



T. C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARAYOLU YAĞMUR DRENAJ KANALLARININ ARAÇ
GÜVENLİĞİNE ETKİSİNİN DİNAMİK ANALİZLER KULLANILARAK
İNCELENMESİ

AYHAN ÖNER YÜCEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY

HAZİRAN-2012

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARAYOLU YAĞMUR DRENAJ KANALLARININ ARAÇ GÜVENLİĞİNE
ETKİSİNİN DİNAMİK ANALİZLER KULLANILARAK İNCELENMESİ

AYHAN ÖNER YÜCEL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN danışmanlığında hazırlanan bu tez 11/06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN
Başkan

Doç. Dr. Turan ARSLAN
Üye

Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA
Üye

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. İlhan ÜREMİŞ

Enstitü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 110M235

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Materyal.....	7
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Bilgisayar Programları.....	7
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Kanal Tipleri	7
3.1.3. Çalışmada Kullanılan Araç Modelleri	9
3.1.4. Kanal Kenarlarında Uygulanan Otokorkuluk Tipleri	10
3.2. Yöntem	12
3.2.1. Üçgen ve Trapez Kesitli Kanallar İçin Yapılan Analizler	12
3.2.2. Üçgen ve Trapez Kesitli Kanallarda Yüksek Sürtünme Durumu	15
3.2.3. Sonlu Elemanlar Modelleme Çalışması.....	16
3.2.4. LS-DYNA Data Dosyası Hakkında Açıklamalar.....	18
3.2.5. Üçgen Kesitli Kanallar İçin Yapılan Ek Analizler	20
3.2.6. Trapez Kesitli Kanallar İçin Yapılan Ek Analizler	22
3.2.7. Kanal Kenarlarına Otokorkuluk Uygulanması Durumu İçin Yapılan Ek Analizler	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	29
4.1. Üçgen Kesitli Kanal İçin Analiz Sonuçları	29
4.1.1. 900 kg. Ağırlığındaki Araç İçin Sonuçlar	29
4.1.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu	29
4.1.1.1.1. Araç Hızı 50 km/saat	29
4.1.1.1.2. Araç Hızı 70 km/saat	30
4.1.1.1.3. Araç Hızı 90 km/saat	31

II

4.1.1.1.4. Araç Hızı 110 km/saat	32
4.1.1.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu	33
4.1.1.2.1. Araç Hızı 50 km/saat	33
4.1.1.2.2. Araç Hızı 70 km/saat	34
4.1.1.2.3. Araç Hızı 90 km/saat	34
4.1.1.2.4. Araç Hızı 110 km/saat	35
4.1.1.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu	36
4.1.1.3.1. Araç Hızı 50 km/saat	36
4.1.1.3.2. Araç Hızı 70 km/saat	37
4.1.1.3.3. Araç Hızı 90 km/saat	38
4.1.1.3.4. Araç Hızı 110 km/saat	38
4.1.2. 3000 kg. Ağırlığındaki Van İçin Sonuçlar	39
4.1.2.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu	39
4.1.2.1.1. Araç Hızı 50 km/saat	39
4.1.2.1.2. Araç Hızı 70 km/saat	40
4.1.2.1.3. Araç Hızı 90 km/saat	41
4.1.2.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu	42
4.1.2.2.1. Araç Hızı 50 km/saat	42
4.1.2.2.2. Araç Hızı 70 km/saat	43
4.1.2.2.3. Araç Hızı 90 km/saat	43
4.1.2.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu	44
4.1.2.3.1. Araç Hızı 50 km/saat	44
4.1.2.3.2. Araç Hızı 70 km/saat	45
4.1.2.3.3. Araç Hızı 90 km/saat	46
4.1.3. 10000 kg. Ağırlığındaki Kamyon İçin Sonuçlar	47
4.1.3.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu	47
4.1.3.1.1. Araç Hızı 50 km/saat	47
4.1.3.1.2. Araç Hızı 70 km/saat	48
4.1.3.1.3. Araç Hızı 90 km/saat	49
4.1.3.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu	49
4.1.3.2.1. Araç Hızı 50 km/saat	49
4.1.3.2.2. Araç Hızı 70 km/saat	50

III

4.1.3.2.3. Araç Hızı 90 km/saat	51
4.1.3.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu	52
4.1.3.3.1. Araç Hızı 50 km/saat	52
4.1.3.3.2. Araç Hızı 70 km/saat	53
4.1.3.3.3. Araç Hızı 90 km/saat	54
4.2. Üçgen Kesitli Kanal İçin Yapılan Analizlerle İlgili Sayısal Veriler	54
4.2.1. Araçların Stabilite Durumları	54
4.2.2. 900 kg'lık Araçların Hızlanma Şiddeti Endeksinin Hesabı	56
4.2.3. Analizlerde Elde Edilen Sayısal Verilerin Karşılaştırılması	58
4.3. Üçgen Kesitli Kanal İçin Yapılan Hassas Analizler	62
4.3.1. 900 kg. Ağırlığındaki Araç İçin Sonuçlar	62
4.3.1.1. Araç Hızı 90 km/saat	62
4.3.1.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu	62
4.3.1.1.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu	63
4.3.1.1.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu	64
4.3.2. 10000 kg. Ağırlığındaki Araç İçin Sonuçlar	65
4.3.2.1. Araç Hızı 90 km/saat	65
4.3.2.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu	65
4.3.2.1.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu	66
4.3.2.1.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu	67
4.3.3. Normal Analizler İle Yüzeyin Yüksek Sürtünmeli Olduğu Analizlerinin Karşılaştırılması	68
4.4. Trapez Kesitli Kanal İçin Analiz Sonuçları	68
4.4.1. 900 kg. Ağırlığındaki Araç İçin Sonuçlar	69
4.4.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu	69
4.4.1.1.1. Araç Hızı 50 km/saat	69
4.4.1.1.2. Araç Hızı 70 km/saat	70
4.4.1.1.3. Araç Hızı 90 km/saat	71
4.4.1.1.4. Araç Hızı 110 km/saat	72
4.4.1.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu	72
4.4.1.2.1. Araç Hızı 50 km/saat	72
4.4.1.2.2. Araç Hızı 70 km/saat	73

4.4.1.2.3. Araç Hızı 90 km/saat	74
4.4.1.2.4. Araç Hızı 110 km/saat	74
4.4.1.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu	76
4.4.1.3.1. Araç Hızı 50 km/saat	76
4.4.1.3.2. Araç Hızı 70 km/saat	77
4.4.1.3.3. Araç Hızı 90 km/saat	78
4.4.1.3.4. Araç Hızı 110 km/saat	78
4.4.2. 3000 kg. Ağırlığındaki Van İçin Sonuçlar	79
4.4.2.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu	79
4.4.2.1.1. Araç Hızı 50 km/saat	79
4.4.2.1.2. Araç Hızı 70 km/saat	80
4.4.2.1.3. Araç Hızı 90 km/saat	81
4.4.2.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu	82
4.4.2.2.1. Araç Hızı 50 km/saat	82
4.4.2.2.2. Araç Hızı 70 km/saat	83
4.4.2.2.3. Araç Hızı 90 km/saat	83
4.4.2.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu	84
4.4.2.3.1. Araç Hızı 50 km/saat	84
4.4.2.3.2. Araç Hızı 70 km/saat	85
4.4.2.3.3. Araç Hızı 90 km/saat	86
4.4.3. 10000 kg. Ağırlığındaki Kamyon İçin Sonuçlar	87
4.4.3.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu	87
4.4.3.1.1. Araç Hızı 50 km/saat	87
4.4.3.1.2. Araç Hızı 70 km/saat	88
4.4.3.1.3. Araç Hızı 90 km/saat	89
4.4.3.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu	89
4.4.3.2.1. Araç Hızı 50 km/saat	89
4.4.3.2.2. Araç Hızı 70 km/saat	90
4.4.3.2.3. Araç Hızı 90 km/saat	91
4.4.3.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu	92
4.4.3.3.1. Araç Hızı 50 km/saat	92
4.4.3.3.2. Araç Hızı 70 km/saat	93

4.4.3.3.3. Araç Hızı 90 km/saat	93
4.5. Trapez Kesitli Kanal İçin Yapılan Analizlerle İlgili Sayısal Veriler	94
4.5.1. Araçların Stabilite Durumları	94
4.5.2. 900 kg'lık Araçların Hızlanma Şiddeti Endeksinin Hesabı	96
4.5.3. Analizlerde Elde Edilen Sayısal Verilerin Karşılaştırılması	97
4.6. Trapez Kesitli Kanal İçin Yapılan Hassas Analizler	101
4.6.1. 900 kg. Ağırlığındaki Araç İçin Sonuçlar	101
4.6.1.1. Araç Hızı 90 km/saat	101
4.6.1.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu	101
4.6.1.1.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu	102
4.6.1.1.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu	103
4.6.2. 10000 kg. Ağırlığındaki Araç İçin Sonuçlar	104
4.6.2.1. Araç Hızı 90 km/saat	104
4.6.2.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu	104
4.6.2.1.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu	105
4.6.2.1.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu	106
4.6.3. Normal Analizler İle Yüzeyin Yüksek Sürtünmeli Olduğu Analizlerinin Karşılaştırılması	106
4.7. Değişik Tipteki Üçgen Kesitli Kanalların Ağır Vasıta Araç Davranışına Etkisi	107
4.7.1. Görsel Sonuçlar	107
4.7.1.1. U1 Kanal Tipi	108
4.7.1.2. U2 Kanal Tipi	109
4.7.1.3. U3 Kanal Tipi	111
4.7.1.4. U4 Kanal Tipi	112
4.7.1.5. U5 Kanal Tipi	114
4.7.1.6. U2 Kanal Tipi Ek Analizler	115
4.7.2. Analizlerde Elde Edilen Sayısal Verilerin Karşılaştırılması	117
4.8. Normal Analizler İle Yüzeyin Yüksek Sürtünmeli Olduğu Analizlerinin Karşılaştırılması	118
4.8.1. Görsel Sonuçlar	118
4.8.1.1. Y1 Kanal Tipi	118

4.8.1.2. Y2 Kanal Tipi	120
4.8.1.3. Y3 Kanal Tipi	121
4.8.1.4. Y4 Kanal Tipi	123
4.8.1.5. Y5 Kanal Tipi	124
4.8.1.6. Y2 Kanal Tipi Ek Analizler.....	126
4.8.2. Analizlerde Elde Edilen Sayısal Verilerin Karşılaştırılması.....	127
4.9. Kanal Kenarlarına Otokorkuluk Uygulanması Durumu İçin Yapılan Analiz	
Sonuçları.....	129
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	134
5.1. Sonuç	134
5.2. Öneriler	135
KAYNAKLAR.....	137
TEŞEKKÜR	139
ÖZGEÇMİŞ.....	140
EKLER	141
EK- I.....	142
EK- II	143

ÖZET

KARAYOLU YAĞMUR DRENAJ KANALLARININ ARAÇ GÜVENLİĞİNE ETKİSİNİN DİNAMİK ANALİZLER KULLANILARAK İNCELENMESİ

Bu çalışmada, özellikle duble yollarda yüzeysel drenaj için refüjde inşa edilen üçgen ve trapez kesitli kanallarının araçlar için yaratabileceği güvenlik sorunları incelenmiştir. Bu sorunların sebeplerinin net olarak ortaya konması ve gerekli çözüm önerilerinin belirlenmesi için dinamik analizler ve simülasyonlar yapılmıştır. Analizlerde kanalların geometrisi, araçların özellikleri, araçların kanala girme açısı ve hızları değişkenler olarak kullanılmıştır. Hem kanal hem de araçlar sonlu elemanlar metodu kullanılarak modeller oluşturulmuş ve LS-DYNA yardımıyla dinamik etkileşimler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, üçgen veya trapez kesitli drenaj kanallarının araçlar için güvenli olmadığı, araçların ya kanal içerisinde takla atma veya karşı şeride kontrolsüz girme riski oluşturabileceği belirlenmiştir. Bu sebeple, kanala girecek araçların güvenliğini sadece otokorkuluk kullanılarak sağlanabileceği belirlenmiş ve kullanılması önerilen otokorkuluk tip ve uygulama yerlerini içeren standartlar oluşturulmuştur.

2012, 160 sayfa

Anahtar Kelimeler: Karayolu Güvenliği, Refüj, Drenaj Kanalları, Otokorkuluk, Dinamik Analiz, Sonlu Elemanlar Metodu, Simülasyon, LS-DYNA

ABSTRACT**INVESTIGATION OF HIGHWAY DRAINAGE CHANNELS ON VEHICLE SAFETY USING DYNAMIC ANALYSES**

In this study, a safety investigation was performed for triangular and trapezoidal cross-sectional surface drainage structures built at roads. Dynamic analysis and simulations were carried out to determine reasons for safety concerns and suggest appropriate countermeasures. Drainage structures geometry, characteristics of vehicles entering these structures, vehicle approach angle and velocity were described as parameters for the analysis. Finite element models of drainage structures and vehicles were modeled using finite element method and dynamic interaction was analyzed using LS-DYNA. Based on the analysis results both triangular and trapezoidal drainage structures were determined to have safety risks of overturning and traversing for entering vehicles. For this reason guardrail use is strongly recommended. Finally, a set of guardrail standards were prepared for appropriate type and application locations to provide safety for vehicles entering the drainage structures.

2012, 160 pages

Keywords: Road Safety, Median, Ditch Structures, Guardrail, Dynamic Analysis, Finite Element Method, Simulation, LS-DYNA.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

TCK	Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
NCAC	Amerikan Ulusal Çarpışma Test Merkezi
U	Üçgen Kesitli Kanal
Y	Yamuk (Trapez) Kesitli Kanal
NS	Normal sürtünme
YS	Yüksek sürtünme
ASI	Çarpışma Şiddeti Endeksi
$a_x(t)$	Simülasyondan elde edilen maksimum x yönündeki ivme
$a_y(t)$	Simülasyondan elde edilen maksimum y yönündeki ivme
$a_z(t)$	Simülasyondan elde edilen maksimum z yönündeki ivme
km	Kilometre
kg	Kilogram

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. 2007 Yılına ait trafik kazaları istatistikleri	4
Çizelge 3.1. EN 1317-2 standardında hizmet seviyesi için yapılması gereken kabul testleri.....	10
Çizelge 3.2. Çarpışma test kriterleri	10
Çizelge 3.3. Çalışmada yapılan analizler	14
Çizelge 3.4. Üçgen Kesitli ve Yüksek Sürtünmeli Kanallar İçin Yapılan Analizler..	16
Çizelge 3.5. Trapez Kesitli ve Yüksek Sürtünmeli Kanallar İçin Yapılan Analizler .	16
Çizelge 3.6. Farklı kesitli üçgen kanallar yapılan 14 analize ait özet bilgiler.....	21
Çizelge 3.7. Farklı kesitli trapez kanallar yapılan 14 analize ait özet bilgiler	23
Çizelge 3.8. Farklı Otokorkuluk Tipleri İçin Yapılan Analizler	26
Çizelge 4.1. Üçgen kesitli kanallarda araçların davranışı	55
Çizelge 4.2. Üçgen kesitli kanallarda 900 kg'lık araçların hızlanma şiddeti endeksi	57
Çizelge 4.3. Analizlere ilişkin bazı sayısal veriler	58
Çizelge 4.4. ASI değerleri.....	68
Çizelge 4.5. Normal analizler ile yüzeyin yüksek sürtünmeli olduğu analizlerin karşılaştırılması.....	68
Çizelge 4.6. Trapez kesitli kanallarda araçların davranışı	94
Çizelge 4.7. Trapez kesitli kanallarda 900 kg'lık araçların hızlanma şiddeti endeksi	97
Çizelge 4.8. Analizlere ilişkin bazı sayısal veriler	97
Çizelge 4.9. ASI değerleri.....	107
Çizelge 4.10. ASI değerleri.....	107
Çizelge 4.11. Analizlere ilişkin sayısal veriler.....	117
Çizelge 4.12. Analizlere ilişkin sayısal veriler.....	128

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Refüjde bulunan inşa aşamasındaki üçgen kesitli drenaj kanalı	1
Şekil 1.2. Yol platformu yakınındaki üçgen kesitli yağmur drenaj kanalı ve yoldan çıkan araçlar için oluşturabileceği tehlike	2
Şekil 1.3. Drenaj kanalında meydana gelen bir kaza örneği	2
Şekil 1.4. 2m genişlik ve 3Y:1D eğimli drenaj kanalına girerek devrilen ağır tonajlı araç	3
Şekil 3.1. Refüjde bulunan üçgen kesitli drenaj kanalı	8
Şekil 3.2. Refüjde bulunan trapez kesitli drenaj kanalı	8
Şekil 3.3. 900 kg ağırlığındaki arabanın sonlu elemanlar modeli	9
Şekil 3.4. 3000 kg ağırlığındaki vanın sonlu elemanlar modeli	9
Şekil 3.5. 10000 kg ağırlığındaki kamyonun sonlu elemanlar modeli	9
Şekil 3.6. N2 ve H1 hizmet seviyesi AG04 otokorkuluğu	11
Şekil 3.7. H1 hizmet seviyesi EDSP/1.33 otokorkuluğu	11
Şekil 3.8. H2 hizmet seviyesi AG02 otokorkuluğu	11
Şekil 3.9. H3 hizmet seviyesi AG01 otokorkuluğu	12
Şekil 3.10. H4b hizmet seviyesi YMTS otokorkuluğu	12
Şekil 3.11. Üçgen kesitli drenaj kanalı ve karayolunun SolidWorks' de kısmi olarak hazırlanmış 3 boyutlu modeli	16
Şekil 3.12. LS-PrePost programı ile kanal yüzeyine mesh oluşturma aşaması	17
Şekil 3.13. Analize hazır trapez kanal kenarına yerleştirilmiş 900kg'lık araç	18
Şekil 3.14. 3000 kg'lık vanın analize hazır hali	19
Şekil 3.15. 10000 kg'lık kamyonun analize hazır hali	19
Şekil 3.16. Sonlu elemanlar ağlarının açık şekilde görünümü	20
Şekil 3.17. Analizlerde kullanılan kanal kesitleri	22
Şekil 3.18. Analizlerde kullanılan kanal kesitleri	25
Şekil 3.19. Kanal içerisine çakılan otokorkuluğa çarpan otobüs	26
Şekil 3.20. Analizlerde kullanılan otokorkuluk tip ve yerleri	28
Şekil 4.1. U-1-50-5 kodlu analizin sonuçları	30
Şekil 4.2. U-1-70-5 kodlu analizin sonuçları	31

Şekil 4.3. U-1-90-5 kodlu analizin sonuçları	32
Şekil 4.4. U-1-110-5 kodlu analizin sonuçları	33
Şekil 4.5. U-1-50-15 kodlu analizin sonuçları	33
Şekil 4.6. U-1-70-15 kodlu analizin sonuçları	34
Şekil 4.7. U-1-90-15 kodlu analizin sonuçları	35
Şekil 4.8. U-1-110-15 kodlu analizin sonuçları.....	36
Şekil 4.9. U-1-50-25 kodlu analizin sonuçları	37
Şekil 4.10. U-1-70-25 kodlu analizin sonuçları.....	37
Şekil 4.11. U-1-90-25 kodlu analizin sonuçları.....	38
Şekil 4.12. U-1-110-25 kodlu analizin sonuçları.....	39
Şekil 4.13. U-2-50-5 kodlu analizin sonuçları	40
Şekil 4.14. U-2-70-5 kodlu analizin sonuçları	41
Şekil 4.15. U-2-90-5 kodlu analizin sonuçları	42
Şekil 4.16. U-2-50-15 kodlu analizin sonuçları.....	42
Şekil 4.17. U-2-70-15 kodlu analizin sonuçları.....	43
Şekil 4.18. U-2-90-15 kodlu analizin sonuçları.....	44
Şekil 4.19. U-2-50-25 kodlu analizin sonuçları.....	45
Şekil 4.20. U-2-70-25 kodlu analizin sonuçları.....	46
Şekil 4.21. U-2-90-25 kodlu analizin sonuçları.....	47
Şekil 4.22. U-3-50-5 kodlu analizin sonuçları	48
Şekil 4.23. U-3-70-5 kodlu analizin sonuçları	48
Şekil 4.24. U-3-90-5 kodlu analizin sonuçları	49
Şekil 4.25. U-3-50-15 kodlu analizin sonuçları.....	50
Şekil 4.26. U-3-70-15 kodlu analizin sonuçları.....	51
Şekil 4.27. U-3-90-15 kodlu analizin sonuçları.....	52
Şekil 4.28. U-3-50-25 kodlu analizin sonuçları.....	53
Şekil 4.29. U-3-70-25 kodlu analizin sonuçları.....	53
Şekil 4.30. U-3-90-25 kodlu analizin sonuçları.....	54
Şekil 4.31. U-1-50-5 kodlu analizin X, Y, Z yönlerindeki ivme grafikleri.....	57
Şekil 4.32. Üç boyutlu düzlemde aracın doğrultuları	59
Şekil 4.33. Araçların zaman-sönümledikleri enerji grafikleri.....	60
Şekil 4.34. U-1-50-25 kodlu analize ait zaman-enerji grafikleri.....	61

Şekil 4.35. Araçların zaman-hız değişim grafikleri.....	62
Şekil 4.36. U-1-90-5-YS kodlu analizin sonuçları	63
Şekil 4.37. U-1-90-15-YS kodlu analizin sonuçları	64
Şekil 4.38. U-1-90-25-YS kodlu analizin sonuçları	65
Şekil 4.39. U-3-90-5-YS kodlu analizin sonuçları	66
Şekil 4.40. U-3-90-15-YS kodlu analizin sonuçları	67
Şekil 4.41. U-3-90-25-YS kodlu analizin sonuçları	67
Şekil 4.42. Y-1-50-5 kodlu analizin sonuçları	70
Şekil 4.43. Y-1-70-5 kodlu analizin sonuçları	71
Şekil 4.44. Y-1-90-5 kodlu analizin sonuçları	71
Şekil 4.45. Y-1-110-5 kodlu analizin sonuçları.....	72
Şekil 4.46. Y-1-50-15 kodlu analizin sonuçları.....	73
Şekil 4.47. Y-1-70-15 kodlu analizin sonuçları.....	74
Şekil 4.48. Y-1-90-15 kodlu analizin sonuçları.....	75
Şekil 4.49. Y-1-110-5 kodlu analizin sonuçları.....	76
Şekil 4.50. Y-1-50-25 kodlu analizin sonuçları.....	77
Şekil 4.51. Y-1-70-25 kodlu analizin sonuçları.....	77
Şekil 4.52. Y-1-90-25 kodlu analizin sonuçları.....	78
Şekil 4.53. Y-1-110-25 kodlu analizin sonuçları.....	79
Şekil 4.54. Y-2-50-5 kodlu analizin sonuçları	80
Şekil 4.55. Y-2-70-5 kodlu analizin sonuçları	81
Şekil 4.56. Y-2-90-5 kodlu analizin sonuçları	82
Şekil 4.57. Y-2-50-15 kodlu analizin sonuçları.....	82
Şekil 4.58. Y-2-70-15 kodlu analizin sonuçları.....	83
Şekil 4.59. Y-2-90-15 kodlu analizin sonuçları.....	84
Şekil 4.60. Y-2-50-25 kodlu analizin sonuçları.....	85
Şekil 4.61. Y-2-70-25 kodlu analizin sonuçları.....	86
Şekil 4.62. Y-2-90-25 kodlu analizin sonuçları.....	87
Şekil 4.63. Y-3-50-5 kodlu analizin sonuçları	88
Şekil 4.64. Y-3-70-5 kodlu analizin sonuçları	88
Şekil 4.65. Y-3-90-5 kodlu analizin sonuçları	89
Şekil 4.66. Y-3-50-15 kodlu analizin sonuçları.....	90

Şekil 4.67. Y-3-70-15 kodlu analizin sonuçları.....	91
Şekil 4.68. Y-3-90-15 kodlu analizin sonuçları.....	92
Şekil 4.69. Y-3-50-25 kodlu analizin sonuçları.....	92
Şekil 4.70. Y-3-70-25 kodlu analizin sonuçları.....	93
Şekil 4.71. Y-3-90-25 kodlu analizin sonuçları.....	94
Şekil 4.72. Y-1-50-5 kodlu analizin X, Y, Z yönlerindeki ivme grafikleri.....	97
Şekil 4.73. Araçların zaman-sönümledikleri enerji grafikleri.....	99
Şekil 4.74. Y-1-110-15 kodlu analize ait zaman-enerji grafikleri	100
Şekil 4.75. Araçların zaman-hız değişim grafikleri.....	101
Şekil 4.76. Y-1-90-5-YS kodlu analizin sonuçları	102
Şekil 4.77. Y-1-90-15-YS kodlu analizin sonuçları	103
Şekil 4.78. Y-1-90-25-YS kodlu analizin sonuçları	104
Şekil 4.79. Y-3-90-5-YS kodlu analizin sonuçları	105
Şekil 4.80. Y-3-90-15-YS kodlu analizin sonuçları	105
Şekil 4.81. Y-3-90-25-YS kodlu analizin sonuçları	106
Şekil 4.82. U1-NS kodlu analizin sonuçları.....	108
Şekil 4.83. U1-YS kodlu analizin sonuçları.....	109
Şekil 4.84. U2-NS kodlu analizin sonuçları.....	110
Şekil 4.85. U2-YS kodlu analizin sonuçları.....	111
Şekil 4.86. U3-NS kodlu analizin sonuçları.....	111
Şekil 4.87. U3-YS kodlu analizin sonuçları.....	112
Şekil 4.88. U4-NS kodlu analizin sonuçları.....	113
Şekil 4.89. U4-YS kodlu analizin sonuçları.....	114
Şekil 4.90. U5-NS kodlu analizin sonuçları.....	115
Şekil 4.91. U5-YS kodlu analizin sonuçları.....	116
Şekil 4.92. 11 No' lu analiz enkesit görüntüleri.....	116
Şekil 4.93. 12 No' lu analiz enkesit görüntüleri.....	116
Şekil 4.94. 13 No' lu analiz enkesit görüntüleri.....	116
Şekil 4.95. 14 No' lu analiz enkesit görüntüleri.....	116
Şekil 4.96. Y1-NS kodlu analizin sonuçları.....	119
Şekil 4.97. Y1-YS kodlu analizin sonuçları.....	119
Şekil 4.98. Y2-NS kodlu analizin sonuçları.....	120

Şekil 4.99. Y2-YS kodlu analizin sonuçları.....	121
Şekil 4.100. Y3-NS kodlu analizin sonuçları.....	122
Şekil 4.101. Y3-YS kodlu analizin sonuçları.....	123
Şekil 4.102. Y4-NS kodlu analizin sonuçları.....	123
Şekil 4.103. Y4-YS kodlu analizin sonuçları.....	124
Şekil 4.104. Y5-NS kodlu analizin sonuçları.....	125
Şekil 4.105. Y5-YS kodlu analizin sonuçları.....	126
Şekil 4.106. 11 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	126
Şekil 4.107. 12 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	127
Şekil 4.108. 13 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	127
Şekil 4.109. 14 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	127
Şekil 4.110. 1 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	129
Şekil 4.111. 2 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	129
Şekil 4.112. 3 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	129
Şekil 4.113. 4 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	130
Şekil 4.114. 5 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	130
Şekil 4.115. 6 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	130
Şekil 4.116. 7 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	130
Şekil 4.117. 8 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	131
Şekil 4.118. 9 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	131
Şekil 4.119. 10 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	131
Şekil 4.120. 11 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	131
Şekil 4.121. 12 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	132
Şekil 4.122. 13 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	132
Şekil 4.123. 14 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	132
Şekil 4.124. 15 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	132
Şekil 4.125. 16 No'lu analiz enkesit görüntüleri.....	133
Şekil Ek-I.1. U tipi kanal.....	138
Şekil Ek-I.2. Y tipi kanal.....	138

1.GİRİŞ

Üçgen veya trapez kesitli kanallar ülkemizde karayolu refüj ve kenar bölgelerinde sıkça kullanılan yağmur suyu drenaj yöntemlerinden biridir. Ülkemizde duble yolların yaygınlaşması sebebiyle bu tip kanalların kullanımını giderek artmaktadır. Bu kanallar, T.C. Karayolları (T.C.K.) geometrik standartlarına uygun olarak, yerinde inşaa edilmektedir (KGM, 2005). Şekil 1.1.' de ülkemizdeki yollarda yaygın olarak kullanılan üçgen kesitli drenaj kanalı gösterilmektedir. Yüzeysel suların drenajı için yapılan bu tasarımlar, maalesef çoğu zaman araçlar için ciddi güvenlik sorunları oluşturmaktadır. Karayolu platformunu herhangi bir sebeple terk ederek bu kanalların içerisine giren araçlarda oluşan denge kaybı sonucunda stabilitenin bozulması, araç kontrolünün kısmen veya tamamen kaybolmasıyla aracın karşı şeride geçmesi ve takla atmaya kadar varabilecek sorunların yaşandığı durumlar kaza raporları ve bilirkişi izlenimleriyle sabittir.



