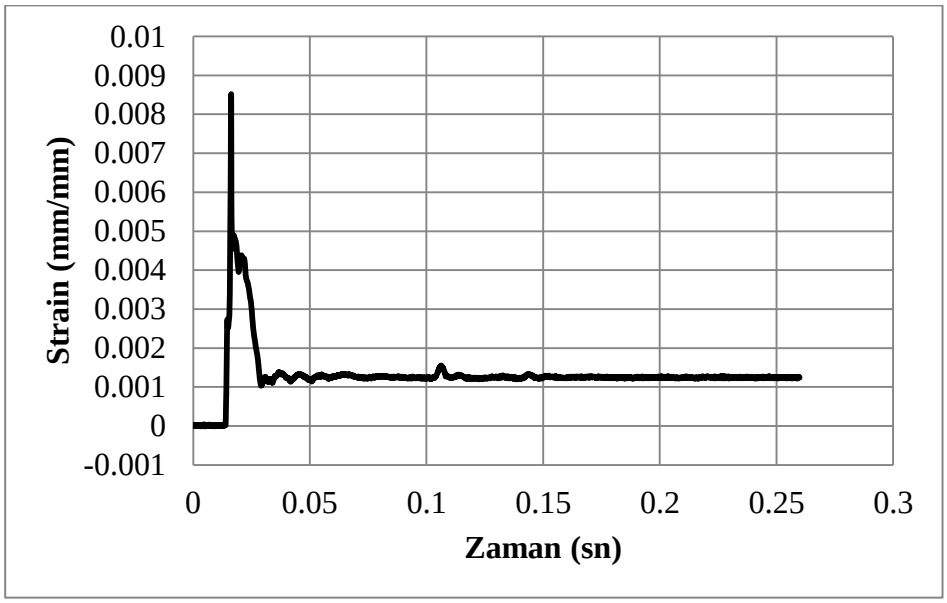
Şekil 4.27. C100sOr numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbenin etkisiyle S6 deneyine etki eden darbe yükü Şekil 4.28’ de izah edilmiştir.



Şekil 4.28. C100sOr deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S6 deney düzeneyinin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.29’ da verilmiştir.



Şekil 4.29. C100sOr deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

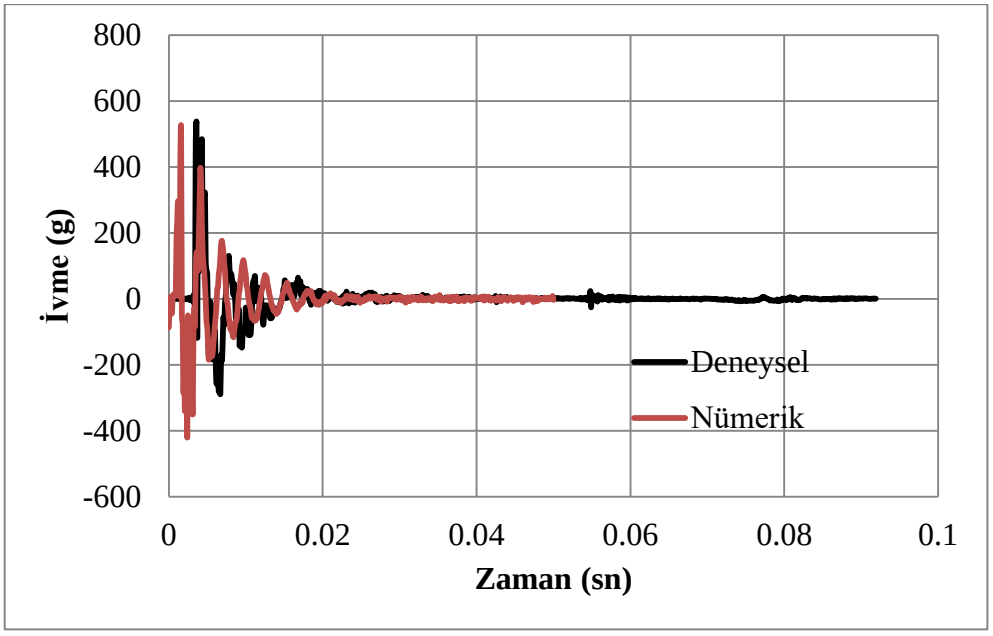
4.1.7. S7 Deney Numunesi

S7 numunesinin 100 mm genişliğinde TRM şeritleri düz çift yönde kuvvetlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmamıştır. Sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

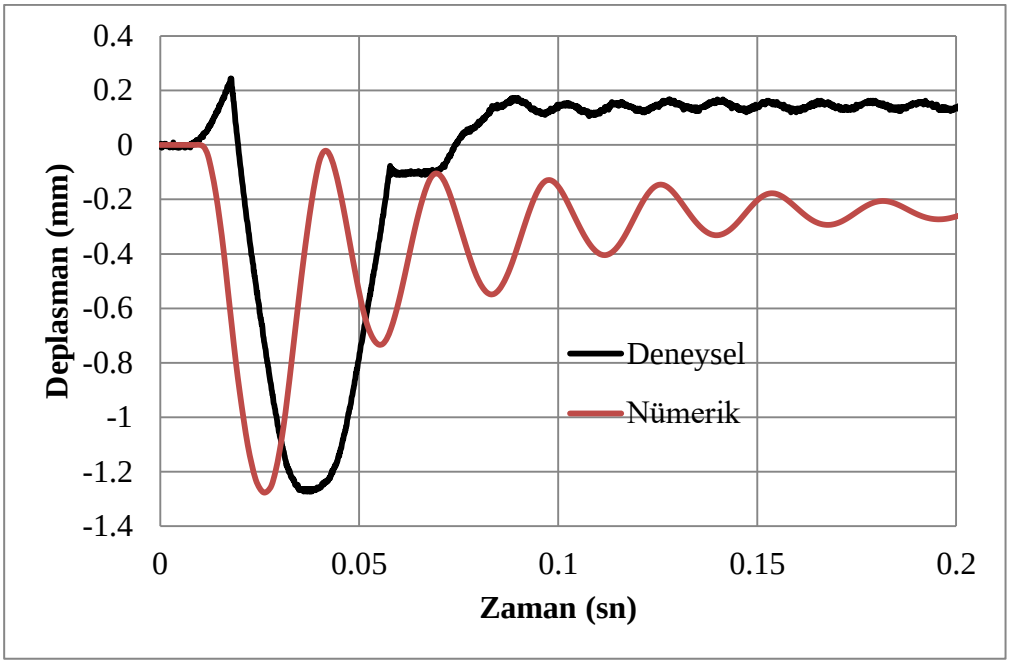
Çarpma yükünün etkisiyle S7 döşeme deney elemanına etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerde değerlendirilen maksimum ivme değeri 530.41 g ve minimum ivme değeri -289.67 g olarak ölçülmüştür. Orta bölgesinde oluşan maksimum deplasman -1.272 mm ve kalıcı deplasman 0.139 mm olarak data değerleri bulunmuştur.

S7 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 515 g, minimum ivme değeri ise -421 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -1.28 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.255 mm olarak gözlemlenmiştir.

S7 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.30' da gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.31' de yer almıştır.

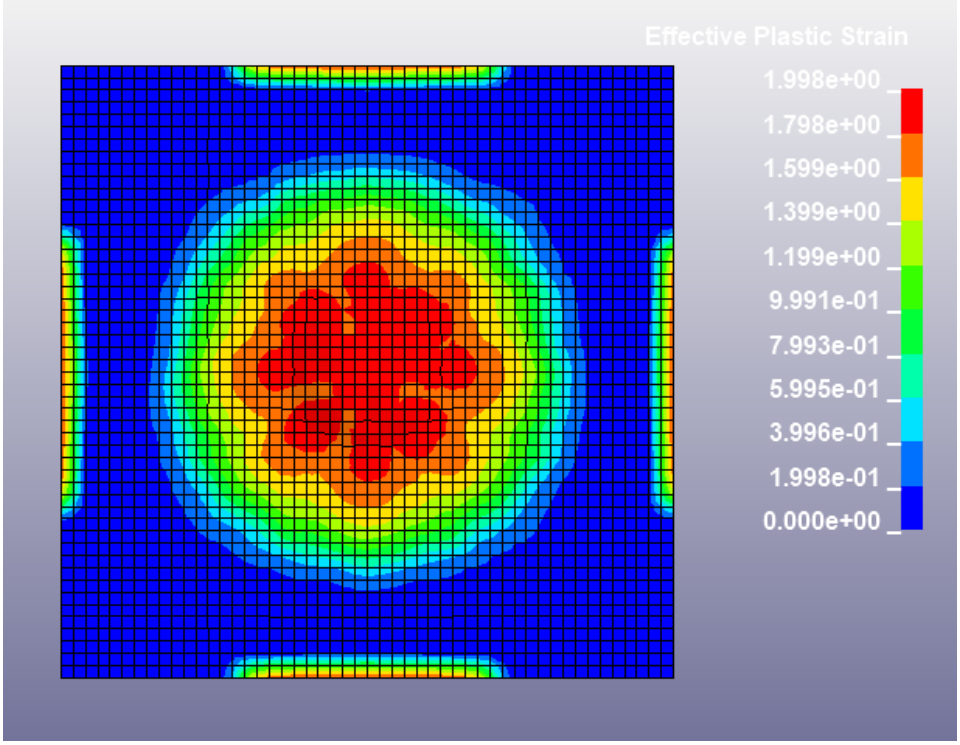


Şekil 4.30. C100dOr ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.31 C100dOr yer değiştirme-zaman grafik değerleri

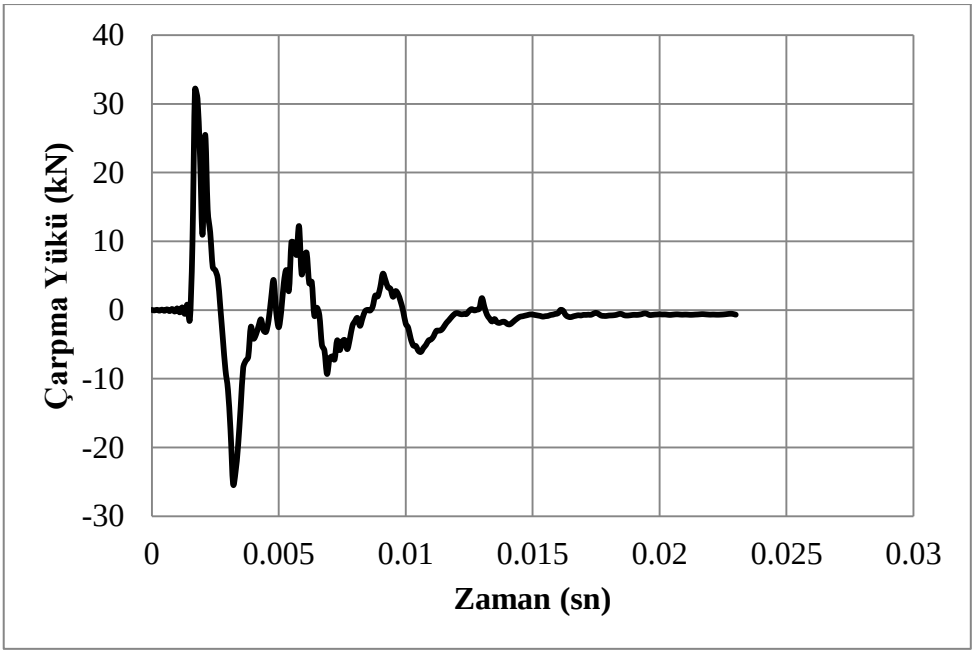
S7 deney elemanında yapılan gözlemlerde kılcal çatlaklarının oluştuğu ve sayısının azaldığı saptanmıştır. Çarpma etkisinde S7 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.32' de gösterilmiştir.





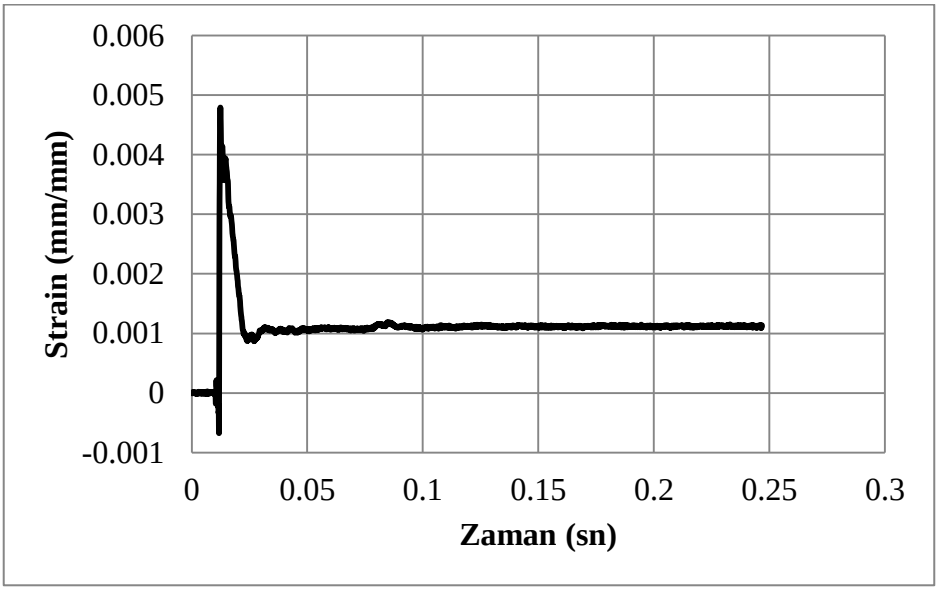
Şekil 4.32. C100dOr numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbe enerjisiyle etkiyen S7 deney numunesine etkiyen darbe kuvveti Şekil 4.33' de sunulmuştur.



Şekil 4.33. C100dOr deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S7 deneysel numunenin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.34' te verilmiştir.



Şekil 4.34. C100dOr deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

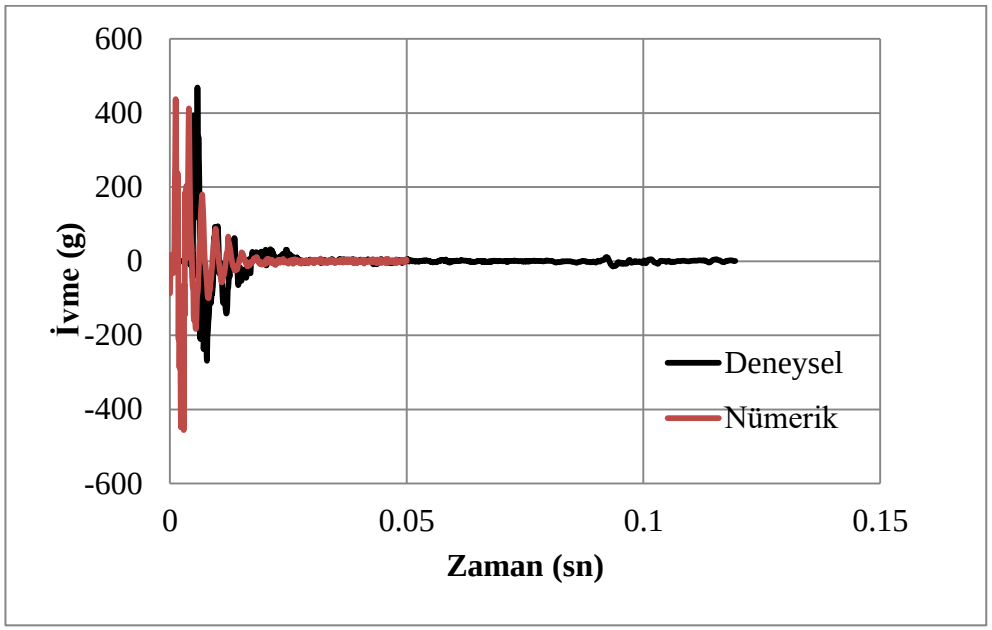
4.1.8. S8 Deney Numunesi

S8 deneysel elemanın 100 mm genişliğinde TRM şeritleri diyagonal tek yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmamıştır. Sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

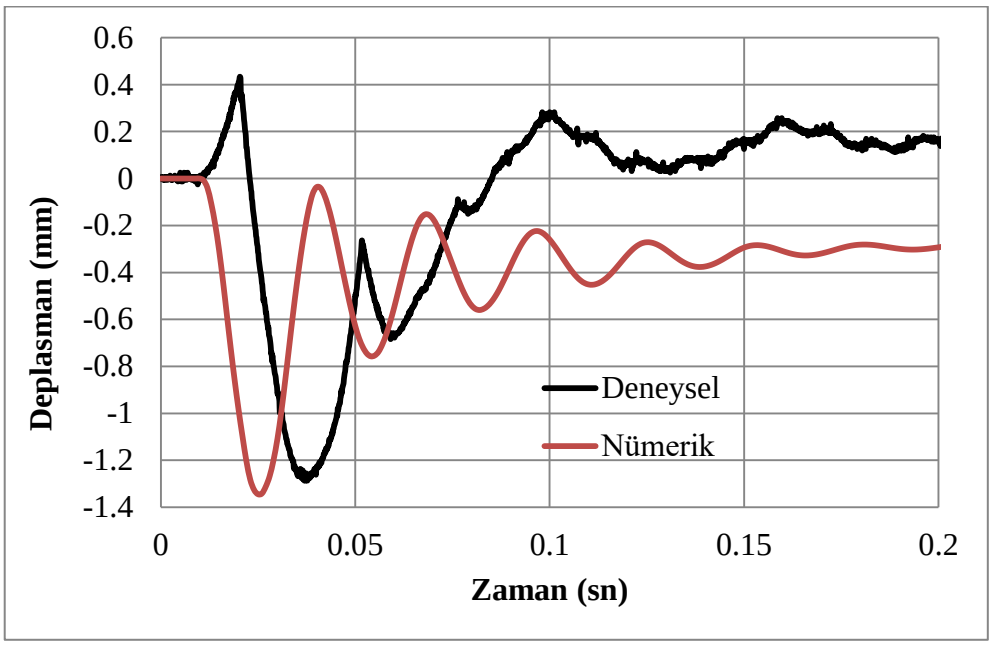
Çarpma yükünün etkisiyle S8 döşemeye etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerden alınan maksimum ivme değeri 468.75 g ve minimum ivme değeri -268.66 g olarak ölçülmüştür. Orta bölgesinde oluşan maksimum deplasman -1.287 mm ve kalıcı deplasman 0.207 mm olarak data değerleri kullanılmıştır.

S8 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 437 g, minimum ivme değeri ise -456 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -1.34 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.281 mm olarak gözlemlenmiştir.

S8 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.35' de gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.36' da gösterilmiştir.

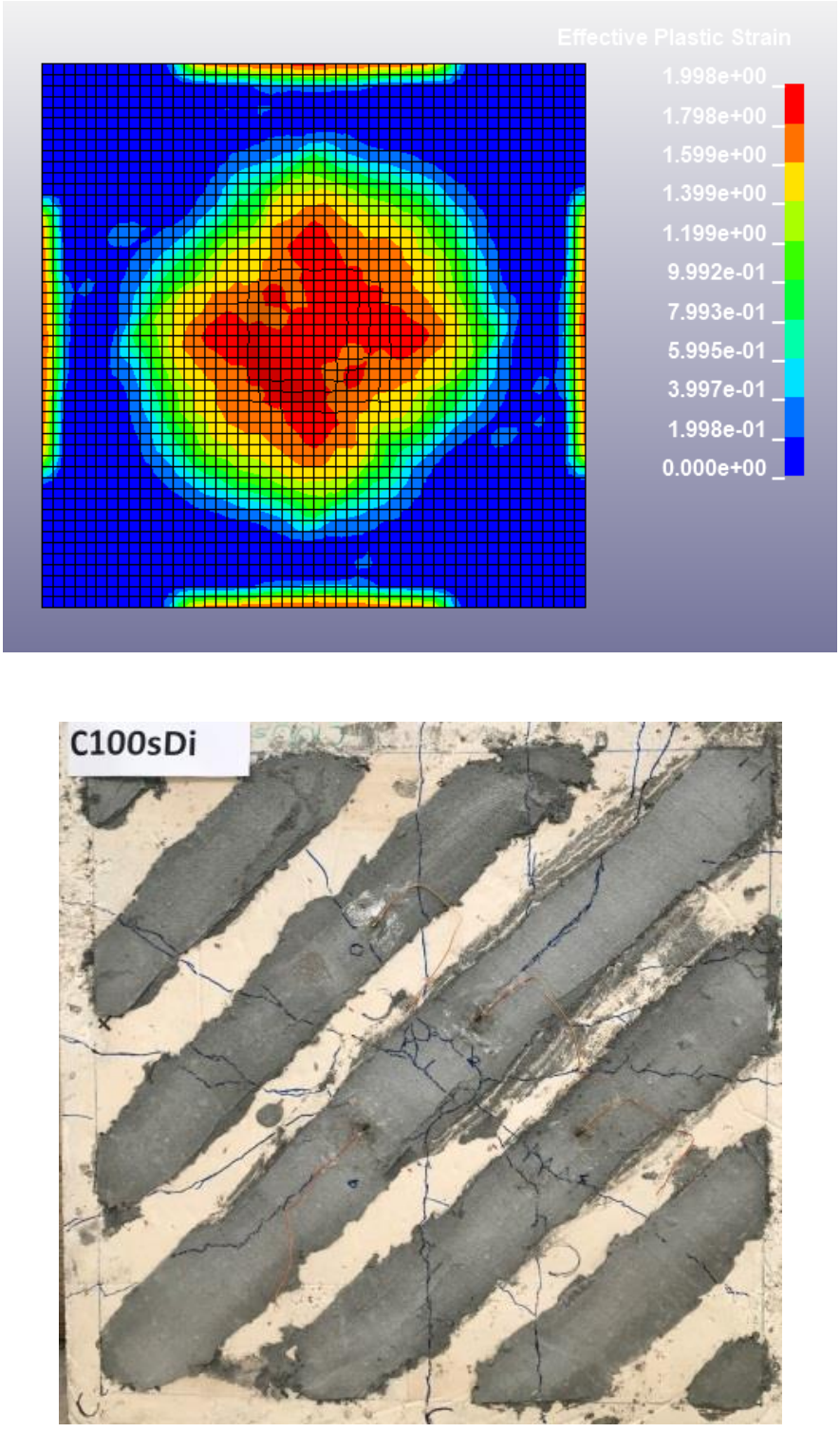


Şekil 4.35. C100sDi ivme-zaman grafik değerleri



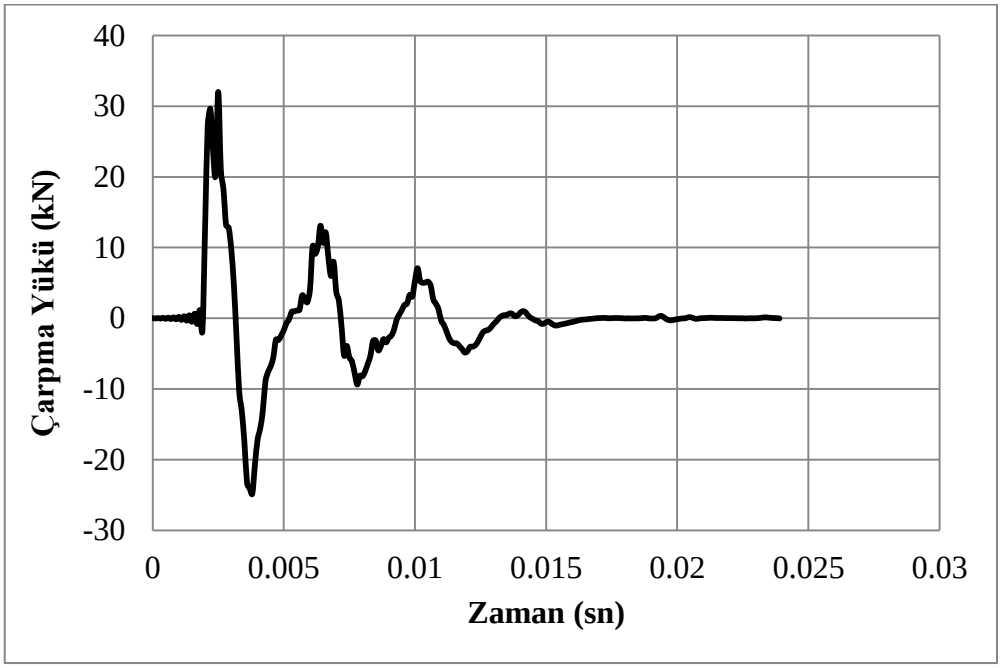
Şekil 4.36. C100sDi yer değiştirme-zaman grafik değerleri

S8 deney elemanında yapılan gözlemlerde kılcal çatlaklarının oluştuğu ve sayısının azaldığı saptanmıştır. Çarpma etkisinde S8 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.37’ de gösterilmiştir.



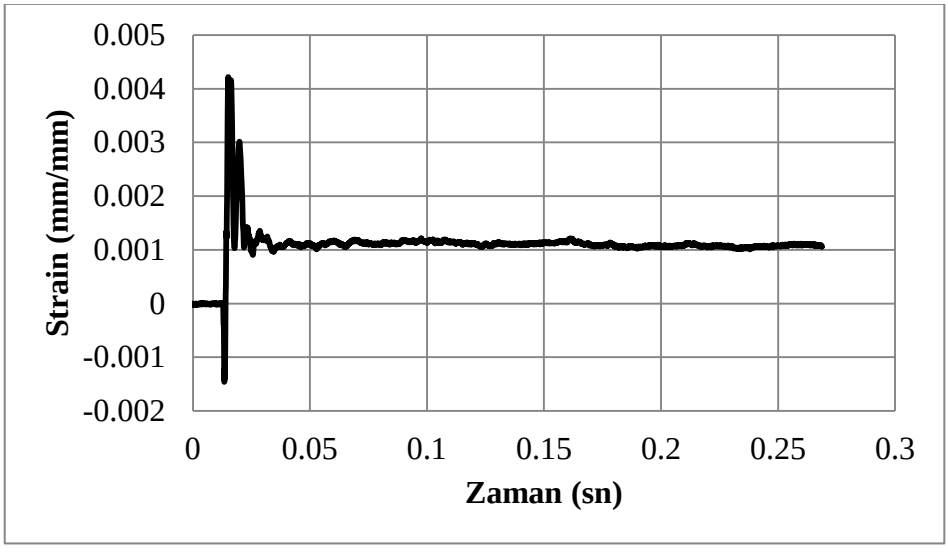
Şekil 4.37. C100sDi numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj çarpmadan dolayı S8 deney elemanına etkiyen darbe kuvveti Şekil 4.38' de sunulmuştur.



Şekil 4.38. C100sDi deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S8 deneyinin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.39' da verilmiştir.



Şekil 4.39. C100sDi deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

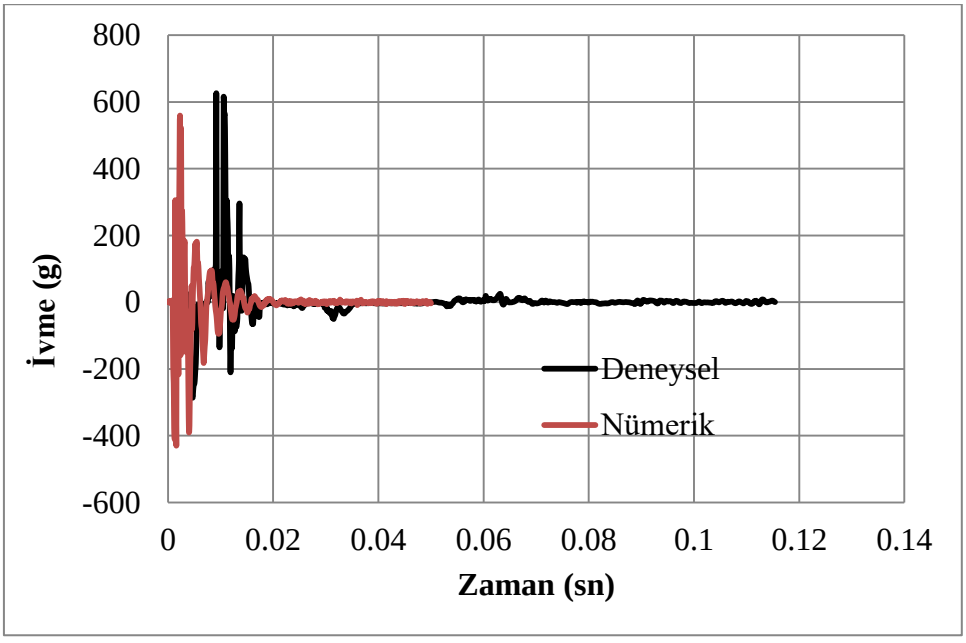
4.1.9. S9 Deney Numunesi

S9 deney numunesinin 100 mm genişliğinde TRM şeritleri diyagonal her iki yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmamıştır. Sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

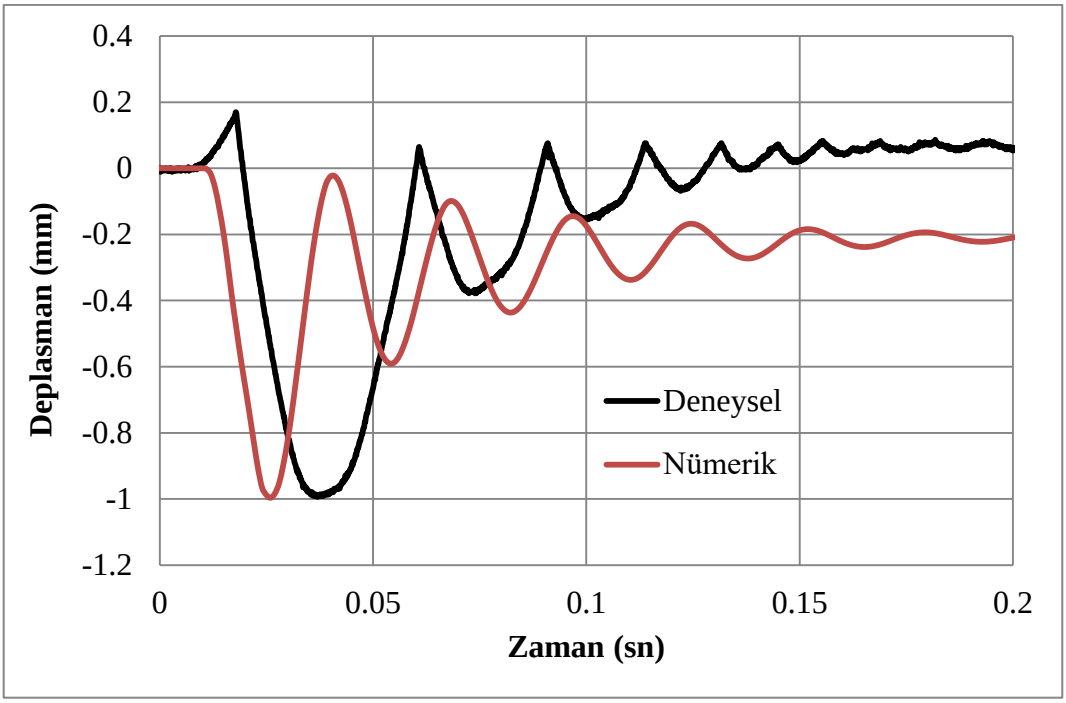
Çarpma yükünün etkisiyle S9 döşemeye etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerden elde edilen maksimum ivme değeri 626.17 g ve minimum ivme değeri -286.34 g olarak ölçülmüştür. Döşeme ortasında meydana gelen maksimum deplasman -0.994 mm ve kalıcı deplasman 0.072 mm data değerleri bulunmuştur.

S9 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 559 g, minimum ivme değeri ise -430 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -0.996 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.21 mm olarak gözlemlenmiştir.

S9 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.40' da gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.41' de gösterilmiştir.

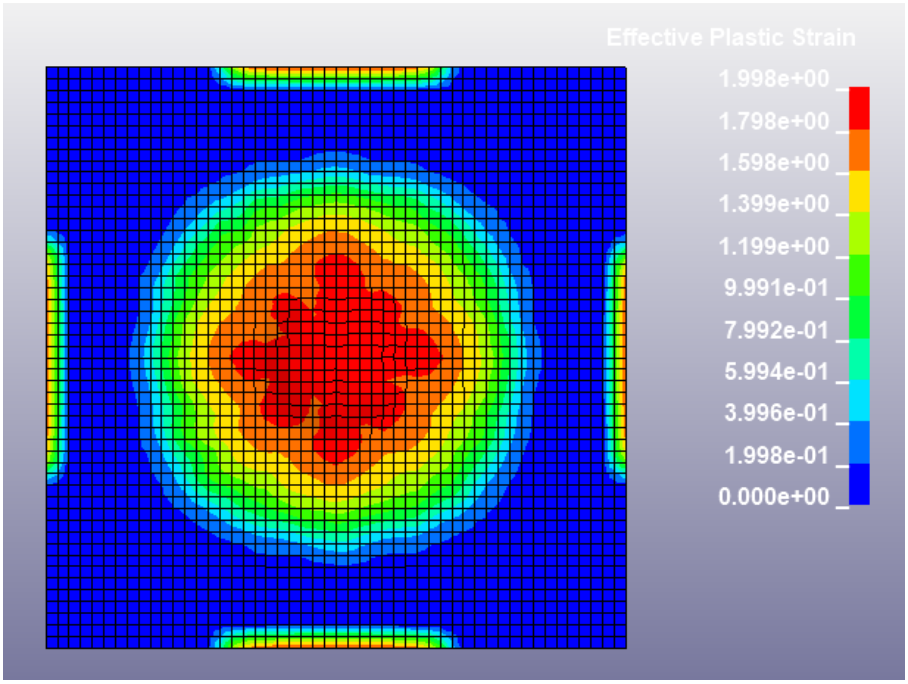


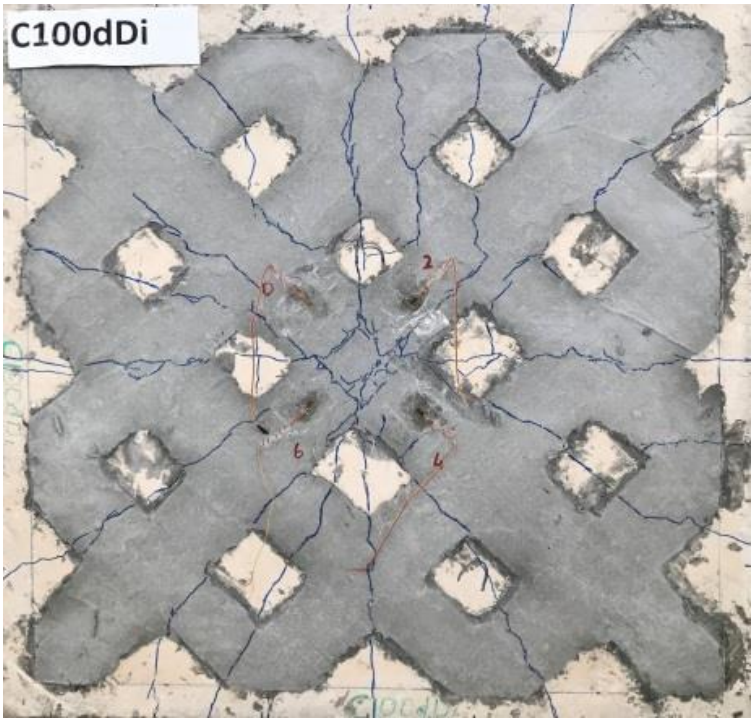
Şekil 4.40. C100dDi ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.41. C100dDi yer değiştirme-zaman grafik değerleri

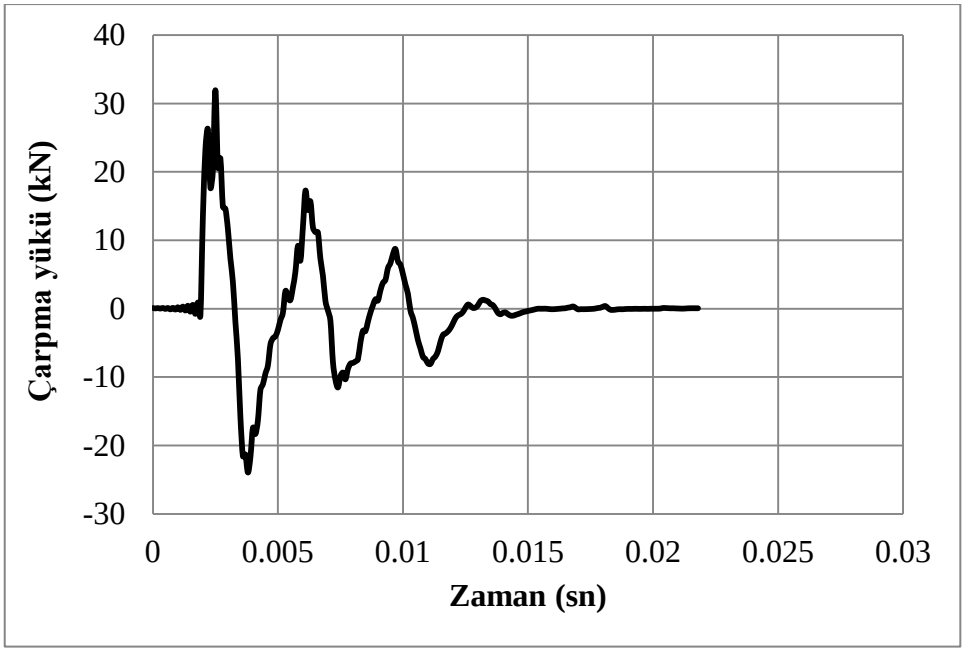
S9 deney elemanında yapılan gözlemlerde kılcal çatlaklarının oluştuğu ve sayısının azaldığı saptanmıştır. Çarpma etkisinde S9 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.42' de gösterilmiştir.





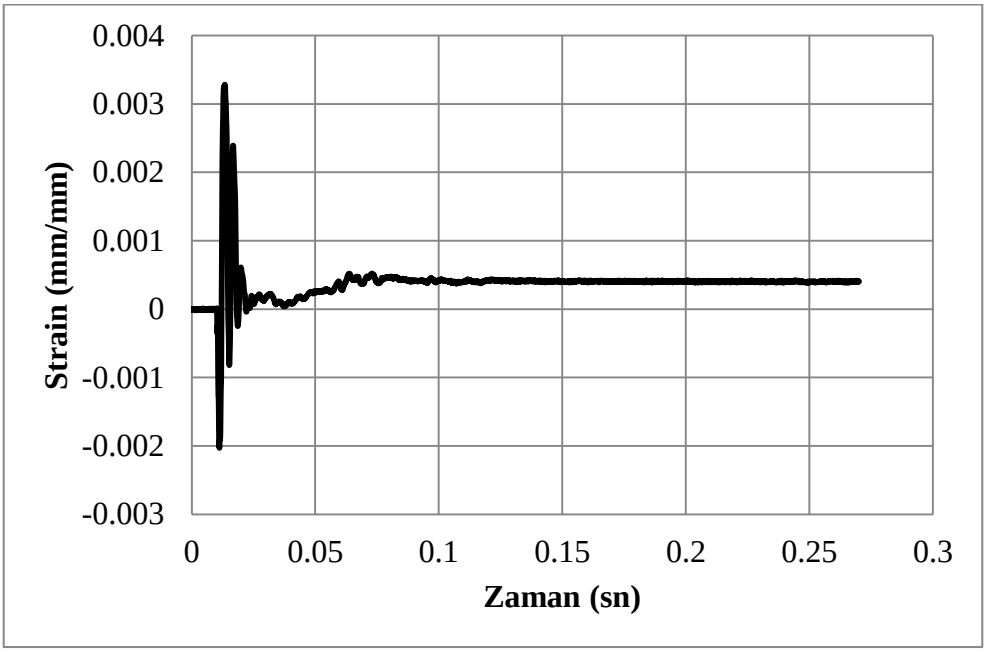
Şekil 4.42. C100dDi numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbe enerjisi sonucunda S9 deney numunesine etki eden darbe kuvveti Şekil 4.43' te gözlemlenmiştir.



Şekil 4.43. C100dDi deney numunesine ait darbe kuvveti/zaman grafiği

S9 deneyinin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.44' te verilmiştir.



Şekil 4.44. C100dDi deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

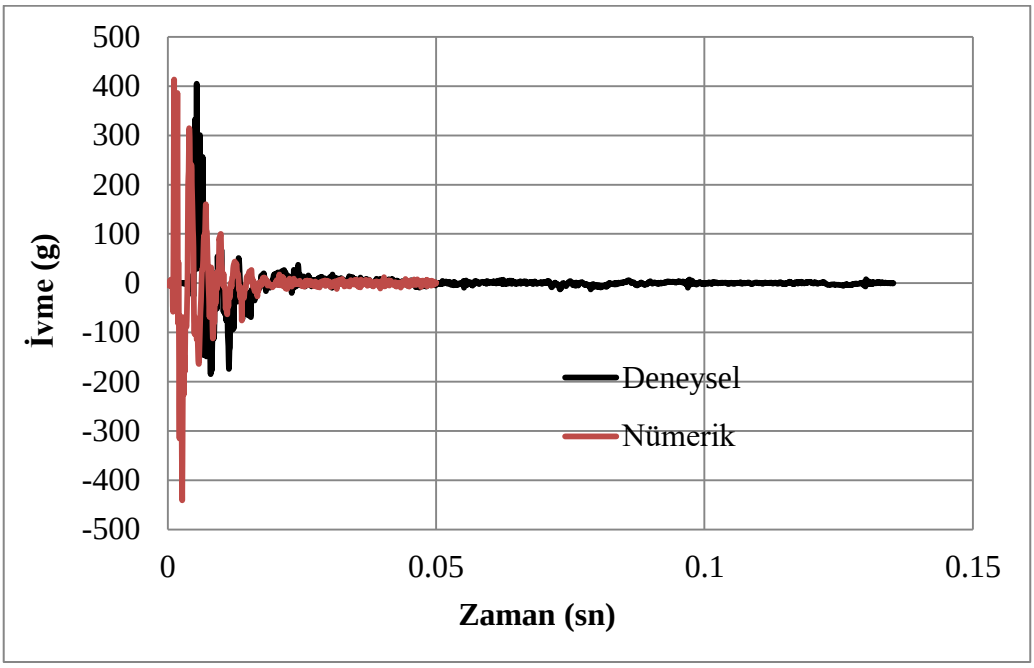
4.1.10. S10 Deney Numunesi

S10 deney elemanı 50 mm genişliğinde TRM şeritleri ortogonal tek yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmıştır ve aynı zamanda sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

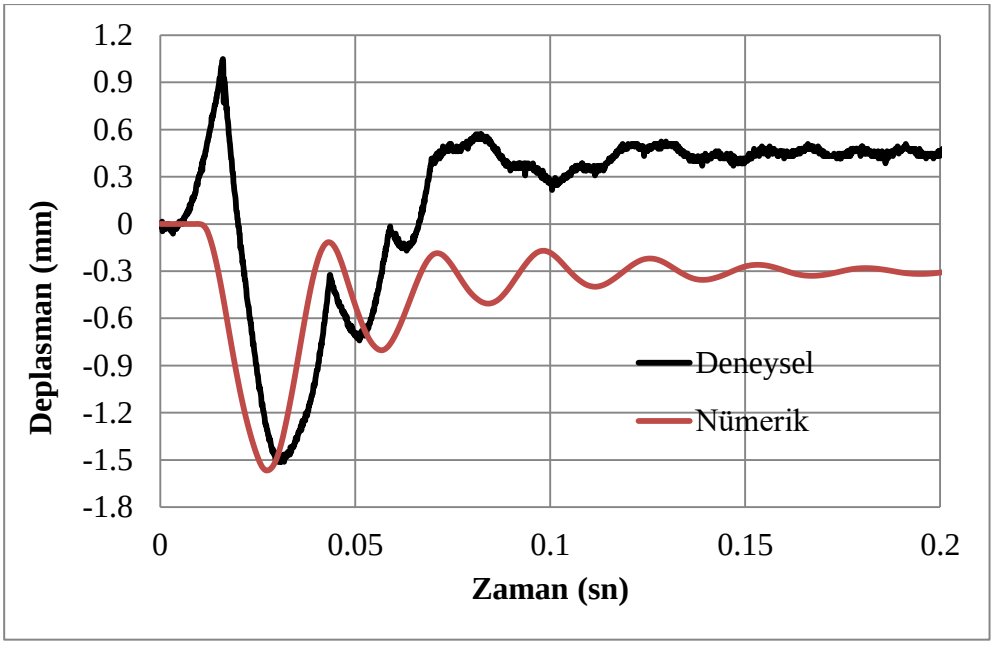
Çarpma yükünün etkisiyle S10 döşemeye etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerden bulunan maksimum ivme değeri 405 g ve minimum ivme değeri -184.72g olarak ölçülmüştür. Döşemenin ortasında meydana gelen maksimum deplasman -1.512 mm ve kalıcı deplasman 0.463 mm olarak data değerleri saptanmıştır.

S10 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 414 g, minimum ivme değeri ise -441 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -1.57 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.297 mm olarak gözlemlenmiştir.

S10 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.45' te gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.46' da gösterilmiştir.

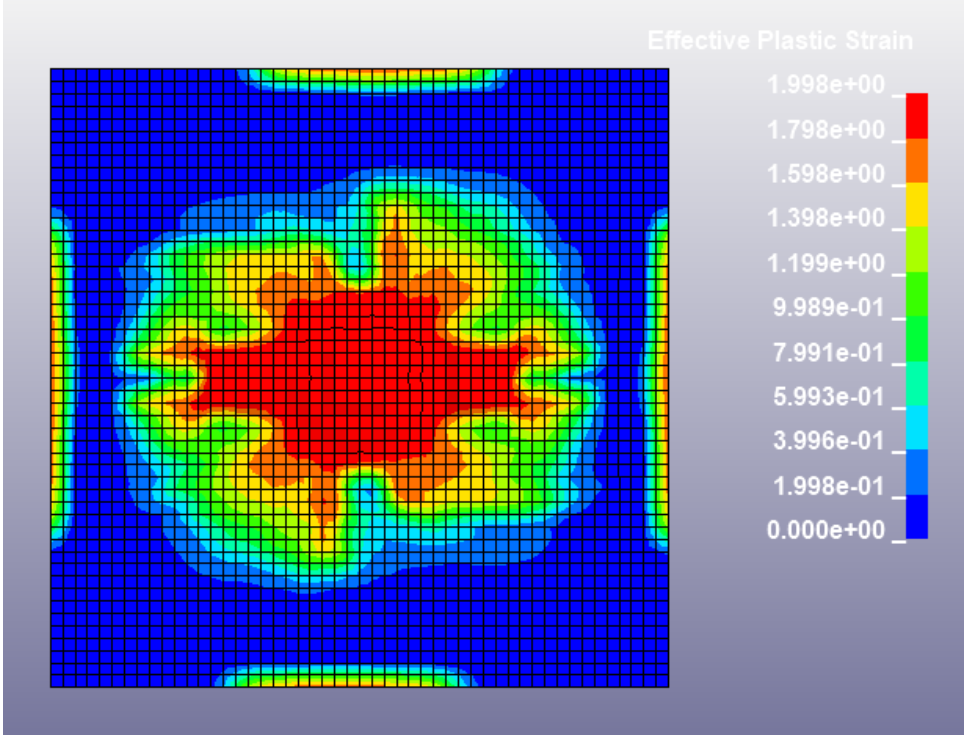


Şekil 4.45. C50sOr-A ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.46. C50sOr-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri

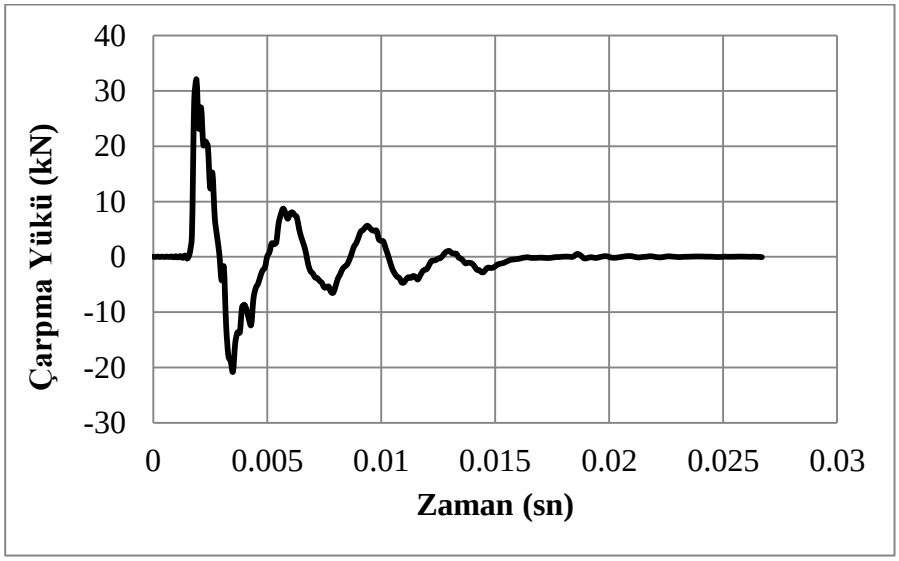
Çarpma etkisinde S10 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.47’ da gösterilmiştir.





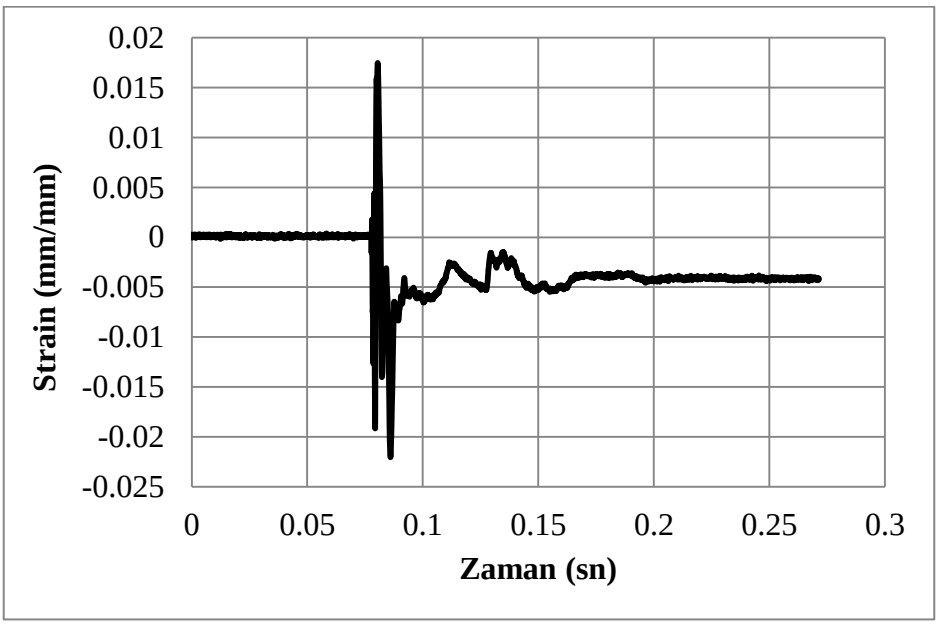
Şekil 4.47. C50sOr-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbe enerjisi akabinde S10 deney numunesine etkiyen darbe kuvveti Şekil 4.48’ de izah edilmiştir.



Şekil 4.48. C50sOr-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S10 deney numunesinin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.49’ da verilmiştir.