Şekil 1.1. Refüjde bulunan inşa aşamasındaki üçgen kesitli drenaj kanalı

Şekil 1.2.' de yolkenarına inşa edilmiş üçgen kesitli bir drenaj kanalına ait örnek bir resim görülmektedir. Şekil 1.3.' de ise bu tip bir drenaj kanalında meydana gelen kazaya ait haber küpürü görülmektedir.



Şekil 1.2. Yol platformu yakınındaki üçgen kesitli yağmur drenaj kanalı ve yoldan çıkan araçlar için oluşturabileceği tehlike



Şekil 1.3. Drenaj kanalında meydana gelen bir kaza örneği (Haberler, 2010)

Araçların karayolu platformundan ayrılarak, bu tür kanallara girme sebepleri arasında şoförün dikkatsizliği, alkollü araç kullanımı, ve aşırı hız gibi sürücü kusurlarının yanında, yol sathının kaygan olması, lastik patlaması ve benzeri birtakım yol ve araç kusurları da sayılabilir. Refüjlerde bulunan drenaj kanallarında meydana gelen bu tür kazalarda, araçların refüjü aşarak kontrolsüz bir şekilde karşı şeritten gelen araçlara çarpma riski de bulunmaktadır. Yolu terk ederek kanala giren ve devrilen bir araca ait resim Şekil 1.4.’ de gösterilmektedir.



Şekil 1.4. 2m genişlik ve 3Y:1D eğimli drenaj kanalına girerek devrilen ağır tonajlı araç

1990 yılında Türkiye'de sadece 3 milyon 750 bin taşıt bulunduğu halde, bir yılda trafik kazalarında ölenlerin sayısı 6 bin 300'ü geçmiştir (KGYK, 2012). 2000 yılında araç sayısı 8 milyon 300 bine çıkarken ölü sayısı 5 bin 500'lere gerilemiş, 2011'de ise araç sayısı 16 milyona ulaşmış ve trafik kazalarındaki ölü sayısı da 3 bin 800'e gerilemiştir (KGYK, 2012). Araç sayısındaki bu artışa rağmen can kayıplarının azalmasında insan ve araç faktörünün yanı sıra yol standartlarının da etkisi büyüktür. Bölünmüş yolların 20 bin kilometreyi geçmesiyle birlikte çoğu ölümlü kazalar ile sonuçlanan hatalı sollama ile kafa kafaya çarpışma durumunun tüm kazalardaki payı yüzdesel olarak azalmıştır. Bölünmüş yollarda hız limitlerinin artmasıyla araçların yoldan çıkması durumu en tehlikeli durumlardan biri haline gelmiştir.

Çizelge 1.1.' de ülkemizde 2007 yılında meydana gelen kaza istatistikleri verilmektedir (TUİK, 2008). Detaylı inceleme yapıldığında, yolkenarında meydana gelen kaza sayısının 13.970 gibi yüksek bir seviyede olduğu görülmektedir. Bu kazalarda meydana gelen can ve mal kayıplarının bir kısmına refüj veya banket drenaj kanallarının sebep olduğu tahmin edilmektedir.

Çizelge 1.1. 2007 Yılına ait trafik kazaları istatistikleri (A:Toplam kaza, B:Ölümlü kaza, Yaralanmalı kaza, Ölü sayısı, Yaralı sayısı) (TUİK, 2008)

Kazanın Oluş Şekli	Kaza			Sürücü		Yolcu		Yaya	
	A	B	C	D	E	D	E	D	E
Toplam	86 947	2 681	84 266	1 356	58 527	1 421	73 067	685	18 220
Karşılıklı Çarpışma	6 489	443	6 046	351	6 450	431	7 704	3	43
Arkadan Çarpma	9 946	292	9 654	167	7 358	179	11 310	13	227
Yandan Çarpma	27 053	397	26 656	282	22 950	258	28 823	8	384
Duran Araca çarpma	2 340	58	2 282	32	1 552	33	1 497	10	570
Sabit Cisme Çarpma	6 228	163	6 055	114	4 711	89	5 359	-	26
Yayaya Çarpma	16 614	634	15 980	2	1 087	2	355	651	16 949
Hayvana Çarpma	308	3	305	2	232	1	304	-	3
Devrilme	3 662	67	3 595	47	3 076	35	2 256	-	3
Yoldan Çıkma	13 970	614	13 356	355	11 054	387	19 040	-	4
Araçtan Düşen İnsan	311	9	302	3	48	6	294	-	7
Araçtan Düşen Cisim	26	1	25	1	9	-	25	-	4

Bu çalışmada, yollarda yüzeysel drenaj için inşa edilen üçgen ve trapez kesitli kanallarının araçlar için yaratabileceği güvenlik sorunları incelenerek, sebeplerin net olarak ortaya konması ve gerekli çözüm önerilerinin belirlenmesi için dinamik analizler ve simülasyonlar yapılmıştır. Bahsedilen dinamik analizler ve simülasyonlar, dinamik etkileşimi başarıyla modelleyen sonlu elemanlar programı LS-DYNA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kanalın geometrisi, kanala giren araçların özellikleri, araçların kanala girme açısı ve hızları simülasyon değişkenleri olarak programa tanıtılmıştır. Hem kanal hem de araçlar sonlu elemanlar metodu kullanılarak modellenmiş ve LS-DYNA yardımıyla dinamik etkileşim analizleri yapılmıştır. Analizler sonrasında ortaya çıkan sonuçlar ışığında üçgen veya trapez kesitli drenaj kanallarının araçlar için güvenli olmadığı belirlenmiştir. Bu sebeple, kanala girecek araçların güvenliğini sağlamaya yönelik kullanılacak olan otokorkuluk tip ve uygulama yerlerini içeren standartlar oluşturulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Üç boyutlu sonlu elemanlar modelleri kullanılarak drenaj kanallarının araç stabilitesine olan etkisinin incelenmesi konusu ülkemizde daha önce ele alınmamış bir konudur. Bununla beraber aşağıda kısaca bahsedilen çalışmalar LS-DYNA programı kullanılarak ABD’de yapılmış benzer analizlere aittir. Literatürde bu çalışmaya benzer bir çalışmanın bulunmaması sunulan bu çalışmanın özgün değerini ve dolayısıyla önemini artırmaktadır.

Atahan (2003) değişken eğime sahip yüzeyler üzerinde uygulanan otokorkulukların araç çarpması durumundaki davranışını incelemiştir. Çalışma bir bakıma şarmpol olarak isimlendirilebilecek şev eğimlerinin üzerinde bulunan araçlara olan etkisini konu almıştır. Çalışmada yatay:düsey eğimler olarak 1:1, 2:1, 4:1, 6:1, 8:1 ve 10:1 durumları modellenmiş ve LS-DYNA program kullanılarak araç çarpması esnasında aracın stabilitesi ve otokorkuluk sisteminin yeterliliği irdelenmiştir. Sonuçlar 4:1 ve daha yataya yakın şevler üzerindeki araçların otokorkuluk ile daha güvenli bir şekilde etkileşime girebileceğini göstermiştir. Benzer bir çalışma da Marzougui ve ark. (2007) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada amaç halatlı otokorkulukların refüjlerde kullanımının incelenmesidir. Çalışmada LS-DYNA programı kullanılarak değişik geometriye sahip halatlı otokorkuluklar, araçlar ve yüzey eğimleri değişkenler olarak çalışılmıştır. Araç güvenliğe etkiler incelenmiş ve halatlı otokorkuluklar için en uygun konfigürasyonlar belirlenmeye çalışılmıştır. Polivka ve ark. (2001) ise 2:1 yatay:düsey eğimi üzerine kurulan bir otokorkuluk düzeneğine araç çarptırarak şev eğiminin araç stabilitesine etkisini incelemeye çalışmıştır. Gerçek çarpışma testi içeren bu çalışma sonucunda otokorkuluk sistemi çarpan aracı güvenli bir şekilde durdurabilmiştir. Reid (2004) LS-DYNA programının karayolu güvenliğine yaptığı olumlu etkileri göstermek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmasında LS-DYNA programının ne kadar güçlü bir program olduğunu ve dinamik etkileşimleri ne kadar doğru olarak tahmin edebildiğini örnekler ile göstermiştir. Refüjlerdeki eğimin araç davranışına olan etkisi ve buna bağlı olarak beton bariyer yer seçimi ile ilgili bir çalışma Sheikh ve Bligh (2006) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada LS-DYNA programı kullanılarak değişik eğimler için beton bariyerlerin yer seçimi ile ilgili bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Texas Karayolları internetten yayınladığı sayfasında drenaj kanallarının

trafiğe herhangi bir güvenlik problemi oluşturmaması için yapılması gerekenleri açıkça belirtmiştir (Texas Karayolları, 2007). Bu çalışma Amerika ve diğer bir çok ülke için geçerli minimum güvenlik standartları içermektedir.

Atahan ayrıca LS-DYNA kullanarak birçok karayolu güvenlik yapısının yapısal yeterlilik analizlerini yapmıştır (Atahan, 2009; Bonin ve ark., 2009; Atahan ve ark., 2008; Atahan ve ark., 2006). Bu çalışmalarda incelenen yapılar arasından geçiş otokorkulukları, köprü bariyerleri, enerji yutucu çarpışma uçları ve otokorkuluk dikmeleri bulunmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

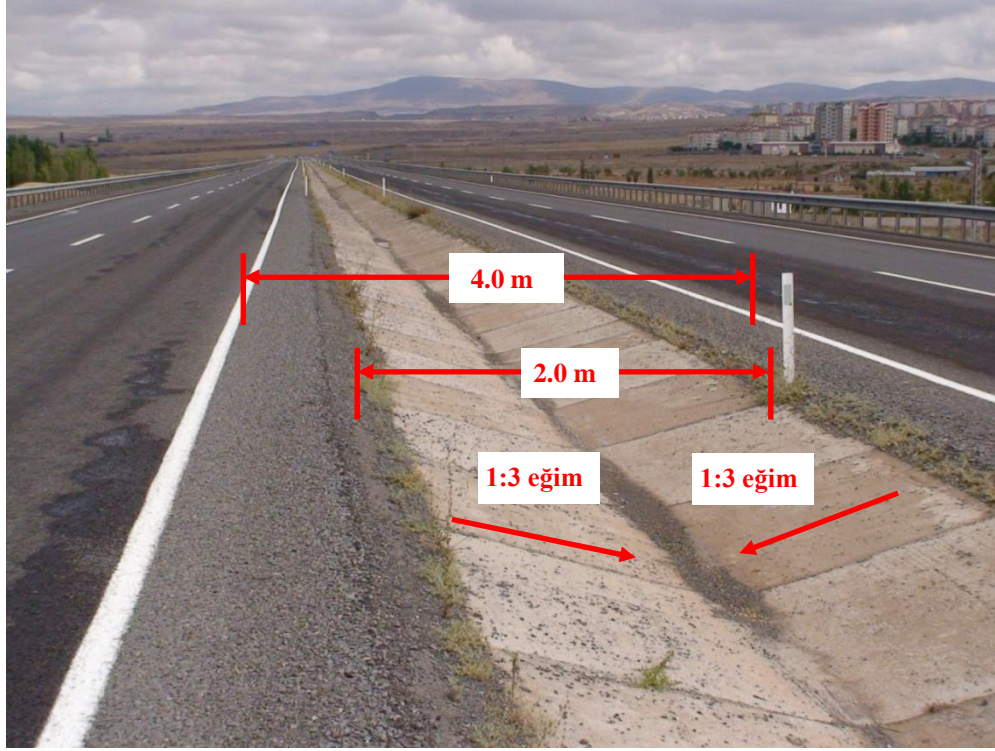
3.1. Materyal

3.1.1. Çalışmada Kullanılan Bilgisayar Programları

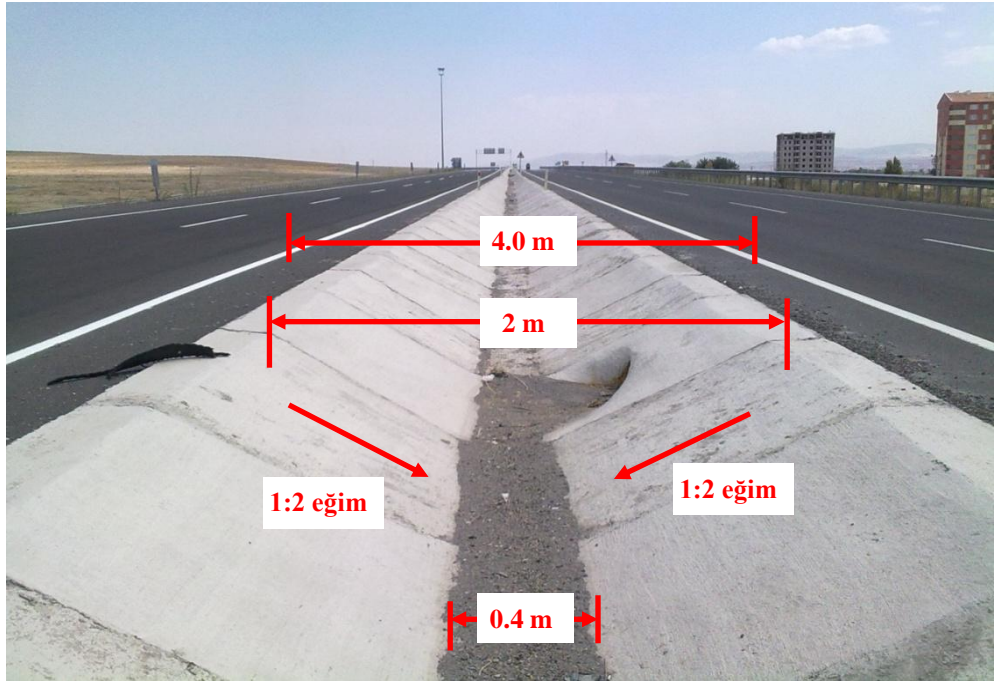
Simülasyon çalışmasının başlatılabilmesi için kanal ve araç modellerinin oluşturularak istenilen pozisyona getirilmesi gerekmektedir. Kanal ve aracın üzerinde gideceği karayolu bölümünün modellenmesinde üç boyutlu katı modelleme programı SolidWorks kullanılmıştır (SolidWorks, 2010). Modelleme çalışması tamamlandıktan sonra dinamik etkileşim analizleri LS-DYNA programı kullanılarak yapılmıştır. LS-DYNA nümerik bir analiz yöntemi olduğundan analiz yapabilmesi için data dosyasının hazırlanması gerekmektedir (LSTC, 2011). Data dosyası LS-DYNA' nın yardımcı programı olan LS-PrePost kullanılarak hazırlanmıştır. Ayrıca analiz sonuçları da LS-PrePost tarafından takip edilebilmektedir. LS-PrePost programı ile yapılan analiz sonunda elde edilen simülasyon izlenebilmekte ve her türlü sayısal sonuçlar alınabilmektedir.

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Kanal Tipleri

Çalışmada temel olarak üçgen ve trapez kesitli olmak üzere 2 farklı kanal tipi kullanılmıştır. Bu kanallara ait görüntüler Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.' de verilmiştir. Bu kanallara ait ayrıntılı enkesit çizimleri EK-1' de verilmiştir.



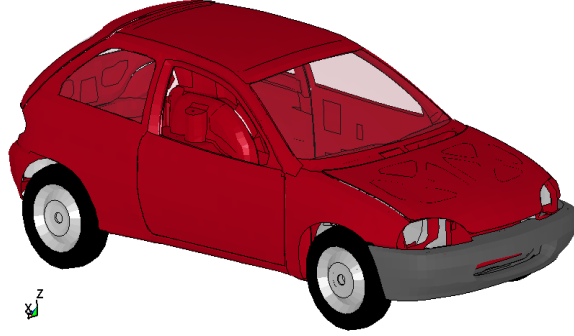
Şekil 3.1. Refüjde bulunan üçgen kesitli drenaj kanalı



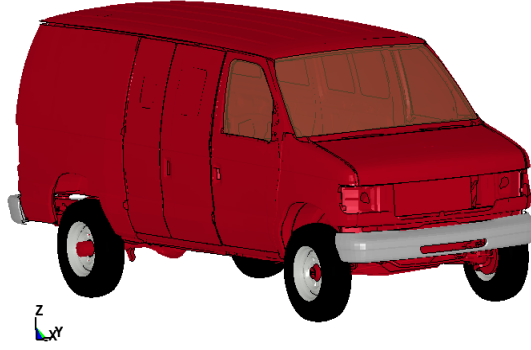
Şekil 3.2. Refüjde bulunan trapez kesitli drenaj kanalı

3.1.3. Çalışmada Kullanılan Araç Modelleri

Çalışmanın oldukça geniş bir araç grubunu kapsamaması için ağırlık merkezi yere yakın 900 kg'lık hafif, ağırlık merkezi biraz daha yüksek 3.000 kg'lık van ve ağırlık merkezi oldukça yüksek 10.000 kg'lık ağır araçlar kullanılacaktır. Çalışmada kullanılması düşünülen araç modellerine ait resimler Şekil 3.3., 3.4. ve 3.5.' de gösterilmektedir (NCAC, 2008).



Şekil 3.3. 900 kg ağırlığındaki arabanın sonlu elemanlar modeli (NCAC, 2008)



Şekil 3.4. 3000 kg ağırlığındaki vanın sonlu elemanlar modeli (NCAC, 2008)



Şekil 3.5. 10000 kg ağırlığındaki kamyonun sonlu elemanlar modeli (NCAC, 2008)

3.1.4. Kanal Kenarlarında Uygulanan Otokorkuluk Tipleri

Yapılan çalışmalar sonucunda drenaj kanallarının araç güvenliği için risk oluşturduğu ve yeterli korumanın sağlanabilmesi için otokorkuluk kullanımının zorunlu olduğu belirlenmiştir. Kanalların araç stabilitesine etkisinin yanında bu çalışmada değişik koruma seviyesine sahip 3 değişik otokorkuluk tipinin (AG04-N2, AG04-H1, EDSP/1.33) uygulama yerinin araç davranışına etkisi de incelenmiştir. Avrupa çarpışma test standardı EN 1317-2' ye göre otokorkuluk sisteminin hizmet seviyesini belirlemek için yapılması gereken çarpışma testleri Tablo 3.1' de, bu testlerin detayları Tablo 3.2' de verilmiştir (CEN, 1998). Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2. otokorkuluk hizmet seviyelerinin nasıl belirlendiğinin anlaşılması amacıyla verilmiştir.

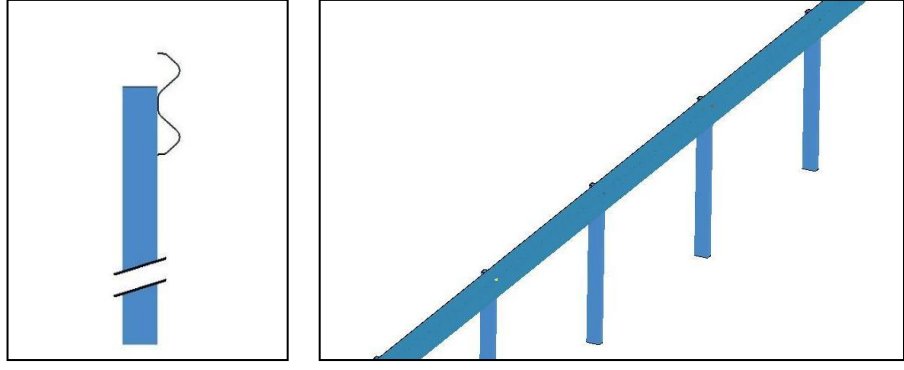
Çizelge 3.1. EN 1317-2 standardında hizmet seviyesi için yapılması gereken kabul testleri

Hizmet Seviyesi		Kabul Testi
Normal Hizmet	N2	TB32 ve TB11
Ağır Hizmet	H1	TB42 ve TB11
	H2	TB51 ve TB11
	H3	TB61 ve TB11
Çok Ağır Hizmet	H4b	TB81 ve TB11

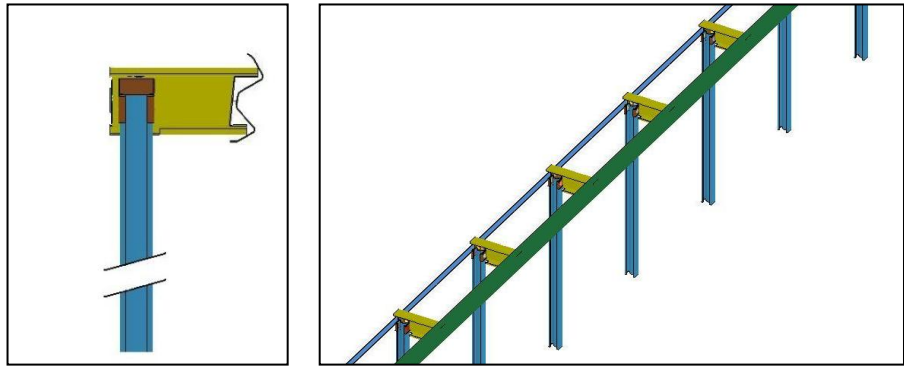
Çizelge 3.2. Çarpışma test kriterleri

Test	Araç Hızı(km/st)	Çarpma Açısı(derece)	Araç Ağırlığı (kg)	Araç Tipi
TB11	100	20	900	Araba
TB32	110	20	1500	Araba
TB42	70	15	10000	Kamyon
TB51	70	20	13000	Otobüs
TB61	80	20	16000	Kamyon
TB81	65	20	38000	Tır

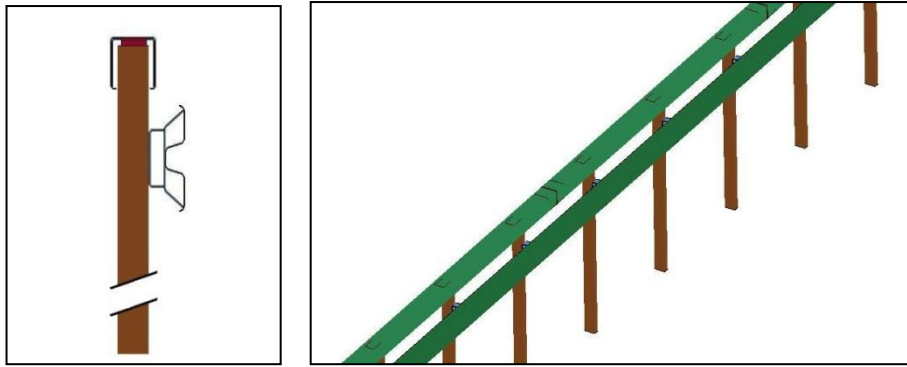
Çeşitli uygulanma durumları için incelenecek 5 farklı tipteki otokorkuluk sistemi aşağıda verilmiştir.



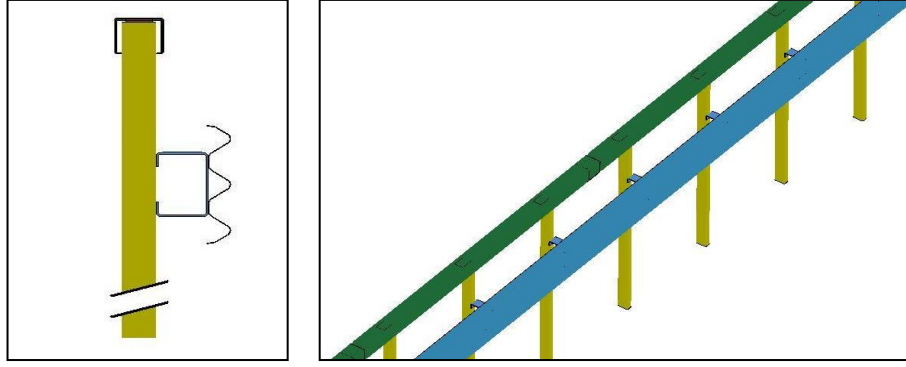
Şekil 3.6. N2 ve H1 hizmet seviyesi AG04 otokorkuluğu



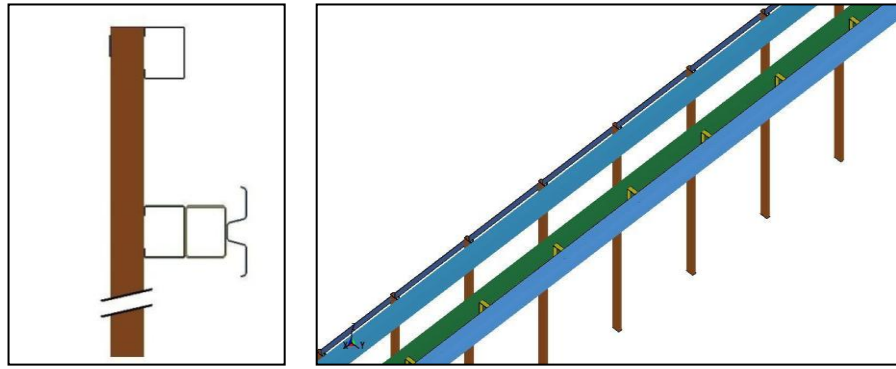
Şekil 3.7. H1 hizmet seviyesi EDSP/1.33 otokorkuluğu



Şekil 3.8. H2 hizmet seviyesi AG02 otokorkuluğu



Şekil 3.9. H3 hizmet seviyesi AG01 otokorkuluğu



Şekil 3.10. H4b hizmet seviyesi YMTS otokorkuluğu

3.2. Yöntem

3.2.1. Üçgen ve Trapez Kesitli Kanallar İçin Yapılan Analizler

Bu çalışmada, değişik boyut, ağırlık ve hızdaki araçların drenaj kanallarına girmesi durumunda, araçlarda oluşabilecek riskler incelenerek gerçekçi ve somut bilgilere ulaşılması hedeflenmiştir. Bu sebeple çalışmada üçgen ve trapez kesitli kanallar için toplam olarak 60 simülasyon çalışması yapılmıştır. Analizlerde bir adet üçgen ve bir adet trapez kesitli kanal kullanılmıştır. Yapılan analizler liste halinde Çizelge 3.3.' de, analizlerde kullanılan kanal geometrileri ise Ek-1' de verilmiştir. Bu kesitler Türkiye'de yaygın olarak kullanılma durumuna göre seçilmiştir. Üçgen kesitli kanallar için yapılan analizlerde U kodlu kanal kesiti, trapez kesitli kanallarda yapılan analizlerde ise Y kodlu kanal kesiti kullanılmıştır. Çalışmanın oldukça geniş bir araç grubunu kapsaması için ağırlık merkezi yere yakın 900 kg'lık hafif, ağırlık merkezi

biraz daha yüksek 3.000 kg'lık van ve ağırlık merkezi oldukça yüksek 10.000 kg'lık ağır araçlar kullanılmıştır. Araç hızlarını temsilen düşük (50 km/sa), orta (70 km/sa) ve yüksek (90 km/sa) değerleri kullanılmıştır. Böylece her üç durum için de dinamik analizlere ait çarpışma verileri toplamak mümkün olmuştur. Yoldan çıkan araçların kanala giriş açıları olarak dar (5°) orta (15°) ve geniş (25°) değerleri kullanılmıştır.

Çalışma boyunca yapılan birçok analizde karışıklığın önüne geçmek için bir kodlama tekniği geliştirilmiştir. Böylelikle gerek çalışma sırasında, gerekse çalışma sonunda sonuçlar değerlendirilirken zorluk çekilmesinin önüne geçilmiştir. Bu kodlama sisteminde değişkenler: (1) kanal geometrisi, (2) araç tipi, (3) araç hızı ve (4) aracın kanala giriş açısıdır. Bu tekniğe göre yapılan sınıflandırmalar ise şu şekildedir:

1. Kanal Geometrisi:

U: Üçgen Kesitli Kanal

Y: Yamuk (Trapez) Kesitli Kanal

2. Araç Tipleri:

1: 900 kg ağırlığındaki araba

2: 3000 kg ağırlığındaki van

3: 10000 kg ağırlığındaki kamyon

3. Araç Hızları:

50: 50 km/sa

70: 70 km/sa

90: 90 km/sa

110: 110 km/sa

4. Araçların Kanala Giriş Açıları:

5: 5°

15: 15°

25: 25°

Projede Kullanım Şekli → Kanal Geometrisi/Araç Tipi/Araç Hızı/Aracın Kanala Giriş Açısı

Kapalı Hali : U/3/70/15

Açık Hali : Üçgen kesitli kanala, 3 no'lu (10000 kg ağırlığındaki) araç, 70 km/sa hızla ve 15° açıyla girmektedir.