Şekil 4.49. C50sOr-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

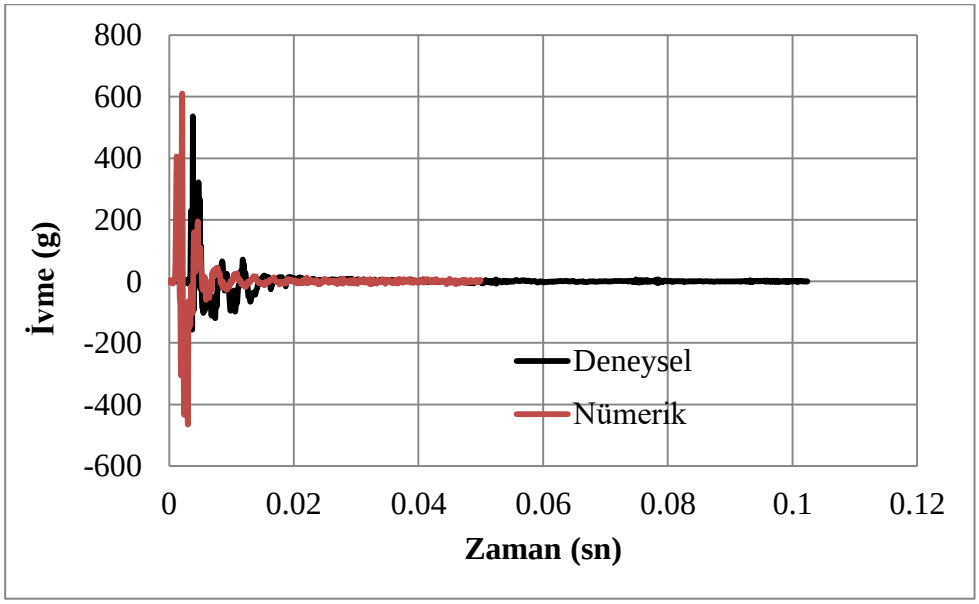
4.1.11. S11 Deney Numunesi

S11 deney elemanı 50 mm genişliğinde TRM şeritleri ortogonal çift yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmıştır ve aynı zamanda sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

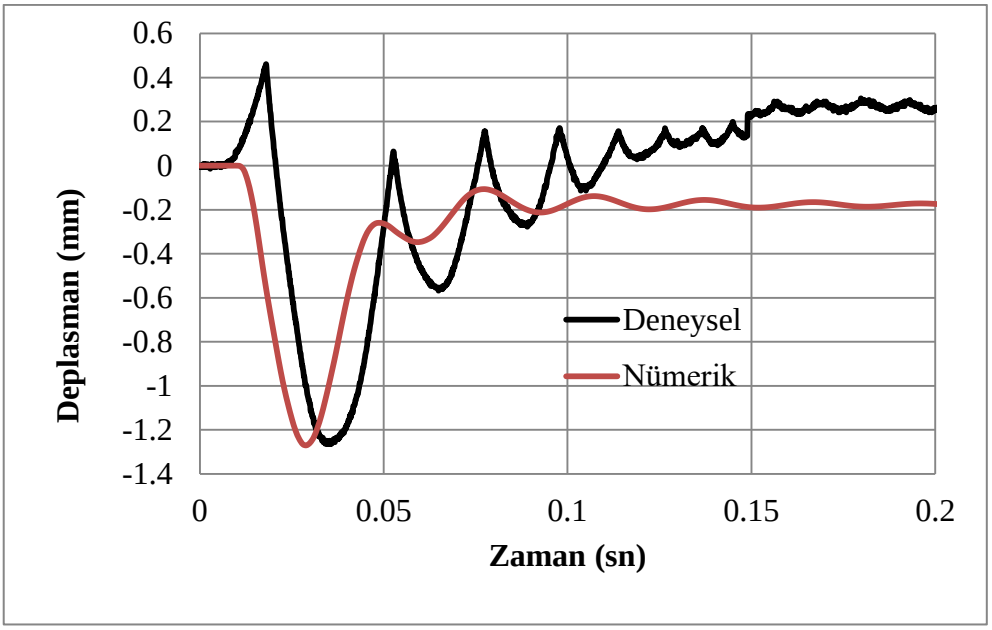
Çarpma yükünün etkisiyle S11 döşemeye etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerden alınan maksimum ivme değeri 436.07 g ve minimum ivme -157.13 g olarak ölçülmüştür. Döşeme orta bölgesinde meydana gelen maksimum deplasman -1.263 mm ve kalıcı deplasman 0.249 mm olarak data değerleri alınmıştır.

S11 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 610 g, minimum ivme değeri ise -466 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -1.27 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.183 mm olarak gözlemlenmiştir.

S11 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.50' de gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.51' de gösterilmiştir.

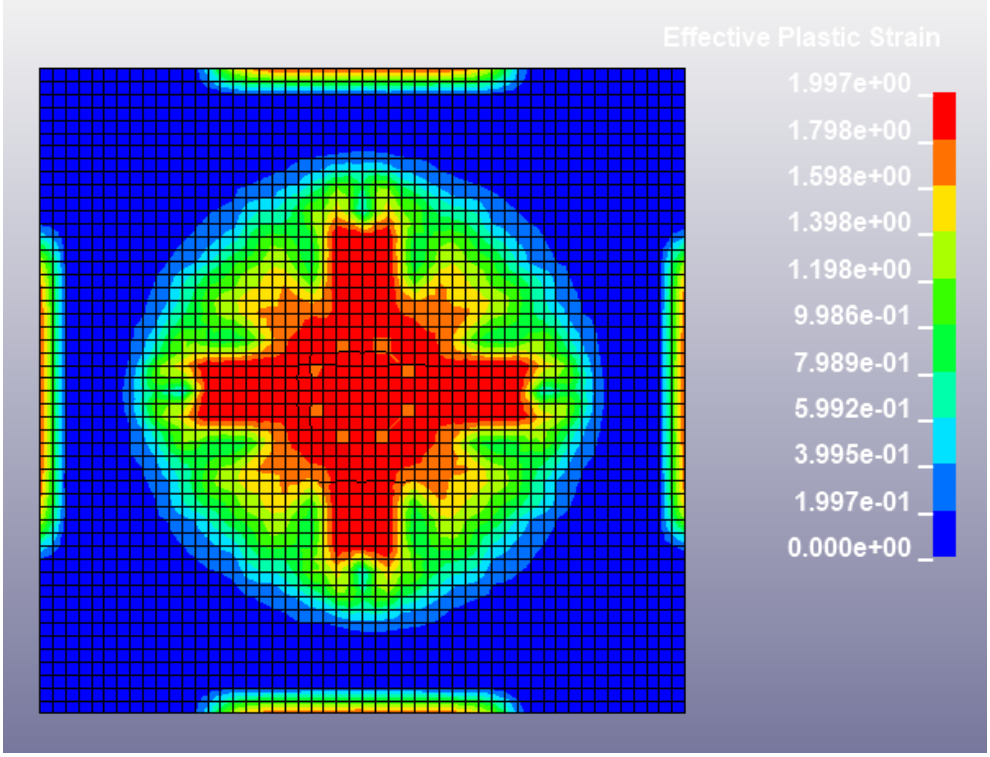


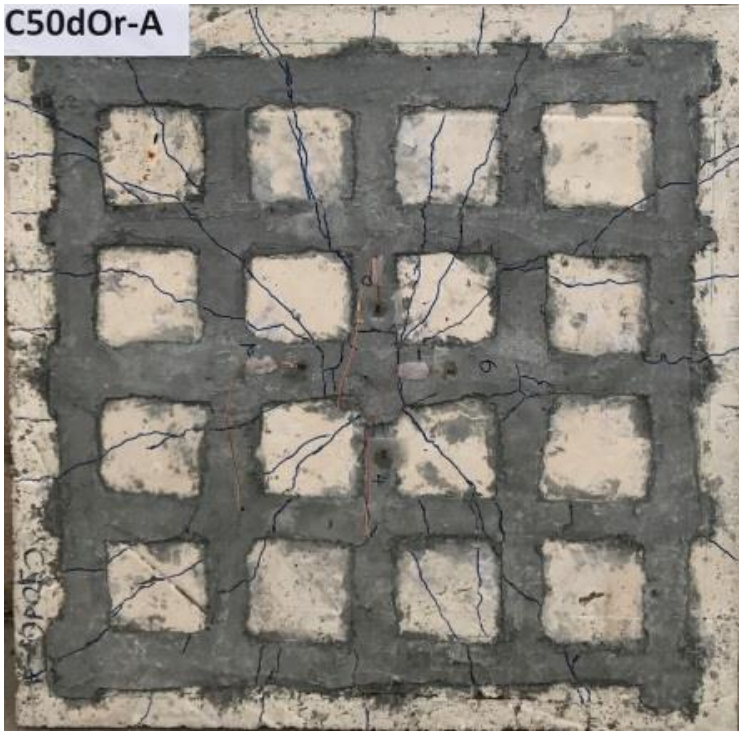
Şekil 4.50. C50dOr-A ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.51. C50dOr-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri

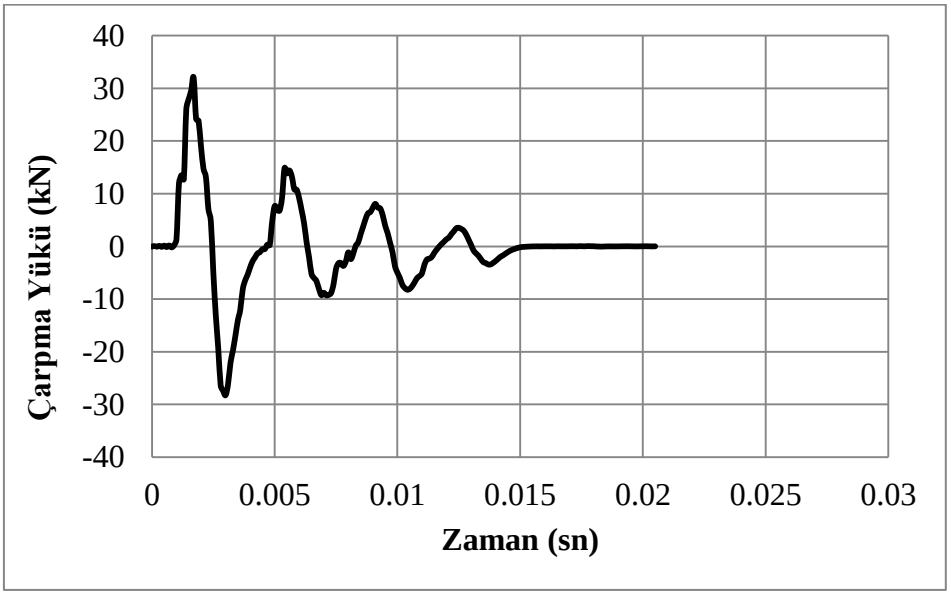
Çarpma etkisinde S11 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.52' de gösterilmiştir.





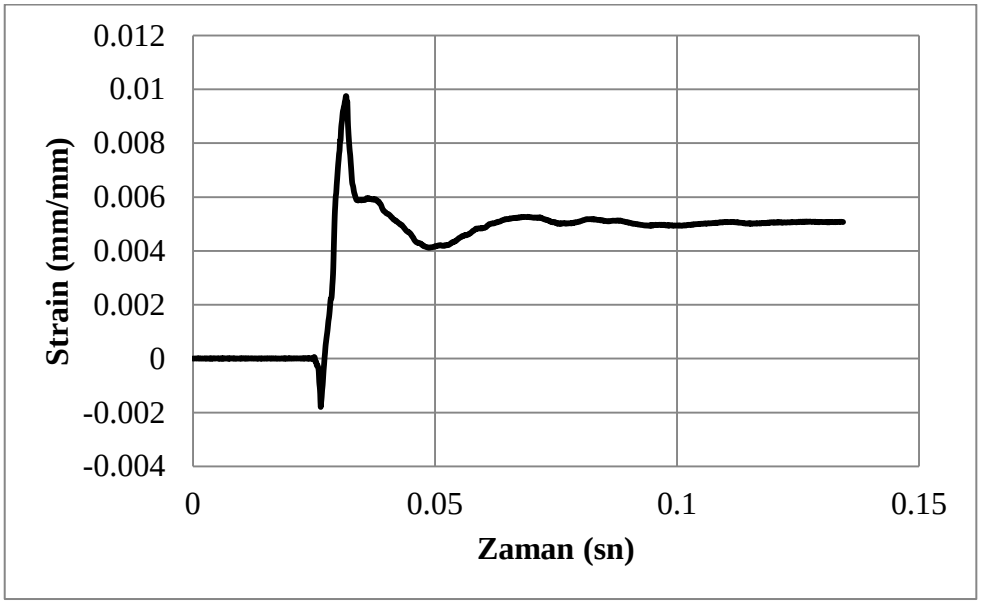
Şekil 4.52. C50dOr-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbe enerjinden kaynaklanan S11 deney numunesine etkiyen darbe kuvveti Şekil 4.53' de irdelenmiştir.



Şekil 4.53. C50dOr-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S11 deneyinin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.54' de verilmiştir.



Şekil 4.54. C50dOr-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

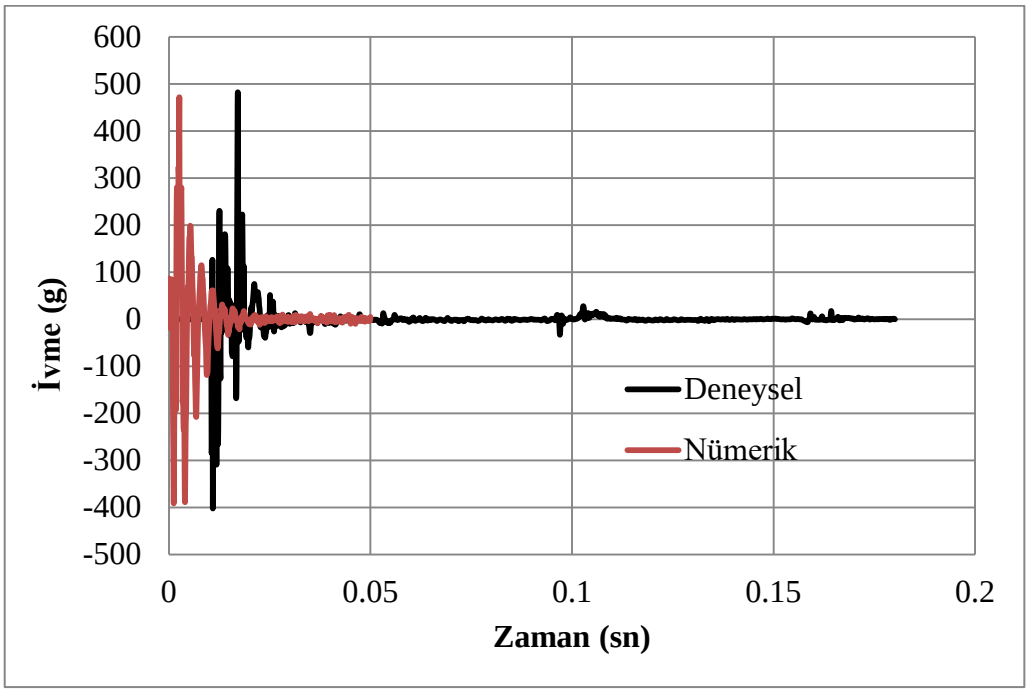
4.1.12. S12 Deney Numunesi

S12 deney elemanı 50 mm genişliğinde TRM şeritleri diyagonal tek yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmıştır ve aynı zamanda sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

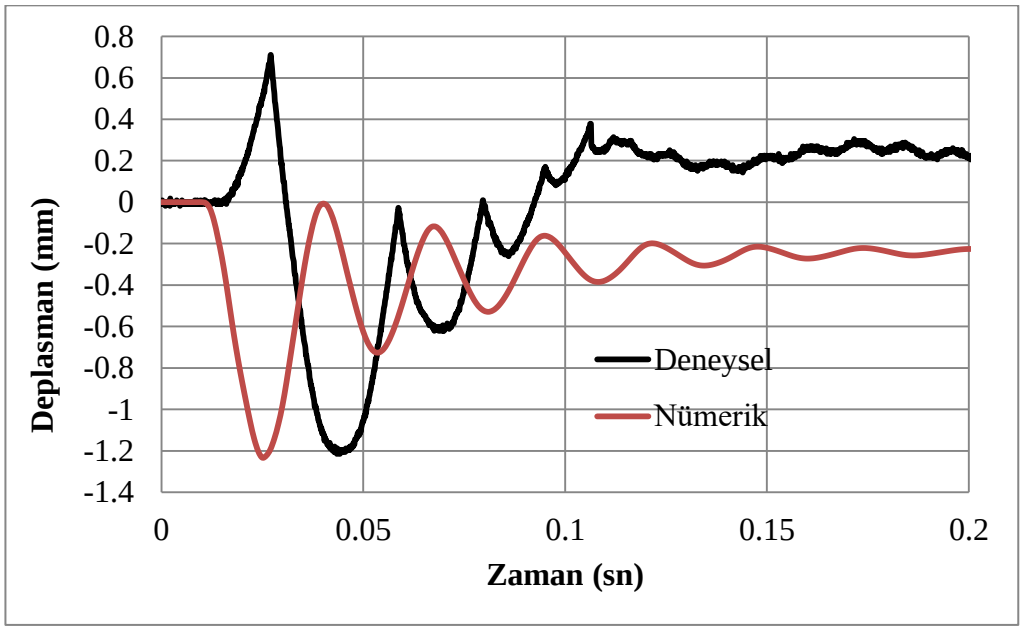
Çarpma yükünün etkisiyle S12 döşemeye etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerden değerlendirilen maksimum ivme değeri 482.39 g ve minimum ivme değeri -402.10 g olarak ölçülmüştür. Döşemenin ortasında meydana gelen maksimum deplasman -1.215 mm ve kalıcı deplasman 0.224 mm olarak data değerleri bulunmuştur.

S12 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 472 g, minimum ivme değeri ise -391 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -1.23 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.244 mm olarak gözlemlenmiştir.

S12 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.55' de gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.56' da gösterilmiştir.

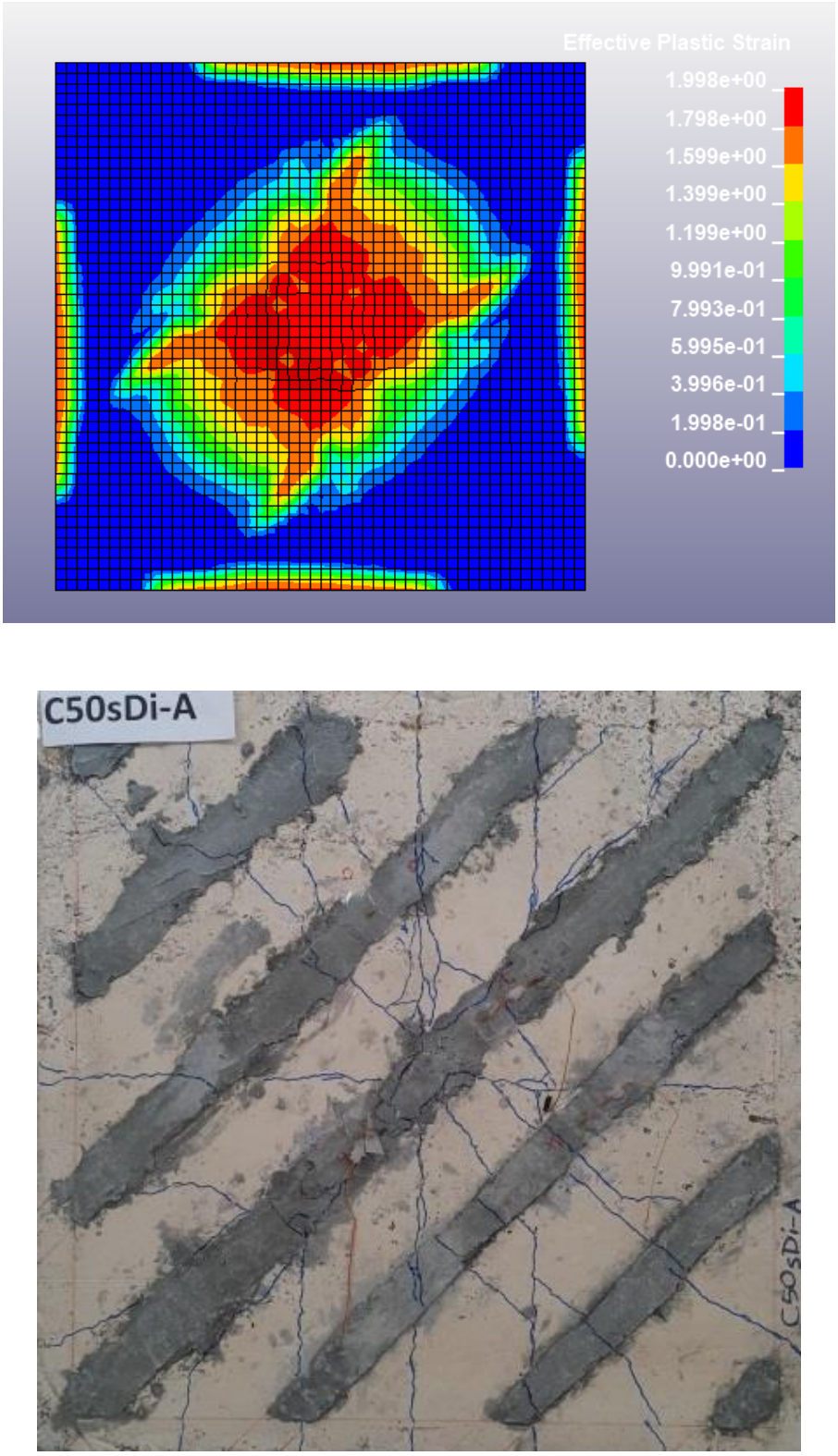


Şekil 4.55. C50sDi-A ivme-zaman grafik değerleri



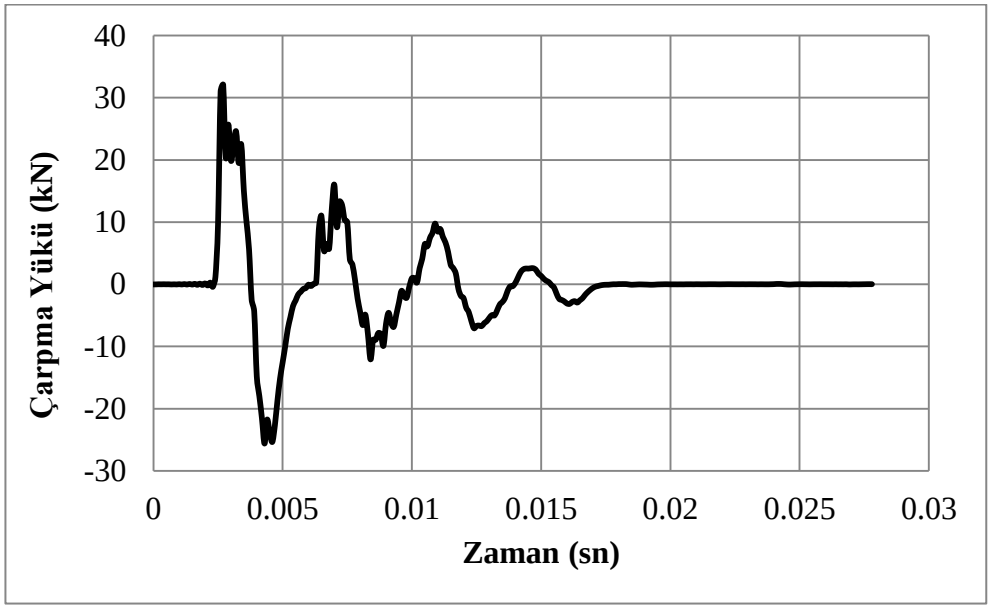
Şekil 4.56. C50sDi-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri

Çarpma etkisinde S12 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.57’ de gösterilmiştir.



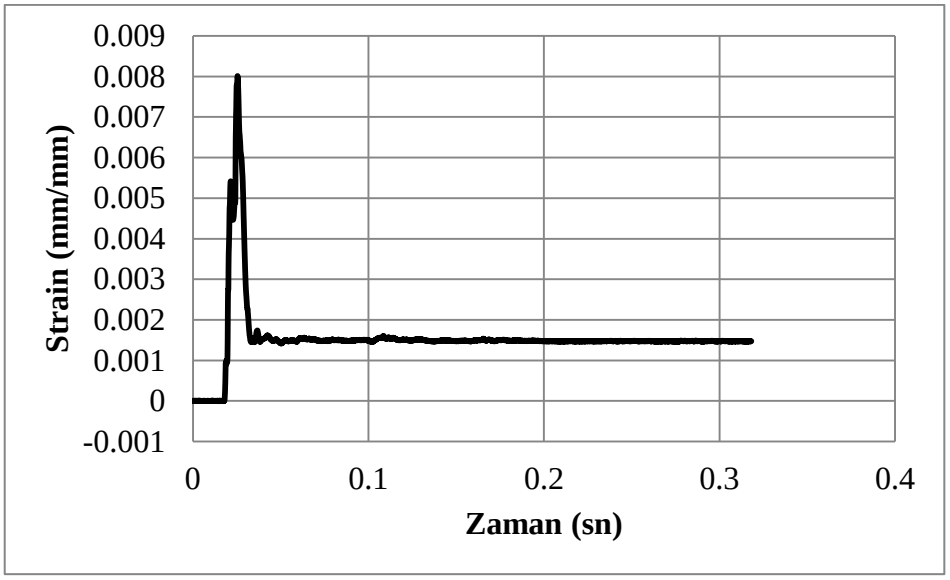
Şekil 4.57. C50sDi-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj çarpma enerjisinden ortaya çıkan S12 deney numunesine etkiyen darbe yükü Şekil 4.58’ de sunulmuştur.



Şekil 4.58. C50sDi-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S12 deneyinin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.59’ da verilmiştir.



Şekil 4.59. C50sDi-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

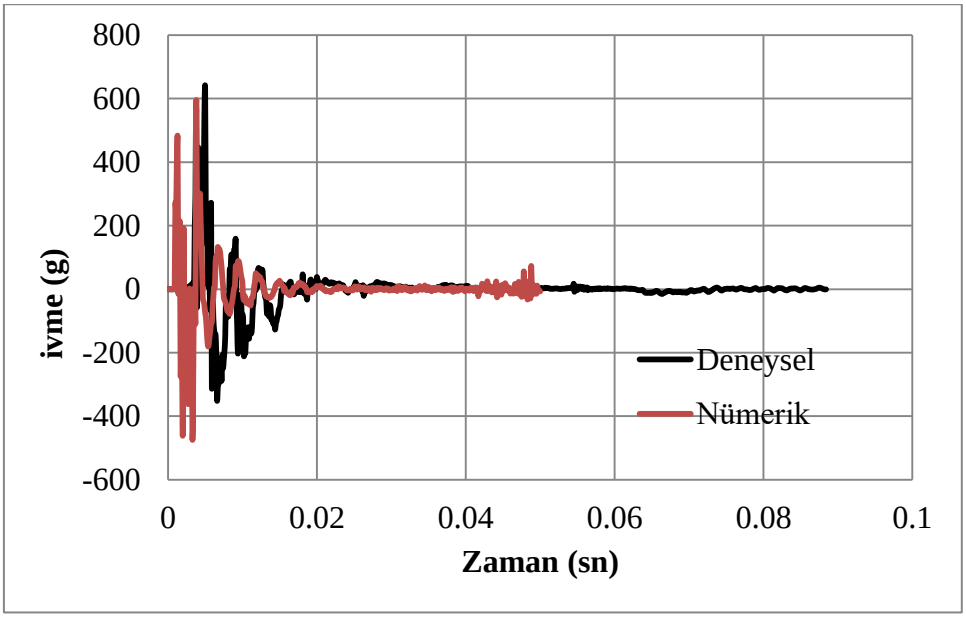
4.1.13. S13 Deney Numunesi

S13 deney elemanı 50 mm genişliğinde TRM şeritleri diyagonal çift yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmıştır ve aynı zamanda sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

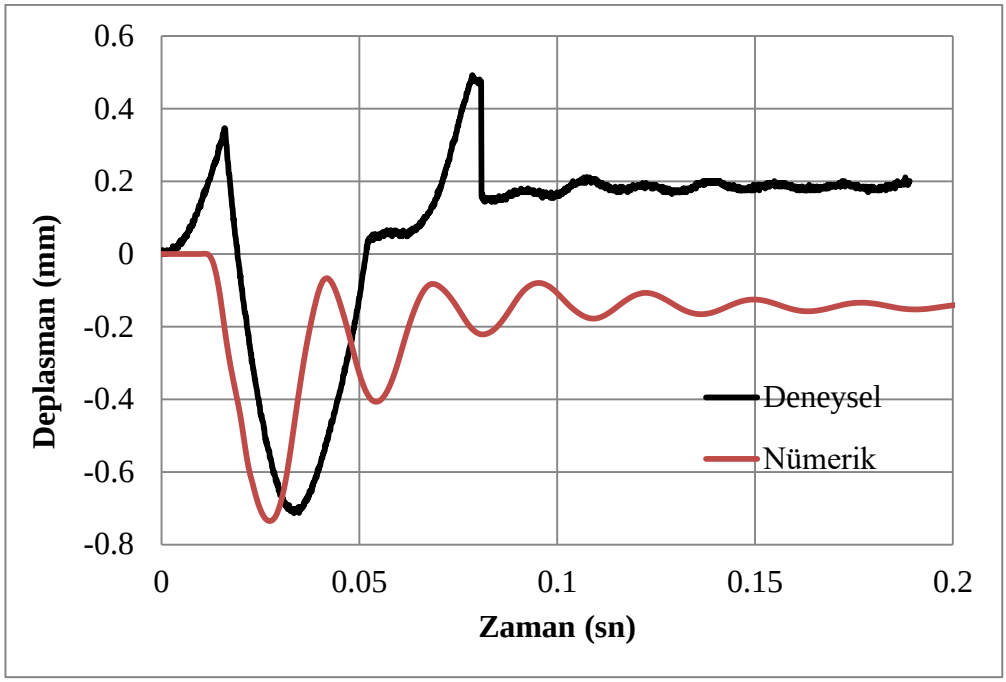
Çarpma yükünün etkisiyle S13 döşemeye etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerden alınan maksimum ivme değeri 631.15 g ve minimum ivme değeri -342.84 g olarak ölçülmüştür. Döşeme ortasında oluşan maksimum deplasman -0.713 mm ve kalıcı deplasman 0.2 mm değerinde data elde edilmiştir.

S13 deneyin elemanında LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 587 g, minimum ivme değeri ise -475 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -0.734 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.145 mm olarak gözlemlenmiştir.

S13 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.60' ta gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.61' de gösterilmiştir.

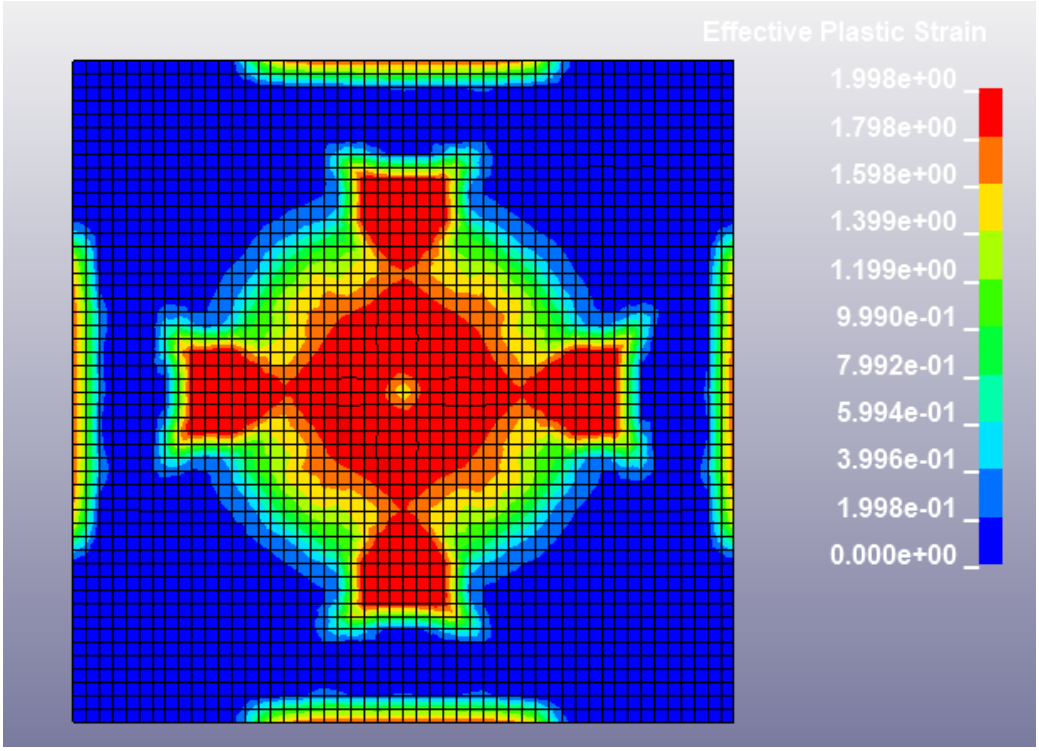


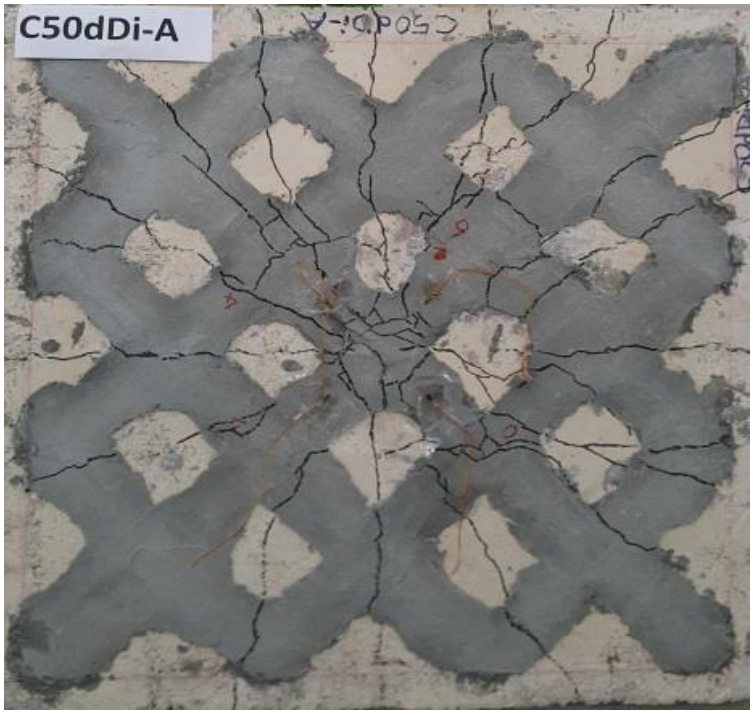
Şekil 4.60. C50dDi-A ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.61. C50dDi-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri

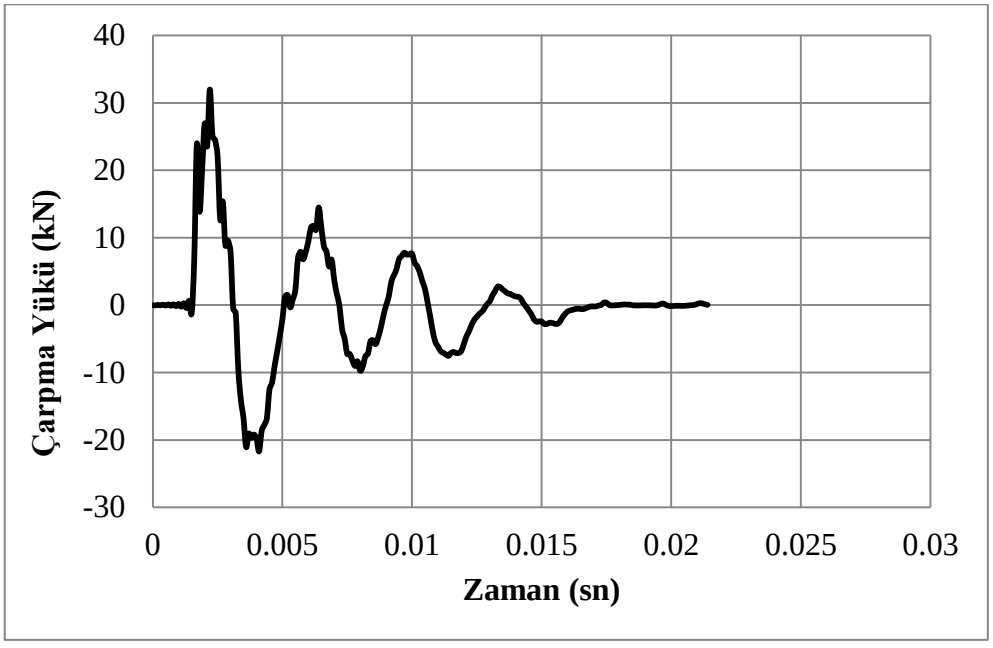
Çarpma etkisinde S13 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.62' de gösterilmiştir.





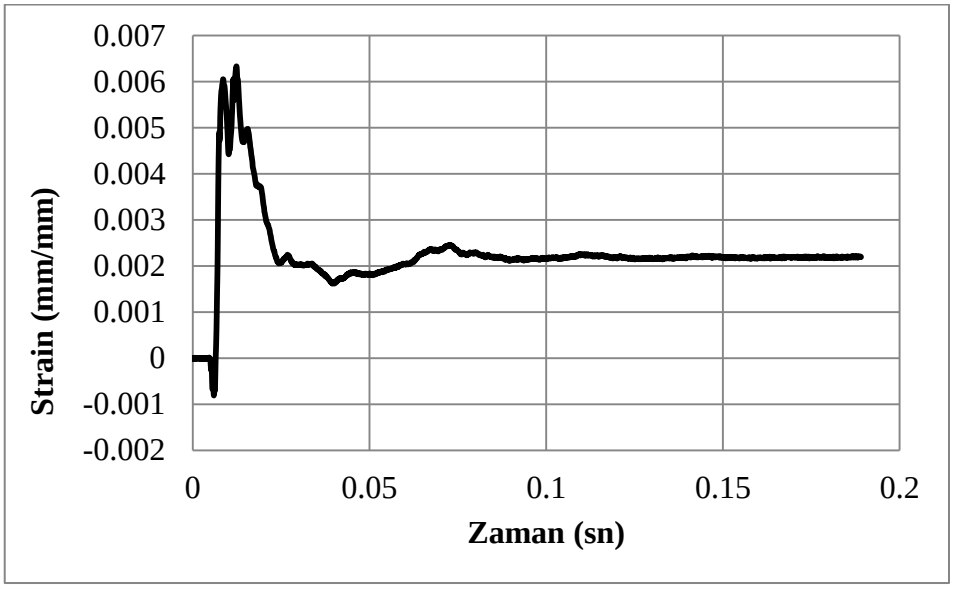
Şekil 4.62. C50dDi-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbe etkisiyle S13 deney numunesine etkiyen darbe kuvveti Şekil 4.63’ de verilmiştir.



Şekil 4.63. C50dDi-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S13 deneyindeki numunenin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.64' te verilmiştir.



Şekil 4.64. C50dDi-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

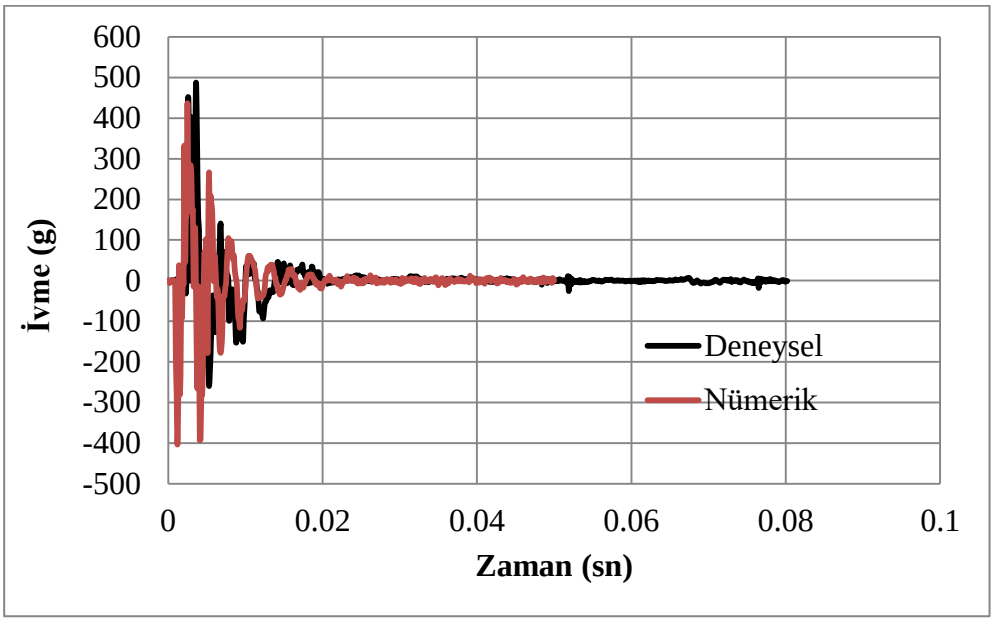
4.1.14. S14 Deney Numunesi

S14 deney elemanı 100 mm genişliğinde TRM şeritleri ortogonal tek yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmıştır ve aynı zamanda sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

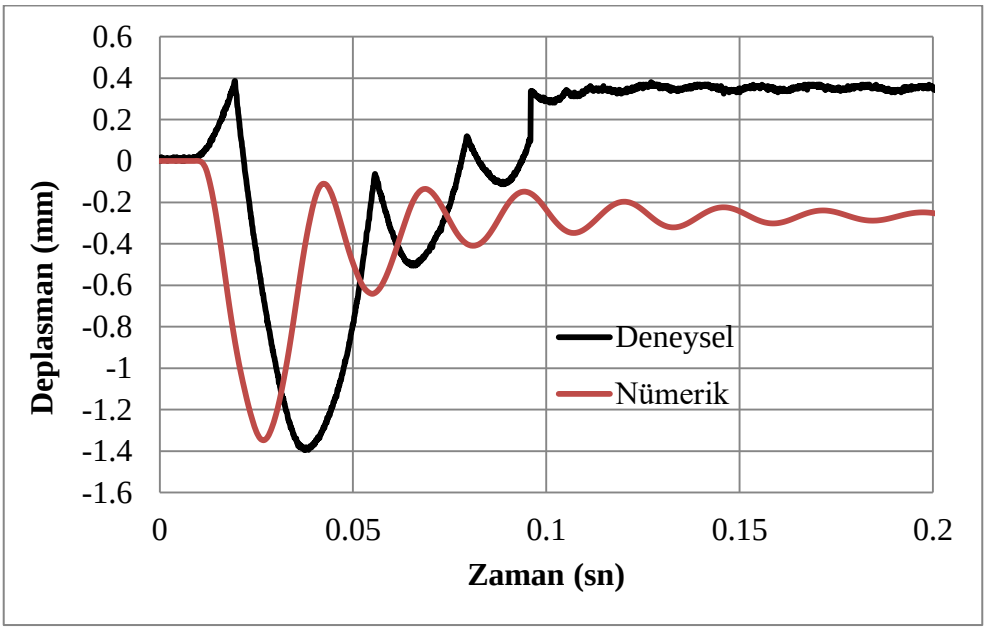
Çarpma yükünün etkisiyle S14 döşemeye etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerden hesaplanan maksimum ivme değeri 484,71 g ve minimum ivme değeri -259,63 g olarak bulunmuştur. Döşemenin orta bölgesinde oluşan maksimum deplasman -1,394 mm ve kalıcı deplasman 0.342 mm olarak data değerleri bulunmuştur.

S14 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 437 g, minimum ivme değeri ise -404 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -1.35 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.262 mm olarak gözlemlenmiştir.

S14 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.65' de gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.66' te gösterilmiştir.

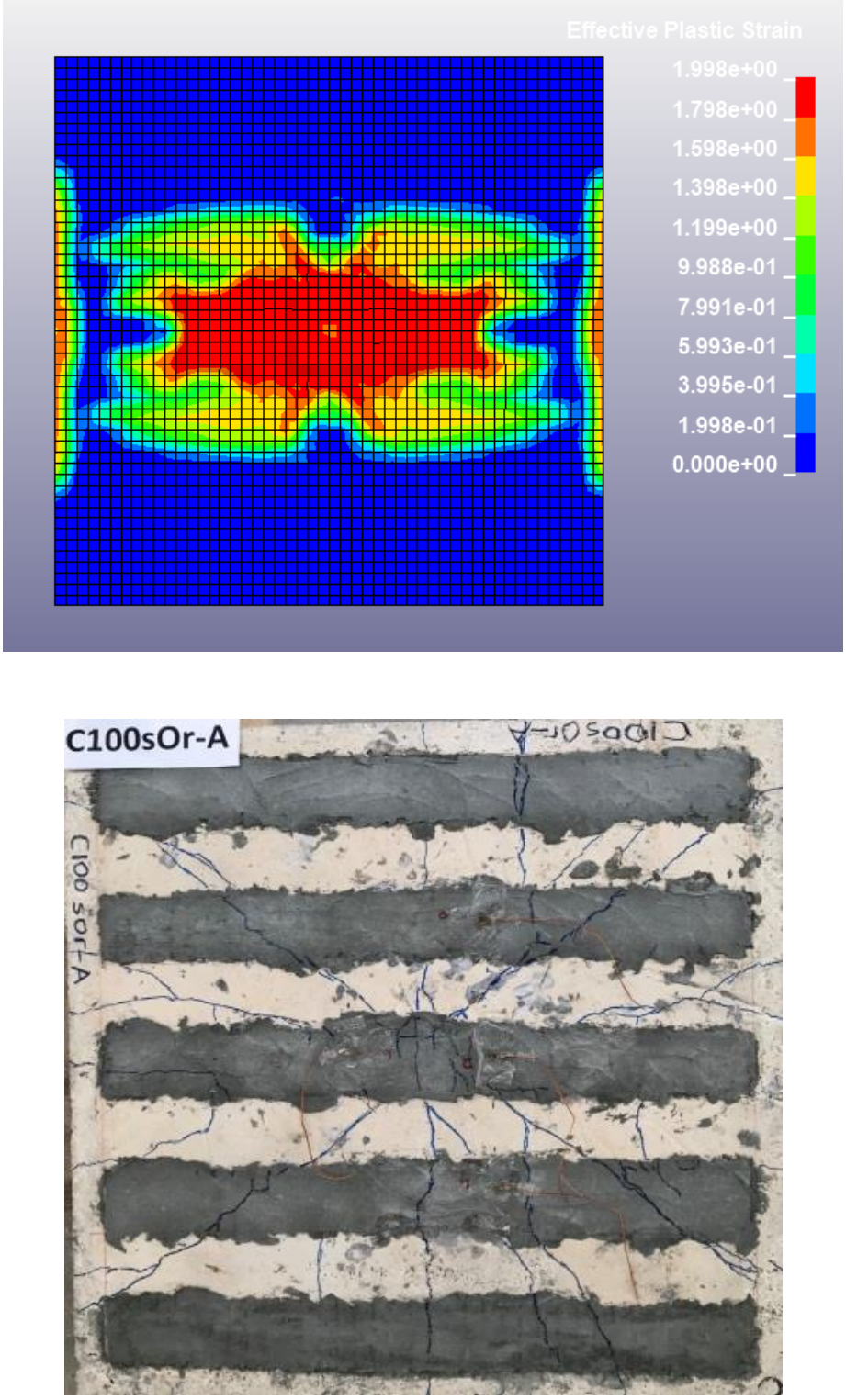


Şekil 4.65. C100sOr-A ivme-zaman grafik değerleri



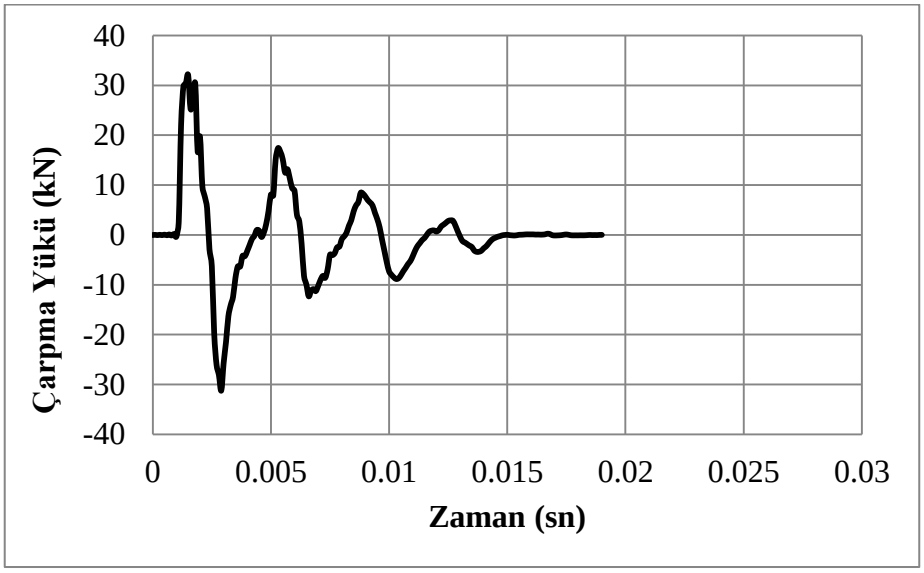
Şekil 4.66. C100sOr-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri

Çarpma etkisinde S14 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.67’ de gösterilmiştir.



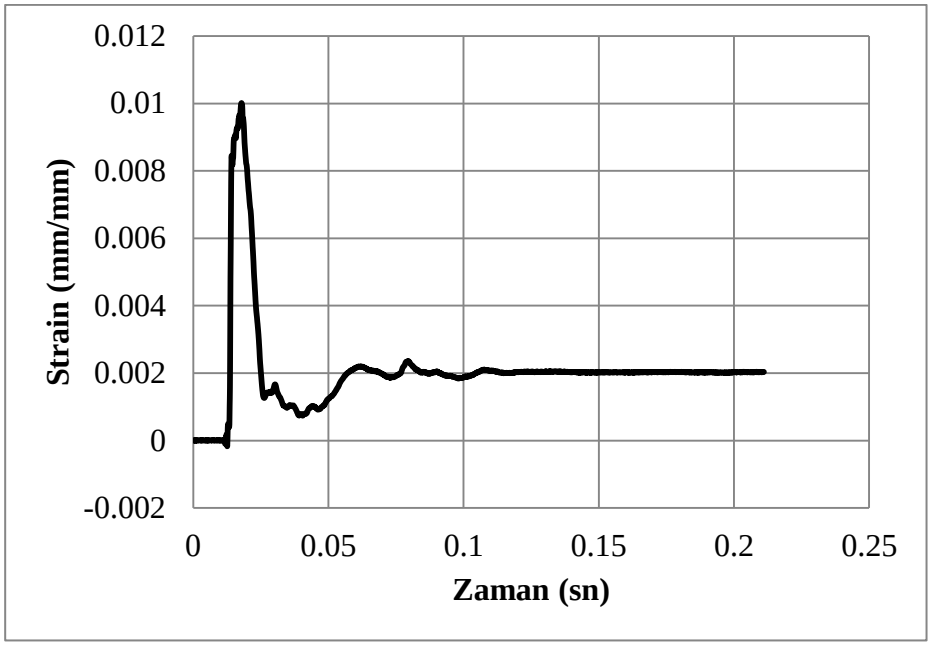
Şekil 4.67. C100sOr-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbe etkisinden dolayı S14 deney numunesine etkiyen darbe yükünün değeri Şekil 4.68’ de verilmiştir.



Şekil 4.68. C100sOr-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S14 deneyinin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.69’ da verilmiştir.