Çizelge 3.3. Çalışmada yapılan analizler

Kanal Tipi	Araç Tipi	Hız (km/saat)	Açı (derece)	
U	1	50	5	
		50	15	
		50	25	
		70	5	
		70	15	
		70	25	
		90	5	
		90	15	
		90	25	
		110	5	
		110	15	
		110	25	
	2	50	5	
		50	15	
		50	25	
		70	5	
		70	15	
		70	25	
		90	5	
		90	15	
		90	5	
		3	50	5
			50	15
			50	25
	70		5	
	70		15	
	70		25	
	90		5	
	90		15	
	90		25	
Y	1	50	5	
		50	15	
		50	25	
		70	5	
		70	15	
		70	25	
		90	5	
		90	15	
		90	25	
		110	5	

Çizelge 3.3. (Devam) Çalışmada yapılan analizler

Y	1	110	15
		110	25
	2	50	5
		50	15
		50	25
		70	5
		70	15
		70	25
		90	5
		90	15
		90	25
		3	50
	50		15
	50		25
	70		5
	70		15
	70		25
	90		5
	90		15
	90	25	

3.2.2. Üçgen ve Trapez Kesitli Kanallarda Yüksek Sürtünme Durumu

Üçgen ve trapez kesitli kanallar için yapılan analizlerin tamamlanmasının ardından kanal yüzeyindeki sürtünmenin yüksek olduğu ek analizler yapılmıştır. Bu hassas analizleri yapmaktaki amaç pürüzlü yüzeylerde aracın kanala girmesi durumunda aracın stabilitesini incelemek ve bir önceki durumla kıyaslamaktır. Bu kapsamda üçgen kesitli kanallar için Çizelge 3.4.' de trapez kesitli kanallar için Çizelge 3.5.' de verilen toplam 12 analiz yapılmıştır. Yüksek sürtünme durumları için lastik ile yüzey arasındaki statik ve dinamik sürtünme katsayıları sırasıyla 0.9 ve 0.7 olarak tanımlanmıştır (İlçalı, 2010).

Çizelge 3.4. Üçgen Kesitli ve Yüksek Sürtünmeli Kanallar İçin Yapılan Analizler

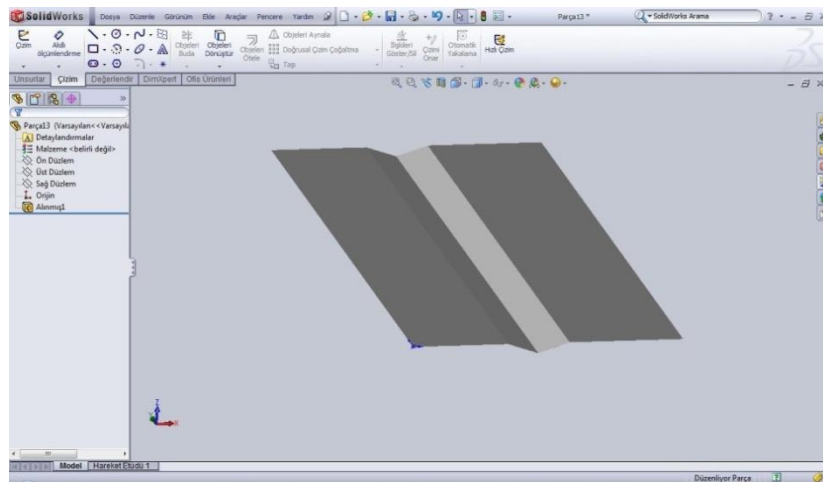
Kanal Tipi	Araç Tipi	Hız (km/saat)	Açı (derece)	Durum
U	1	90	5	Yüksek Sürtünme (YS)
			15	
			25	
	3	90	5	
			15	
			25	

Çizelge 3.5. Trapez Kesitli ve Yüksek Sürtünmeli Kanallar İçin Yapılan Analizler

Kanal Tipi	Araç Tipi	Hız (km/saat)	Açı (derece)	Durum
Y	1	90	5	Yüksek Sürtünme (YS)
			15	
			25	
	3	90	5	
			15	
			25	

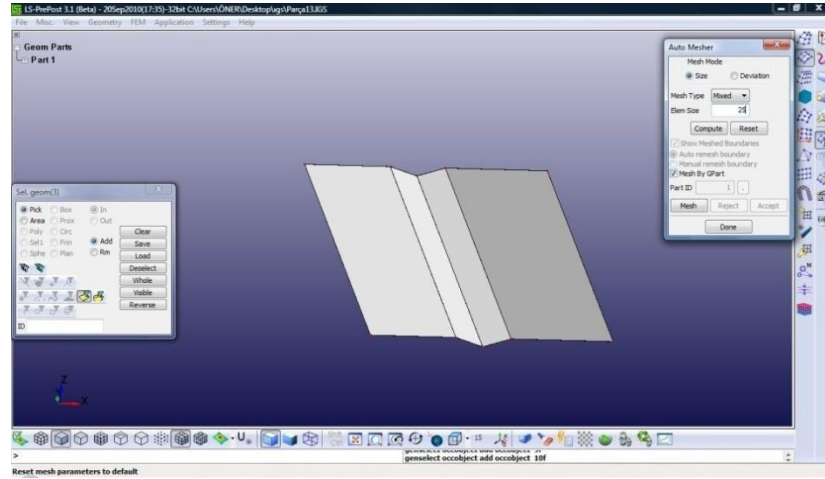
3.2.3. Sonlu Elemanlar Modelleme Çalışması

Kanal, araç ve aracın üzerinde gideceği karayolu bölümünün modellenmesinde üç boyutlu katı modelleme programı SolidWorks kullanılmıştır (SolidWorks, 2010). Proje çalışmasında kullanılan 1:2 kenar eğimli ve 2 metre genişliğindeki üçgen kesitli kanala ait SolidWorks modeli Şekil 3.11.' de görülmektedir.



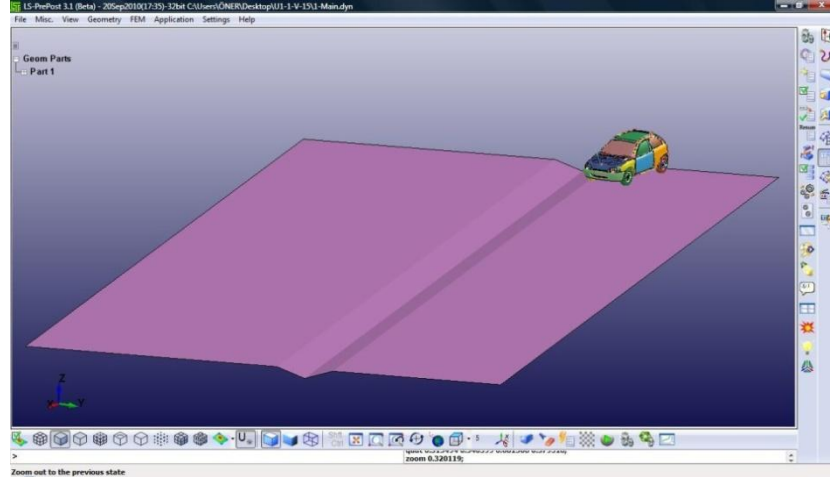
Şekil 3.11. Üçgen kesitli drenaj kanalı ve karayolunun SolidWorks' de kısmi olarak hazırlanmış 3 boyutlu modeli

Kanal geometrisine uygun olarak SolidWorks'ta hazırlanan 3 boyutlu model IGES (.igs) formatında kaydedilerek modelleme başlatılmaktadır. Model LS-PrePost programında açılarak kanal yüzeyine sonlu eleman ağı (mesh) oluşturulur. Oluşturulan mesh ağında elemanlar 25 mm x 25 mm lik kare olarak seçilmiştir. Bu boyut hesapların doğru olarak yapılması ve araç lastiği ile kanal yüzeyi arasındaki etkileşimi hassas şekilde yapabilmek için seçilmiştir. Mesh oluşturma işlemi Şekil 3.12.' de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. LS-PrePost programı ile kanal yüzeyine mesh oluşturma aşaması

Analizin tipine göre; hız, aracın kanala giriş açısı, kanal malzeme özellikleri, kanal malzeme tipi (kabuk), analiz süresi, resim alma zaman aralığı, kontaklar vb. değişkenler LS-DYNA girdi dosyasına tanımlanır. Yuvarlanma yüzeyi ile araç lastiği ve diğer parçaların birbirine temas edecekleri düşünüldüğünden yüzey-lastik arasında ve yüzey-metal aksam arasında uygun statik ve dinamik sürtünme değerleri tanımlanmıştır. Analize hazır bir data dosyasının LS-PrePost programında açılması ile Şekil 3.13.' deki görüntü elde edilmektedir. Trapez kesitli kanallar için de aynı yöntem izlenmektedir. Çalışmada kullanılan örnek bir LS-DYNA girdi dosyası Ek-2' de gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Analize hazır trapez kanal kenarına yerleştirilmiş 900kg'lık araç

3.2.4. LS-DYNA Data Dosyası Hakkında Açıklamalar

Ek-2'de gösterilen data dosyası analiz yapılmaya hazır bir data dosyası değildir. Data dosyasının formatını göstermek için hazırlanmıştır. Temel olarak bu data dosyası iki farklı data dosyasında oluşturulan araç ve kanal modellerinin aynı ortamda açılmasını sağlayan bir dosyadır. Ayrıca analiz süresi, resim alma aralığı, analize ait sayısal verilerin kaydedilme zaman aralıkları, yerçekimi ve kontaklar da bu dosyada tanımlanmıştır. Bu dosyada bulunan bazı komutlar ve açıklamaları aşağıda verilmiştir:

*TITLE: Dosyanın ismi

*INCLUDE: Dışarıdan çağrılacak dosyanın ismi

*CONTROL_TERMINATION: Analizin yapılacağı süre

*DATABASE_BINARY_D3PLOT: Resim alma zaman aralığı

*DATABASE_GLSTAT, *DATABASE_MATSUM, *DATABASE_RCFORC,

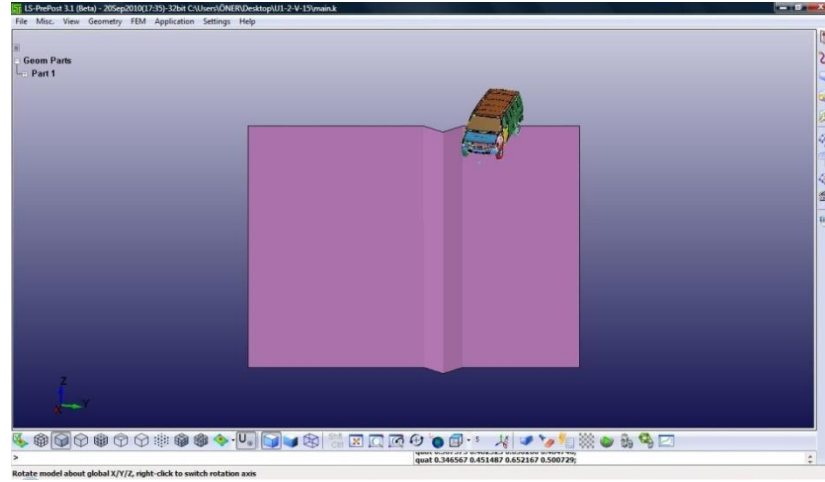
*DATABASE_HISTORY_NODE : Analize ait sayısal sonuçlar (enerji, ivme ,vb.)

*DEFINE_CURVE, *LOAD_BODY_Z: Yerçekimi

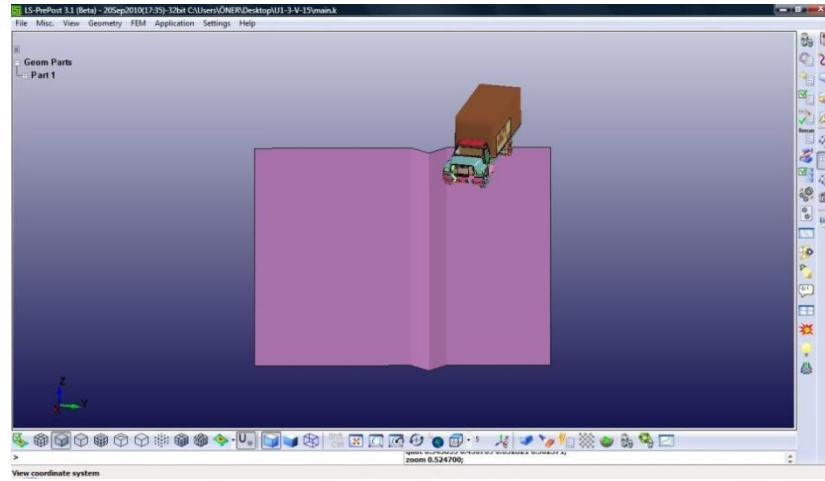
*CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE,

*CONTACT_AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE: Çarpışma anında parçaların birbirini tanımasını sağlar

Daha önce bahsedildiği gibi çalışmanın oldukça geniş bir araç grubunu kapsamaması için 900 kg'lık hafif, 3000 kg'lık van ve 10000 kg'lık ağır araçlar kullanılacaktır. Bu araçlar dikkatli bir şekilde düzenlenmiş ve analize hazır hale getirilmiştir. 900, 3000 ve 10000 kg'lık araçların analize hazır halleri Şekil 3.13.-3.14.-3.15.' de gösterilmiştir.

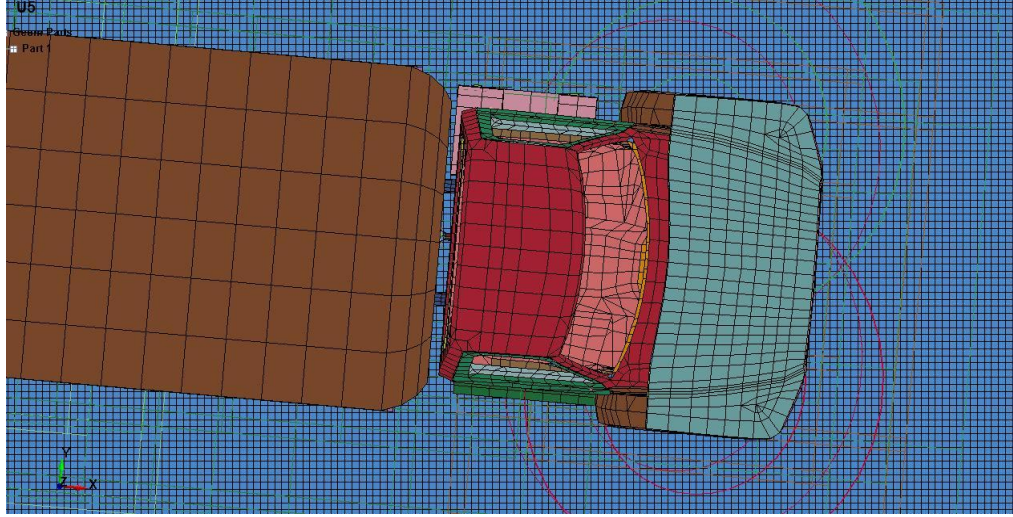


Şekil 3.14. 3000 kg'lık vanın analize hazır hali



Şekil 3.15. 10000 kg'lık kamyonun analize hazır hali

Şekil 3.13.-3.14.-3.15.' de net görüntü elde edebilmek için sonlu elemanlar ağı görünümünü kapatılmıştır. Şekil 3.16.' da yakın görüntü alınarak yüzey ve aracın eleman ağları gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Sonlu elemanlar ağlarının açık şekilde görünümü

3.2.5. Üçgen Kesitli Kanallar İçin Yapılan Ek Analizler

Üçgen kesitli kanallar için yapılan analizlere ek olarak aynı tip aracın, aynı hız ve açıyla farklı tipteki kanallara girmesi durumunda araçta oluşabilecek riskler incelenmiş ve sonuç olarak gerçekçi ve somut bilgilere ulaşılmaya çalışılmıştır. Üçgen kesitli kanallar için yapılan ek analizlerde Şekil 3.5.' de gösterilen 10 ton ağırlığındaki ağır vasıta kullanılmıştır. Araç 5 değişik tipteki üçgen kesitli drenaj kanalına 5° açıyla ve 90 km/sa hızla girmektedir. Çalışmada güvenliği incelenen 5 kanal tipi T.C.K. Genel Müdürlüğü standartlarından alınmıştır (TCK, 2011). Bu aşamada toplam 14 analiz yapılmıştır. Yoldan çıkan araçların kanala giriş açıları olarak 5° nin seçilmesi gerçekte meydana gelen kazalardaki açılarla uyumlu olması ve bu açının araçların takla atma riskini artırmasından dolayıdır. Çalışmada hem pürüzsüz hem de pürüzlü yüzeyler kullanılmıştır. Her iki durumun kullanılma sebebi karayollarındaki gerçek şartları analiz edebilmektir.

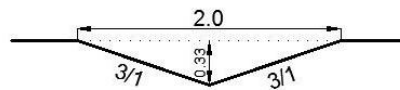
Çizelge 3.6.' da gösterildiği gibi ilk 10 analizde yol ve kanal yüzeylerinin aynı pürüzlülüğe sahip olduğu varsayılmış ve araç lastiği ile kanal ve yol yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayıları için programa aynı değerler tanımlanmıştır. İlk 10 analizde kullanılan bu değerler literatürdeki benzer bir çalışmadan alınmıştır (Consolazio ve ark., 2003). Bununla birlikte, yol kaplaması için asfalt, kanal yapımında ise beton kullanıldığı durumlarda, beton ile asfaltın yüzey özellikleri farklı

olabilmektedir. Ayrıca kaplamanın yapım yöntemi, yağış durumu ve zamanla oluşacak aşınmalar da sürtünme değerlerini değiştirebilmektedir (Karpuz, 2008). Bu durumları da inceleyebilmek için araç lastiği ile kanal ve yol yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayılarının farklı olduğu 4 analiz daha yapılmıştır. Çizelge 3.6.' da 11-14 arasında gösterilen bu analizlerde U2 kodlu, 3 metre genişliğe sahip ve 1/3 şev eğimi olan kanal kesiti kullanılmıştır. Bu kanal tipi en çok kullanılan kanal olduğundan seçilmiştir. Tanımlanan sürtünme katsayıları daha önce yapılmış bir çalışmadan alınmıştır (İlcalı, 2010).

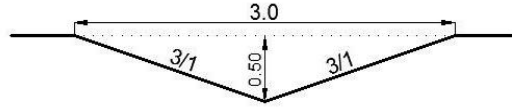
Analizlerde kullanılmış olan kanal geometrileri Şekil 3.17.' de verilmiştir (KGM, 2011). Analizlerde karışıklığın önüne geçmek için bir kodlama tekniği geliştirilmiştir. Bu kodlama sistemindeki değişkenler; kanal geometrisi ve pürüzlülüktür. Kanallar U1 den U5'e kadar isimlendirilirken sürtünmenin normal veya yüksek olması NS ve YS ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Farklı kesitli üçgen kanallar yapılan 14 analize ait özet bilgiler

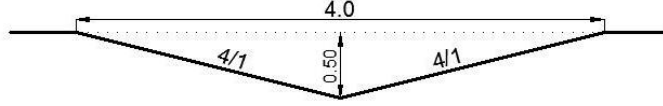
Analiz No	Kanal Kodu	Sürtünme Kodu	Sürtünme Değeri			
			lastik-yol yüzeyi		lastik-kanal yüzeyi	
			Statik	Dinamik	Statik	Dinamik
1	U1	NS	0.25	0.15	0.25	0.15
2		YS	0.9	0.7	0.9	0.7
3	U2	NS	0.25	0.15	0.25	0.15
4		YS	0.9	0.7	0.9	0.7
5	U3	NS	0.25	0.15	0.25	0.15
6		YS	0.9	0.7	0.9	0.7
7	U4	NS	0.25	0.15	0.25	0.15
8		YS	0.9	0.7	0.9	0.7
9	U5	NS	0.25	0.15	0.25	0.15
10		YS	0.9	0.7	0.9	0.7
11	U2	--	0.25	0.15	0.55	0.45
12	U2	--	0.25	0.15	0.9	0.7
13	U2	--	0.9	0.7	0.25	0.15
14	U2	--	0.9	0.7	0.55	0.45



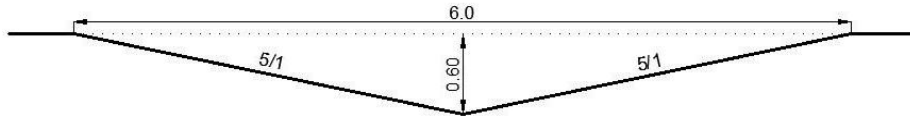
(a) U1 kodlu kanal enkesiti



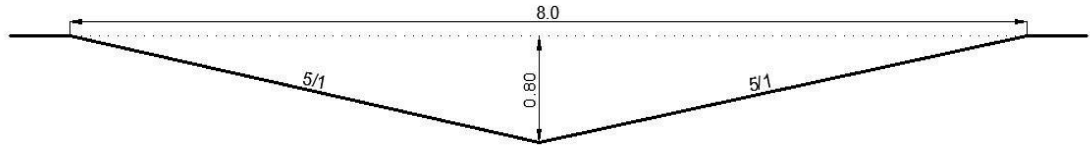
(b) U2 kodlu kanal enkesiti



(c) U3 kodlu kanal enkesiti



(d) U4 kodlu kanal enkesiti



(e) U5 kodlu kanal enkesiti

Şekil 3.17. Analizlerde kullanılan kanal kesitleri (TCK, 2011)

3.2.6. Trapez Kesitli Kanallar İçin Yapılan Ek Analizler

Trapez kesitli kanallar için yapılan analizlere ek olarak aynı tip aracın, aynı hız ve açıyla farklı tipteki kanallara girmesi durumunda araçta oluşabilecek riskler incelenmiş ve sonuç olarak gerçekçi ve somut bilgilere ulaşılmaya çalışılmıştır. Trapez kesitli kanallar için yapılan ek analizlerde Şekil 3.5.' de gösterilen 10 ton ağırlığındaki ağır vasıta kullanılmıştır. Araç 5 değişik tipteki üçgen kesitli drenaj kanalına 5° açıyla ve 90 km/sa hızla girmektedir. Çalışmada güvenliği incelenen 5 kanal tipi sık kullanılma durumlarına göre seçilmiştir. Bu aşamada toplam 14 analiz yapılmıştır. Yoldan çıkan araçların kanala giriş açıları olarak 5° nin seçilmesi gerçekte meydana gelen kazalardaki açılarla uyumlu olması ve bu açının araçların takla atma riskini artırmasından dolayıdır. Çalışmada hem pürüzsüz hem de pürüzlü yüzeyler

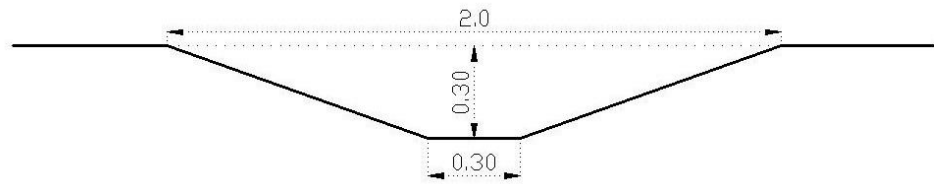
kullanılmıştır. Her iki durumun kullanılma sebebi karayollarındaki gerçek şartları analiz edebilmektir.

Çizelge 3.7.' de gösterildiği gibi ilk 10 analizde yol ve kanal yüzeylerinin aynı pürüzlülüğe sahip olduğu varsayılmış ve araç lastiği ile kanal ve yol yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayıları için programa aynı değerler tanımlanmıştır. Bununla birlikte, yol kaplaması için asfalt, kanal yapımında ise beton kullanıldığı durumlarda, beton ile asfaltın yüzey özellikleri farklı olabilmektedir. Ayrıca üçgen kesitli kanallarda olduğu gibi araç lastiği ile kanal ve yol yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayılarının farklı olduğu 4 analiz daha yapılmıştır. Çizelge 3.7.' de 11-14 arasında gösterilen bu analizlerde U2 kodlu kanal kesiti kullanılmıştır. Bu kanal tipi en çok kullanılan kanal olduğundan seçilmiştir.

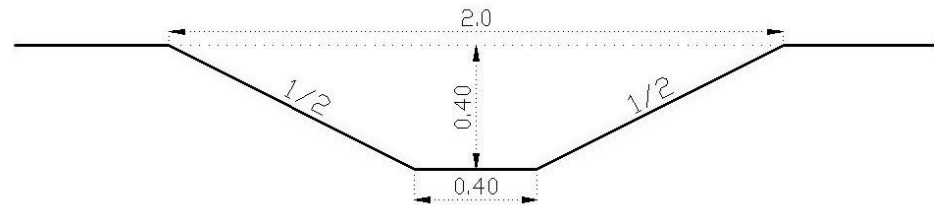
Analizlerde kullanılmış olan kanal geometrileri Şekil 3.18.' de verilmiştir. Analizlerde karışıklığın önüne geçmek için bir kodlama tekniği geliştirilmiştir. Bu kodlama sistemindeki değişkenler; kanal geometrisi ve pürüzlülüktür. Kanallar Y1 den Y5'e kadar isimlendirilirken sürtünmenin normal veya yüksek olması NS ve YS ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Farklı kesitli trapez kanallar için yapılan 14 analize ait özet bilgiler

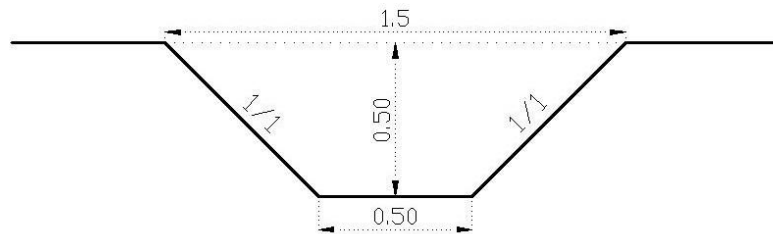
Analiz No	Kanal Kodu	Sürtünme Kodu	Sürtünme Değeri			
			lastik-yol yüzeyi		lastik-kanal yüzeyi	
			Statik	Dinamik	Statik	Dinamik
1	Y1	NS	0.25	0.15	0.25	0.15
2		YS	0.9	0.7	0.9	0.7
3	Y2	NS	0.25	0.15	0.25	0.15
4		YS	0.9	0.7	0.9	0.7
5	Y3	NS	0.25	0.15	0.25	0.15
6		YS	0.9	0.7	0.9	0.7
7	Y4	NS	0.25	0.15	0.25	0.15
8		YS	0.9	0.7	0.9	0.7
9	Y5	NS	0.25	0.15	0.25	0.15
10		YS	0.9	0.7	0.9	0.7
11	Y2	--	0.25	0.15	0.55	0.45
12	Y2	--	0.25	0.15	0.9	0.7
13	Y2	--	0.9	0.7	0.25	0.15
14	Y2	--	0.9	0.7	0.55	0.45



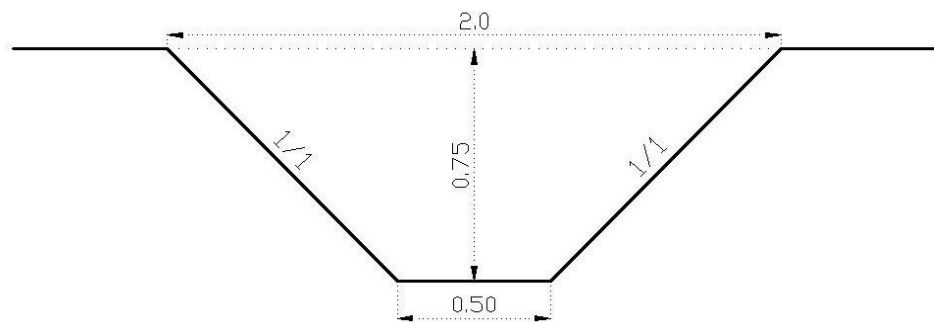
(a) Y1 kodlu kanal enkesiti



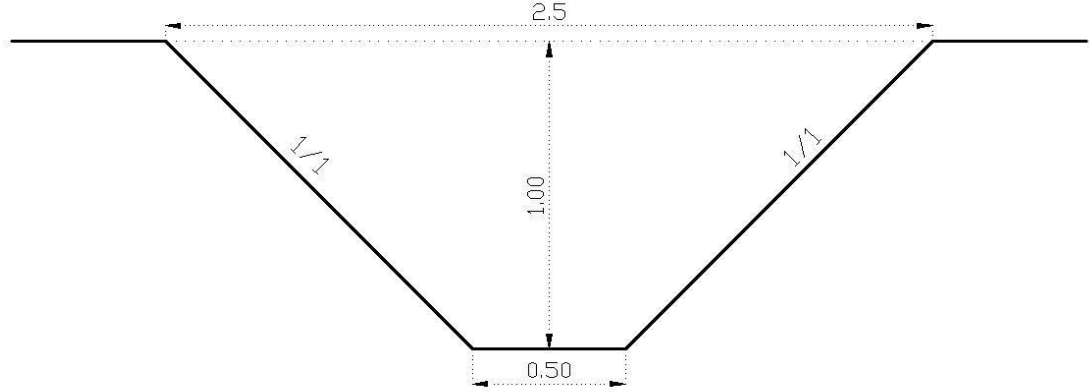
(b) Y2 kodlu kanal enkesiti



(c) Y3 kodlu kanal enkesiti



(d) Y4 kodlu kanal enkesiti



(e) Y5 kodlu kanal enkesiti

Şekil 3.18. Analizlerde kullanılan kanal kesitleri

3.2.7. Kanal Kenarlarına Otokorkuluk Uygulanması Durumu İçin Yapılan Ek Analizler

Üçgen ve trapez kesitli kanallar için yapılan analizler kanalların araç güvenliğini sağlayamadığını açıkça göstermektedir. Araçlar kanal içerisinde devrilmekte veya karşı yola geçerek tehlike oluşturmaktadır. Bu sebeple, araç güvenliğini sağlayabilmek için araçların kanala girmeden yavaşlatılarak durdurulması önem arz etmektedir. Bu durumda kanalların her iki tarafında otokorkuluk kullanımı kaçınılmaz hale gelmektedir.