Şekil 4.69. C100sOr-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

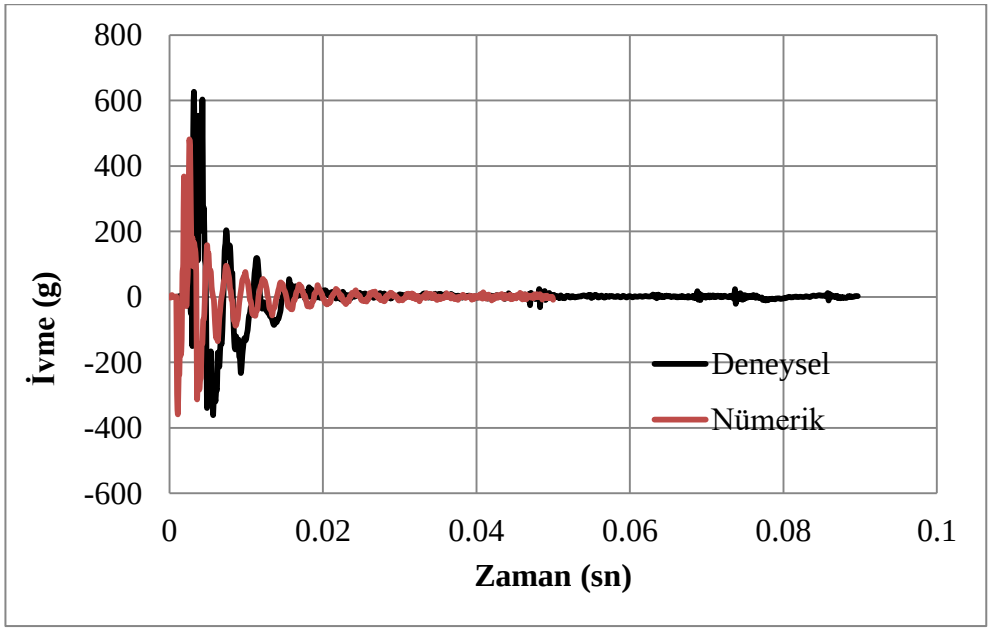
4.1.15. S15 Deney Numunesi

S15 deney elemanı 100 mm genişliğinde TRM şeritleri ortogonal çift yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmıştır ve aynı zamanda sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

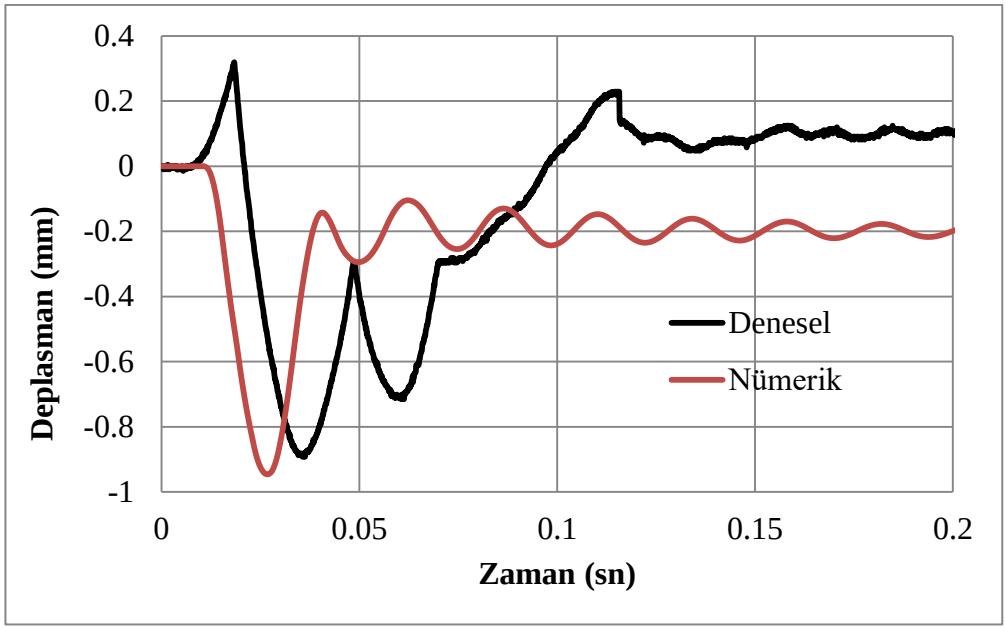
Çarpma yükünün etkisiyle S15 döşemeye etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerden elde edilen maksimum ivme değeri 626,94 g ve minimum ivme değeri -361,30 g olarak bulunmuştur. Döşemenin orta kısmında oluşan maksimum deplasman -0,892 mm ve kalıcı deplasman 0.105 mm elde edilmiştir.

S15 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 478 g, minimum ivme değeri ise -359 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -0,946 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.214 mm olarak gözlemlenmiştir.

S15 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.70' de gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.71' de gösterilmiştir.

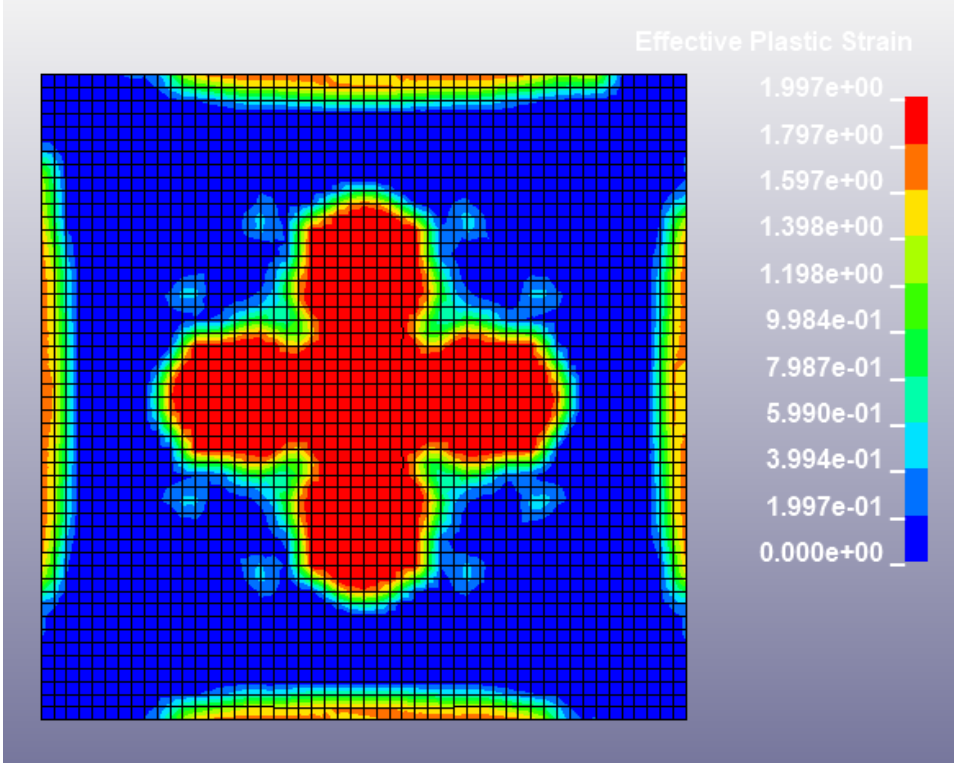


Şekil 4.70. C100dOr-A ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.71. C100dOr-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri

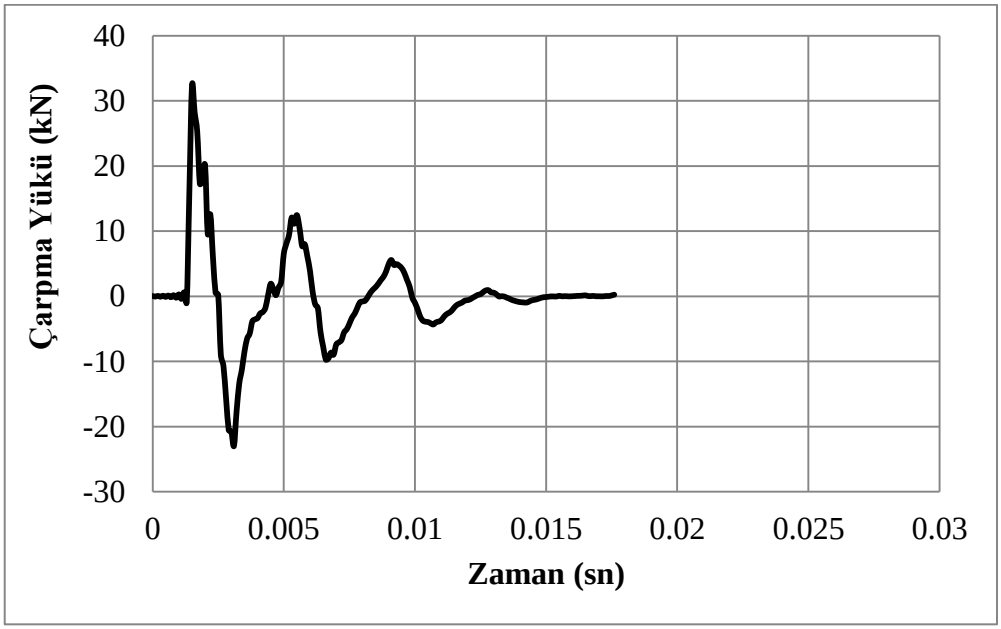
Çarpma etkisinde S15 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.72' de gösterilmiştir.





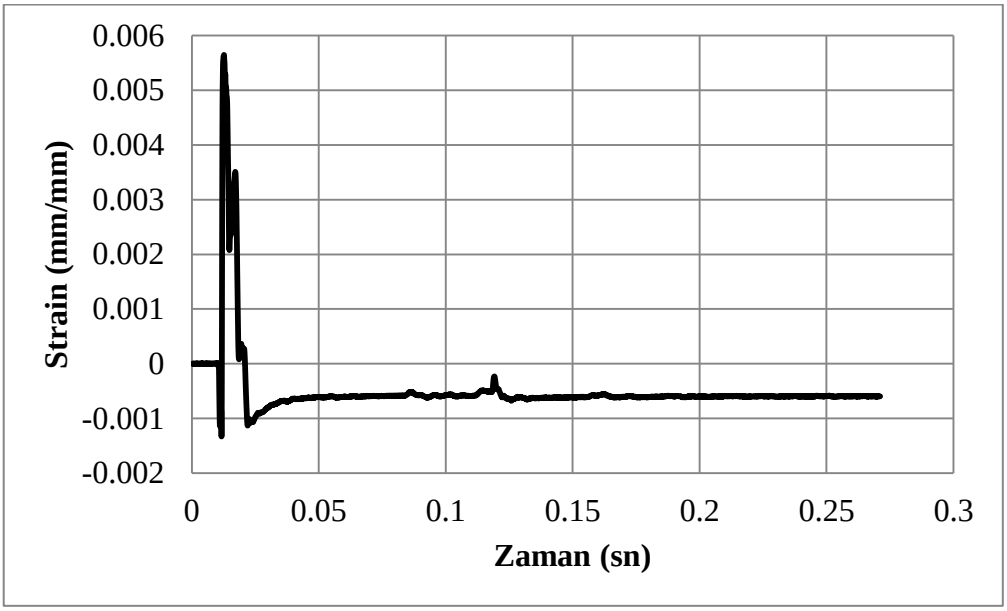
Şekil 4.72. C100dOr-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj çarpma enerjisinin etkisiyle S15 deney numunesine etkiyen darbe yükü Şekil 4.73’ te sunulmuştur.



Şekil 4.73. C100dOr-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S15 deneyinin, TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.74' te verilmiştir.



Şekil 4.74. C100dOr-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

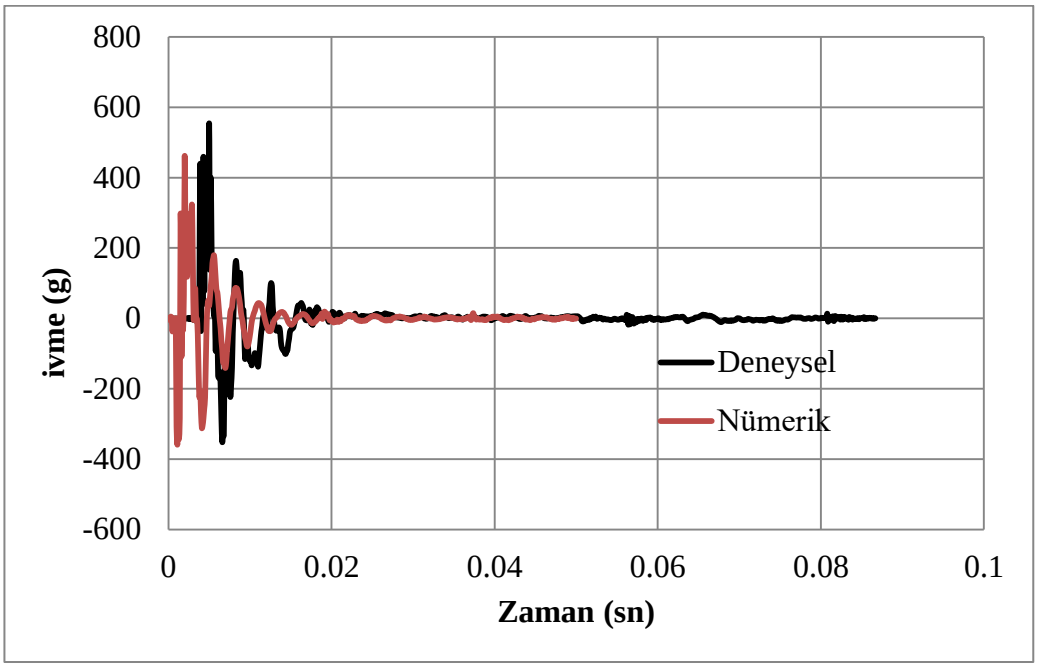
4.1.16. S16 Deney Numunesi

S16 deney elemanı 100 mm genişliğinde TRM şeritleri diyagonal tek yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmıştır ve aynı zamanda sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

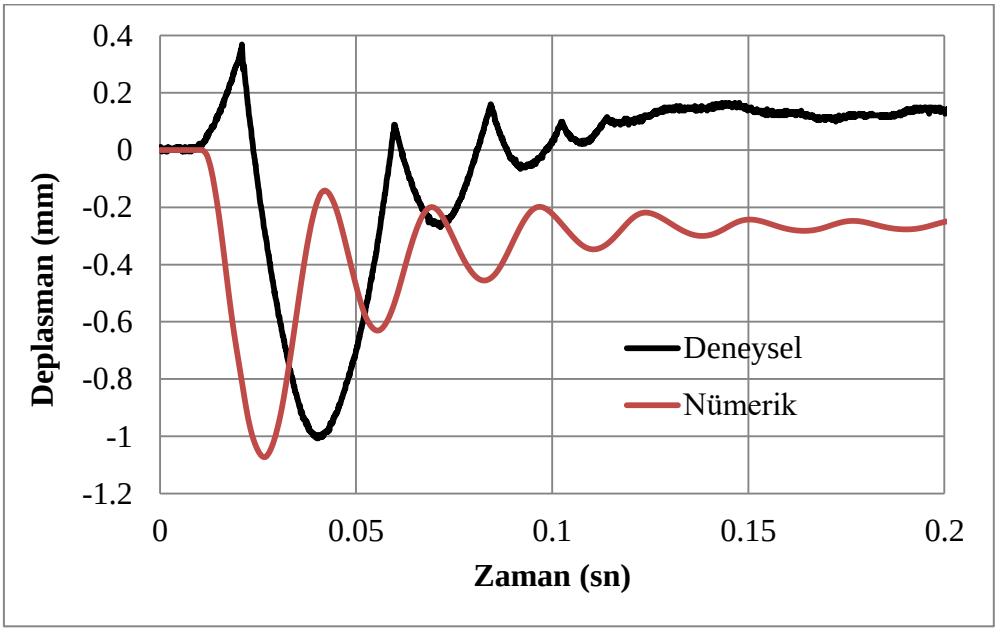
Çarpma yükünün etkisiyle S16 döşemeye etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerden hesaplanan maksimum ivme değeri 554,41 g ve minimum ivme değeri -350,72 g olarak bulunmuştur. Döşemenin ortasında meydana gelen maksimum deplasman -1,007 mm ve kalıcı deplasman 0.138 mm olarak data değerlerine saptanmıştır.

S16 deney elemanının LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 462 g, minimum ivme değeri ise -359 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -1,07 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.256 mm olarak gözlemlenmiştir.

S16 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.75' de gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.76' da gösterilmiştir.

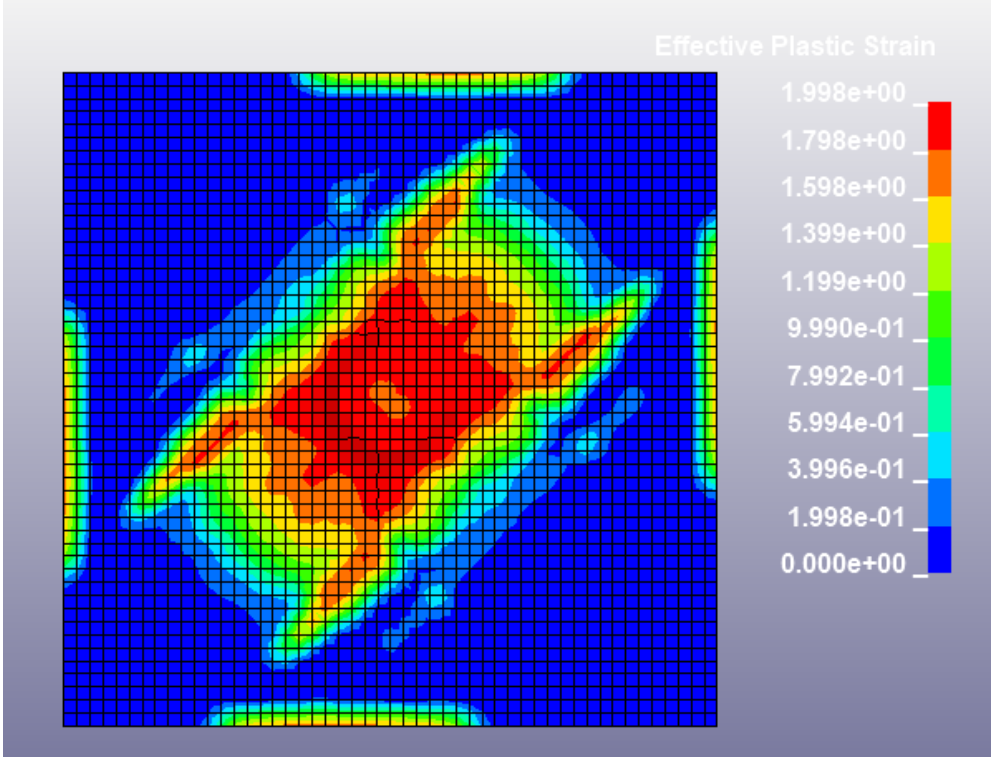


Şekil 4.75. C100sDi-A ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.76. C100sDi-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri

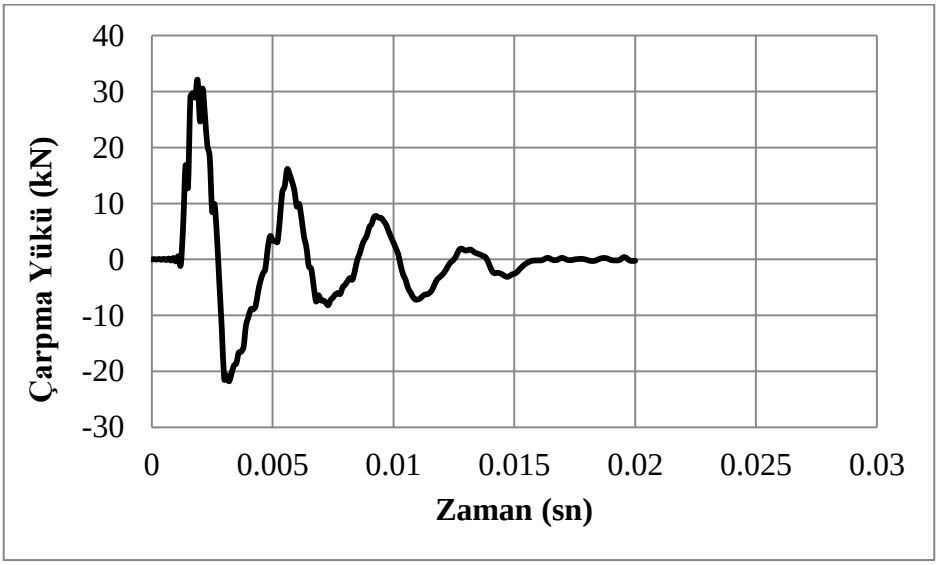
Çarpma etkisinde S16 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.77' de gösterilmiştir.





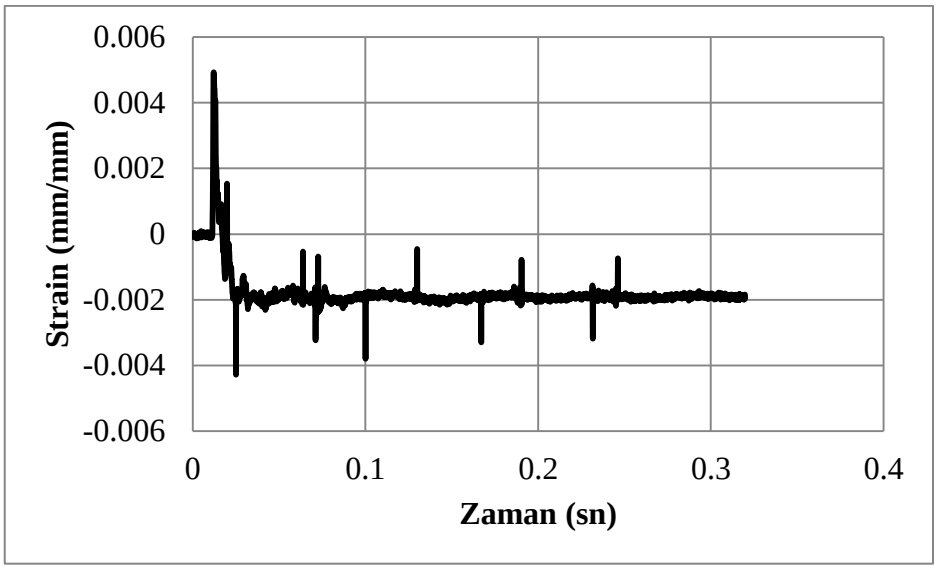
Şekil 4.77. C100sDi-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj çarpma enerjisinden dolayı oluşan, S16 deney numunesine etkiyen çarpma yük kuvveti Şekil 4.78’ da sunulmuştur.



Şekil 4.78. C100sDi-A deney elemanına ait darbe yükü/zaman grafiği

S16 deneyinin TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.79’ da verilmiştir.



Şekil 4.79. C100sDi-A deney elemanına ait birim deformasyon-zaman grafiği

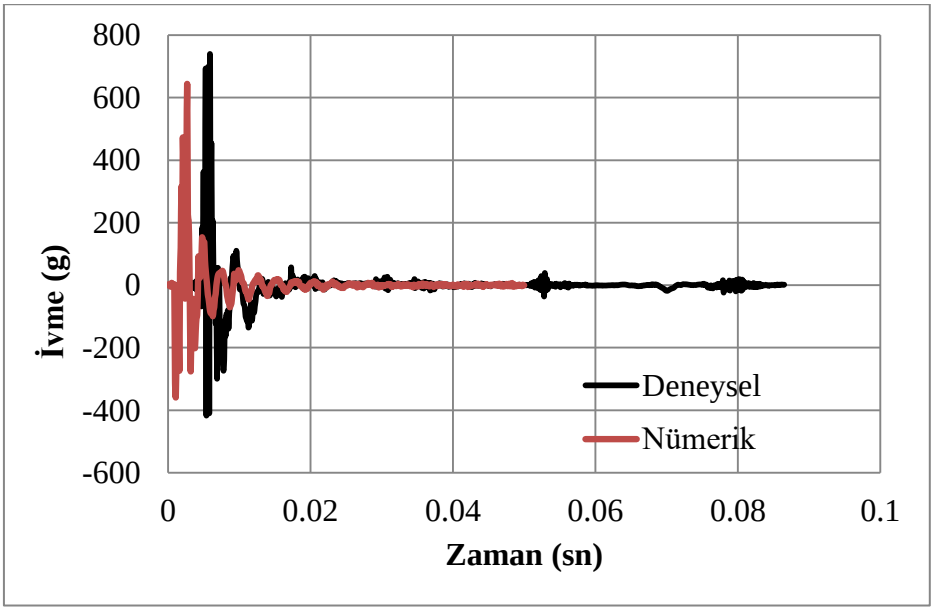
4.1.17. S17 Deney Numunesi

S17 deney elemanı 100 mm genişliğinde TRM şeritleri diyagonal çift yönde güçlendirilerek meydana gelmiştir. Bu deney elemanında ankraj kullanılmıştır ve aynı zamanda sıva katmanıyla betona tutulması sağlanmıştır.