Otokorkuluk sistemlerinin karayollarında kullanılabilmesi için EN 1317 Avrupa Standardında belirtilen çarpışma testlerini başarıyla geçmesi gerekmektedir. Bu standartta otokorkuluk çarpışma testleri sadece düz zemin üzerinde yapılmaktadır. Bu sebeple kanal yan yüzeyi gibi eğimli yüzeylere giren araçların nasıl davranacağı bilinmemektedir. Karayollarımızda otokorkulukların zorunluluktan dolayı kanala çok yakın veya kanal içerisine çakılması durumu söz konusu olabilmektedir. Bu durumlarda aracın sisteme çarpmasıyla araç tekerlerinin kanal içerisine düşmesi ve sonuçta araç dengesinin bozulması söz konusu olmaktadır. Şekil 3.19.' da kanal içerisine çakılan otokorkuluk uygulamasına bir örnek gösterilmektedir. Bu durumda otokorkuluk beklendiği gibi çalışmadığından çarpan otobüsün kanal içerisine devrilmesine engel olamamıştır.



Şekil 3.19. Kanal içerisine çakılan otokorkuluğa çarpan otobüs

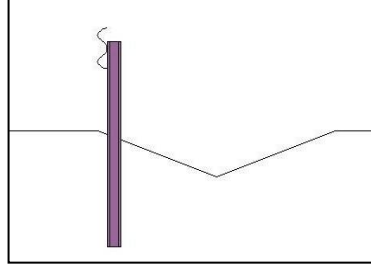
Bu olumsuzluklar göz önüne alınarak çalışmada 3 farklı otokorkuluk tipinin uygulama yerinin araç davranışına etkisi incelenmiştir. Çizelge 3.8.’de ve Şekil 3.20.’de 3 farklı otokorkuluk tipi kullanılarak yapılan 16 simülasyonun detayları verilmektedir.

Çizelge 3.8. Farklı Otokorkuluk Tipleri İçin Yapılan Analizler

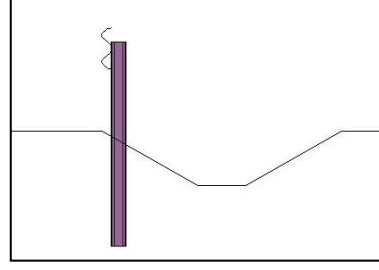
Analiz No	Otokorkuluk Tipi	Kanal Tipi	Otokorkuluk Konumu	Araç Ağırlığı (kg)	Araç Hızı (km/saat)	Çarpma Açısı (derece)
1	AG04-N2	U	A	900	100	20
2		Y	A			
3	AG04-H1	U	A	10000	70	15
4			B			
5			C			
6			D			
7		Y	A			
8			B			
9			C			
10			D			
11	EDSP/1.33	U	A	10000	70	15
12			C			
13			D			
14		Y	A			
15			C			
16			D			

Çizelge 3.8.’ de verilen otokorkuluk konumu sütununda, otokorkuluğun kanala çakılma durumunu belirtmektedir. A durumunda otokorkuluk kanal içine çakılmakta ve kanal ile yol kesişimi ile ray yüzeyi birbirine paralel olmaktadır. B durumunda,

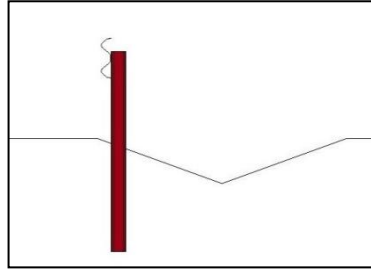
otokorkuluk hemen kanalın bitişine akılmaktadır. C durumunda dikme ile kanal arasında 30 cm mesafe, D durumunda ise 50 cm mesafe bulunmaktadır.



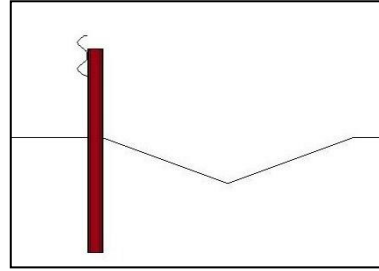
1 nolu analiz



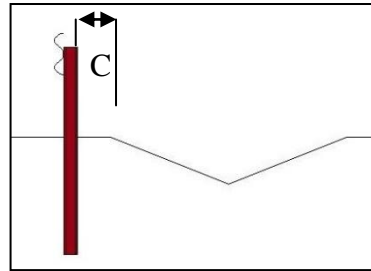
2 nolu analiz



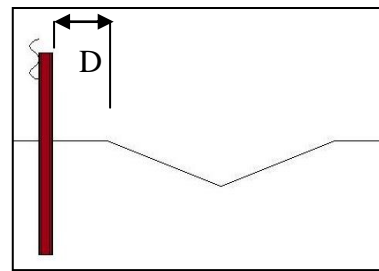
3 nolu analiz



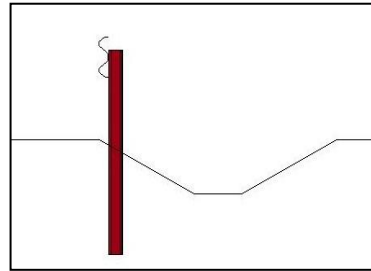
4 nolu analiz



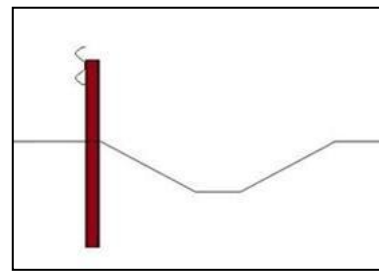
5 nolu analiz



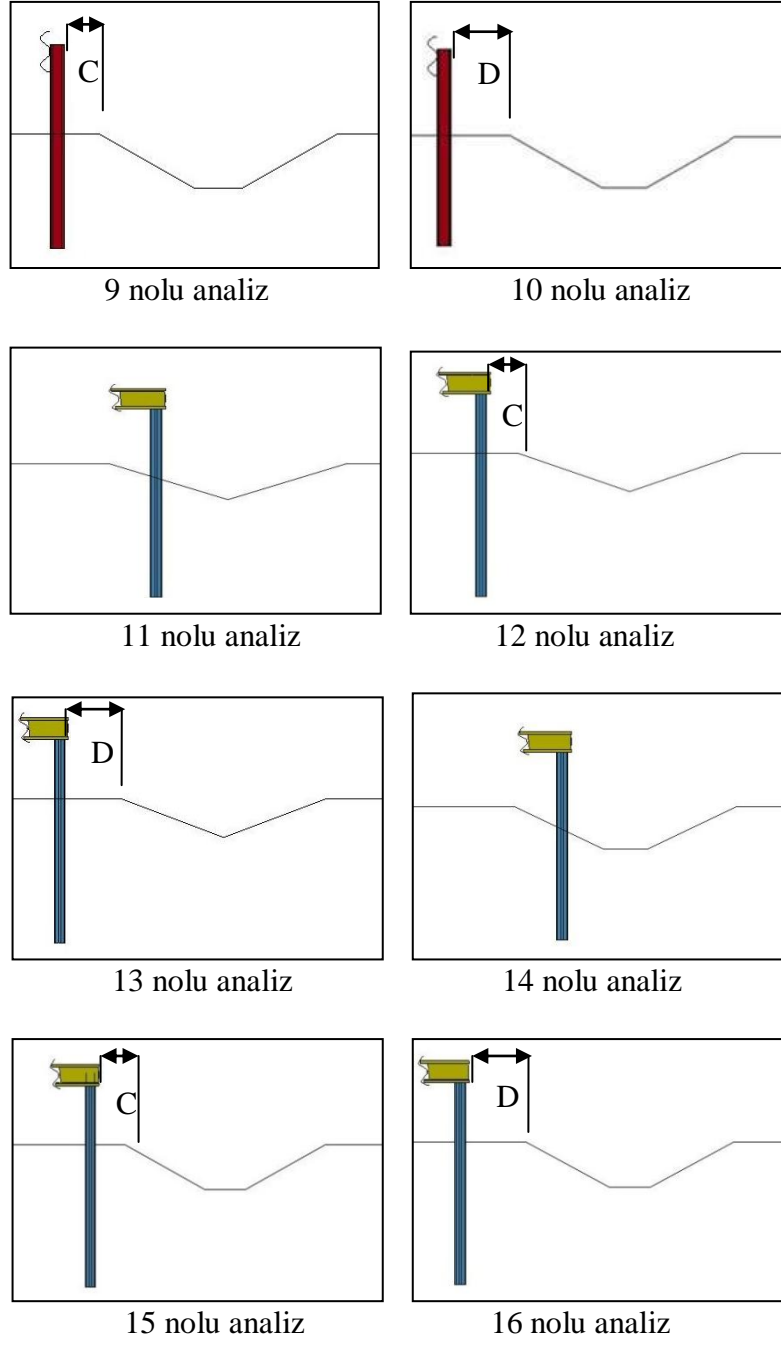
6 nolu analiz



7 nolu analiz



8 nolu analiz



Şekil 3.20. Analizlerde kullanılan otokorkuluk tip ve yerleri (C = 30cm, D = 50 cm).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Üçgen Kesitli Kanal İçin Analiz Sonuçları

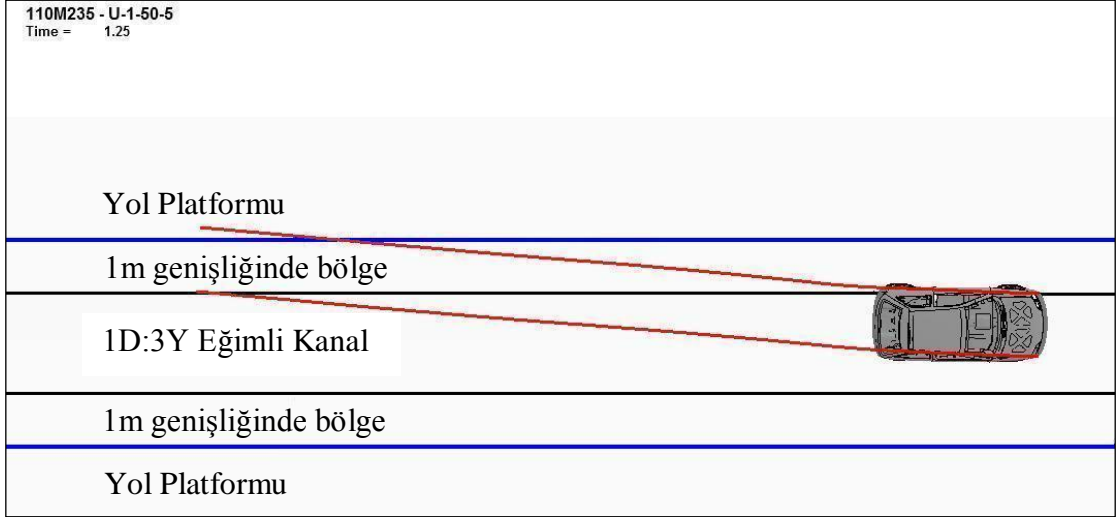
Üçgen kesitli kanallar için ilk aşamada yapılması planlanan ve Çizelge 3.1.' de gösterilen 30 analiz tamamlanmıştır. Analiz süresince aracın ilk konumundan itibaren analiz sonuna kadar izlediği yolu gösteren görüntüler ile belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri aşağıda verilmiştir. Aracın analiz boyunca izlediği yolu gösteren şekillerde kanal kenarları siyah çizgilerle gösterilmektedir. Kanalin her iki tarafında kanala 1 metre uzaklıktaki yol kenarı çizgisi kesintisiz olarak gösterilmiştir. Ayrıca yol şerit çizgileri kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Bu şekillerde çizimler ülkemizde inşa edilen duble yollara uygun olarak 2 şerit olarak yapılmıştır. Şeritler arası 3.5 metre alınmıştır. Tüm analizlerde yuvarlanma yüzeyi ile araç lastiği ve diğer parçaların birbirine temas edecekleri düşünüldüğünden yüzey-lastik arasında statik ve dinamik sürtünme katsayıları sırasıyla 0.25 ve 0.15, ve yüzey-metal aksam arasında statik ve dinamik sürtünme değerleri sırasıyla 0.5 ve 0.3 olarak tanımlanmıştır. Bu değerler literatürde yapılmış benzer çalışmalardan alınmıştır (Consolazio ve ark., 2003).

4.1.1. 900 kg. Ağırlığındaki Araç İçin Sonuçlar

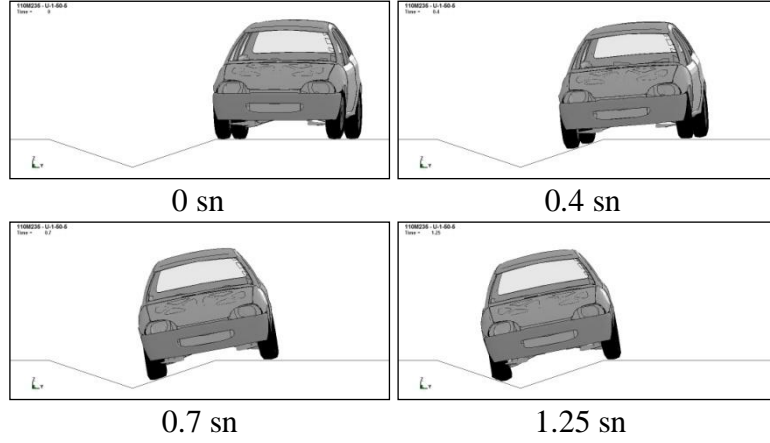
4.1.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu

4.1.1.1.1. Araç Hızı 50 km/saat

U-1-50-5 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.1.' de verilmiştir. Şekil 4.1 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.1 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

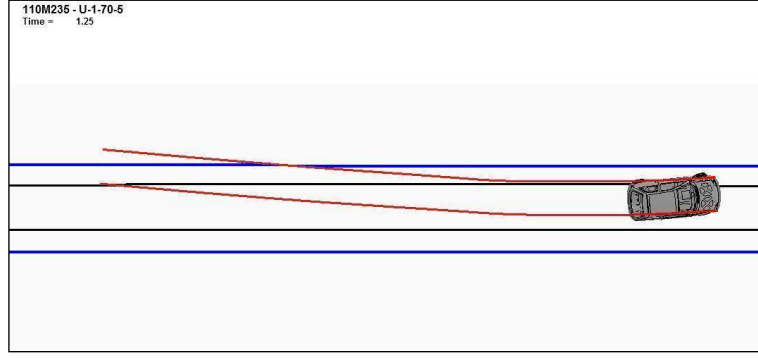


(b) Enkesit görüntüleri

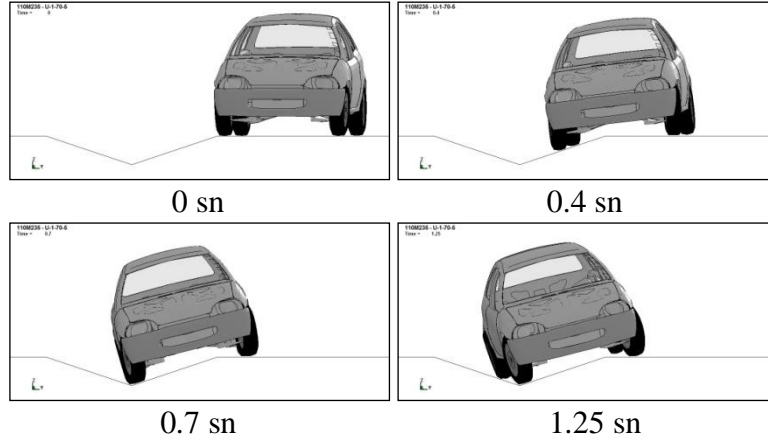
Şekil 4.1. U-1-50-5 kodlu analiz sonuçları

4.1.1.1.2. Araç Hızı 70 km/saat

U-1-70-5 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.2.' de verilmiştir. Şekil 4.2 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.2 (b) 'de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

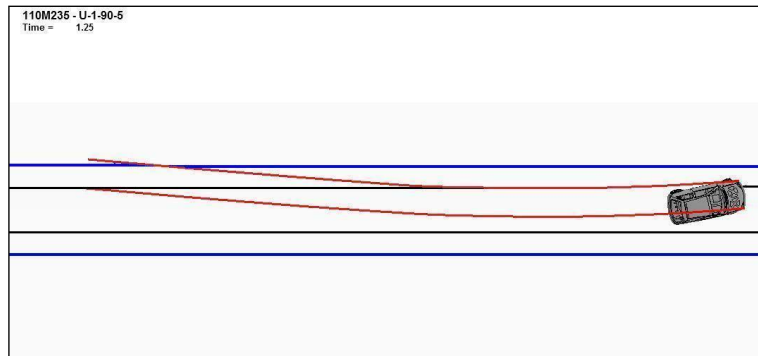


(b) Enkesit görüntüleri

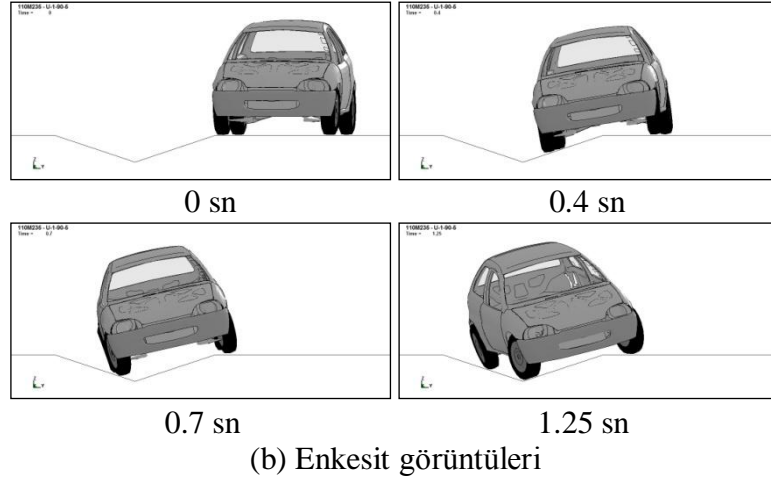
Şekil 4.2. U-1-70-5 kodlu analizin sonuçları

4.1.1.1.3. Araç Hızı 90 km/saat

U-1-90-5 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.3.' de verilmiştir. Şekil 4.3 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.3 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



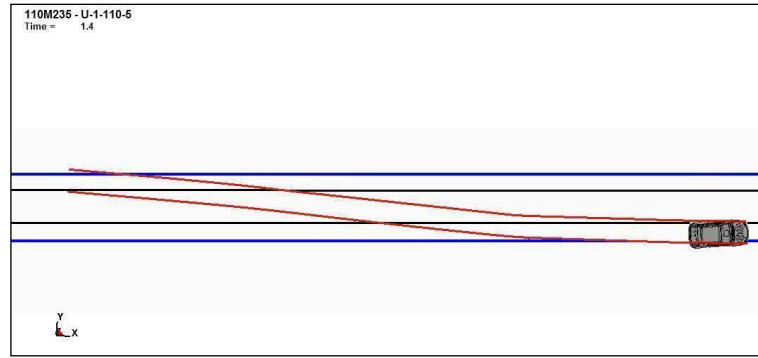
(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



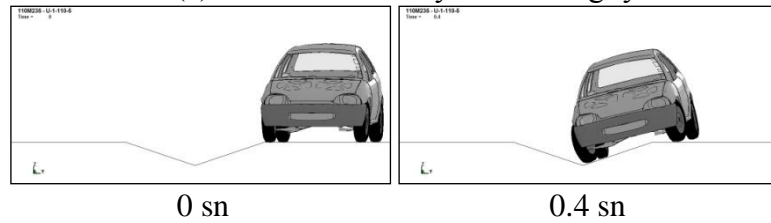
Şekil 4.3. U-1-90-5 kodlu analiz sonuçları

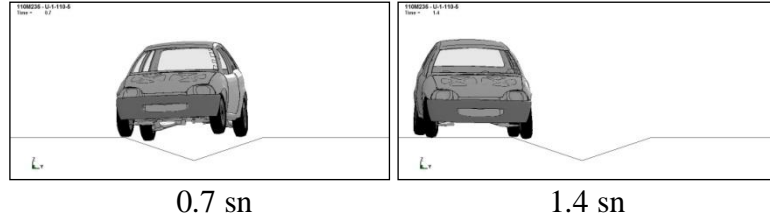
4.1.1.1.4. Araç Hızı 110 km/saat

U-1-110-5 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.4.' de verilmiştir. Şekil 4.4 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.4 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol





0.7 sn

1.4 sn

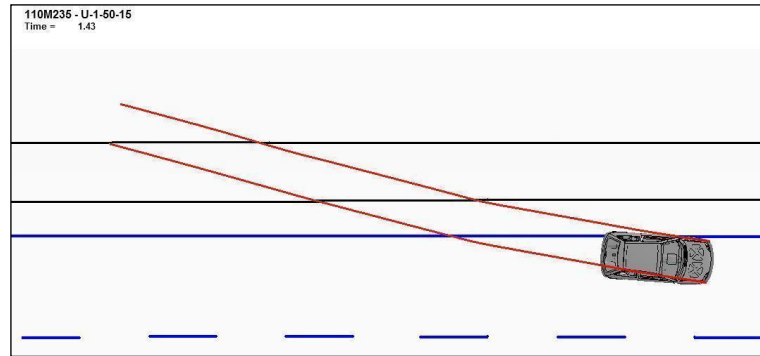
(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.4. U-1-110-5 kodlu analizin sonuçları

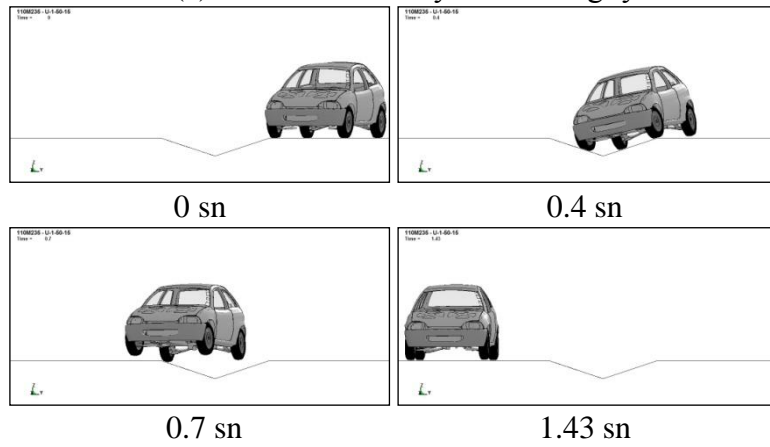
4.1.1.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu

4.1.1.2.1. Araç Hızı 50 km/saat

İlk analiz U-1-50-15'tir. Bu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.5.' de verilmiştir. Şekil 4.5 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.5 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



0 sn

0.4 sn

0.7 sn

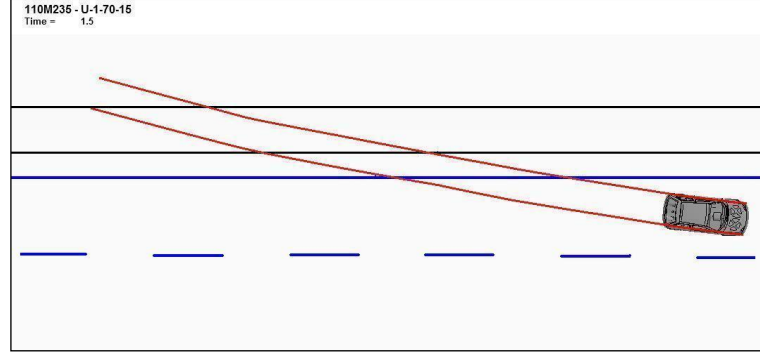
1.43 sn

(b) Enkesit görüntüleri

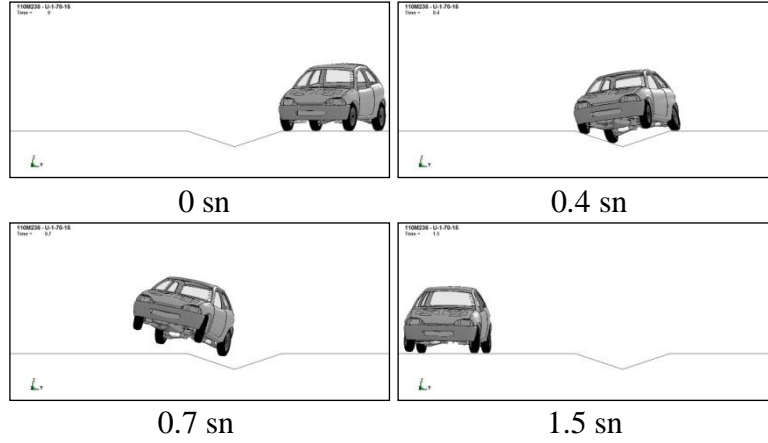
Şekil 4.5. U-1-50-15 kodlu analizin sonuçları

4.1.1.2.2. Araç Hızı 70 km/saat

U-1-70-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.6.' da verilmiştir. Şekil 4.6 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.6 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

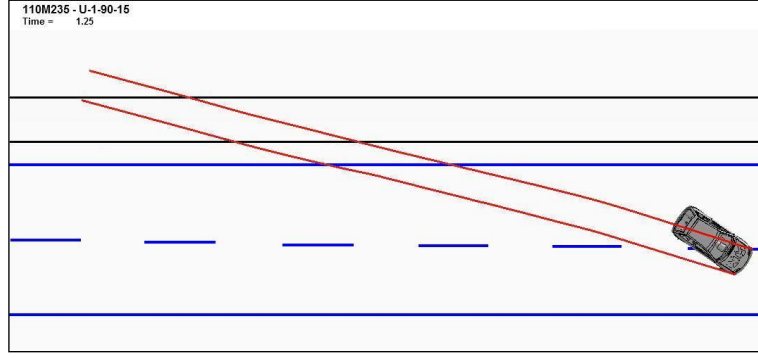


(b) Enkesit görüntüleri

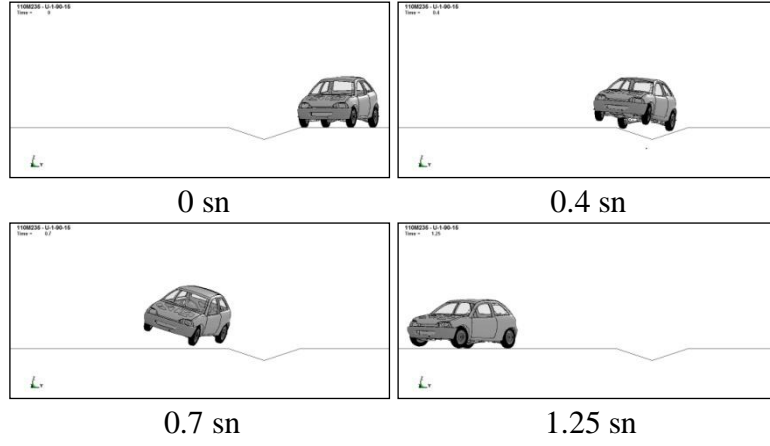
Şekil 4.6. U-1-70-15 kodlu analiz sonuçları