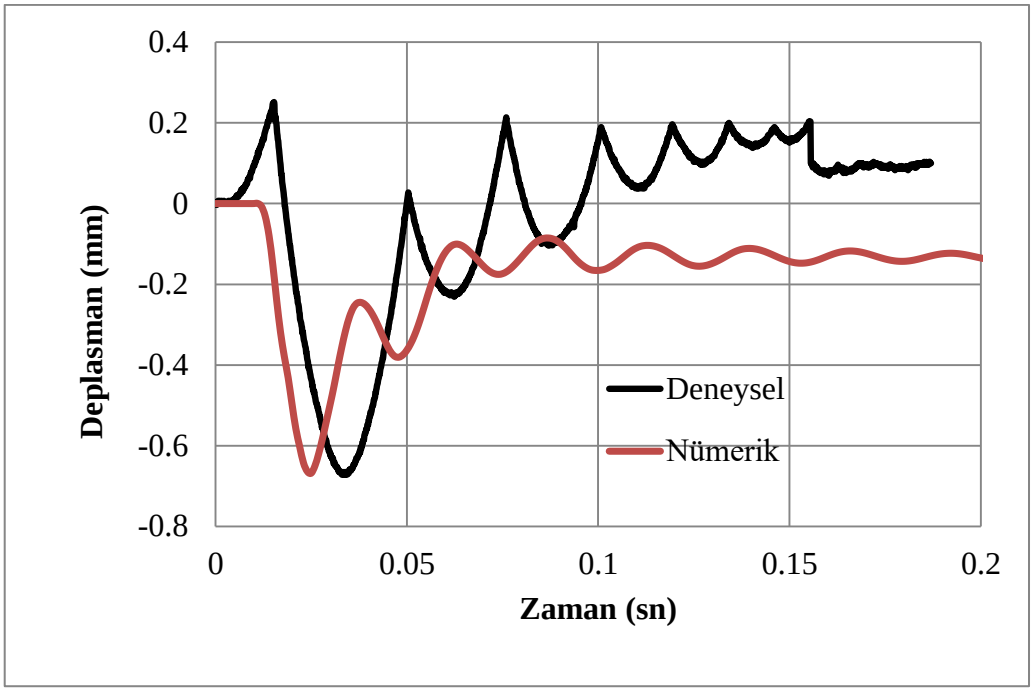
Çarpma yükünün etkisiyle S17 döşemeye etkiyen deney elemanında ivmeölçerlerden bulunan maksimum ivme değeri 739,86 g ve minimum ivme değeri -417,30 g olarak saptanmıştır. Döşemenin orta kısmında meydana gelen maksimum deplasman -0,672 mm ve kalıcı deplasman 0.1 mm olarak data değerleri elde edilmiştir.

S17 deney numunesinin LS DYNA analizi sonucunda oluşan maksimum ivme değeri 644 g, minimum ivme değeri ise -359 g olarak bulunmuştur. Döşemede meydana gelen maksimum deplasman değeri -0,668 mm olarak bulunurken kalıcı deplasman değeri ise -0.148 mm olarak gözlemlenmiştir.

S17 deney elemanının ivme-zaman grafik değerleri hem deneysel hem programdaki sonuçları birlikte olarak Şekil 4.80' de gösterilmiştir. Yer değiştirme-zaman grafikleri ise Şekil 4.81' de gösterilmiştir.

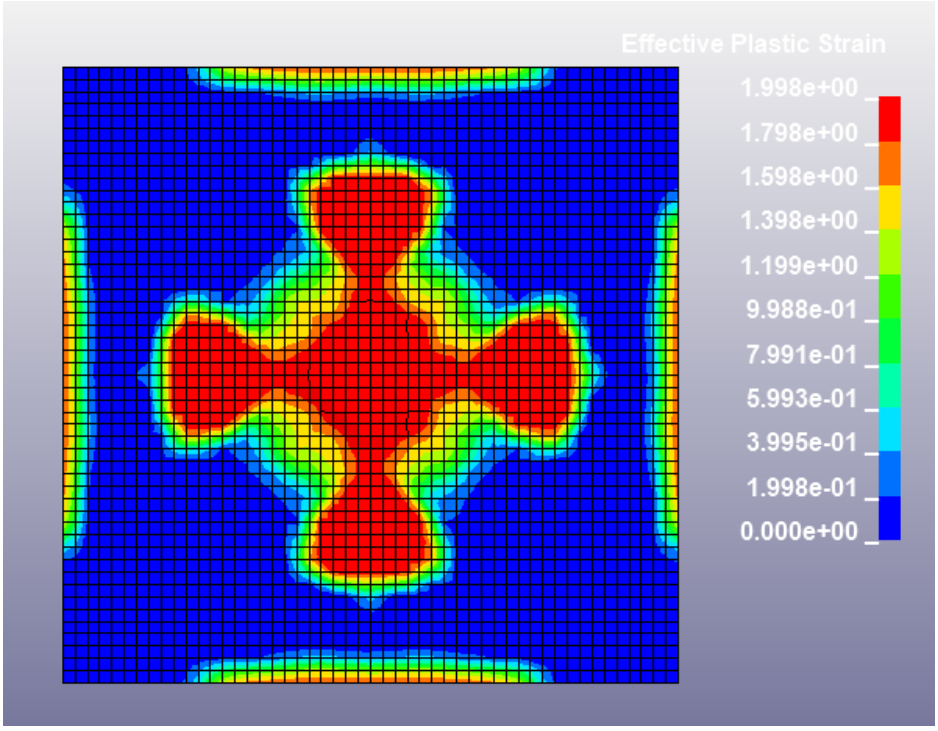


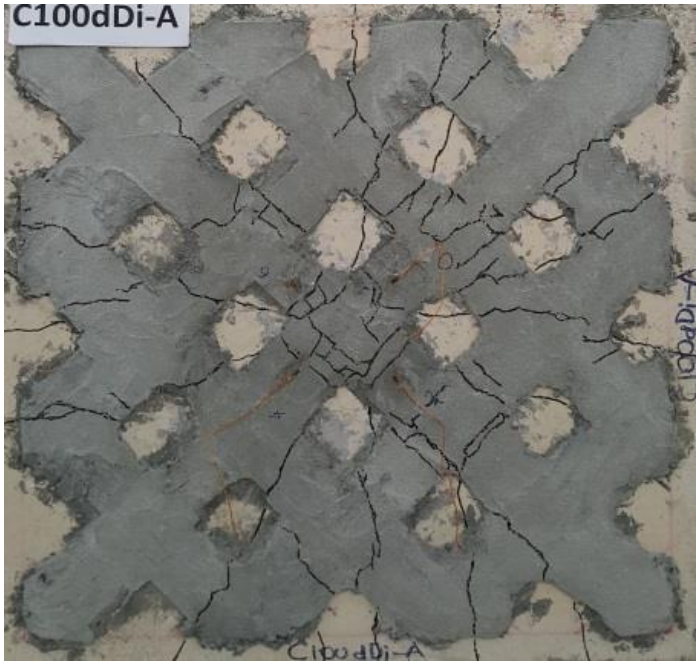
Şekil 4.80. C100dDi-A ivme-zaman grafik değerleri



Şekil 4.81. C100dDi-A yer değiştirme-zaman grafik değerleri

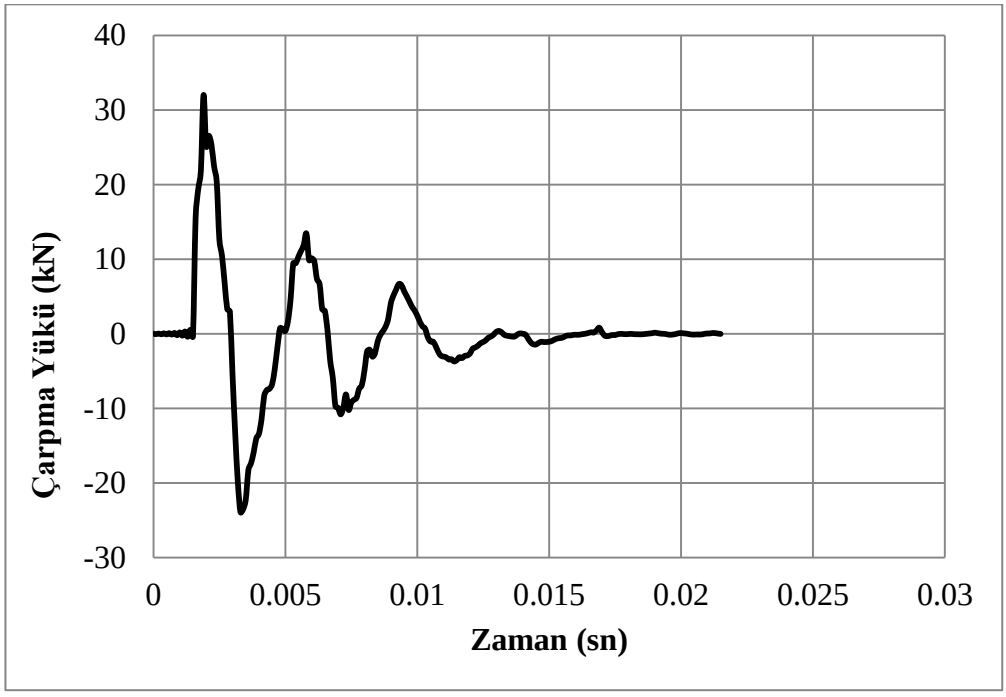
Çarpma etkisinde S17 deneyinde oluşan çatlak dağılımı ve programda oluşan deformasyon şekli Şekil 4.82' de gösterilmiştir.





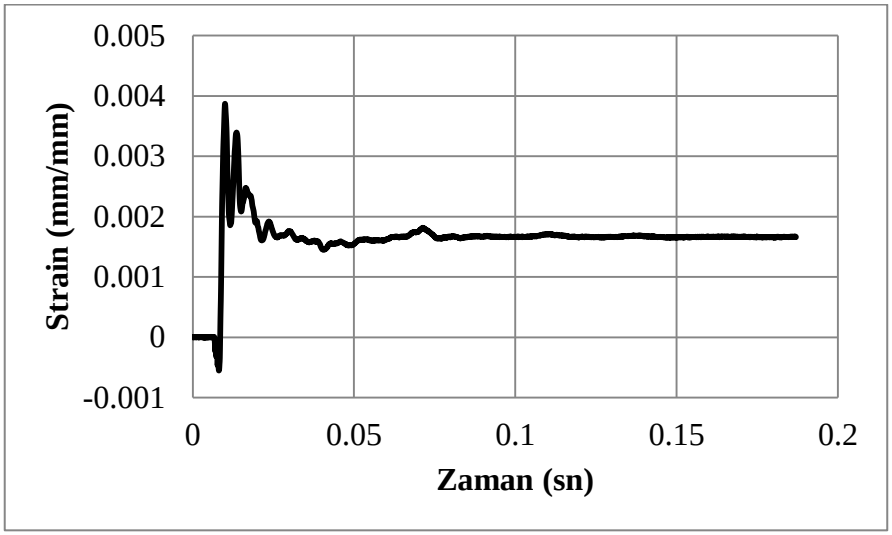
Şekil 4.82. C100dDi-A numunesinin deney sonrası çatlak dağılımı

1.236 kj darbe etkisinden dolayı S17 deney numunesine etkiyen darbe kuvveti Şekil 4.83' te belirtilmiştir.



Şekil 4.83. C100dDi-A deney numunesine ait darbe yükü/zaman grafiği

S17 deney elemanının TRM şeritlerinden oluşan birim deformasyonun zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 4.84' de verilmiştir.



Şekil 4.84. C100dDi-A deney numunesine ait birim deformasyon-zaman grafiği

4.2. Tartışma

Ankrajsız veya ankrajlı, farklı genişlikte ve yerleşim şekline sahip TRM şeritler ile güçlendirilen betonarme döşeme deney elemanlarına uygulanan ani dinamik çarpma yüklemesi sonucunda deney elemanları üzerinden ivme-zaman, deplasman-zaman, strain-zaman ve çarpma-zaman dağılımlarının ölçümleri alınmıştır.

Deney elemanları üzerinden alınan 2 ivme ölçümü içerisinde maksimum değere sahip olan ivme-zaman dağılımları, 4 adet deplasman ölçümü içerisinde ölçülen maksimum deplasman dağılımları, çarpma-zaman dağılımları son olarak 4 adet strain ölçümü içerisinde maksimum strain-zaman dağılımları Çizelge 4.1' de gösterilmiştir. Çizelge 4.1'de deney elemanlarından ölçülen ivme maksimum ve minimum değerleri, deney elemanları üzerinden ölçülen 4 adet deplasman ölçümü içerisinden seçilen maksimum deplasman değeri, deney elemanlarına uygulanan ani dinamik çarpma yüklemesi sönümlendikten sonra betonarme döşemeler üzerindeki plastik kalıcı deplasmanın maksimum değeri, deney elemanları üzerinden ölçülen 4 adet strain değeri içerisinden maksimum değerde olanının değeri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneyden elde edilen sonuçlar

Deney No	Numune Adı	Deney İvme (g)		Deney Deplasman (mm)		Maksimum Birim Deformasyon (mm/mm)	Çarpma Yükü (KN)
		Max	Min	Max	Kalıcı		
S1	Referans	218.64	-171.97	-2.939	1.124	------	31.97
S2	C50sOr	351.66	-297.98	-2.377	0.533	0.0151	32.06
S3	C50dOr	461.39	-200.09	-1.846	0.257	0.00843	32.07
S4	C50sDi	409.49	-348.61	-1.564	0.247	0.00693	32.28
S5	C50dDi	534.35	-384.28	-1.122	0.216	0.0055	32.02
S6	C100sOr	411.09	-194.82	-1.512	0.411	0.00852	32.08
S7	C100dOr	530.41	-289.67	-1.272	0.139	0.00479	32.08
S8	C100sDi	468.75	-268.66	-1.287	0.207	0.00422	32.03
S9	C100dDi	626.17	-286.34	-0.994	0.072	0.00328	31.95
S10	C50sOr_A	405	-184.72	-1.512	0.463	0.01747	32.07
S11	C50dOr_A	436.07	-157.13	-1.263	0.249	0.00975	32.02
S12	C50sDi_A	482.39	-402.1	-1.215	0.224	0.00801	32.09
S13	C50dDi_A	631.15	-342.84	-0.713	0.2	0.00633	31.98
S14	C100sOr_A	484.71	-259.63	-1.394	0.362	0.01001	32.05
S15	C100dOr_A	626.94	-361.3	-0.892	0.105	0.00565	32.26
S16	C100sDi_A	554.41	-350.72	-1.007	0.138	0.00493	32.03
S17	C100dDi_A	739.86	-417.3	-0.672	0.1	0.00387	32

Deneysel çalışma kapsamında geliştirilen TRM şeritler ile güçlendirme yöntemi betonarme çift doğrultulu döşemelerin çarpma yüklemesi etkisi altındaki performansını önemli ölçüde artırmış ve genel davranışını iyileştirmiştir. Uygulanan güçlendirme yöntemi betonarme döşemelerden ölçülen maksimum ivme değerlerini önemli oranda artırmış, maksimum deplasman ve maksimum kalıcı deplasman değerlerini ise önemli oranlarda azaltmıştır.

50 mm genişliğindeki ankrajsız TRM şerileri ile güçlendirilmiş S2, S3, S4, S5 numaralı döşemelerin, güçlendirilmemiş S1 referans numunesinden sırasıyla %61, %111, %87, %144, oranında daha fazla oranda maksimum ivme değerleri saptanmıştır. 50 mm genişliğindeki diyagonal ankrajsız TRM şeritleri ile yapılan güçlendirme ivme değerlerinde fazla orandan değer artışına sebep olmuştur. S4 ve S5 deney elemanları, S2 ve S3 deney numunelerinden ortalama %16 daha fazla maksimum ivme değerlerinde olduğu saptanmıştır. 50 mm genişliğindeki çift doğrultuda ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirme, maksimum ivme değerinin büyük oranlarda artış göstermesine yol açmıştır. 50 mm genişliğindeki çift doğrultuda ankrajsız TRM şeritleri ile kuvvetlendirilen S3, S5 deney numuneleri, tek doğrultuda TRM ile kuvvetlendirilen S2, S4' ten ortalama %30 daha çok maksimum ivme değerine sahiptir. TRM şeritleri ile güçlendirilen çift doğrultulu betonarme döşemelerde ölçülen maksimum ivme değerlerini kritik oranda arttırmıştır.

50 mm genişliğindeki ankrajlı TRM şerileri ile güçlendirilmiş S10, S11, S12, S13 numaralı döşemelerin, güçlendirilmemiş S1 referans numunesinden sırasıyla %85, %99, %120, %188, oranında fazla maksimum ivme değerleri saptanmıştır. 50 mm genişliğindeki çaprazlı, ankrajlı TRM şeritleri ile uygulanan güçlendirme ivme değerlerinde daha fazla orandan değer artışı gözlemlenmiştir. S12 ve S13 deney elemanları, S10 ve S11 deney elemanlarından ortalama tek yönlülerde olarnlar %20, çift yönlülerde olanlar ise %44 daha fazla maksimum ivme bulguları elde edilmiştir. 50 mm genişliğindeki çift doğrultuda ankrajlı TRM şeritleri ile kuvvetlendirme, maksimum ivme değerinin çok fazla oranda artış göstermesine olanak sağlamştır. 50 mm genişliğindeki çift doğrultuda ankrajlı TRM şeritleri ile kuvvetlendirilen S11, S13 deney numuneleri, tek doğrultuda TRM ile kuvvetlendirilen S10, S12' den diyagonal olanlarda ortalama % 30, ortogonal olanlarda ortalama %8 daha fazla maksimum ivme değerine sahiptir. TRM şeritleri ile güçlendirilen çift doğrultulu betonarme döşemelerde ölçülen maksimum ivme değerlerini önemli oranda arttırmıştır.

50 mm genişliğinde ankrajlı ve ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney elemanlarında ankrajlı ve ankrajsız elemanların maksimum ivme değerleri karşılaştırıldığında ankrajlı olanlar S2 ve S10 arasında %15, S4 ile S12 arasında %18, S5 ile S13 arasında %18 daha büyük değerler elde edilmişir. Sadece ankrajsız olan S3 ile S11 arasında %6 oranında bir artış meydana gelmiştir. 50 mm genişliğinde TRM şeritleri ile

güçlendirilmiş döşemeler arasında en büyük maksimum ivme değeri S13 numunesi olmuştur.

100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S6, S7, S8, S9 deney numunelerinin güçlendirme olmamış referans S1 deney numunesinden sırasıyla, %88, %142, %114, %186 oranında daha fazla maksimum ivme değerleri ortaya çıkmıştır. 100 mm genişliğinde diyagonal ankrajsız TRM şeritli betonarme döşemelerin çarpma davranışını daha olumlu yönde etkili bir şekilde ortaya çıkartmıştır. Böylece ivme değerlerinin çok oranda artmasına yol açmıştır. 100 mm genişliğinde çaprazlı ankraj uygulanmayan TRM şeritler ile kuvvetlendirilen S8, S9 deneysel numuneler, sırasıyla S6, S7 deneysel numunelerinden tek sıralı olanlar için %14, çift sıralı olanlarda ise %18 daha fazla, ortalama olarak ise %16 daha fazla maksimum ivme değerleri elde edilmiştir. Ankrajsız TRM şeritleri kuvvetlendirmek için çift doğrultuda kullanıldığı desenlerde maksimum ivme değerleri, tek doğrultuda kullanılanlardan daha çok gelmektedir. S7, S9 deney numunelerinden ölçülen maksimum ivme değerleri S6, S8 deney numunelerinden düz yerleştirilenler arasında %29, çaprazlı yerleştirilenler arasında ise %33 oranında artış gözlemlenmiştir. Ortalama olarak ta %31 oranında daha fazla ivme değerleri ölçülmüştür. İvme değerleri incelendiğinde 100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarından ölçülen maksimum ivme değerini 50 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney numunelerinden maksimum elde edilen ivme değerinden ortalama %18 daha fazla olduğu saptanmıştır. Ankrajsız TRM şeritlerin en büyük ivme değeri S9 numunesi olmuştur.

100 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S14, S15, S16, S17 deney numunelerinin güçlendirilmemiş referans S1 deney elemanından sırasıyla, %122, %187, %149, %238 oranında daha fazla miktarda maksimum ivme sonuçları meydana gelmiştir. 100 mm genişliğinde diyagonal ankrajlı TRM şeritli betonarme döşemelerin darbe davranışını daha iyi yönde olduğu kanaatine varılmıştır. Böylece ivme değerlerinin daha çok oranda artmasına yol açmıştır. 100 mm genişliğinde diyagonal ankrajlı TRM şeritler ile güçlendirilen S16 ve S17 deney elemanları, sırasıyla S14 ve S15 deney elemanlarında tek sıralı olanlar için %14, çift sıralı olanlarda ise %18 daha fazla, ortalama olarak ise %16 kat daha fazla maksimum ivme değerleri ortaya çıkmıştır. Ankrajlı TRM şeritlerin kuvvetlendirme için çift doğrultuda kullanıldığı örtülerde maksimum ivme

değerleri, tek doğrultuda kullanılanlardan fazla gelmektedir. S15 ve S17 deney elemanlarından ölçülen maksimum ivme değerleri S14 ve S16 deney elemanlarından ortogonaller arasında %29, diyagonaller arasında ise %33 oranında artış gözlemlenmiştir. Ortalama olarak ta %31 oranında daha fazla ivme değerleri bulunmuştur. İvme değerleri gözlemlendiğinde 100 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritler ile kuvvetlendirilen deney numunelerinden ölçülen maksimum ivme değerini 50 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney numunelerinden maksimum ölçülen ivme değerinden ortalama %17 daha fazla olduğu kanaatine varılmıştır. Ankrajlı TRM şeritlerin en büyük ivme değeri S17 numunesi olmuştur.

100 mm genişliğinde ankrajlı ve ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney elemanlarında ankrajlı ve ankrajsız elemanların maksimum ivme değerleri karşılaştırıldığında ankrajlı olanlardan S6 ve S14 arasında %18, S7 ile S15 arasında %18, S8 ile S16 arasında %18, S9 ile S17 arasında %17 daha büyük değerler elde edilmişir. 100 mm genişliğinde TRM şeritleri ile güçlendirilmiş döşemeler arasında en büyük maksimum ivme değeri S17 numunesi olmuştur. Genel olarak bütün güçlendirilmiş ankrajlı, ankrajsız TRM şeritli betonarme döşemeler arasında en büyük maksimum ivme değerini veren S17 deney numunesi olmuştur.

Betonarme döşemelerinin deney numunelerine uygulanan darbe yüklemesi etkisiyle ölçülen maksimum deplasman değerleri uygulanan güçlendirme ile ciddi derecede azalma meydana gelmiştir. Güçlendirilmemiş referans S1 deney elemanından ölçülen maksimum deplasman değeri, 50 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S2, S3, S4, S5 deney elemanlarından sırasıyla, %24, %59, %88, %162 oranında daha büyük maksimum deplasman değerleri ortaya çıkmıştır. 50 mm genişliğinde diyagonal ankrajsız TRM şeritli numunelerde maksimum deplasman değerinde daha fazla bir azalma meydana gelmiş, 50 mm genişliğinde ortogonal ankrajsız TRM şeritler ile güçlendirilen S2 ve S3 deney numuneleri, sırasıyla S4 ve S5 deney elemanlarından tek sıralı olanlar için %52, çift sıralı olanlarda ise %64 daha büyük, ortalama olarak ise %58 daha fazla deplasman değerlerine sahiptir. Ankrajsız TRM' leri kuvvetlendirme için çift doğrultuda yerleştirilen örtülerde maksimum deplasman değerleri, tek doğrultuda kullanılanlardan küçük gelmektedir. S2, S4 deney numunelerinden elde edilen maksimum deplasman değerleri S3 ve S5 deney elemanlarından ortogonaller arasında %29, diyagonaller arasında ise %129

oranında daha fazla deplasman değerine sahiptir. Ortalama olarak %79 oranında daha büyük deplasman değerlerine sahiptir.

Güçlendirilmemiş referans S1 deney elemanından ölçülen maksimum deplasman değeri, 50 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S10, S11, S12, S13 deney numunelerinden sırasıyla, %94, %133, %142, %312 oranında daha büyük maksimum deplasman değerleri ortaya çıkmıştır. 50 mm genişliğinde diyagonal ankrajlı TRM şeritli numunelerde, maksimum deplasman değerinde daha fazla bir azalma meydana gelmiş, 50 mm genişliğinde ortogonal ankrajlı TRM şeritler ile güçlendirilen S10 ve S11 deney numuneleri, sırasıyla S12 ve S13 deney numunelerinden tek sıralı olanlar için %24, çift sıralı olanlarda ise %77 daha büyük, ortalama olarak ise %50 kat daha büyük deplasman değerlerine sahiptir. Ankrajlı TRM şeritlerin güçlendirme için çift doğrultulu oluşturulan desenlerde maksimum deplasman değerleri, tek doğrultuda oluşturulanlardan daha küçük gelmektedir. S10 ve S12 deney numunelerinden ölçülen maksimum deplasman değerleri S11 ve S13 deney numunelerinden ortogonaller arasında %20, diyagonaller arasında ise %70 oranında daha fazla deplasman değerine sahiptir. Ortalama olarak %45 oranında daha büyük deplasman değerlerine sahiptir.

50 mm genişliğinde ankrajlı ve ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney elemanlarında ankrajlı ve ankrajsız elemanların maksimum deplasman değerleri karşılaştırıldığında ankrajsız olanlardan S2 ve S10 arasında %57, S3 ile S11 arasında %46, S4 ile S12 arasında %29, S5 ile S13 arasında %57 daha büyük değerler elde edilmişir. 50 mm genişliğinde TRM şeritleri ile güçlendirilmiş döşemeler arasında en büyük maksimum deplasman değeri S2 numunesinde meydana gelirken en küçün deplasman S13 numunesinde meydana gelmiştir.

100 mm genişliğinde TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney numunelerinden ölçülen maksimum deplasman değerleri, güçlendirme olmayan referans S1 numunesine göre önemli değerde azalma meydana gelmiştir. Güçlendirilmemiş referans S1 deney elemanından ölçülen maksimum deplasman değeri, 100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S6, S7, S8, S9 deney elemanlarından sırasıyla, %94, %131, %128, %195 oranında daha büyük maksimum deplasman değerleri ortaya çıkmıştır. 100 mm genişliğinde diyagonal ankrajsız TRM şeritli numunelerde maksimum deplasman

değerinde daha fazla bir azalma meydana gelmiş, 100 mm genişliğinde ortogonal ankrajsız TRM ile kuvvetlendirilen S6, S7 deney elemanları, sırasıyla S8 ve S9 deney elemanlarından tek sıralı olanlar için %17, çift sıralı olanlarda ise %28 daha fazla, ortalama olarak ise %23 daha fazla deplasman değerlerine sahiptir. Ankrajsız TRM şeritlerin güçlendirme için çift doğrultuda oluşturulan desenlerde maksimum deplasman değerleri, tek doğrultuda kullanılanlardan daha küçük gelmektedir. S6 ve S8 deney elemanlarından ölçülen maksimum deplasman değerleri S7 ve S9 deney elemanlarından ortogonaller arasında %19, diyagonaller arasında ise %29 oranında daha fazla deplasman değerine sahiptir. Ortalama olarak %24 oranında daha büyük deplasman değerlerine sahiptir.