4.1.1.2.3. Araç Hızı 90 km/saat

U-1-90-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.7.' de gösterilmiştir. Şekil 4.7 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.7 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

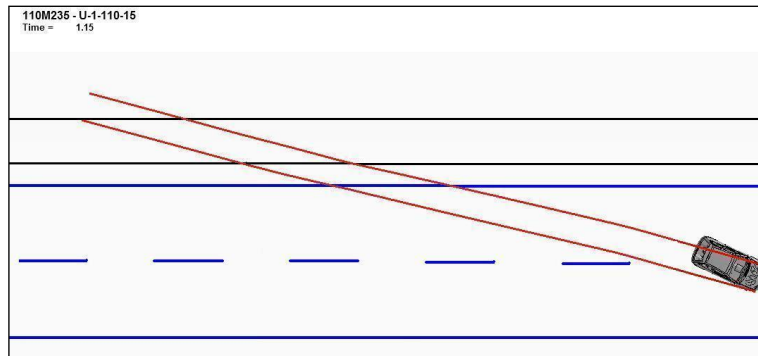


(b) Enkesit görüntüleri

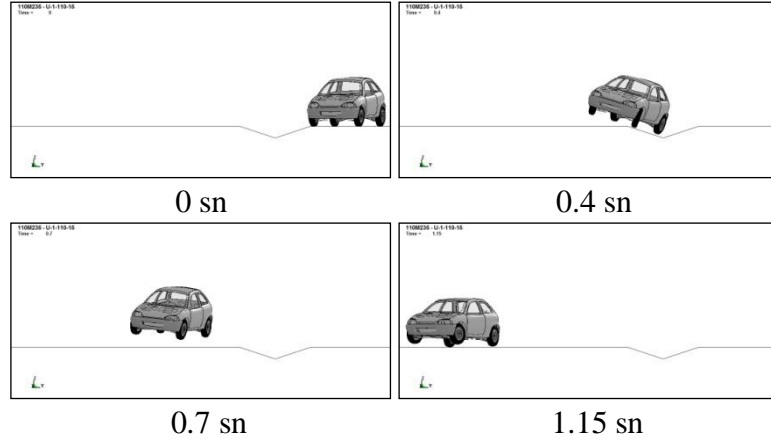
Şekil 4.7. U-1-90-15 kodlu analizin sonuçları

4.1.1.2.4. Araç Hızı 110 km/saat

U-1-110-15 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.8.' de verilmiştir. Şekil 4.8 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.8 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



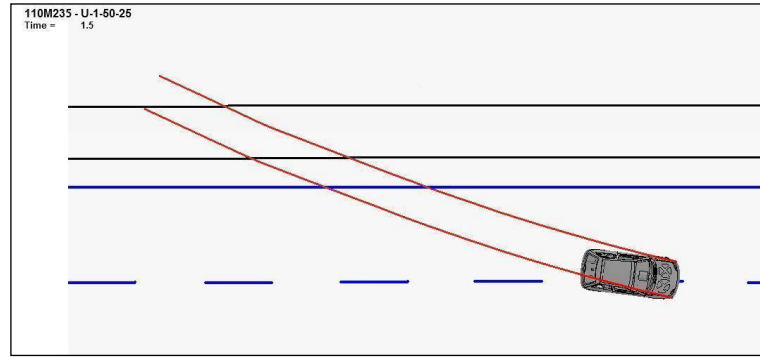
(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.8. U-1-110-15 kodlu analizin sonuçları

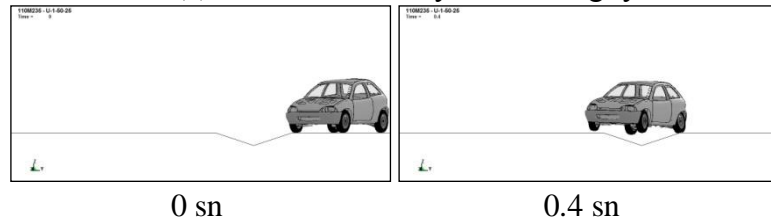
4.1.1.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu

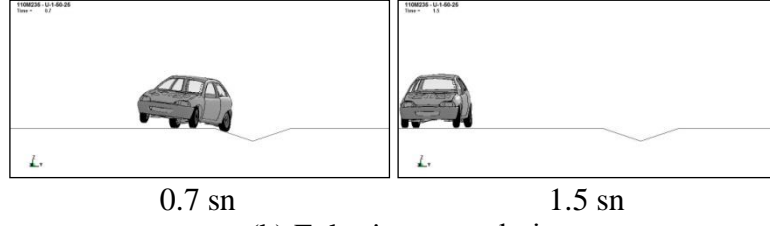
4.1.1.3.1. Araç Hızı 50 km/saat

U-1-50-25 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.9.' da verilmiştir. Şekil 4.9 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.9 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



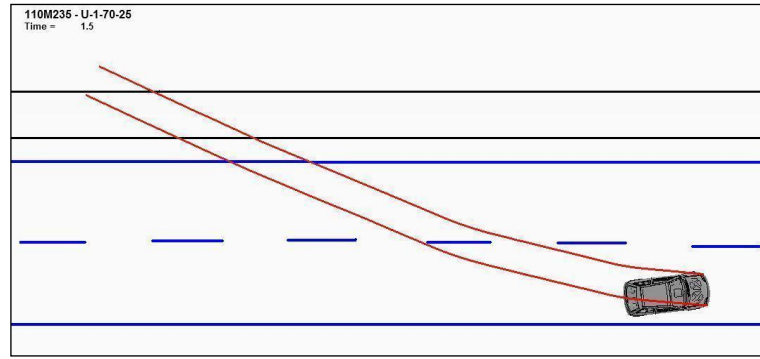


(b) Enkesit görüntüleri

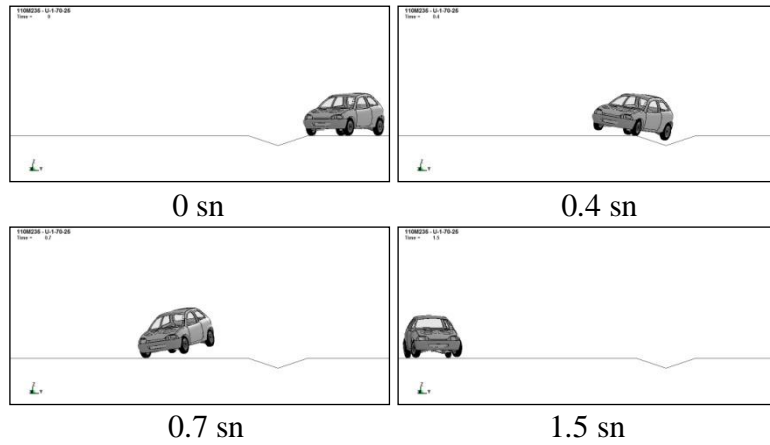
Şekil 4.9. U-1-50-25 kodlu analiz sonuçları

4.1.1.3.2. Araç Hızı 70 km/saat

U-1-70-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.10.' da verilmiştir. Şekil 4.10 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.10 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

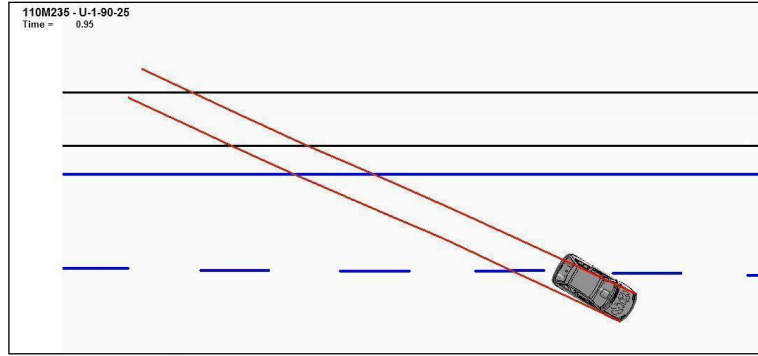


(b) Enkesit görüntüleri

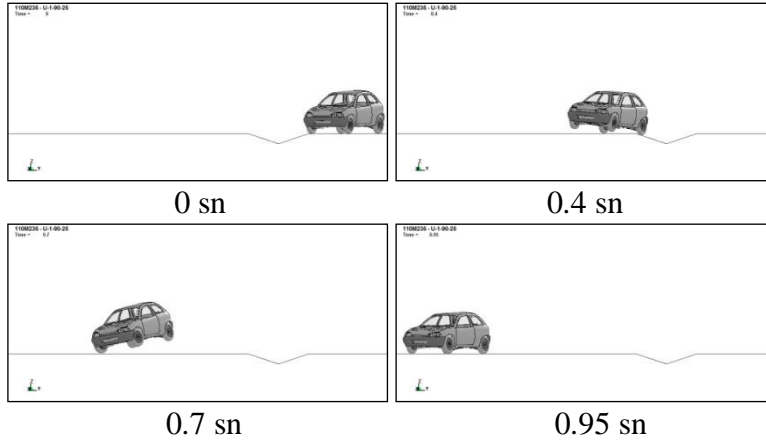
Şekil 4.10. U-1-70-25 kodlu analiz sonuçları

4.1.1.3.3. Araç Hızı 90 km/saat

U-1-90-25 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.11.' de verilmiştir. Şekil 4.11 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.11 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

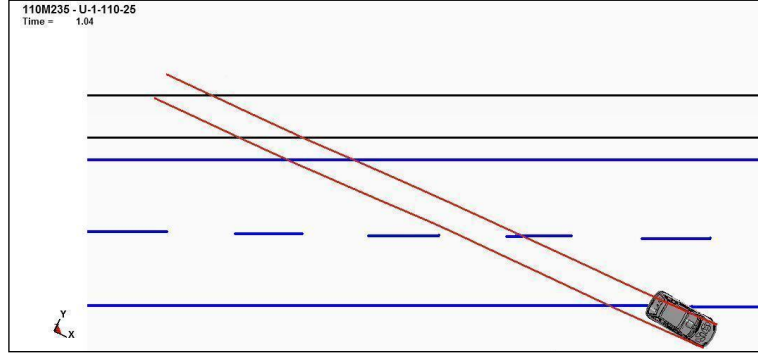


(b) Enkesit görüntüleri

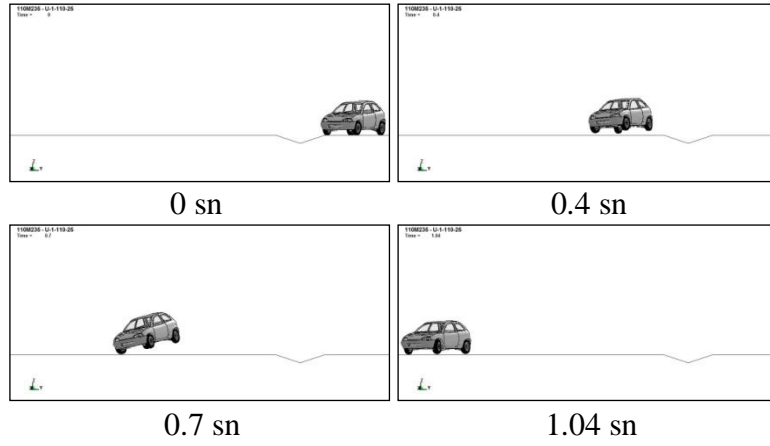
Şekil 4.11. U-1-90-25 kodlu analizin sonuçları

4.1.1.3.4. Araç Hızı 110 km/saat

U-1-110-25 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.12.' de verilmiştir. Şekil 4.12 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.12 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



(b) Enkesit görüntüleri

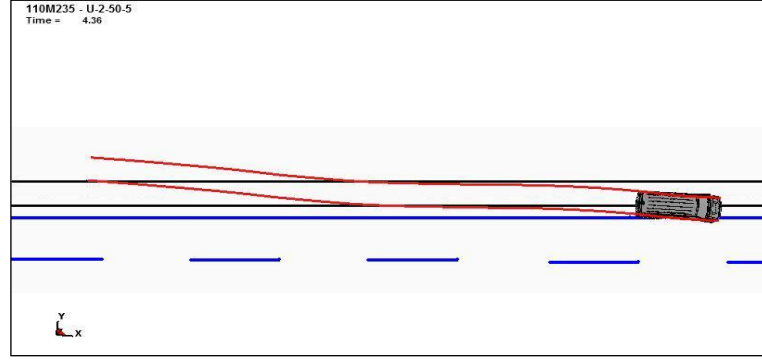
Şekil 4.12. U-1-110-25 kodlu analizin sonuçları

4.1.2. 3000 kg. Ağırlığındaki Van İçin Sonuçlar

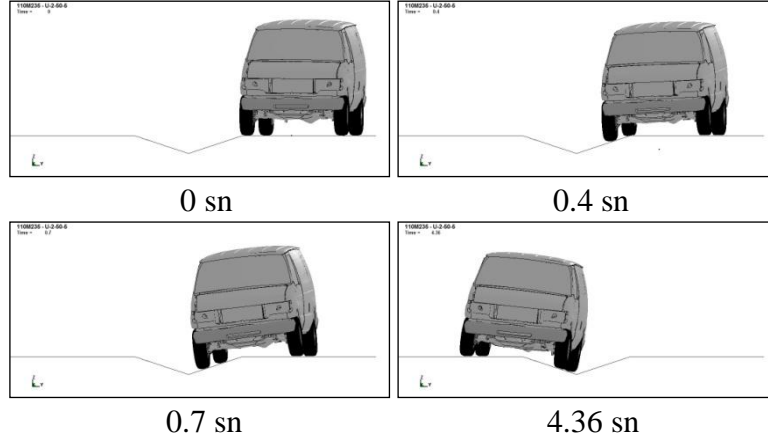
4.1.2.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu

4.1.2.1.1. Araç Hızı 50 km/saat

U-2-50-5 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.13.' de verilmiştir. Şekil 4.13 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.13 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

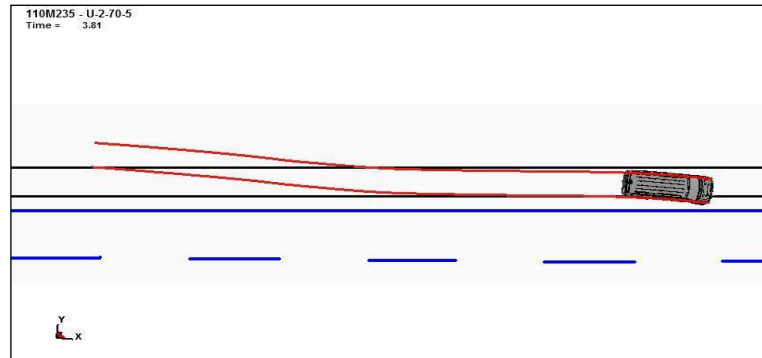


(b) Enkesit görüntüleri

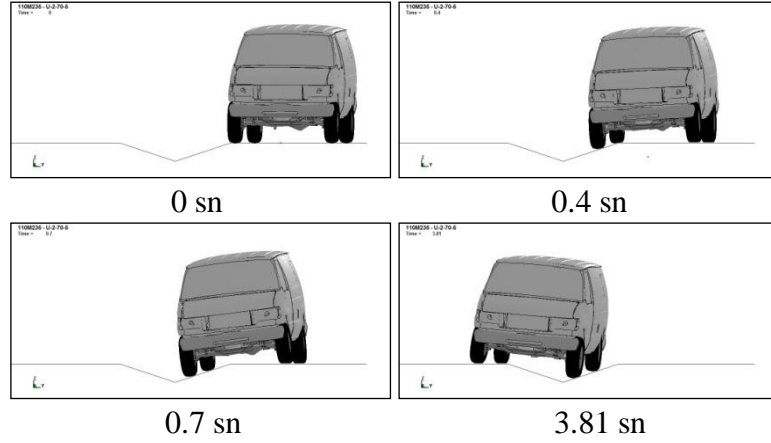
Şekil 4.13. U-2-50-5 kodlu analizin sonuçları

4.1.2.1.2. Araç Hızı 70 km/saat

U-2-70-5 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.14.' de verilmiştir. Şekil 4.14 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.14 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

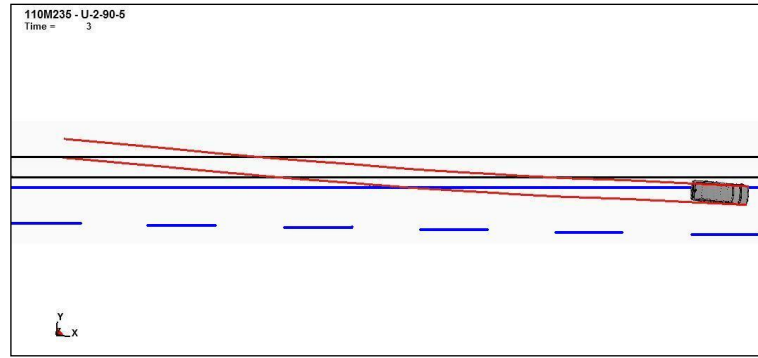


(b) Enkesit görüntüleri

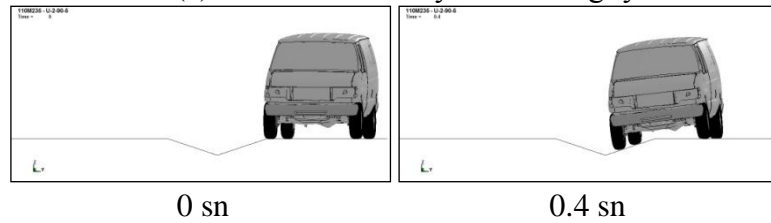
Şekil 4.14. U-2-70-5 kodlu analiz sonuçları

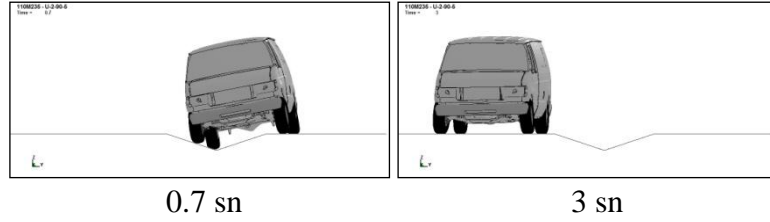
4.1.2.1.3. Araç Hızı 90 km/saat

U-2-90-5 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.15.' de verilmiştir. Şekil 4.15 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.15 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol





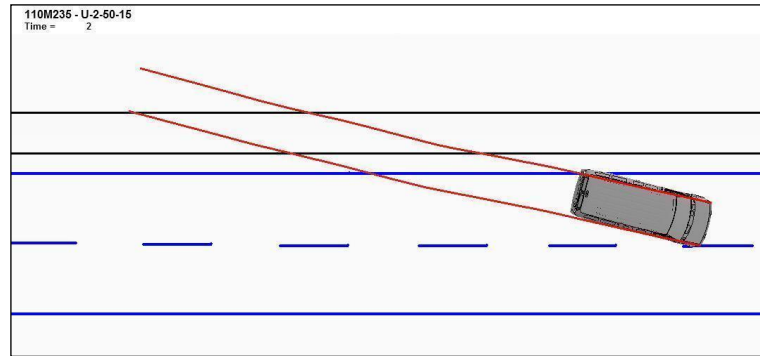
(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.15. U-2-90-5 kodlu analiz sonuçları

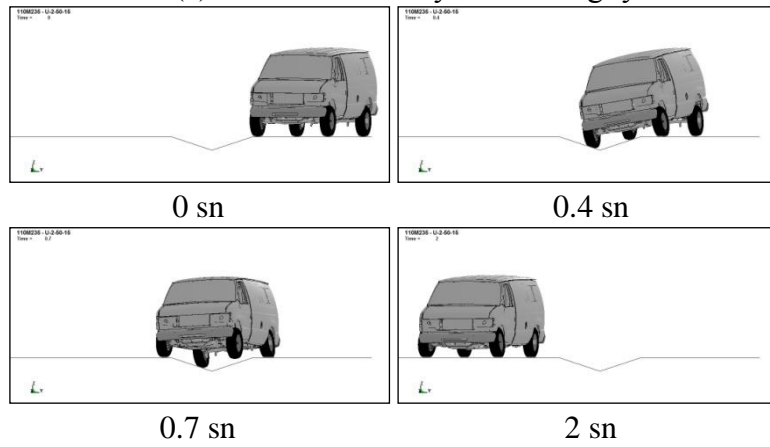
4.1.2.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu

4.1.2.2.1. Araç Hızı 50 km/saat

U-2-50-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.16.' da verilmiştir. Şekil 4.16 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.16 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

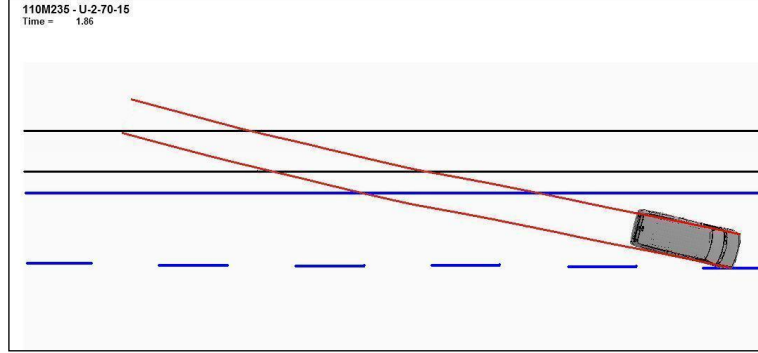


(b) Enkesit görüntüleri

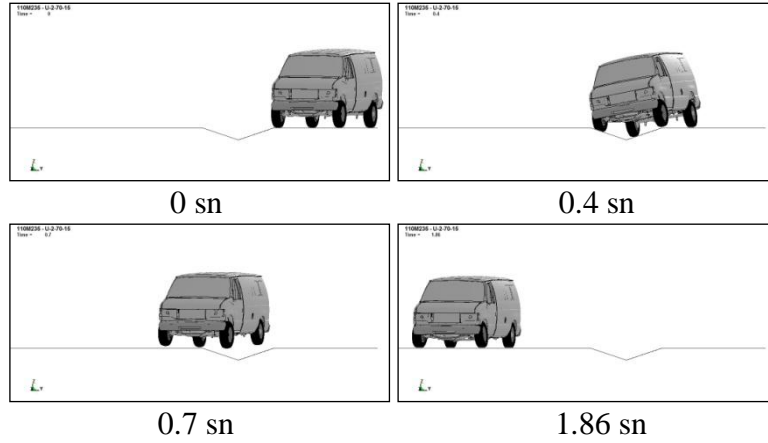
Şekil 4.16. U-2-50-15 kodlu analiz sonuçları

4.1.2.2.2. Araç Hızı 70 km/saat

U-2-70-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.17.' de verilmiştir. Şekil 4.17 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.17 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

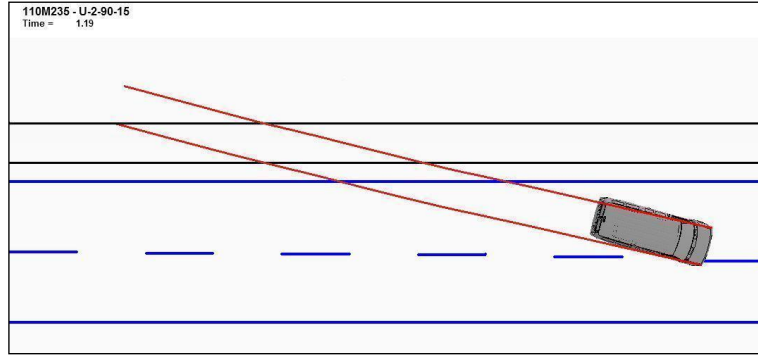


(b) Enkesit görüntüleri

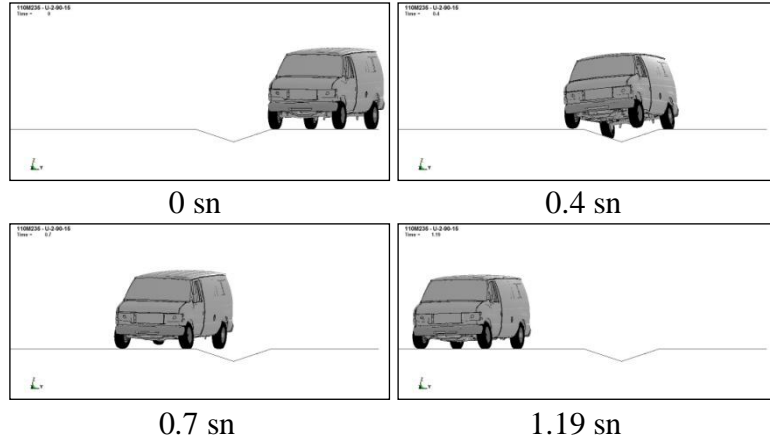
Şekil 4.17. U-2-70-15 kodlu analiz sonuçları

4.1.2.2.3. Araç Hızı 90 km/saat

U-2-90-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.18.' de verilmiştir. Şekil 4.18 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.18 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



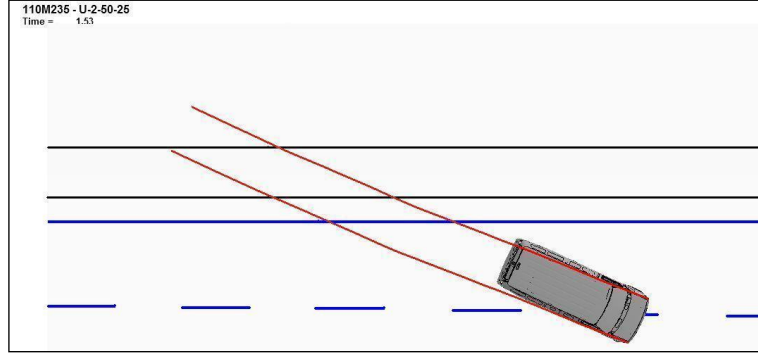
(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.18. U-2-90-15 kodlu analiz sonuçları

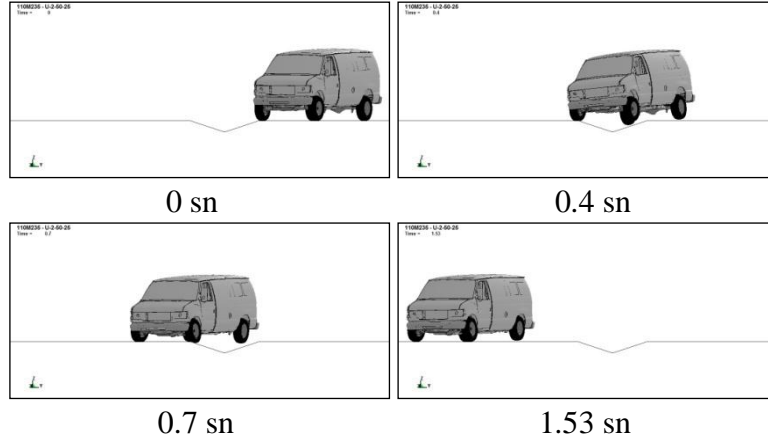
4.1.2.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu

4.1.2.3.1. Araç Hızı 50 km/saat

U-2-50-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.19.' da verilmiştir. Şekil 4.19 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.19 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