Güçlendirilmemiş referans S1 deney elemanından ölçülen maksimum deplasman değeri, 100 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S14, S15, S16, S17 deney elemanlarından sırasıyla, %110, %229, %192, %337 oranında daha büyük maksimum deplasman değerleri ortaya çıkmıştır. 100 mm genişliğinde diyagonal ankrajlı TRM şeritli numunelerde maksimum deplasman değerinde daha fazla bir azalma meydana gelmiş, 100 mm genişliğinde ortogonal ankrajlı TRM şeritler ile güçlendirilen S14 ve S15 deney elemanları, sırasıyla S16 ve S17 deney elemanlarından tek sıralı olanlar için %38, çift sıralı olanlarda ise %33 daha fazla, ortalama olarak ise %36 daha fazla deplasman değerlerine sahiptir. Ankrajlı TRM' leri kuvvetlendirmek için çift doğrultuda kullanıldığı desenlerde maksimum deplasman değerleri, tek doğrultuda kullanılanlardan küçük gelmektedir. S14 ve S16 deney elemanlarından ölçülen maksimum deplasman değerleri S15 ve S17 deney elemanlarından ortogonaller arasında %56, diyagonaller arasında ise %50 oranında daha fazla deplasman değerine sahiptir. Ortalama olarak %53 oranında daha büyük deplasman değerlerine sahiptir.

100 mm genişliğinde ankrajlı ve ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney elemanlarında ankrajlı ve ankrajsız elemanların maksimum deplasman değerleri karşılaştırıldığında ankrajsız olanlardan S6 ve S14 arasında %8, S7 ile S15 arasında %43, S8 ile S16 arasında %28, S9 ile S17 arasında %48 daha büyük değerler elde edilmişir. 100 mm genişliğinde TRM şeritleri ile güçlendirilmiş döşemeler arasında en büyük maksimum deplasman değeri S6 numunesinde meydana gelirken en küçün deplasman S17 numunesinde meydana gelmiştir. Genel olarakta hep 50 mm genişliğinde hem de 100 mm genişliğinde ankrajlı ankrajsız TRM ile güçlendirilmiş deney elemanlarından ankrajlı

olanlar ankrajsız olanlara göre daha düşük deplasman değerlerine sahipken en düşük maksimum deplasmana sahip numune S17 olarak saptanmıştır.

50 mm genişliğindeki ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney numunelerinin dinamik yükleme etkisi ile oluşturulan titreşim tamamlandıktan sonra ortaya çıkan kalıcı plastik yer değiştirme değerleri güçlendirme olmamış S1 referans deney numunesine göre küçük değerdedir. S1 deney numunesinin kalıcı yer değiştirmesi 50 mm genişliğindeki ankrajsız TRM ile kuvvetlendirilmiş deney numunelerinin kalıcı deplasmanlarından ortalama %262 fazla olduğu görülmüştür. Sonuçlardan çıkarımlarda 50 mm genişliğindeki ankrajsız TRM ile uygulanan kuvvetlendirmenin betonarme döşemelerin dinamik davranışını olumlu halde etki gösterdiği, maksimum ivme sayısal değerlerinin artmasına, maksimum deplasman ve kalıcı deplasman sayısal değerlerinin önemi bir oranda azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir.

50 mm genişliğindeki ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney numunelerinde darbe kuvvetin etkisi altında ortaya çıkan titreşimin oluşumundan sonra ortaya çıkan kalıcı plastik yer değiştirme değerleri kuvvetlendirilmemiş S1 referans deney numunesine göre küçük değerdedir. S1 deney numunesinin kalıcı yer değiştirmesi 50 mm genişliğindeki ankrajlı TRM ile kuvvetlendirilmiş deney elemanlarının kalıcı yer değiştirmelerinden ortalama %295 fazla hesaplanmıştır. Sonuçlar akabinde 50 mm genişliğindeki ankrajlı TRM ile uygulanan kuvvetlendirmenin betonarme döşemelerin dinamik davranışını olumlu halde etkilediği, maksimum ivme değerlerinin artmasına, maksimum yer değiştirme ve kalıcı yer değiştirme değerlerinin önemi bir oranda azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte 50 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile 50 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile karşılaştırıldığında ankrajsız olanlarda ortalama %9 oranında daha büyük kalıcı deplasmanlar gelmektedir. Bu sonuca göre ankrajlı TRM şeritleri, ankrajsız TRM şeritlerinde daha iyi performans sergilediği ortaya çıkmıştır.

100 mm genişliğindeki ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney numunelerinde darbe dinamik yüklemesi etkisiyle oluşan titreşimden sonra ortaya çıkan kalıcı plastik yer değiştirme değerleri güçlendirme uygulanmamış S1 referans deney numunesine göre daha küçük değerdedir. S1 deney numunenin kalıcı yer değiştirmesi 100

mm genişliğindeki ankrajsız TRM ile kuvvetlendirilmiş deney numunelerinin kalıcı yer değiştirmelerinden ortalama %443 fazla hesaplanmıştır. Bu sonuçlar akabinde 100 mm genişliğindeki ankrajsız TRM ile kuvvetlendirilen betonarme döşemelerin dinamik darbe davranışını olumlu halde etkilendiği, maksimum ivme değerlerinin artmasına, maksimum yer değiştirme ve kalıcı yer değiştirme değerlerinin önemi bir oranda azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birliklte 50 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri, 100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritlerinden ortalama %50 oranında daha büyük kalıcı deplasman ortaya çıkmıştır. Bu sebepten dolayı 100 mm genişliğe sahip ankrajsız TRM şeritleri, 50 mm genişliğe sahip ankrajsız TRM şeritlerinden daha iyi performans sergilediği ortaya çıkmıştır.

100 mm genişliğindeki ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney numunelerinde dinamik darbe kuvveti etkisiden dolayı oluşan titreşimden sonra ortaya çıkan kalıcı plastik yer değiştirme değerleri güçlendirme uygulanmamış S1 referans deney numunesine göre küçük değerdedir. S1 deney numunesinin kalıcı yer değiştirmesi 100 mm genişliğindeki ankrajlı TRM ile kuvvetlendirilmiş deney numunelerinin kalıcı yer değiştirmelerinden ortalama %539 fazla bulunmuştur. Bu değerler akabinde 100 mm genişliğindeki ankrajlı TRM ile kuvvetlendirilmiş betonarme döşemelerin dinamik darbe davranışını olumlu halde etkilediği, maksimum ivme değerlerinin artmasına, maksimum yer değiştirme ve kalıcı yer değiştirme değerlerinin önemi bir oranda azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında 100 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile 100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile karşılaştırıldığında ankrajsız olanlarda ortalama %18 oranında daha fazla kalıcı deplasmanlar gelmektedir. Bu sonuca göre 100mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri, 100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritlerinden daha iyi performans sergilediği ortaya çıkmıştır. Bununla birliklte 50 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri, 100 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritlerinden ortalama %61 oranında daha büyük kalıcı deplasman ortaya çıkmıştır. Bu sebepten dolayı 100 mm genişliğe sahip ankrajlı TRM şeritleri 50 mm genişliğe sahip ankrajlı TRM şeritlerinden daha iyi performans sergilediği ortaya çıkmıştır.

50 mm genişliğindeki ankrajsız TRM şeritlerinden alınan maksimum birim deformasyon değerleri TRM şeritlere uygulanan darbe yüklemesi altında önemli oranda yüke tabi tutuldukları göstermiştir. 50 mm genişliğindeki ortgonal ankrajsız TRM şeritleri

ile kuvvetlendirilen S2, S3 numunelerinden ölçülen maksimum birim şekil değiştirme değeri 50 mm genişliğinde çaprazlı yerleşen ankrajsız TRM şeritler ile kuvvetlendirilen S4, S5 numunelerinden ortalama %89 fazla değere sahiptir. Bunun akabinde 50 mm genişliğindeki çapraz yerleşimli TRM' in darbe kuvveti etkisinde daha çok dayanımları olduğunu ve daha etkili davranış sergilediğini göstermektedir.

50 mm genişliğindeki ankrajlı TRM şeritlerinden alınan maksimum birim deformasyon değer bulguları TRM şeritlere uygulanan çarpma dinamik yüklemesi altında ciddi ölçüde yük aldıklarını göstermiştir. 50 mm genişliğindeki ortgonal ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilen S10 ve S11 numunelerinden alınan maksimum birim şekil değiştirme değeri 50 mm genişliğinde çapraz yerleşimli ankrajlı TRM şeritler ile kuvvetlendirilen S12, S13 numunelerinden ortalama %90 fazla değere sahiptir. Bu değerler 50 mm genişliğindeki çapraz yerleşimli TRM' in darbe kuvveti etkisinde daha çok dayanımları olduğunu ve daha etkili davranış sergilediğini göstermektedir.

100 mm genişliğindeki ortgonal ankrajsız TRM şeritleri ile kuvvetlendirilen S6, S7 numunelerinden alınan maksimum birim şekil değiştirme değeri 100 mm genişliğinde diagonal ankrajsız TRM ile kuvvetlendirilen S8, S9 numunelerinden ortalama %77 fazla değere sahiptir. Bu sonuç 50 mm genişliğinde ankrajsız TRM ile kuvvetlendirilen deney serisi ile benzer davranış biçimi sergilemektedir. 50 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritler ile güçlendirilen deney serisinde TRM şeritlerden ölçülen maksimum birim şekil değiştirme değeri, 100 mm genişliğinde ankrajsız TRM ile kuvvetlendirilen seriden ortalama ortogonaller arasında %77, diyagonaller arasında %66 daha fazladır. Bu değer ışığında, 50 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile uygulanan güçlendirmelerde şeritler tarafından darbe yüklemesi etkisinde uygulanan enerjinin çok daha fazla bir oranının karşılandığını ispatlamaktadır. 100 mm genişliğinde uygulanan ankrajsız kuvvetlendirme desenlerinde deney elemanlarının çok daha fazla çarpma enerjisi düzeylerine çıkabilmek için artık dayanımının olduğu şeritlerden ölçülen birim şekil değiştirme değerlerinin küçük çıkmasından anlaşılmaktadır.

100 mm genişliğindeki ortgonal ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilen S14 ve S15 numunelerinden ölçülen maksimum birim şekil değiştirme değeri 100 mm genişliğinde diagonal ankrajlı TRM ile kuvvetlendirilen S16, S17 numunelerinden ortalama %78 fazla

değere sahiptir. Bunun akabinde 50 mm genişliğinde ankrajlı TRM ile kuvvetlendirilen deney dizini ile benzer özellik biçimi sergilemektedir. 50 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritler ile kuvvetlendirilen deney serisinde TRM şeritlerden ölçülen maksimum birim şekil değiştirme değeri, 100 mm genişliğinde ankrajlı TRM ile kuvvetlendirilen dizide ortalama ortogonaller arasında %74, diyagonaller arasında %63 daha fazladır. Değerlere göre 50 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile uygulanan güçlendirmelerde şeritler tarafından darbe yüklemesi etkisinde uygulanan enerjinin çok fazla bir oranının karşılandığını göstermektedir. 100 mm genişliğinde uygulanan ankrajlı güçlendirme desenlerinde deney numunelerinin çok büyük darbe enerjisi düzeylerine gelebilmek için artık dayanımının olduğu şeritlerden ölçülen birim şekil değiştirme değerlerinin küçük çıkmasından anlaşılabilmektedir.

Ankrajlı TRM şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinin ankrajsız TRM şeritlerden daha büyük ölçülmesi ankrajların TRM şeritlerin yüzeye daha iyi bağlanarak betonarme döşemeleri çarpma yüklemesi etkisi altındaki performansları ve genel davranışlarına daha fazla katkı sağladıklarının, daha fazla eksenel çekme kuveti taşıdıklarının önemli bir göstergesidir. Ankraj uygulaması betonarme döşemelerin sertliği ve rijitliklerini artırarak maksimum ivme değerlerinin artmasına, TRM şeritlerin yüzeye aderansını artırarak döşemelerde meydana gelen çatlak sayısı ve hasarı sınırlandırarak maksimum deplasman ile kalıcı deplasmanların azalmasına katkı sağlamıştır.

Literatür incelendiğinde tekstil takviyeli harç şeritler ile beton ara yüzeyinde şeritlerin yüzeyden soyulmaları için sınır strain değerleri ile ilgili çalışmalar mevcut olsa da henüz genelleştirilmiş bir sonuca varılamadığı görülmüştür. Bilindiği gibi karbon takviyeli elyaf polimer (CFRP) kumaş şeritler ile beton yüzey arasında soyulmanın meydana geldiği sınır birim deformasyon değeri ACI 440.R2-17 Committee, 2017 raporunda 0.005 mm/mm olarak verilmiş olup, bu değer oldukça kapsamlı çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Henüz TRM şeritler için bu şekilde genelleştirilmiş bir strain değeri sınırlaması tanımlanmamıştır. Ek olarak CFRP şeritler için de belirlenen bu sınır değerinin statik yükler etkisi altında olduğu unutulmamalıdır. Bu çalışma kapsamında incelenen ani dinamik çarpma yüklemesi etkisiyle yapıştırılan şerit ve beton yüzey arasındaki soyulma strain değeri üzerinde yükleme hızı nedeniyle bir strain rate etkisinin meydana gelebileceği düşünülmektedir. Bu konuda TRM şeritler için literatürde herhangi

bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen deneysel sonuçların literatüre bu konuda da oldukça önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde ankrajlı ve ankrajsız TRM şeritler ile güçlendirilen betonarme döşeme deney elemanlarından ölçülen maksimum strain değerlerinin sırasıyla ortalama 0.00825 mm/mm ve 0.00710 mm/mm olduğu hesaplanmıştır. Ankrajlı ve ankrajsız TRM şeritlerden ölçülen ortalama maksimum strain değerlerinin CFRP şeritlerin yüzeyden soyulmaları için ACI 440 Committee raporunda verilen 0.005 mm/mm değerinden sırasıyla 65% ve 42% oranlarında daha fazla olduğu elde edilmiştir. Deney elemanlarında güçlendirme için kullanılan TRM şeritler üzerinden ölçülen maksimum strain değerleri incelendiğinde bu değerlerin 0.005 mm/mm sınır değerinden 3.5 kat daha fazla değerlere kadar çıkabildiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar TRM şeritler ve beton yüzey arasındaki yapışma yüzeyi malzeme modeli üzerinde de ani dinamik çarpma yüklemesi etkisiyle strain rate etkisinin etkin bir sekilde rol oynadığını göstermiştir.

Betonarme döşeme deney elemanlarına uygulanan ani çarpma yüklemesinin maksimum değeri incelendiğinde 31,95 kN ile 32,28 kN arasında değişim göstermektedir. Ortalama değerinin ise 32,06 kN olarak hesaplandığı görülmektedir. Deneysel çalışmada yer alan toplam 17 adet numunede elde edilen maksimum çarpma yüklemesi değerinin varyasyonu 0,0078 ve standart sapma değeri 0,0886 olarak hesaplanmış, olup bu değerler son derece küçük değerlerdir. Elde edilen bu sonuçlar deneysel programda yer alan tüm deney elemanlarına sabit enerji düzeyine sahip bir çarpma yüklemesi uygulanabildiğini göstermektedir.

LS DYNA programından elde edilen nümerik değerler ile deney sonuçları karşılaştırılmak için çarpma yükü sonucunda oluşan sonuçlar Çizelge 4.2’ de yer verilmiştir. Çizelge 4.2’ de yer verilen maksimum ivme değerlerin nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılmasında Şekil 4.85’ te gösterilmiştir. Aynı zamanda yine Çizelge 4.2’ de gösterilen maksimum deplasman değerleri ise Şekil 4.86’ da gösterilmiştir.

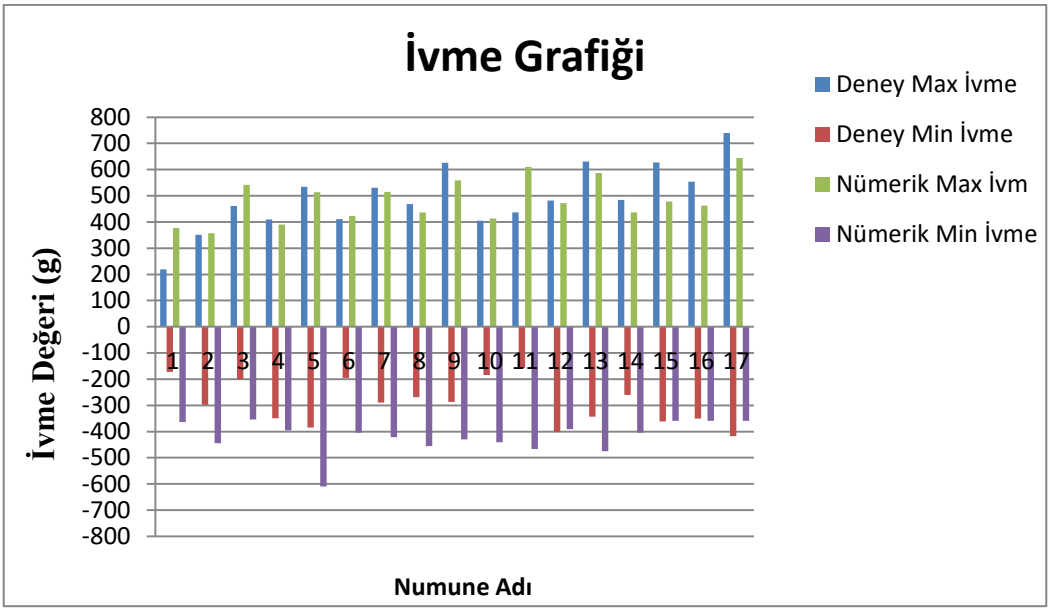
İvme değerleri için deneysel ve nümerik sonuçlar karşılaştırıldığında her numune için kendi aralarında farklılıklar oluşmaktadır. Bu farklılıkların en büyük sebebi deneysel çalışmada mesnetlenme koşullarının x, y, z, yönlerinde yer değiştirmelerin tam analmıyla tutulu olmayışından kaynaklanabilir. Aynı zamanda. ivmeölçerlerin ölçüm sırasında

oluşan bir hatadan da kaynaklanabilir. Çünkü piezoelektrik ivmeölçerler beton yüzeyine prüzsüz bir yüzeye sabitlenmediler. Bu nedenle çarpma anında oluşabilecek hatalar meydana gelebilir. Bu nümerik değer ile deneysel değer arasındaki oran farkı en fazla %42 oranında referans numunesi olan S1 elemanında görülmektedir. Bunun dışında %20' nin üzerinde sadece S11 (%28 oranında) ve S15 (%31 oranında) deney elemanları vardır.

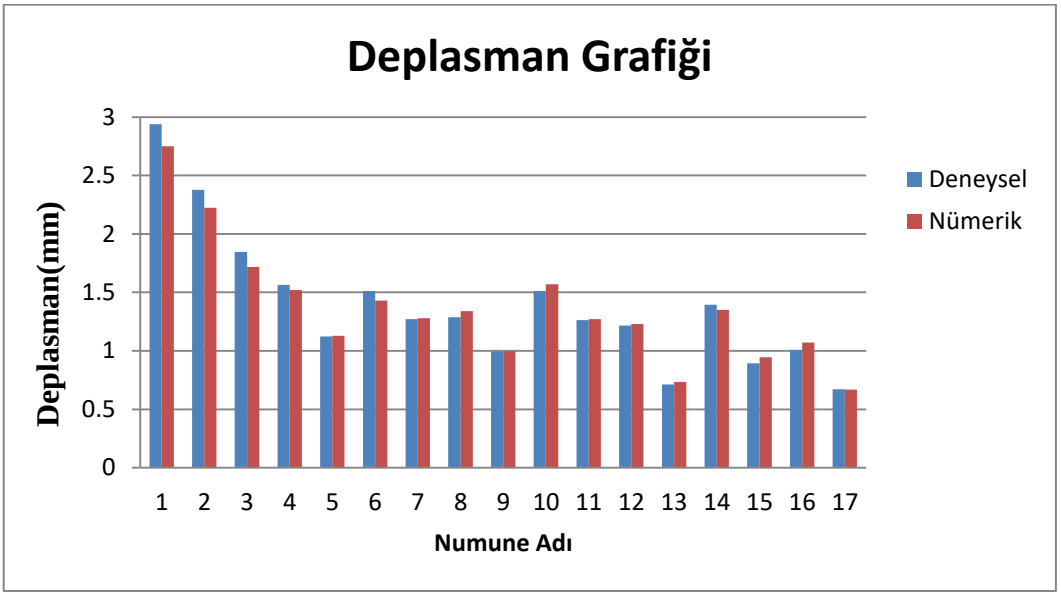
Maksimum deplasman değerleri için deneysel ve nümerik sonuçlar karşılaştırıldığında her numune için aralarındaki farklılıklar makul derecede azdır. Bu nedenle sayısal analiz ile deneysel analiz sonuçları önemli bir oranda uyuşma söz konusudur. Sayısal değer ile deneysel değer arasındaki oran farkı en fazla %7 oranında S3 (C50dOr) elemanında görülmektedir. Kalıcı deplasmanlar arasındaki farklılıklar sayısal ve deneysel analiz sonuçlarında önemli ölçüde farklılıklar söz konusudur. Ama bunun nedeni mesnet şartlarının deneysel çalışmada tam anlamıyla çalışmadığından olabilir.

Çizelge 4.2. Deney sonucu ile nümerik sonucun karşılaştırılması

Deney No	Numune Adı	İvme (g)					Maksimum Deplasman (mm)			Kalıcı Deplasman (mm)		
		Deneysel		Ls-Dyna		Oran	Deneysel	Ls-Dyna	Oran	Deneysel	Ls-Dyna	Oran
		Max	Min	Max	Min							
1	Referans	218.64	-171.97	377	-364	-42.01	-2.939	-2.75	6.873	1.124	0.548	105.109
2	C50sOr	351.66	-297.98	357	-444	-1.50	-2.377	-2.223	6.928	0.533	0.433	23.095
3	C50dOr	461.39	-200.09	542	-354	-14.87	-1.846	-1.7172	7.501	0.257	0.357	-28.011
4	C50sDi	409.49	-348.61	390	-395	5.00	-1.564	-1.52	2.895	0.247	0.309	-20.065
5	C50dDi	534.35	-384.28	514	-609	3.96	-1.122	-1.13	-0.708	0.216	0.245	-11.837
6	C100sOr	411.09	-194.82	423	-404	-2.82	-1.512	-1.43	5.734	0.411	0.267	53.933
7	C100dOr	530.41	-289.67	515	-421	2.99	-1.272	-1.28	-0.625	0.139	0.255	-45.490
8	C100sDi	468.75	-268.66	437	-456	7.27	-1.287	-1.34	-3.955	0.207	0.281	-26.335
9	C100dDi	626.17	-286.34	559	-430	12.02	-0.994	-0.996	-0.201	0.072	0.21	-65.714
10	C50sOr_A	405	-184.72	414	-441	-2.17	-1.512	-1.57	-3.694	0.463	0.297	55.892
11	C50dOr_A	436.07	-157.13	610	-466	-28.51	-1.263	-1.27	-0.551	0.249	0.183	36.066
12	C50sDi_A	482.39	-402.1	472	-391	2.20	-1.215	-1.23	-1.220	0.224	0.244	-8.197
13	C50dDi_A	631.15	-342.84	587	-475	7.52	-0.713	-0.734	-2.861	0.2	0.145	37.931
14	C100sOr_A	484.71	-259.63	437	-404	10.92	-1.394	-1.35	3.259	0.362	0.262	38.168
15	C100dOr_A	626.94	-361.3	478	-359	31.16	-0.892	-0.946	-5.708	0.105	0.214	-50.935
16	C100sDi_A	554.41	-350.72	462	-359	20.00	-1.007	-1.07	-5.888	0.138	0.256	-46.094
17	C100dDi_A	739.86	-417.3	644	-359	14.89	-0.672	-0.668	0.599	0.1	0.148	-32.432



Şekil 4.85. Deney ile sayısal analiz sonuçlarının ivme grafiği



Şekil 4.86. Deney ile sayısal analiz sonuçlarının deplasman grafiği

Nümerik analiz kapsamında geliştirilen TRM şeritler ile güçlendirme yöntemi betonarme çift doğrultulu döşemelerin çarpma yüklemesi etkisi altındaki performansını önemli ölçüde artırmış ve genel davranışını iyileştirmiştir. Uygulanan güçlendirme yöntemi betonarme döşemelerden ölçülen maksimum ivme değerlerini önemli oranda

artırmış, maksimum deplasman ve maksimum kalıcı deplasman değerlerini ise önemli oranlarda azaltmıştır.

50 mm genişliğindeki ankrajsız TRM şerileri ile güçlendirilmiş S2, S3, S4, S5 numaralı döşemelerin, güçlendirilmemiş S1 referans numunesinden daha fazla maksimum ivme değerleri saptanmıştır. 50 mm genişliğindeki diagonal ankrajsız TRM şeritleri ile uygulanan güçlendirme ivme değerlerinde fazla orandan değer artışına sebep olmuştur. 50 mm genişliğindeki çift doğrultuda ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirme, maksimum ivme değerinin büyük istatistiksel oranda artış belirtilmesine etken olmuştur. 50 mm genişliğindeki çift doğrultuda ankrajsız TRM şeritleri ile kuvvetlendirilen S3, S5 nümerik numuneler, tek doğrultuda TRM ile kuvvetlendirilmiş S2 ve S4' ten daha çok maksimum ivme değerine sahiptir. TRM şeritleri ile güçlendirilen çift doğrultulu betonarme döşemelerde ölçülen maksimum ivme değerlerini önemli oranda arttırmıştır.