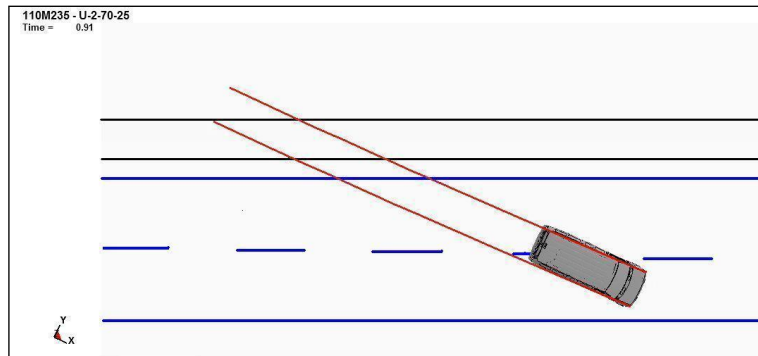


(b) Enkesit görüntüleri

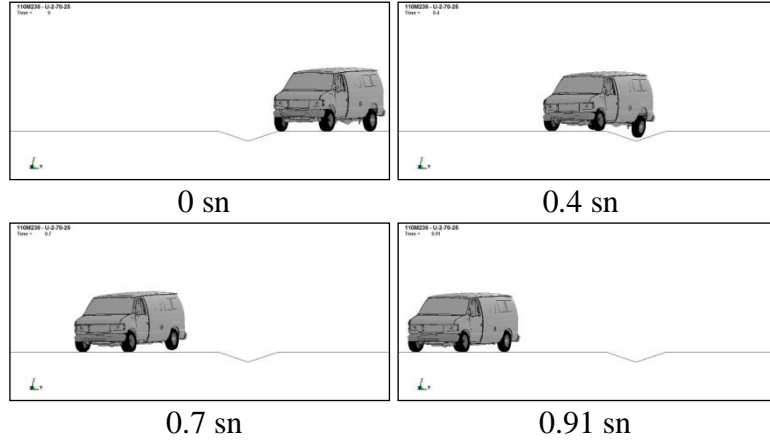
Şekil 4.19. U-2-50-25 kodlu analiz sonuçları

4.1.2.3.2. Araç Hızı 70 km/saat

U-2-70-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.20.' de verilmiştir. Şekil 4.20 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.20 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

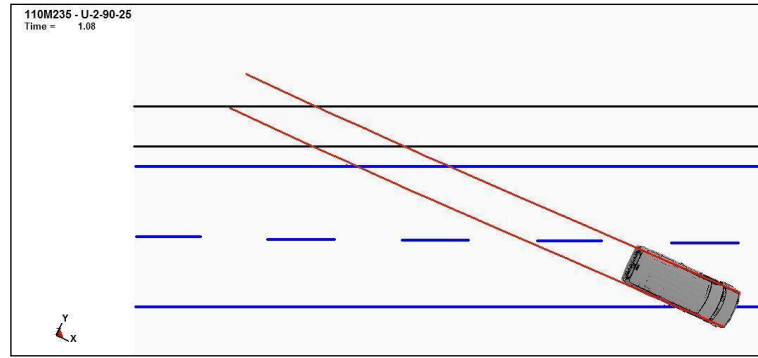


(b) Enkesit görüntüleri

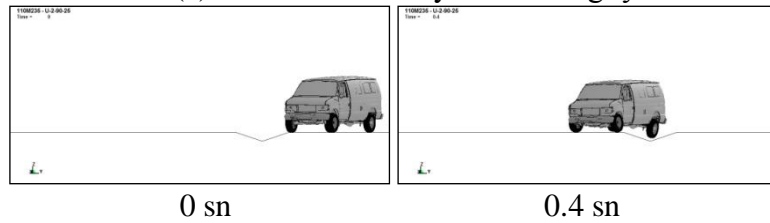
Şekil 4.20. U-2-70-25 kodlu analiz sonuçları

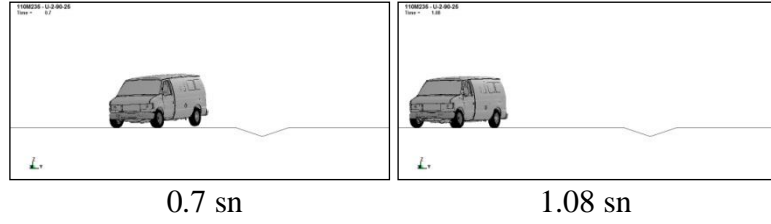
4.1.2.3.3. Araç Hızı 90 km/saat

U-2-90-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.21.' de verilmiştir. Şekil 4.21 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.21 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol





(b) Enkesit görüntüleri

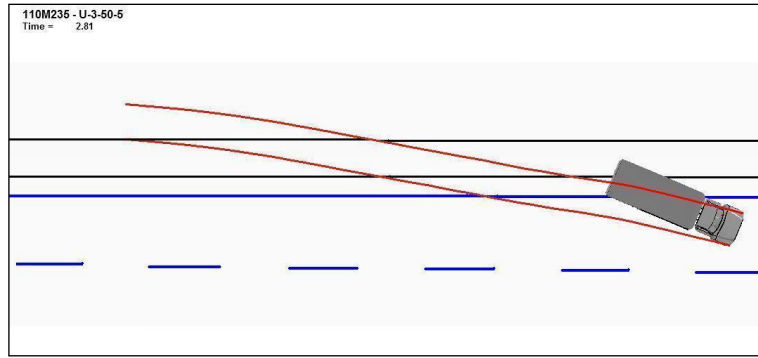
Şekil 4.21. U-2-90-25 kodlu analiz sonuçları

4.1.3. 10000 kg. Ağırlıındaki Kamyon İçin Sonuçlar

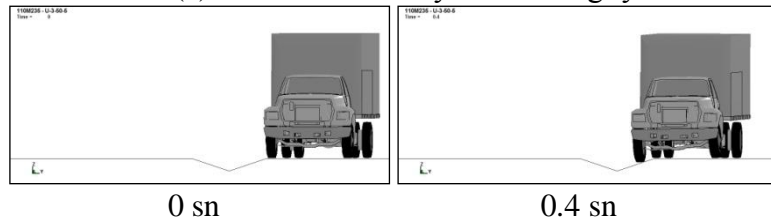
4.1.3.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu

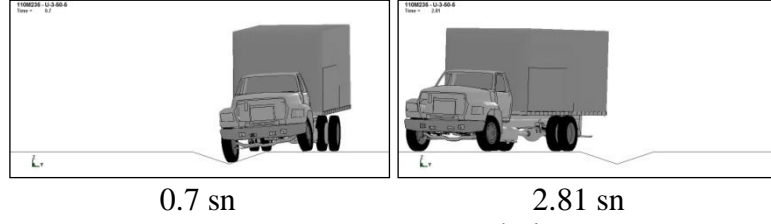
4.1.3.1.1. Araç Hızı 50 km/saat

U-3-50-5 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.22.'de verilmiştir. Şekil 4.22 (a)'da analiz boyunca aracın izlediğı yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.22 (b)'de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediğı yol





0.7 sn

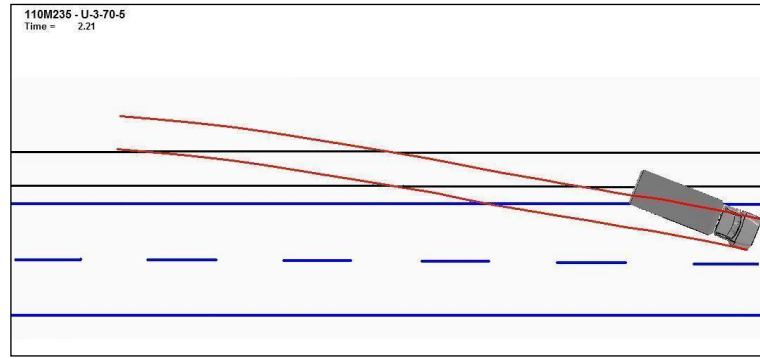
2.81 sn

(b) Enkesit görüntüleri

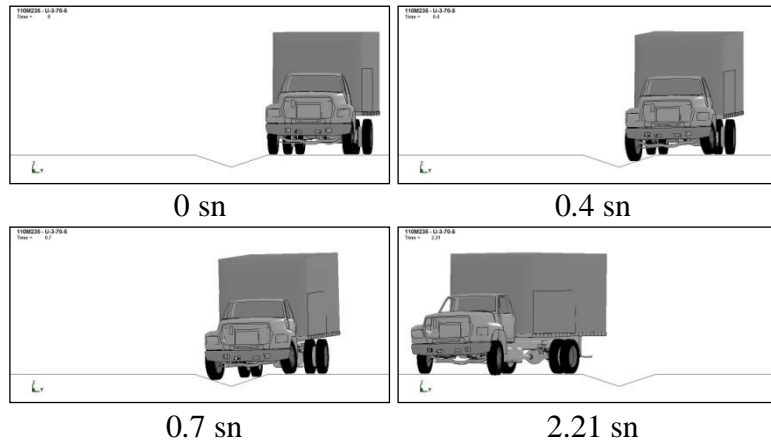
Şekil 4.22. U-3-50-5 kodlu analiz sonuçları

4.1.3.1.2. Araç Hızı 70 km/saat

U-3-70-5 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.23.' de verilmiştir. Şekil 4.23 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.23 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



0 sn

0.4 sn

0.7 sn

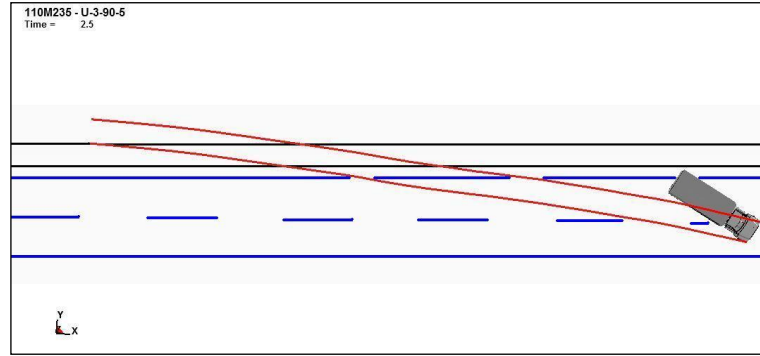
2.21 sn

(b) Enkesit görüntüleri

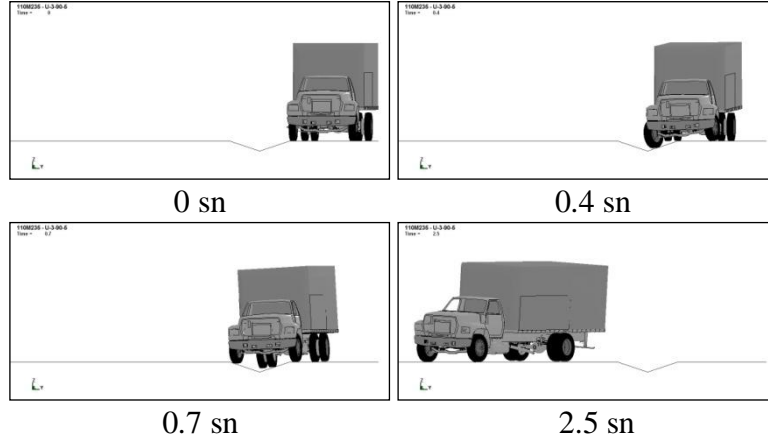
Şekil 4.23. U-3-70-5 kodlu analiz sonuçları

4.1.3.1.3. Araç Hızı 90 km/saat

U-3-90-5 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.24.' de verilmiştir. Şekil 4.24 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.24 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



(b) Enkesit görüntüleri

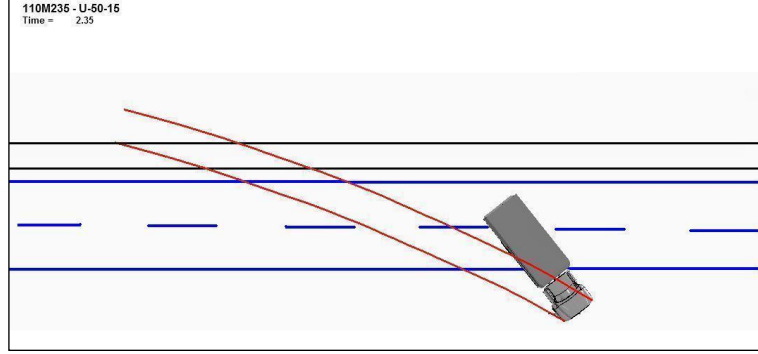
Şekil 4.24. U-3-90-5 kodlu analiz sonuçları

4.1.3.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu

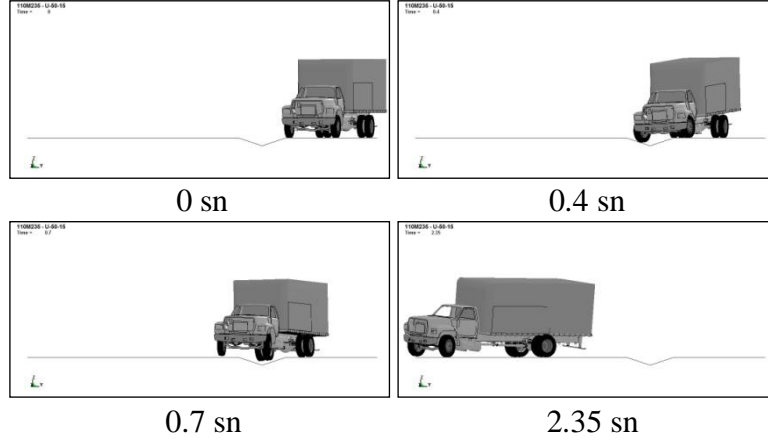
4.1.3.2.1. Araç Hızı 50 km/saat

U-3-50-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.25.' de verilmiştir. Şekil 4.25 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil

4.25 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

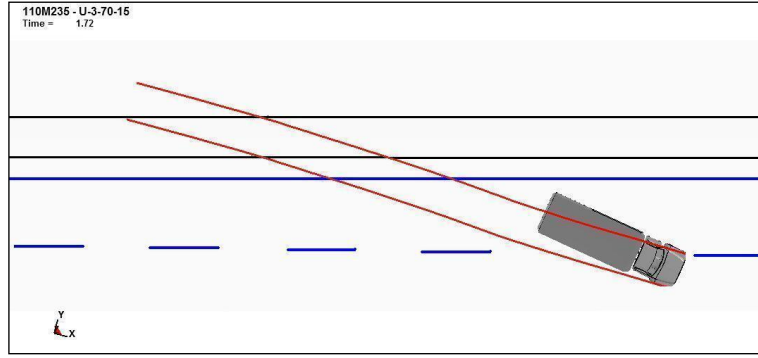


(b) Enkesit görüntüleri

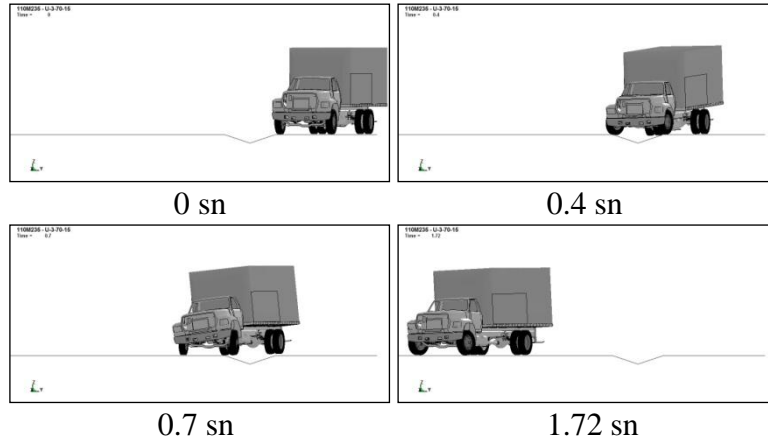
Şekil 4.25. U-3-50-15 kodlu analiz sonuçları

4.1.3.2.2. Araç Hızı 70 km/saat

U-3-70-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.26.'da verilmiştir. Şekil 4.26 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.26 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

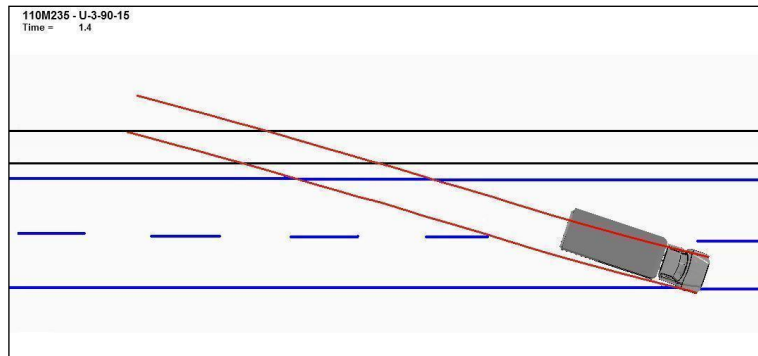


(b) Enkesit görüntüleri

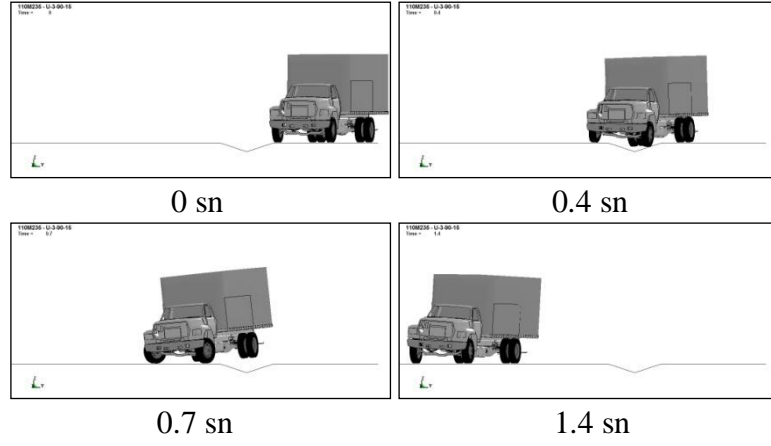
Şekil 4.26. U-3-70-15 kodlu analiz sonuçları

4.1.3.2.3. Araç Hızı 90 km/saat

U-3-90-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.27.' de verilmiştir. Şekil 4.27 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.27 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



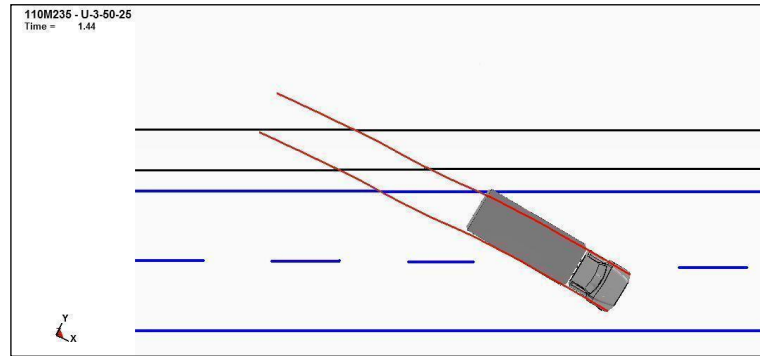
(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.27. U-3-90-15 kodlu analiz sonuçları

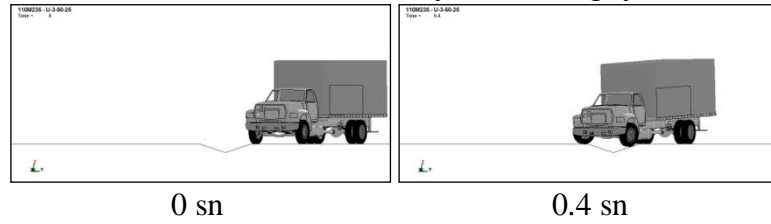
4.1.3.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu

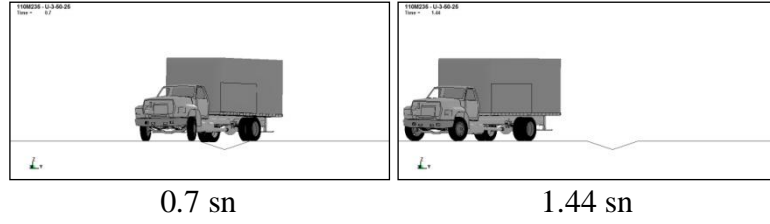
4.1.3.3.1. Araç Hızı 50 km/saat

U-3-50-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.28.' de verilmiştir. Şekil 4.28 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.28 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



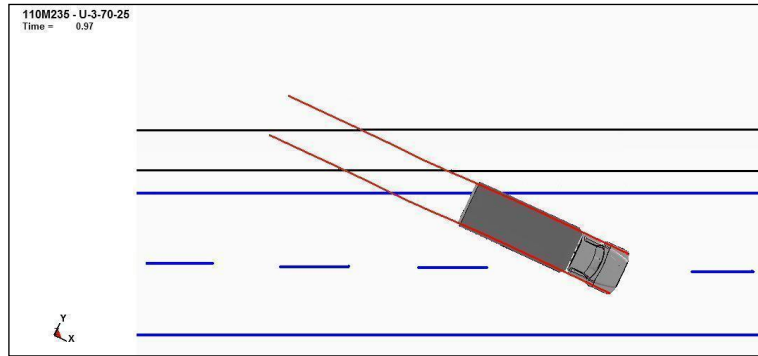


(b) Enkesit görüntüleri

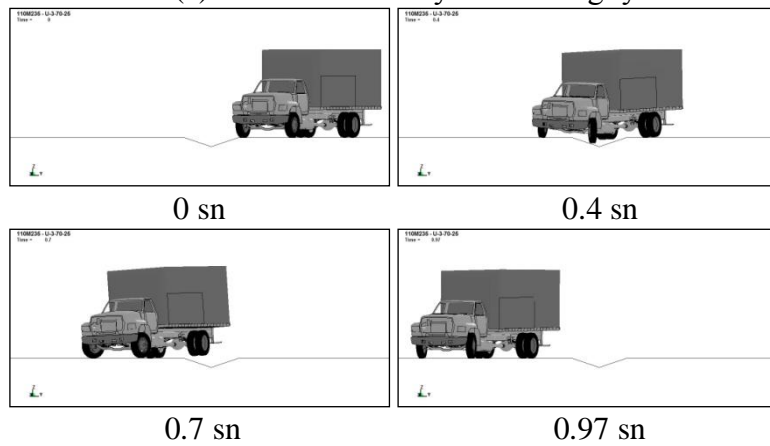
Şekil 4.28. U-3-50-25 kodlu analiz sonuçları

4.1.3.3.2. Araç Hızı 70 km/saat

U-3-70-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.29.' de verilmiştir. Şekil 4.29 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.29 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

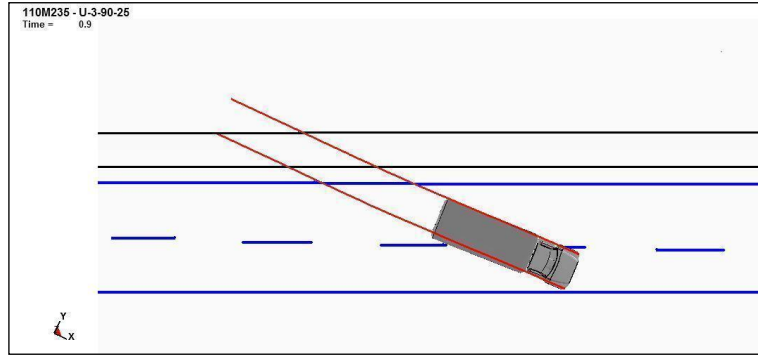


(b) Enkesit görüntüleri

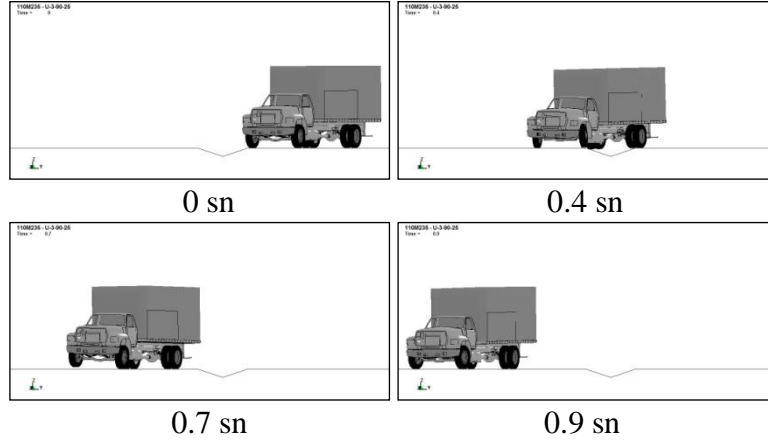
Şekil 4.29. U-3-70-25 kodlu analiz sonuçları

4.1.3.3.3. Araç Hızı 90 km/saat

U-3-90-25 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.30.' da verilmiştir. Şekil 4.30 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.30 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



0 sn

0.4 sn

0.7 sn

0.9 sn

(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.30. U-3-90-25 kodlu analizin sonuçları

4.2. Üçgen Kesitli Kanal İçin Yapılan Analizlerle İlgili Sayısal Veriler

4.2.1. Araçların Stabilite Durumları

Üçgen kesitli kanallar için tamamlanan analizlerde yapılan incelemeler sonucunda araçların davranışları hakkında özet açıklamalar aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Üçgen kesitli kanallarda araçların davranışı

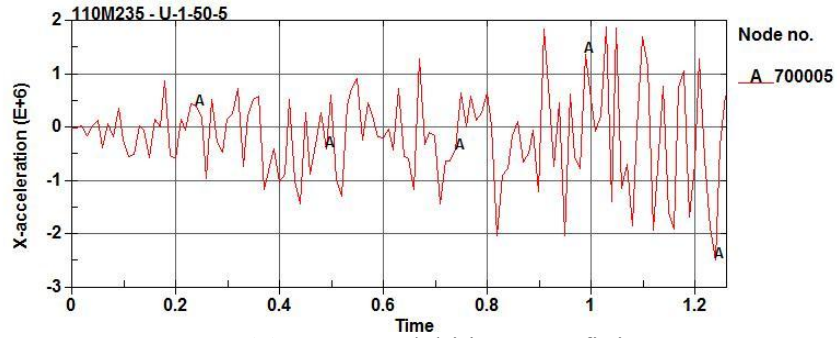
Analiz No	Analiz Kodu	Araç Davranışı
1	U-1-50-5	Araç kanal içerisinde kalıyor
2	U-1-70-5	Araç kanal içerisinde kalıyor
3	U-1-90-5	Araç kanal içerisinde kalıyor
4	U-1-110-5	Araç kontrollü bir şekilde karşı yola geçmekte
5	U-1-50-15	Araç kontrolsüz şekilde savrularak karşı yola geçmekte
6	U-1-70-15	Araç kontrolsüz şekilde savrularak karşı yola geçmekte
7	U-1-90-15	Araç savrularak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
8	U-1-110-15	Araç savrularak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
9	U-1-50-25	Araç kontrolsüz şekilde savrularak karşı yola geçmekte
10	U-1-70-25	Araç kontrolsüz şekilde savrularak karşı yola geçmekte
11	U-1-90-25	Araç savrularak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
12	U-1-110-25	Araç savrularak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
13	U-2-50-5	Araç kontrollü bir şekilde karşı yola geçmekte
14	U-2-70-5	Araç kanal içerisinde kalıyor
15	U-2-90-5	Araç kanal içerisinde kalıyor
16	U-2-50-15	Araç kontrollü bir şekilde karşı yola geçmekte
17	U-2-70-15	Araç kontrolsüz şekilde savrularak karşı yola geçmekte
18	U-2-90-15	Araç kontrolsüz şekilde savrularak karşı yola geçmekte
19	U-2-50-25	Araç kontrolsüz şekilde savrularak karşı yola geçmekte
20	U-2-70-25	Araç savrularak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
21	U-2-90-25	Araç savrularak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
22	U-3-50-5	Araç kontrolsüz şekilde savrularak karşı yola geçmekte
23	U-3-70-5	Araç kontrolsüz şekilde savrularak karşı yola geçmekte
24	U-3-90-5	Araç savrularak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
25	U-3-50-15	Araç savrularak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
26	U-3-70-15	Araç savrularak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
27	U-3-90-15	Araç savrularak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
28	U-3-50-25	Araç kanal üzerinden kontrollü bir şekilde karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
29	U-3-70-25	Araç kanal üzerinden kontrollü bir şekilde karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
30	U-3-90-25	Araç kanal üzerinden kontrollü bir şekilde karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var

Tahmin edileceği gibi araçların kanal içinde kalması ve burada ilerlemesi durumunda hem araç ve hem de trafikteki diğer yol kullanıcıları için büyük tehlikeler oluşmamaktadır. Eğer kanal içerisinde ilerleyen araca çarpma ihtimali olan rijit bir engel bulunmuyorsa araç kanala girmesinden dolayı fazla hasar almamaktadır. Bunun

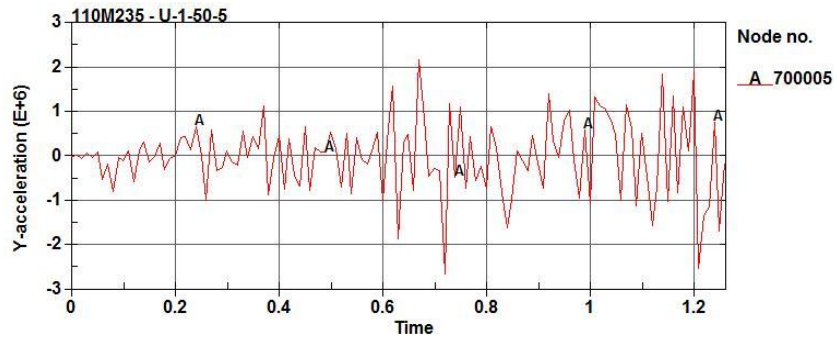
yanında araçların kanala geniş açıyla girmesi durumunda karşı yola geçme riski artmakta ve dolayısıyla karşı şeritten gelen araçlarla kontrolsüz bir şekilde çarpışma riski ortaya çıkmaktadır. Savrulmanın fazla olduğu durumlarda yol ve hava şartlarına bağlı olarak araç devrilebilir veya savrulmanın etkisiyle araç içerisindekiler zarar görebilir. Eğer araç yol ortasındaki kanaldan karşı yola geçiyor ve karşı yol kenarında da yarma veya dolgu şevi varsa bu durum yolcuların yaralanma risklerini artırmaktadır.