50 mm genişliğindeki ankrajlı TRM şerileri ile güçlendirilmiş S10, S11, S12, S13 numaralı döşemelerin, güçlendirilmemiş S1 referans numunesinden daha fazla maksimum ivme değerleri saptanmıştır. 50 mm genişliğindeki diagonal ankrajlı TRM şeritleri ile uygulanan kuvvetlendirme ivme değerlerinde daha fazla miktarda değer artışına sebep olmuştur. S12 ve S13 deney elemanları, S10 ve S11 nümerik elemanlarından daha fazla maksimum ivme değerlerine sahip olduğu saptanmıştır. 50 mm genişliğindeki çift doğrultuda ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirme, maksimum ivme değerinin fazla miktarda artış göstermesine etken olmuştur. 50 mm genişliğindeki çift doğrultuda ankrajlı TRM şeritleri ile kuvvetlendirile S11 ve S13 deney numunelerinin, tek doğrultuda TRM ile kuvvetlendirilen S10 ve S12' den fazla maksimum ivme değerine sahiptir. TRM şeritleri ile güçlendirilen çift doğrultulu betonarme döşemelerde ölçülen maksimum ivme değerlerini önemli oranda arttırmıştır.

50 mm genişliğinde ankrajlı ve ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney elemanlarında ankrajlı ve ankrajsız elemanların maksimum ivme değerleri karşılaştırıldığında ankrajlı olanlar daha büyük değerler elde edilmişir. 50 mm genişliğinde TRM şeritleri ile güçlendirilmiş döşemeler arasında en büyük maksimum ivme değeri S13 numunesi olmuştur.

100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S6, S7, S8, S9 nümerik elemanları güçlendirilmemiş referans S1 deney numunelerinden daha fazla değerinde maksimum ivme değerleri ortaya çıkmıştır. 100 mm genişliğinde diyagonal ankrajsız TRM şeritli betonarme döşemelerin çarpma davranışını iyi yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Böylece ivme değerlerinin daha fazla oranda artmasına sebep olmuştur. 100 mm genişliğinde diagonal ankrajsız TRM şeritler ile güçlendirilen S8, S9 nümerik elemanları, sırasıyla S6, S7 nümerik elemanlarında daha çok maksimum ivme değerlerine sahiptir. Ankrajsız TRM kuvvetlendirmek için çift doğrultuda kullanıldığı örtülerde maksimum ivme değerleri, tek doğrultuda kullanılanlardan daha çok gelmektedir. S7, S9 deney numunelerinden alınan maksimum ivme değerleri S6, S8 deney elemanlarından daha çok artış tespitine varılmıştır. İvme değerleri incelendiğinde 100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritler ile güçlendirilen nümerik döşemelerin ölçülen maksimum ivme değerleri, 50 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş nümerik döşemelerden maksimum ölçülen ivme değerinden daha çok olduğu saptanmıştır. Ankrajsız TRM şeritlerin en fazla ivme değeri S9 numunesi olmuştur.

100 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S14, S15, S16, S17 nümerik elemanları güçlendirilmemiş referans S1 deney elemanından daha büyük maksimum ivme değerleri ortaya çıkmıştır. 100 mm genişliğinde diagonal ankrajlı TRM şeritli betonarme döşemelerin dinamik davranışını iyi yönde etkilemiştir. Böylece ivme değerlerinin fazla oranda artmasına yol açmıştır. 100 mm genişliğinde diagonal ankrajlı TRM ile kuvvetlendirilen S16, S17 nümerik numunelerin, sırasıyla S14, S15 nümerik daha fazla maksimum ivme değerlerine sahiptir. Ankrajlı TRM' lerin kuvvetlendirme için çift doğrultuda kullanıldığı örtü maksimum ivme değerleri, tek doğrultuda kullanılanlardan daha çok gelmektedir. S15 ve S17 nümerik elemanlarından ölçülen maksimum ivme değerleri S14 ve S16 nümerik elemanlarından daha fazla bir artış gözlemlenmiştir. İvme değerleri incelendiğinde 100 mm genişliğinde ankrajlı TRM ile kuvvetlendirilen nümerik numunelerinden ölçülen maksimum ivme değerini 50 mm genişliğinde ankrajlı TRM ile kuvvetlendirilmiş nümerik numunelerden maksimum ölçülen ivme değerinden daha çok olduğu kanısına varılmıştır. Ankrajlı TRM şeritlerin en büyük ivme değeri S17 numunesi olmuştur.

100 mm genişliğinde ankrajlı ve ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş nümerik elemanlarında ankrajlı ve ankrajsız elemanların maksimum ivme değerleri karşılaştırıldığında ankrajlı olanlardan S6 ve S14 arasında, S7 ile S15 arasında, S8 ile S16 arasında, S9 ile S17 arasında daha büyük değerler elde edilmişir. 100 mm genişliğinde TRM şeritleri ile güçlendirilmiş döşemeler arasında en büyük maksimum ivme değeri S17 numunesi olmuştur. Genel olarak bütün güçlendirilmiş ankrajlı, ankrajsız TRM şeritli betonarme döşemeler arasında en büyük maksimum ivme değerini veren S17 deney numunesi olmuştur.

Betonarme döşeme deney numunesine uygulanan dinamik darbe kuvveti etkisiyle hesaplanan maksimum yer değiştirme değerleri uygulanan kuvvetlendirme ile ciddi oranda azalma meydana gelmiştir. Güçlendirilmemiş referans S1 nümerik elemanından ölçülen maksimum deplasman değeri, 50 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S2, S3, S4, S5 nümerik elemanlarından daha büyük maksimum deplasman değerler ortaya çıkmıştır. 50 mm genişliğinde diyagonal ankrajsız TRM şeritli numunelerde maksimum deplasman değerinde daha fazla bir azalma meydana gelmiş, 50 mm genişliğinde ortogonal ankrajsız TRM şeritler ile güçlendirilen S2 ve S3 nümerik elemanları, sırasıyla S4 ve S5 nümerik elemanlarından daha büyük deplasman değerlerine sahiptir. Ankrajsız TRM şeritlerin kuvvetlendirme için çift doğrultuda kullanıldığı örtülerde maksimum deplasman değerleri, tek doğrultuda kullanılanlardan küçük gelmektedir. S2, S4 nümerik numunelerinden ölçülen maksimum yer değiştirme değerleri S3 ve S5 nümerik elemanlarından daha fazla deplasman değerine sahiptir.

Güçlendirilmemiş referans S1 nümerik elemanından ölçülen maksimum deplasman değeri, 50 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S10, S11, S12, S13 deney elemanlarından daha büyük maksimum deplasman değerleri ortaya çıkmıştır. 50 mm genişliğinde diyagonal ankrajlı TRM şeritli numunelerde, maksimum deplasman değerinde daha fazla bir azalma meydana gelmiş, 50 mm genişliğinde ortogonal ankrajlı TRM şeritler ile güçlendirilen S10 ve S11 nümerik elemanları, S12 ve S13 nümerik elemanlarından daha büyük deplasman değerlerine sahiptir. Ankrajlı TRM' lerin kuvvetlendirme için çift yönde kullanıldığı desenlerde maksimum yer değiştirme değerleri, tek yönde kullanılanlardan küçük gelmektedir. S10 ve S12 nümerik elemanlarından ölçülen maksimum deplasman değerleri S11 ve S13 nümerik elemanlarından daha fazla deplasman değerine sahiptir.

50 mm genişliğinde ankrajlı ve ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş nümerik elemanlarında ankrajlı ve ankrajsız elemanların maksimum deplasman değerleri karşılaştırıldığında ankrajsız olanlardan S2 ve S10 arasında, S3 ile S11 arasında, S4 ile S12 arasında, S5 ile S13 arasında daha büyük değerler elde edilmişir. 50 mm genişliğinde TRM şeritleri ile güçlendirilmiş döşemeler arasında en büyük maksimum deplasman değeri S2 numunesinde meydana gelirken en küçün deplasman S13 numunesinde meydana gelmiştir.

100 mm genişliğinde TRM şeritleri ile güçlendirilmiş deney numunelerinden ölçülen maksimum deplasman değerleri, güçlendirme uygulanmayan referans S1 numunesine göre önemli miktarda azalma meydana gelmiştir. Güçlendirilmemiş referans S1 nümerik elemanından ölçülen maksimum deplasman değeri, 100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S6, S7, S8, S9 nümerik elemanlarından daha büyük maksimum deplasman değerleri ortaya çıkmıştır. 100 mm genişliğinde diyagonal ankrajsız TRM şeritli numunelerde maksimum deplasman değerinde daha fazla bir azalma meydana gelmiş, 100 mm genişliğinde ortogonal ankrajsız TRM ile kuvvetlendirilen S6, S7 nümerik numuneleri, sırasıyla S8, S9 deney numunelerinden çok deplasman değerlerine sahiptir. Ankrajsız TRM' lerin kuvvetlendirme için çift doğrultuda kullanıldığı desenlerde maksimum deplasman değerleri, tek doğrultuda kullanılanlardan daha küçük gelmektedir. S6 ve S8 nümerik elemanlarından ölçülen maksimum deplasman değerleri S7 ve S9 nümerik elemanlarından daha fazla deplasman değerine sahiptir.

Güçlendirilmemiş referans S1 deney elemanından ölçülen maksimum deplasman değeri, 100 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilmiş S14, S15, S16, S17 deney elemanlarından sırasıyla, %110, %229, %192, %337 oranında daha büyük maksimum deplasman değerleri ortaya çıkmıştır. 100 mm genişliğinde diyagonal ankrajlı TRM şeritli numunelerde maksimum deplasman değerinde daha fazla bir azalma meydana gelmiş, 100 mm genişliğinde ortogonal ankrajlı TRM şeritler ile güçlendirilen S14 ve S15 deney elemanları, sırasıyla S16 ve S17 deney elemanlarından tek sıralı olanlar için %38, çift sıralı olanlarda ise %33 kat daha çok, ortalama olarak ise %36 kat daha fazla deplasman değerlerine sahiptir. Ankrajlı TRM' lerin kuvvetlendirme için çift yönde kullanıldığı desenlerde maksimum deplasman değerleri, tek yönde kullanılanlardan küçük gelmektedir. S14 ve S16 deney elemanlarından ölçülen maksimum deplasman değerleri S15 ve S17 deney elemanlarından ortogonaller arasında %56, diyagonaller arasında ise

%50 oranında daha fazla deplasman değerine sahiptir. Ortalama olarak %53 oranında daha büyük deplasman değerlerine sahiptir.

100 mm genişliğinde ankrajlı ve ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş nümerik elemanlarında ankrajlı ve ankrajsız elemanların maksimum deplasman değerleri karşılaştırıldığında ankrajsız olanlardan S6 ve S14 arasında, S7 ile S15 arasında, S8 ile S16 arasında, S9 ile S17 arasında daha büyük değerler elde edilmişir. 100 mm genişliğinde TRM şeritleri ile güçlendirilmiş döşemeler arasında en büyük maksimum deplasman değeri S6 numunesinde meydana gelirken en küçün deplasman S17 numunesinde meydana gelmiştir. Genel olarakta hem 50 mm genişliğinde hem de 100 mm genişliğinde ankrajlı ankrajsız TRM ile güçlendirilmiş deney elemanlarından ankrajlı olanlar ankrajsız olanlara göre daha düşük deplasman değerlerine sahipken en düşük maksimum deplasmana sahip numune S17 olarak saptanmıştır.

50 mm genişliğindeki ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş nümerik elemanlarında dinamik darbe kuvveti etkisiyle oluşan, titreşimden sonra ortaya çıkan kalıcı plastik yer değiştirme değerleri güçlendirme uygulanmamış S1 referans nümerik numunesine göre küçük değerdedir. S1 nümerik numunesinin kalıcı yer değiştirme 50 mm genişliğindeki ankrajsız TRM ile kuvvetlendirilmiş nümerik numunelerinin kalıcı yer değiştirmelerinden daha çok hesaplanmıştır. Bu sonuçlara istinaden 50 mm genişliğindeki ankrajsız TRM ile kuvvetlendirilen betonarme döşemelerin dinamik davranışını iyi yönde etkilediğini, maksimum ivme değerlerinin artmasına, maksimum yer değiştirme ve kalıcı yer değiştirme değerlerinin önemi bir oranda azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir.

50 mm genişliğindeki ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilmiş nümerik numunelerinde darbe kuvveti etkisi altında oluşan titreşim tamamlandıktan sonra ortaya çıkan kalıcı plastik yer değiştirme değerleri güçlendirme uygulanmamış S1 referans nümerik numunesine göre küçük değerdedir. S1 nümerik numunesinin kalıcı yer değiştirme 50 mm genişliğindeki ankrajlı TRM ile kuvvetlendirilmiş nümerik numunelerinin kalıcı deplasmanlarından daha çok hesaplanmıştır. Sonuçlar akabinde 50 mm genişliğindeki ankrajlı TRM ile kuvvetlendirmenin betonarme döşemelerin çarpma davranışını olumlu bir şekilde etkilediğini, maksimum ivme değerlerinin artmasına, maksimum yer değiştirme ve kalıcı yer değiştirme değerlerinin önemi bir oranda

azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte 50 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile 50 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile karşılaştırıldığında ankrajsız olanlarda büyük kalıcı deplasmanlar gelmektedir. Bu sonuca göre ankrajlı TRM şeritleri, ankrajsız TRM şeritlerinde daha iyi performans sergilediği ortaya çıkmıştır.

100 mm genişliğindeki ankrajsız TRM şeritleri ile güçlendirilmiş nümrik numunelerinden darbe kuvveti etkisi altında oluşan titreşim tamamlandıktan sonra ortaya çıkan kalıcı plastik yer değiştirme değerleri güçlendirme uygulanmamış S1 referans nümerik numunesine göre küçük değerdedir. S1 nümerik numunesinin kalıcı yer değiştirme 100 mm genişliğindeki ankrajsız TRM kuvvetlendirilmiş deney numunelerinin kalıcı yer değiştirmelerinden daha fazla bulunmuştur. Buradaki sonuçlara göre 100 mm genişliğindeki ankrajsız TRM ile kuvvetlendirmenin betonarme döşemelerin dinamik davranışını iyi yönde etkilediği, maksimum ivme değerlerinin artmasına, maksimum yer değiştirme ve kalıcı yer değiştirme değerlerinin önemi bir oranda azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte 50 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri, 100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritlerinden daha büyük kalıcı deplasman ortaya çıkmıştır. Bu sebepten dolayı 100 mm genişliğe sahip ankrajsız TRM şeritleri, 50 mm genişliğe sahip ankrajsız TRM şeritlerinden daha iyi performans sergilediği ortaya çıkmıştır.

100 mm genişliğindeki ankrajlı TRM şeritleri ile güçlendirilmiş nümerik numunelerinden darbe etkisinden dolayı oluşan, titreşiminden sonra ortaya çıkan kalıcı plastik yer değiştirme değerleri kuvvetlendirme uygulanmamış S1 referans nümerik numunesine göre küçük değerdedir. S1 nümerik numunesinin kalıcı yer değiştirme 100 mm genişliğindeki ankrajlı TRM ile kuvvetlendirilmiş nümerik numunelerin kalıcı yer değiştirmelerinden fazla elde edilmiştir. Bunun akabinde 100 mm genişliğindeki ankrajlı TRM şeritleriyle uygulanan kuvvetlendirmenin betonarme döşemelerin dinamik darbe davranışını iyi yönde etkilediği, maksimum ivme değerlerinin artmasına, maksimum yer değiştirme ve kalıcı yer değiştirme değerlerinin önemi bir oranda azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda 100 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri ile 100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritleri ile karşılaştırıldığında ankrajsız olanlarda daha büyük kalıcı deplasmanlar gelmektedir. Bu sonuca göre 100mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri, 100 mm genişliğinde ankrajsız TRM şeritlerinden daha iyi performans sergilediği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte 50 mm genişliğinde ankrajlı TRM şeritleri, 100 mm

genişliğinde ankrajlı TRM şeritlerinden daha büyük kalıcı deplasman ortaya çıkmıştır. Bu sebepten dolayı 100 mm genişliğe sahip ankrajlı TRM şeritleri 50 mm genişliğe sahip ankrajlı TRM şeritlerinden daha iyi performans sergilediği ortaya çıkmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yürütülen çalışmada çift doğrultulu betonarme döşemelerin ani çarpma yüklemeleri etkisi altındaki genel davranış ve performanslarının artırılması için karbon tekstil takviyeli harç şeritler kullanılarak geliştirilen bir güçlendirme yöntemi incelenmiştir. Deneysel çalışmada araştırılan değişkenler güçlendirme amacıyla betonarme döşemelerin çekme yüzeyine yerleştirilen TRM şeritlerin yerleşim şekli, TRM şeritlerin tek ve çift doğrultuda konumlandırılması, TRM şerit genişliği ve TRM şeritler üzerinde çarpma noktası ve yakın çevresinde karbon tekstil lifler ile üretilen ankrajların kullanılması olarak sayılabilir. Betonarme döşemelere yazarlar tarafından tasarlanan bir serbest ağırlık düşürme deney düzeneği kullanılarak sabit enerji düzeyine sahip çarpma yüklemesi uygulanarak ivme-zaman, deplasman-zaman, TRM şeritler üzerinden birim deformasyon-zaman ve uygulanan çarpma yüklemesi-zaman değişimleri ölçülerek incelenen değişkenlerin döşemeler üzerinde uygulanan güçlendirme yönteminin performansı üzerindeki etkileri yorumlanmıştır. Ayrıca deneyleri gerçekleştirilen TRM şeritler ile güçlendirilmiş döşemelerin LS DYNA yazılımı kullanılarak lineer olmayan sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilerek, uygulanan nümerik analiz yaklaşımlarının deneysel sonuçlar ile ne ölçüde uyumlu ve gerçekçi sonuçlar verebildiği incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Çalışma kapsamında geliştirilen güçlendirme tekniğinin betonarme döşemelerin ani dinamik çarpma yüklemesi etkisi altındaki genel davranışını iyileştirdiği ve performansını önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Önerilen güçlendirme tekniği betonarme döşemelerin sertlik ve rijitliklerini artırarak çarpma yüklemesi etkisi altında meydana gelen maksimum ivme değerlerinin önemli oranlarda artmasını sağlamıştır. Ayrıca geliştirilen güçlendirme tekniği betonarme döşemelerin çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen hasar dağılımını sınırlandırmıştır, çatlak sayısını önemli ölçüde azaltmıştır. Döşemelerde çarpma yüklemesi etkisiyle ölçülen maksimum deplasman değerleri ve titreşimin sönümlemesi sonrasında kalıcı plastik deplasman değerleri büyük oranda azalmıştır. Elde edilen bu sonuçlar geliştirilen güçlendirme metodunun çarpma yüklemesi sonucunda betonarme

döşemelere aktarılan enerjinin başarılı bir şekilde sönümlendirilerek yutulduğunu göstermiştir.

- Betonarme döşemelerin çarpma yüklemesi etkisi altındaki davranışlarını iyileştirmek için geliştirilen güçlendirme güçlendirme tekniğinde çekme yüzeyine yerleştirilen TRM şeritlerin iki doğrultuda kullanılması ve TRM şeritlerin diyagonal formda yerleştirilmesi daha fazla etkili olmuş ve betonarme döşemelerin çarpma yüklemesi performansını daha büyük oranlarda artırmıştır.

- Çift doğrultulu betonarme döşemelerde güçlendirme için çekme yüzeyine harç ile bağlanan TRM şeritlerin genişliklerinin artması, çarpma yüklemesi etkisi altındaki davranışlarını daha fazla olumlu etkilemiş ve güçlendirme yönteminde elde edilen performans artışını büyütmüştür.

- TRM şeritler üzerinde çarpma yüklemesinin uygulandığı noktada ve yakın çevresinde yine karbon tekstil lifler ile üretilen ankrajların kullanılması betonarme döşemelerin çarpma yüklemesi etkisi altındaki genel davranışlarını daha fazla iyileştirme ve performanslarını çok daha fazla artırmıştır.

- TRM şeritler üzerinde ölçülen maksimum birim deformasyon değerleri incelendiğinde ani dinamik çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen maksimum birim deformasyon değerlerinin statik yüklemeler etkileriyle oluşabilecek birim deformasyon değerlerine göre çok daha fazla olabileceğini ve birim deformasyon oranı etkisinin şeritler ve beton yüzey gibi iki farklı malzemenin ara yapışma yüzeyi malzeme modelleri üzerinde de etkin rol oynayabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

ACI 440.2R-17 Committe Report, 2017, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, American Concrete Institute, p.113.

Anonim, 2013, NI cDAQ-9174, https://www.ni.com/pdf/manuals/374045a.pdf, erişim tarihi: 21.09.2021.

Anonim, 2014, Sensörler-transdüserler, http://www.turkbiyofizik.com/transduserler.html, erişim tarihi: 20.09.2021.

Anonim, 2015, İvmeölçer, https://marmatek.com/2015/01/11/ivmeolcer-nedir/, erişim tarihi: 20.09.2021.

Anonim, 2015, NI 9234, https://www.ni.com/pdf/manuals/374238a_02.pdf, erişim tarih: 21.09.2021.

Anonim, 2016, NI 9201, https://www.ni.com/pdf/manuals/373783a_02.pdf, erişim tarihi: 21.09.2021.

Anonim, 2017, Kuvvet Sensörü, https://www.pcb.com/products?m=200C50, erişim tarihi: 20.09.2021.

Anonim, 2017, Lineer Potansiyometre Yayılı Tip İnce Gövde Serisi, https://www.opkon.com.tr/Content/product/pdf/pdf-6f037aaa.pdf, erişim tarihi: 21.09.2021.

Anonim, 2017, Lineer Potansiyometre, https://www.opkon.com.tr/urunler/lineer-potansiyometre/kisa-strok-kompakt, erişim tarihi: 21.09.2021.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Anonim, 2017, NI 9235, https://www.ni.com/pdf/manuals/374645a_02.pdf , erişim tarihi: 21.09.2021.

Anonim, 2017, Product specification, https://www.pcb.com/products?m=352B70, erişim tarihi: 20.09.2021.

Anonim, 2019, Strain Gauge Nedir Nasıl Çalışır, https://www.serdarkorkut.com/2017/05/11/strain-gauge-nedir-nasil-calisir/, erişim tarihi: 21.09.2021.

Anonim, 2020, Sikadur-330, https://tur.sika.com/content/dam/dms/tr01/4/sikadur_-330.pdf, erişim tarihi: 25.09.2021.

Anonim, 2020, Sikadur-330, https://tha.sika.com/en/construction/structural-strengthening/fiber-reinforcedpolymerfrp/sikadur-330.html, erişim tarihi: 25.09.2021.

Anonim, 2021, Epoksi Nedir, https://www.hurriyet.com.tr/egitim/epoksi-nedir-ve-nasil-yapilir-epoksi-ne-ise-yarar-ve-nerelerde-kullanilir-41815214, erişim tarihi: 25.09.2021.

Anonim, 2021, LS-DYNA Keyword User's Manual Volume2, https://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/jday/manuals/LS-DYNA_manual_Vol_II_R6.1.0.pdf, erişim tarihi: 12.10.2021.

Anonim, 2021, ticm TEX Karbon, https://tic-m.com/urun-detay/karbon-tex, erişim tarihi: 24.09.2021.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Bozkurt, 2016, Kauçuk Nedir ve Nasıl Üretilir http://www.kimyasalgelismeler.com/sektorler/polimer-ve-plastik-teknolojisi/kaucuk-nedir-ve-nasil-uretilir.html. erişim tarihi: 20.09.2021.

Bhatti, A.Q., Kishi, N., Tan, K.H., 2011, Impact resistant behavior of RC slab strengthened with FRP sheet, Materials and Structures, 44, 1855-1864

Hesam Soltani, Alireza Khaloo, Hamid Sadraie Dynamic performance enhancement of RC slabs by steel fibers vs. externally bonded GFRP sheets under impact loading Engineering Structures 213 (2020) 110539

J. Radnic, D. Matešan, N. Grgic, G. Baloevic Impact testing of RC slabs strengthened with CFRP strips Composite Structures 121 (2015) 90–103

Sarah L. Orton, Ph.D., P.E., M.ASCE; Vincent P. Chiarito, P.E, M.ASCE; Jared K. Minor; and Thomas G. Coleman Experimental Testing of CFRP-Strengthened Reinforced Concrete Slab Elements Loaded by Close-In Blast, Journal of Structural Engineering, 140,p.9.

Tolga Yılmaz, Nevzat Kıraç, Özgür Anil, R. Tug˘rul Erdem, Ceyda Sezer Low-velocity impact behaviour of two way RC slab strengthening with CFRP strips Construction and Building Materials 186 (2018) 1046–1063

Uğur ERSOY, 2020, Betonarme Davranış ve Hesap İlkeleri Cilt-1, p.3, p.66.

Vimal Kumar, M.A. Iqbal, A.K. Mittal Study of induced prestress on deformation and energy absorption characteristics of concrete slabs under drop impact loading Construction and Building Materials 188 (2018) 656–675

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Wensu Chen, Thong M. Pham, Mohamed Elchalakani, Huawei Li, Hong Hao, and Li Chen Experimental and Numerical Study of Basalt FRP Strip Strengthened RC Slabs under Impact Loads 10.1142/S0219455420400015

Xiangqing Kong, Xuejian Qi, Yihan Gu, Isah Abba Lawan, Yandong Qu Numerical evaluation of blast resistance of RC slab strengthened with AFRP Construction and Building Materials 178 (2018) 244-253