4.2.2. 900 kg'lık Araçların Hızlanma Şiddeti Endeksinin Hesabı

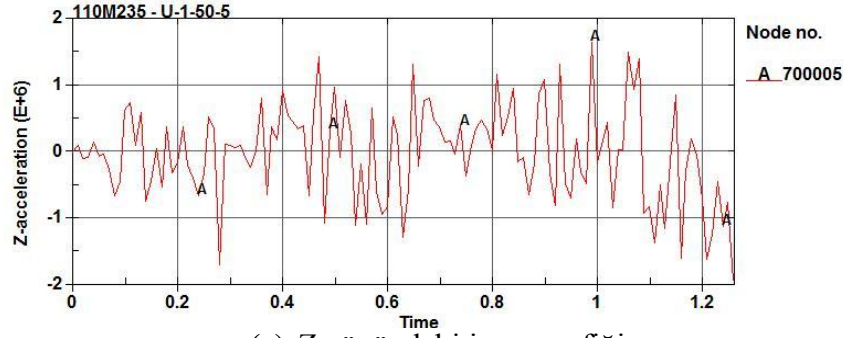
Çizelge 4.2.' deki darbe şiddeti endeksi, ASI (Accident Severity Index), değeri aracın ivmelenmesinden dolayı taşıt yolcuları üzerinde oluşabilecek yaralanma riskini ifade etmektedir. Bu değer genel olarak $ASI \leq 1$ olması istenir. LS-DYNA yazılımında x, y ve z yönündeki maksimum ivme değerleri otomatik hesaplanır. Şekil 4.31.' deki grafikler U-1-50-5 kodlu simülasyon sonucu elde edilen ivme değerlerini göstermektedir. Bu grafiklerde zamanın birimi saniye, ivmenin birimi ise milimetre/saniye²'dir.



(a) X yönündeki ivme grafiği



(b) Y yönündeki ivme grafiği



(c) Z yönündeki ivme grafiği

Şekil 4.31. U-1-50-5 kodlu analiz için X, Y, Z yönlerindeki ivme grafikleri

Simülasyondan elde edilen X, Y, Z yönlerindeki maksimum ivme değerleri yerçekimi ivmesi (9810 mm/s^2) değerine bölünerek hesaplanır ve aşağıdaki formülde yerlerine konularak ASI değerleri bulunur. Bu ifadede kullanılan 12, 9, 10 değerleri yerçekimi ivmesi cinsinden x, y ve z yönlerinde yaralanma oluşacak maksimum değerleri göstermektedir.

$$ASI_{(t)} = \left[\left(\frac{\bar{a}_x(t)}{12} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y(t)}{9} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z(t)}{10} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.1.)$$

Burada,

$\bar{a}_x(t)$: Simülasyondan elde edilen maksimum x yönündeki ivme (g)

$\bar{a}_y(t)$: Simülasyondan elde edilen maksimum y yönündeki ivme (g)

$\bar{a}_z(t)$: Simülasyondan elde edilen maksimum z yönündeki ivme (g) değerini ifade eder.

Çizelge 4.2. Üçgen kesitli kanallarda 900 kg'lık araçların hızlanma şiddeti endeksi

Analiz No	Analiz Kodu	ASI
1	U-1-50-5	0.15
2	U-1-70-5	0.21
3	U-1-90-5	0.32
4	U-1-110-5	0.66
5	U-1-50-15	0.22
6	U-1-70-15	0.39
7	U-1-90-15	0.68
8	U-1-110-15	0.83

Çizelge 4.2. (Devam) Üçgen kesitli kanallarda 900 kg'lık araçların hızlanma şiddeti endeksi

9	U-1-50-25	0.23
10	U-1-70-25	0.32
11	U-1-90-25	0.64
12	U-1-110-25	0.98

4.2.3. Analizlerde Elde Edilen Sayısal Verilerin Karşılaştırılması

Üçgen kesitli kanal için yapılan analizlerin sonuçlarına ilişkin yukarıdaki bilgilere ek olarak Çizelge 4.3.' deki sayısal veriler elde edilmiştir.

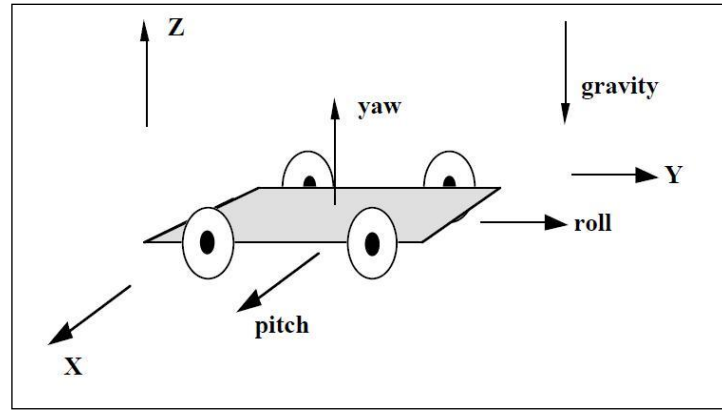
Çizelge 4.3. Analizlere ilişkin bazı sayısal veriler

Analiz No	Analiz Kodu	1 sn. de Sönümlenen Enerji (Joule)	İlk Hız (km/saat)	1 sn.de hız (km/saat)	Hızdaki Değişim (%)	Araçların Maksimum Devrilme Açısı (derece)
1	U-1-50-5	4400	50	51.8	3.6	15
2	U-1-70-5	6000	70	70	0	15.1
3	U-1-90-5	9850	90	89.2	-0.88	15.5
4	U-1-110-5	17000	110	108	-1.82	14.4
5	U-1-50-15	8700	50	50	0	11.2
6	U-1-70-15	14000	70	67.5	-3.57	16.3
7	U-1-90-15	19000	90	87.8	-2.4	22.2
8	U-1-110-15	26000	110	103	-6.36	21.1
9	U-1-50-25	9800	50	50	0	8.5
10	U-1-70-25	27500	70	63.7	-9	9.4
11	U-1-90-25	17500	90	86.4	-4	14.2
12	U-1-110-25	23000	110	108.7	-1.18	16.5
13	U-2-50-5	2100	50	41.4	-17.2	12
14	U-2-70-5	3300	70	63.2	-9.7	11.5
15	U-2-90-5	3400	90	81.7	-9.2	11.4
16	U-2-50-15	6900	50	39.6	-20.8	10.5
17	U-2-70-15	12400	70	60.1	-14.14	9.4
18	U-2-90-15	10500	90	80.3	-10.78	8.5
19	U-2-50-25	10400	50	41.7	-16.6	8.6
20	U-2-70-25	13000	70	63.2	-9.7	4.2
21	U-2-90-25	14800	90	79.9	-11.2	4.2

Çizelge 4.3. (Devam) Analizlere ilişkin bazı sayısal veriler

22	U-3-50-5	36000	50	50.8	1.6	11.8
23	U-3-70-5	39000	70	68	-2.86	12.8
24	U-3-90-5	40000	90	88.9	-1.22	14.9
25	U-3-50-15	53000	50	48.6	-2.8	6.9
26	U-3-70-15	54000	70	69.1	-1.29	7.7
27	U-3-90-15	65000	90	89.3	-0.78	7
28	U-3-50-25	54000	50	50	0	4.6
29	U-3-70-25	57000	70	69.1	-1.29	5.7
30	U-3-90-25	69000	90	89.3	-0.78	6.7

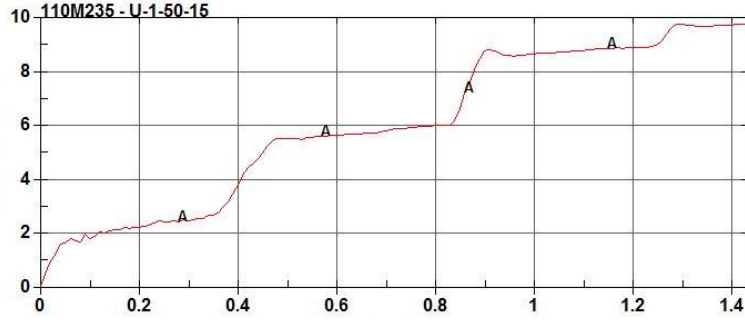
Çizelge 4.3.' de üçgen kesitli kanallar için tamamlanan 30 analize ait veriler bulunmaktadır. Çizelgenin ilk sütununda analiz numaraları ve analiz kodları vardır. Üçüncü sütunda ise analiz boyunca araç tarafından sönmölen enerji değerleri bulunmaktadır. Dördüncü sütunda araçların ilk hızları, beşinci sütunda araçların 1. saniye sonundaki hızları ve altıncı sütunda ise ilk hızlar ve 1. saniye sonundaki hızların yüzdesel olarak artma veya azalma oranları verilmiştir. Son sütunda ise araçların devrilme açısı (roll angle) verilmiştir. Bu açı Şekil 4.32.'de gösterilen ve aracın hareket ettiği yön olan roll okunun etrafında aracın dönmesiyle düzlemlle araç arasında ölçülen maksimum açıdır. Bu okuma 900 kg ve 3000 kg ağırlığındaki araçlar için yapılabilmektedir. Kamyon için bu değerler verilmemiştir.



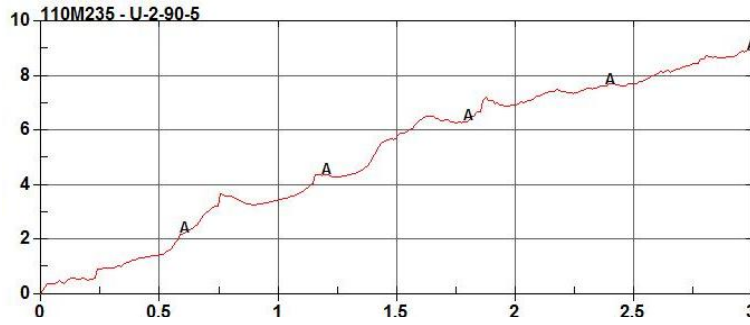
Şekil 4.32. Üç boyutlu düzlemlde aracın doğrultuları

Çizelge 4.3.' de verilen aracın 1 sn. de sönmölediği enerji değeri (internal energy) LS-DYNA' nın yardımcı programı olan LS-PrePost' dan elde edilen ve örnekleri Şekil 4.33.' deki grafiklerden okunmuştur. Şekil 4.33.' de yapılan 30 simölasyonu temsilen

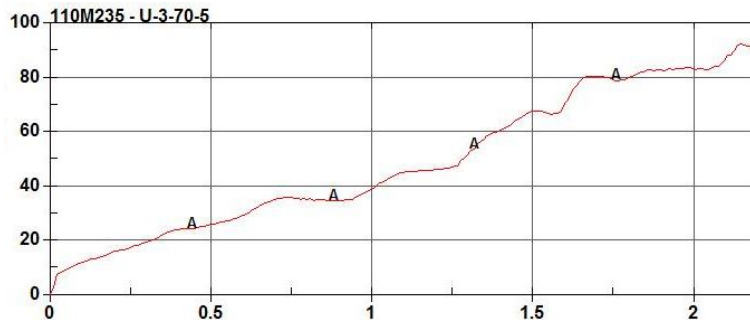
her araç için birer tane olmak üzere toplam üç araca ait zaman-sönümlenen enerji grafiği verilmiştir. Aracın sahip olduğu kinetik enerjinin büyük kısmı aracın lastikleri ile yüzey arasındaki sürtünme ve süspansiyon sistemi tarafından sönümlenmektedir. Bu grafiklerde x eksenini zamanı saniye cinsinden, y eksenini ise enerjiyi kilo joule (joule x 10^3) cinsinden vermektedir.



(a) U-1-50-15 kodlu analize ait zaman-sönümlenen enerji grafiği



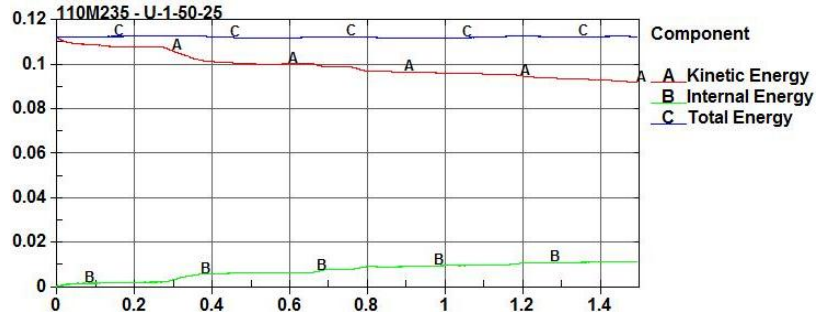
(b) U-2-90-5 kodlu analize ait zaman-sönümlenen enerji grafiği



(c) U-3-70-5 kodlu analize ait zaman-sönümlenen enerji grafiği

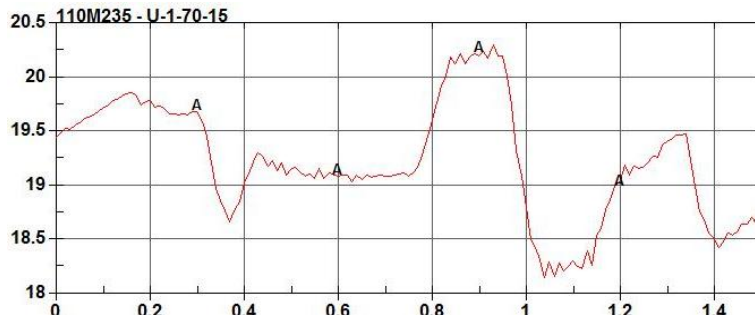
Şekil 4.33. Araçların zaman-sönümledikleri enerji grafikleri (x-ekseni saniye, y-ekseni kilo Joule)

Yine LS-PrePost' dan elde edilen ve Şekil 4.34.' de gösterilen grafik ise analiz boyunca kinetik enerjiyi, sönümlenen enerjiyi ve toplam enerjiyi göstermektedir. Y-ekseni mega joule (joule x 10^6) cinsinden enerjiyi göstermektedir.



Şekil 4.34. U-1-50-25 kodlu analize ait zaman-enerji grafikleri (x-ekseni saniye, y-ekseni mega Joule)

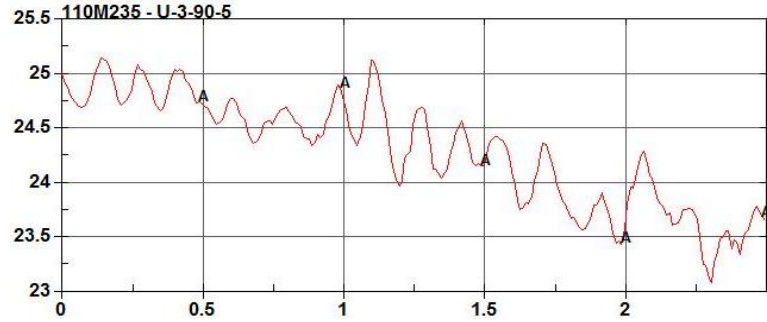
Çizelge 4.3.' de verilen hız değerleri LS-PrePost'dan elde edilen ve örnekleri Şekil 4.35.' de gösterilen grafiklerden okunmuştur. Toplam 30 adet grafik vardır ancak burada herbir araçtan birer tane olmak üzere toplam üç adet grafik gösterilmiştir. Bu grafiklerde de görüleceği gibi hız değerleri 900 kg ağırlığındaki hafif araç için dalgalı olarak değişmekte ve araç ani yavaşlayamamaktadır. 3000 kg ağırlığındaki van için hız değerleri genelde zamana bağlı olarak düşüş eğilimi göstermektedir. 10000 kg ağırlığındaki kamyonunda ise hız değerleri dalgalı bir şekilde azalmaktadır. Bu grafiklerde zamanın birimi saniye, hızın birimi ise milimetre/saniye'dir.



(a) U-1-70-15 kodlu analize ait hız grafiği



(b) U-2-50-15 kodlu analize ait hız grafiği



(c) U-3-90-5 kodlu analize ait hız grafiği

Şekil 4.35. Araçların zaman-hız değişim grafikleri (x-ekseni saniye, y-ekseni mm/sn)

4.3. Üçgen Kesitli Kanallar İçin Yapılan Hassas Analizler

Üçgen kesitli kanallar için yapılan analizlerin tamamlanmasının ardından kanal yüzeyindeki sürtünmenin yüksek olduğu ek analizler yapılmıştır. Bu kapsamda Çizelge 3.2.' de verilen 6 analiz yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları da önceki analizlerde olduğu gibi aracın analiz boyunca izlediği yolu gösteren üstten görünüm ve 4 adet enkesit görünümü içeren şekillerle verilecektir.

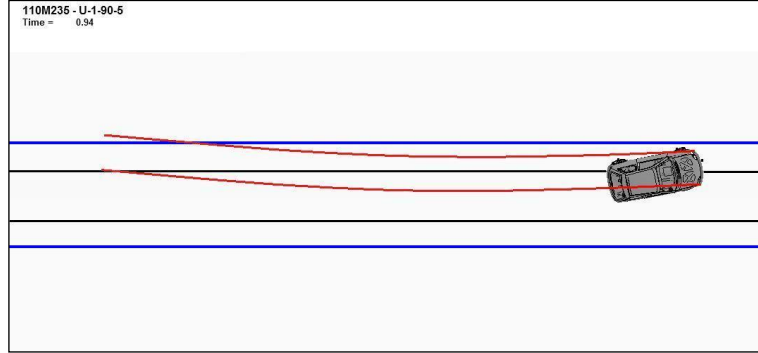
4.3.1. 900 kg. Ağırlığındaki Araç İçin Sonuçlar

4.3.1.1. Araç Hızı 90 km/saat

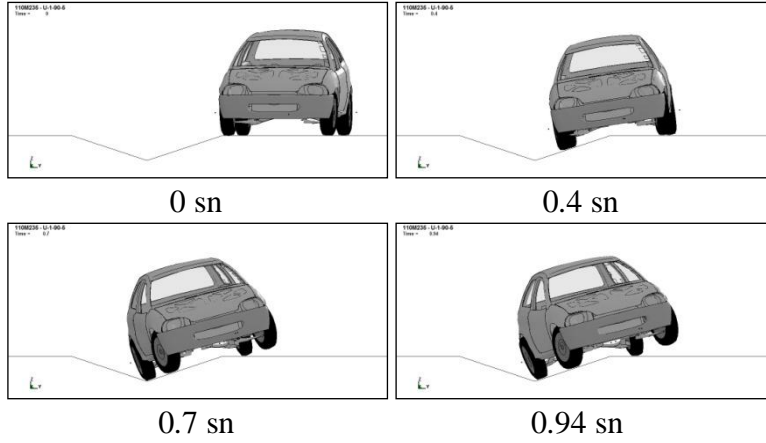
4.3.1.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu

U-1-90-5-YS kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.36.' da verilmiştir. Şekil 4.36 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil

4.36 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

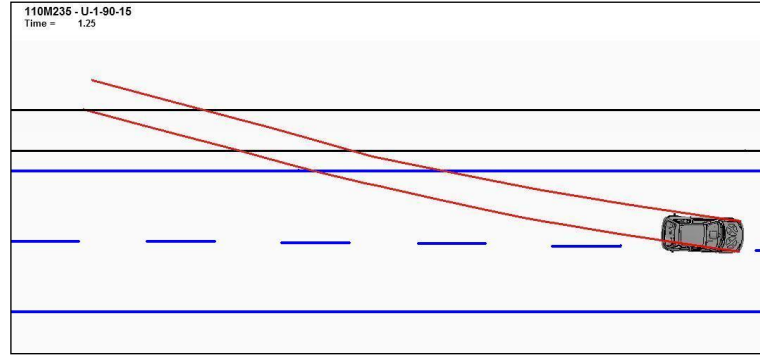


(b) Enkesit görüntüleri

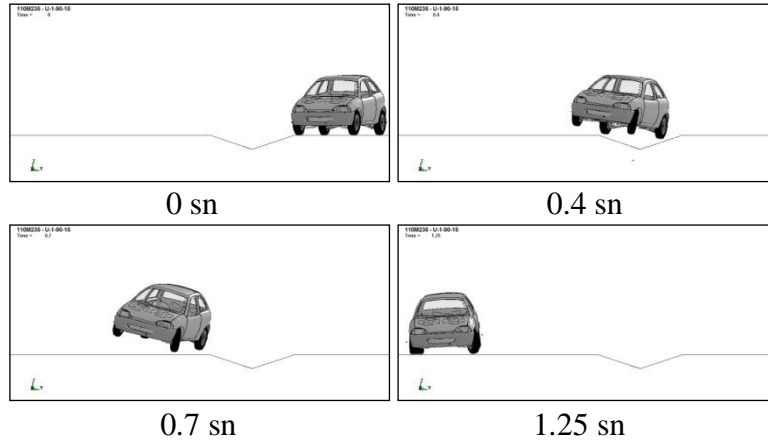
Şekil 4.36. U-1-90-5-YS kodlu analiz sonuçları

4.3.1.2.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu

U-1-90-15-YS kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.37.' de verilmiştir. Şekil 4.37 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.37 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

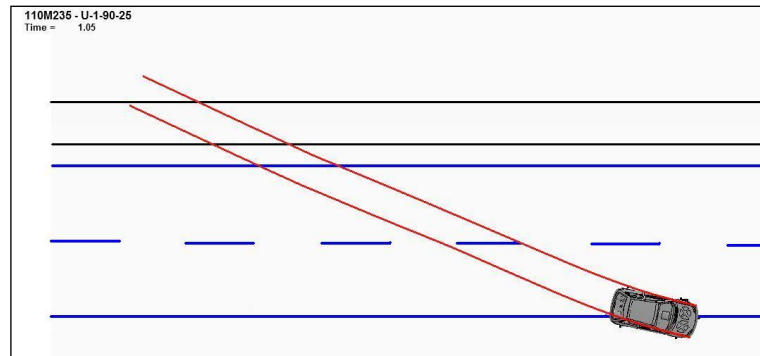


(b) Enkesit görüntüleri

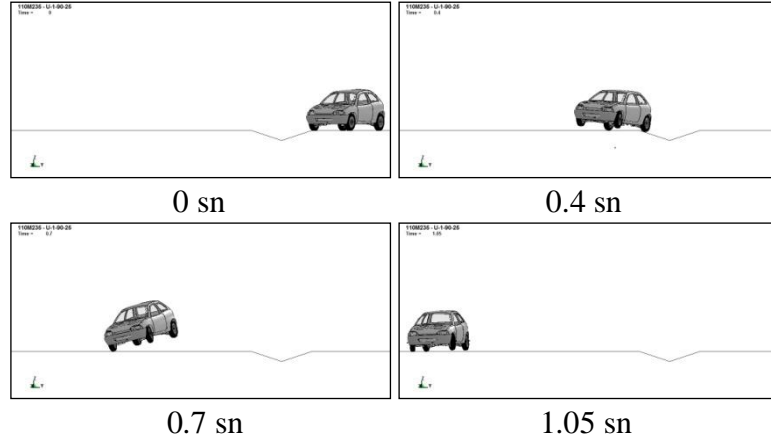
Şekil 4.37. U-1-90-15-YS kodlu analiz sonuçları

4.3.1.2.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu

U-1-90-25-YS kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.38.' de verilmiştir. Şekil 4.38 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.38 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



(b) Enkesit görüntüleri

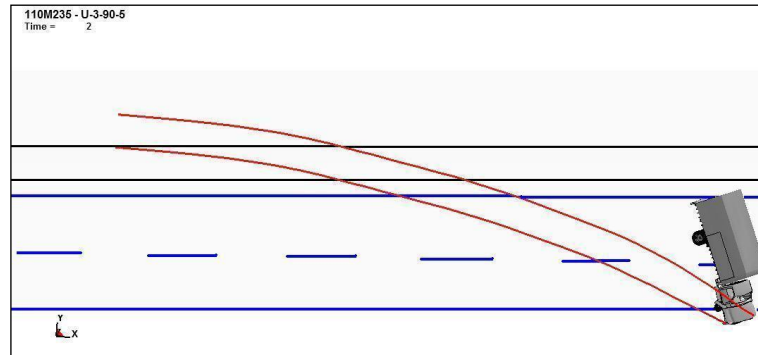
Şekil 4.38. U-1-90-25-YS kodlu analiz sonuçları

4.3.2. 10000 kg. Ağırlığındaki Kamyon İçin Sonuçlar

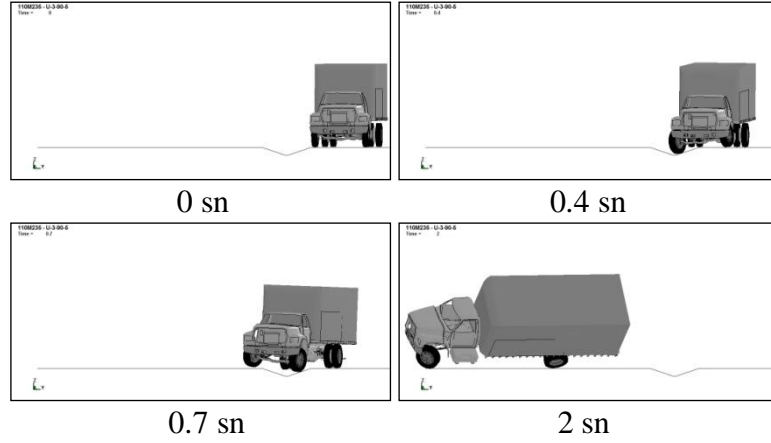
4.3.2.1. Araç Hızı 90 km/saat

4.3.2.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu

U-3-90-5-YS kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.39.' da verilmiştir. Şekil 4.39 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.39 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol

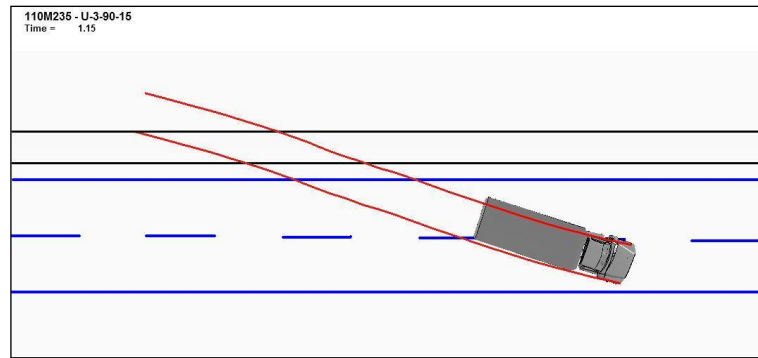


(b) Enkesit görüntüleri

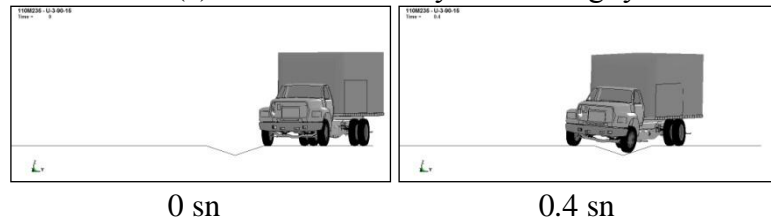
Şekil 4.39. U-3-90-5-YS kodlu analiz sonuçları

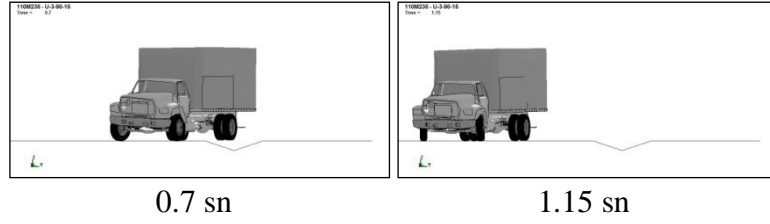
4.3.2.1.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu

U-3-90-15-YS kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.40.' da verilmiştir. Şekil 4.40 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.40 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



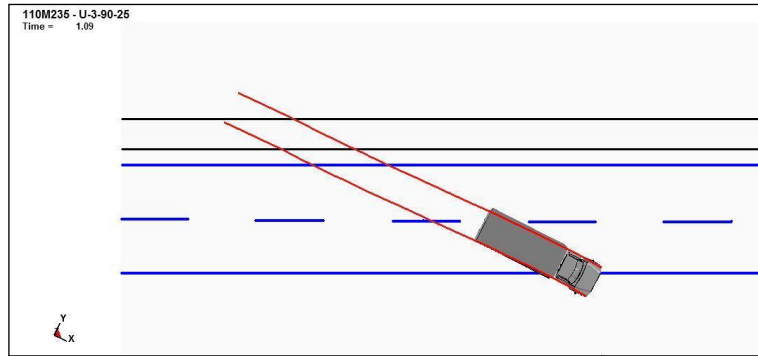


(b) Enkesit görüntüleri

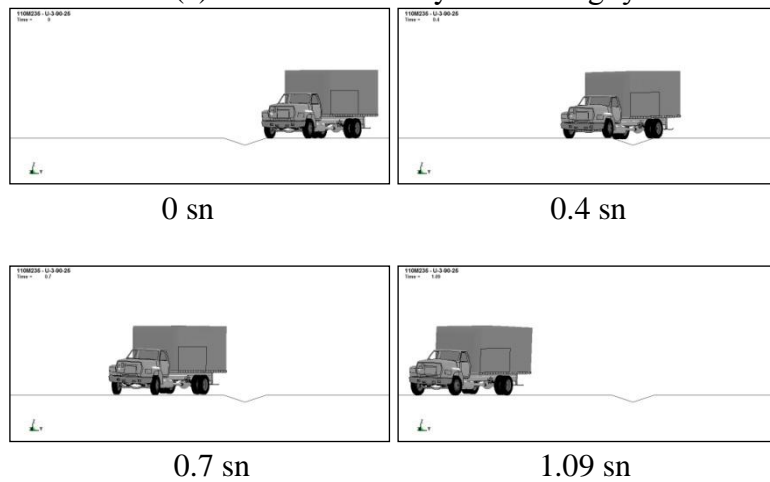
Şekil 4.40. U-3-90-15-YS kodlu analiz sonuçları

4.3.2.1.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu

U-3-90-25-YS kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.41.' de verilmiştir. Şekil 4.41 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.41 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(a) Aracın analiz boyunca izlediği yol



(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.41. U-3-90-25-YS kodlu analiz sonuçları

4.3.3. Normal Analizler İle Yüzeyin Yüksek Sürtünmeli Olduğu Analizlerinin Karşılaştırılması

Her iki durum içinde bulunan ASI değerleri Çizelge 4.4.' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. ASI değerleri

Analiz Kodu	Normal Durumda ASI Değerleri	Yüzey Yüksek Sürtünmeli olması durumunda ASI Değerleri
U-1-90-5	0.32	0.28
U-1-90-15	0.68	0.60
U-1-90-25	0.64	0.56

Normal analizler sonrası bulunan 1 saniyede sönmölenen enerji değerleri ve 1 saniye sonundaki hız değerleri ile hızdaki yüzdesel değişim değerleri kanal yüzeyi yüksek sürtünmeli durumlar için yapılan analizler için de bulunmuş. Çizelge 4.5.' de bu iki durum karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.5.' de normal analizler (a), yüksek sürtünmeli analizler ise (b) ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Normal analizler ile yüzeyin yüksek sürtünmeli olduğu analizlerin karşılaştırılması

An ali z No	Analiz Kodu	1 sn. de Sönmölenen Enerji (Joule)		İlk Hız (km/ saat)	1.saniyedeki hız (km/saat)		Hızdaki Değişim (%)		Devrilme Açısı	
		a	b		a	b	a	b	a	b
1	U-1-90-5	9850	18000	90	89.2	85.7	-0.88	-4.78	15.5	16
2	U-1-90-15	19000	40000	90	87.8	80.3	-2.4	-10.78	22.2	23.7
3	U-1-90-25	17500	35000	90	86.4	85.5	-4	-5	14.2	14.9
4	U-3-90-5	40000	200000	90	88.9	84.6	-1.22	-6	14.9	dvrđ
5	U-3-90-15	65000	220000	90	89.3	84.2	-0.78	-6.44	7	6.5
6	U-3-90-25	69000	75000	90	89.3	88.6	-0.78	-1.56	6.7	3.6

4.4. Trapez Kesitli Kanal İçin Analiz Sonuçları

Trapez kesitli kanallar için ilk aşamada yapılması planlanan ve Çizelge 3.1.' de gösterilen 30 analiz tamamlanmıştır. Analiz süresince aracın ilk konumundan itibaren analiz sonuna kadar izlediği yolu gösteren görüntüler ile belirli zaman aralıklarında

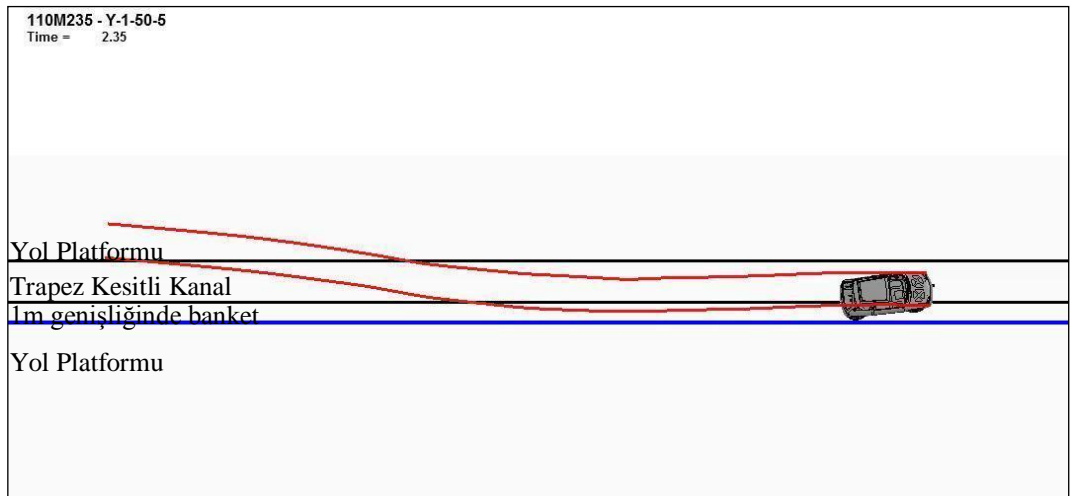
aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri aşağıda verilmiştir. Aracın analiz boyunca izlediği yolu gösteren şekillerde kanal kenarları siyah çizgilerle gösterilmektedir. Kanalın her iki tarafında kanala 1 metre uzaklıktaki yol kenarı çizgisi kesintisiz olarak gösterilmiştir. Ayrıca yol şerit çizgileri kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Bu şekillerde çizimler ülkemizde inşa edilen duble yollara uygun olarak 2 şerit olarak yapılmıştır. Şeritler arası 3.5 metre alınmıştır. Tüm analizlerde yuvarlanma yüzeyi ile araç lastiği ve diğer parçaların birbirine temas edecekleri düşünüldüğünden yüzey-lastik arasında statik ve dinamik sürtünme katsayıları sırasıyla 0.25 ve 0.15, ve yüzey-metal aksam arasında statik ve dinamik sürtünme değerleri sırasıyla 0.5 ve 0.3 olarak tanımlanmıştır. Bu değerler literatürde yapılmış benzer çalışmalardan alınmıştır (Consolazio ve ark., 2003).

4.4.1. 900 kg. Ağırlığındaki Araç İçin Sonuçlar

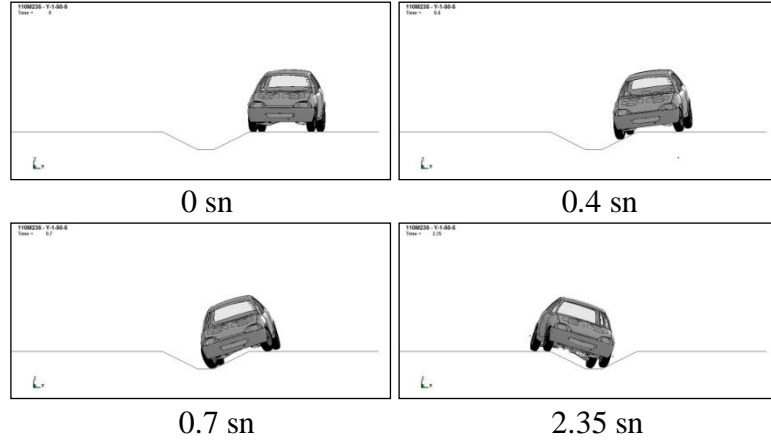
4.4.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu

4.4.1.1.1. Araç Hızı 50 km/saat

Y-1-50-5 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.42.' de verilmiştir. Şekil 4.42 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.42 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

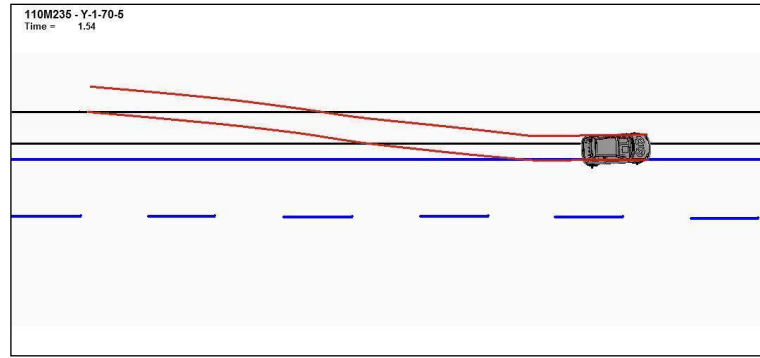


(b) Enkesit görüntüleri

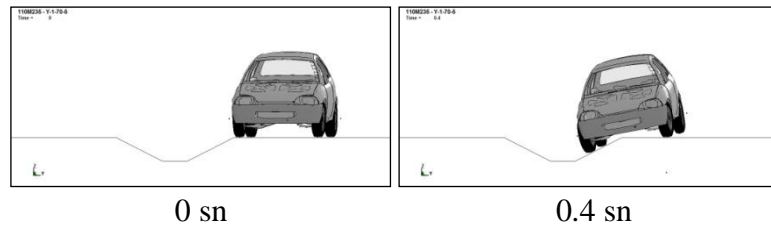
Şekil 4.42. Y-1-50-5 kodlu analiz sonuçları

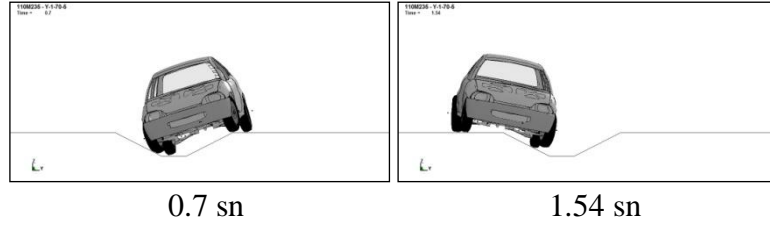
4.4.1.1.2. Araç Hızı 70 km/saat

Y-1-70-5 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.43.' de verilmiştir. Şekil 4.43 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.43 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol





0.7 sn

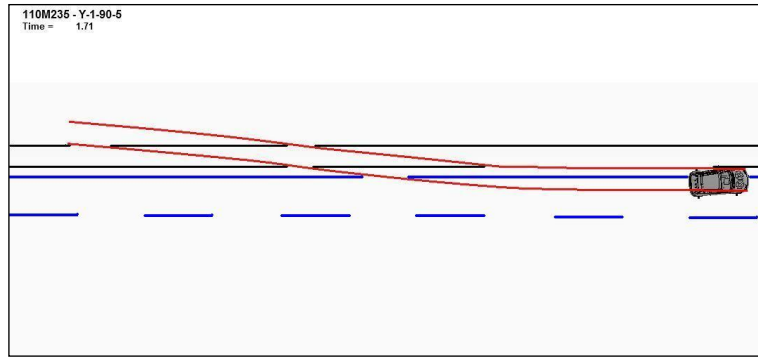
1.54 sn

(b) Enkesit görüntüleri

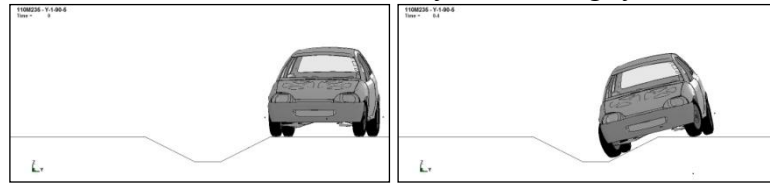
Şekil 4.43. Y-1-70-5 kodlu analizin sonuçları

4.4.1.1.3. Araç Hızı 90 km/saat

Y-1-90-5 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.44.' de verilmiştir. Şekil 4.44 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.44 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.

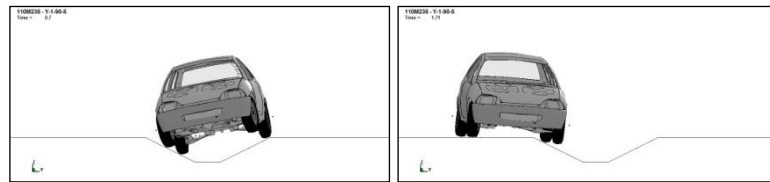


(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol



0 sn

0.4 sn



0.7 sn

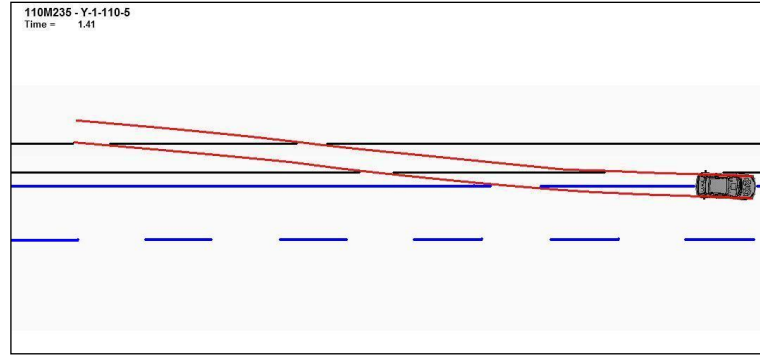
1.71 sn

(b) Enkesit görüntüleri

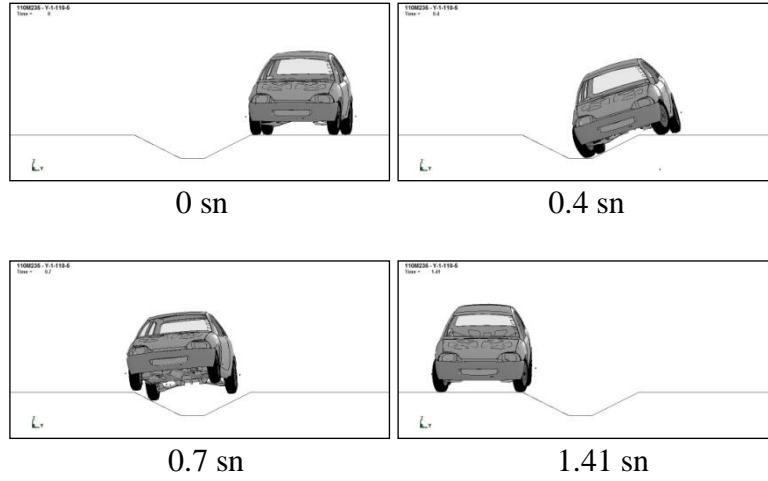
Şekil 4.44. Y-1-90-5 kodlu analizin sonuçları

4.4.1.1.4. Araç Hızı 110 km/saat

Y-1-110-5 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.45.' de verilmiştir. Şekil 4.45 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.45 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol



(b) Enkesit görüntüleri

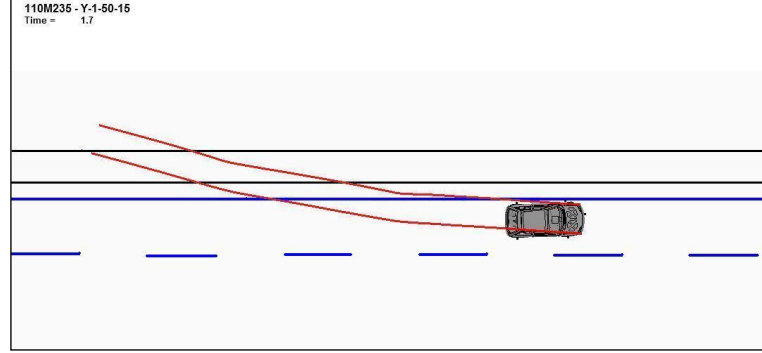
Şekil 4.45. Y-1-110-5 kodlu analizin sonuçları

4.4.1.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu

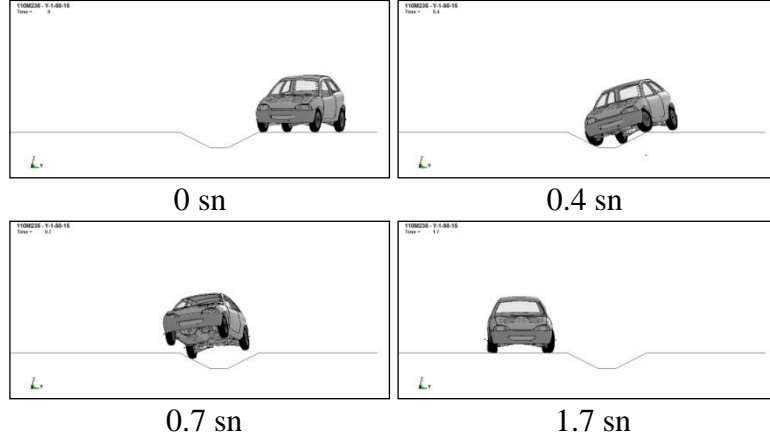
4.4.1.2.1. Araç Hızı 50 km/saat

İlk analiz Y-1-50-15'tir. Bu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.46.' da verilmiştir. Şekil 4.46 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten

görünüm, Şekil 4.46 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

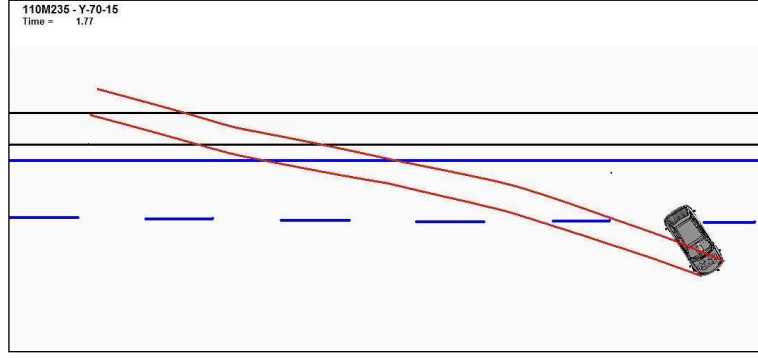


(b) Enkesit görüntüleri

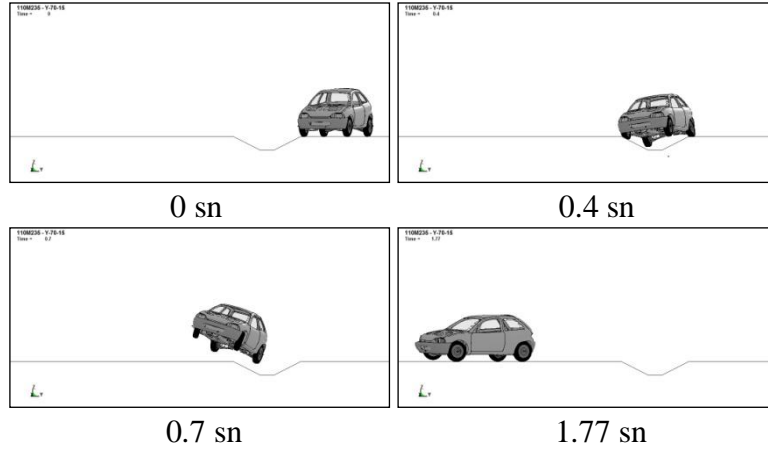
Şekil 4.46. Y-1-50-15 kodlu analizin sonuçları

4.4.1.2.2. Araç Hızı 70 km/saat

Y-1-70-15 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.47.' de verilmiştir. Şekil 4.46 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.46 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

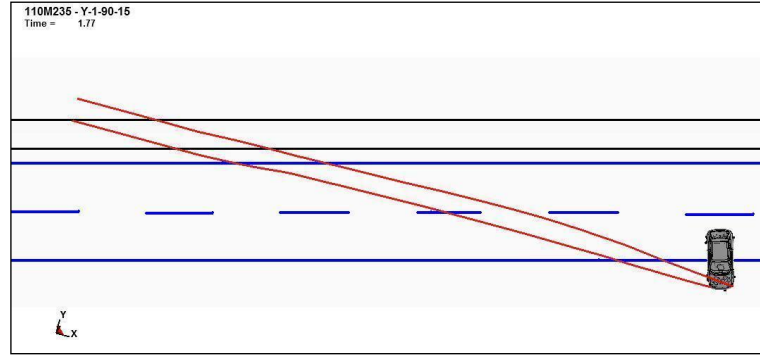


(b) Enkesit görüntüleri

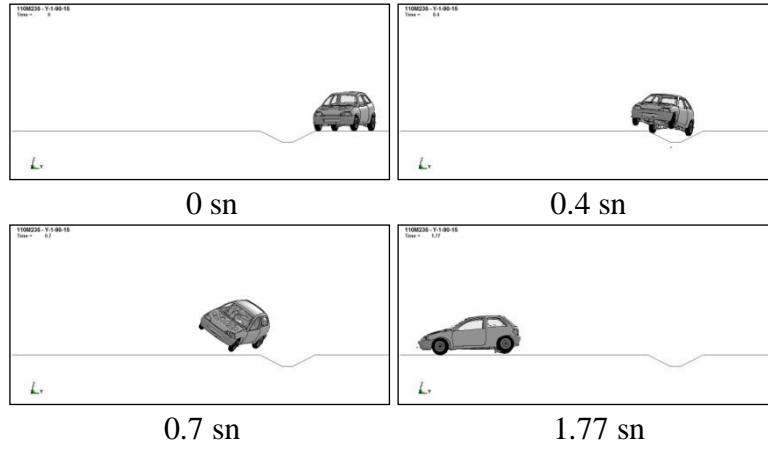
Şekil 4.47. Y-1-70-15 kodlu analiz sonuçları

4.4.1.2.3. Araç Hızı 90 km/saat

Y-1-90-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.48.' de gösterilmiştir. Şekil 4.48 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.48 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

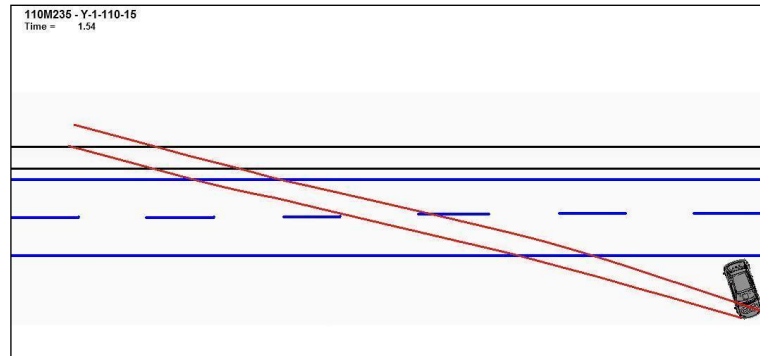


(b) Enkesit görüntüleri

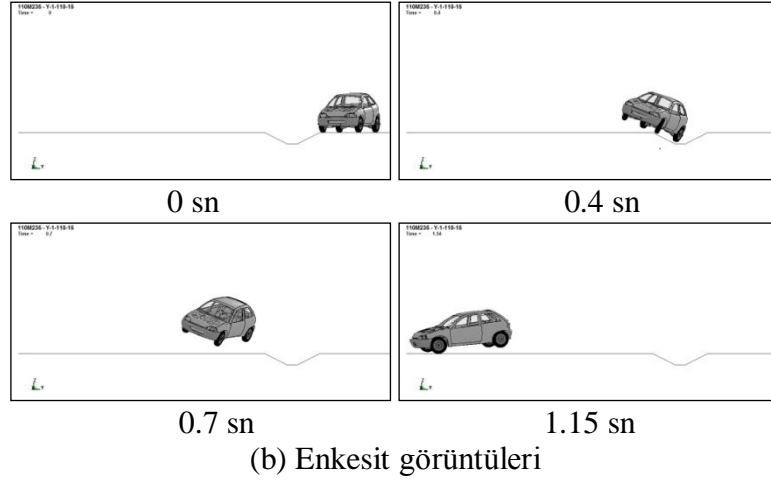
Şekil 4.48. Y-1-90-15 kodlu analiz sonuçları

4.4.1.2.4. Araç Hızı 110 km/saat

Y-1-110-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.49.' da verilmiştir. Şekil 4.49 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.49 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

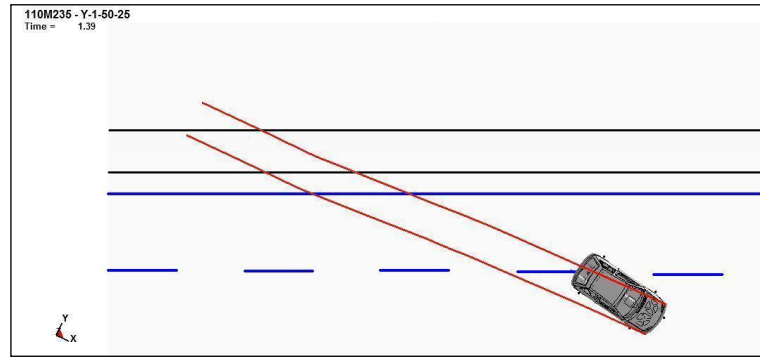


Şekil 4.49. Y-1-110-15 kodlu analiz sonuçları

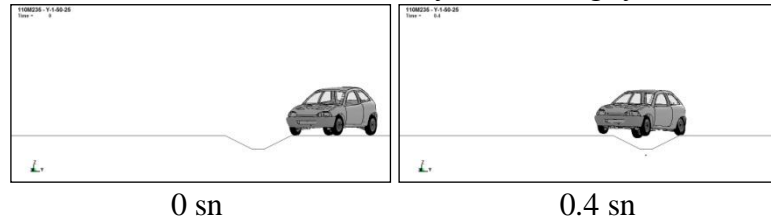
4.4.1.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu

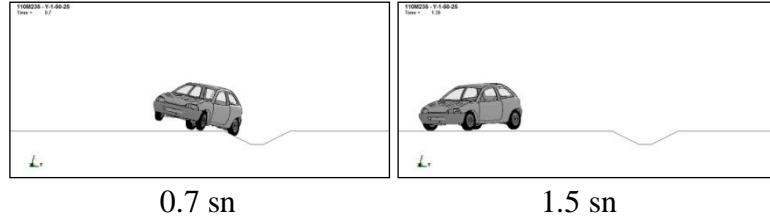
4.4.1.3.1. Araç Hızı 50 km/saat

Y-1-50-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.50.' da verilmiştir. Şekil 4.50 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.50 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol



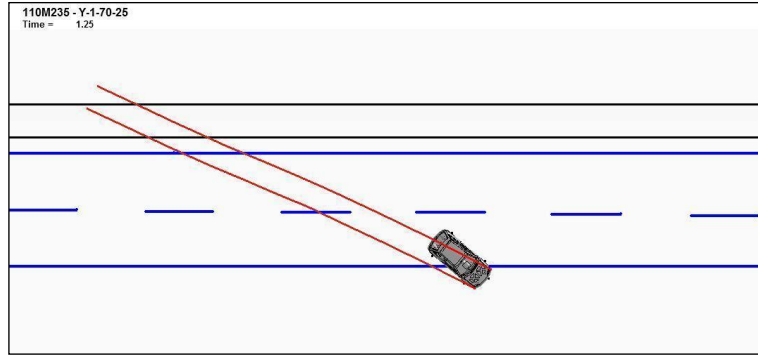


(b) Enkesit görüntüleri

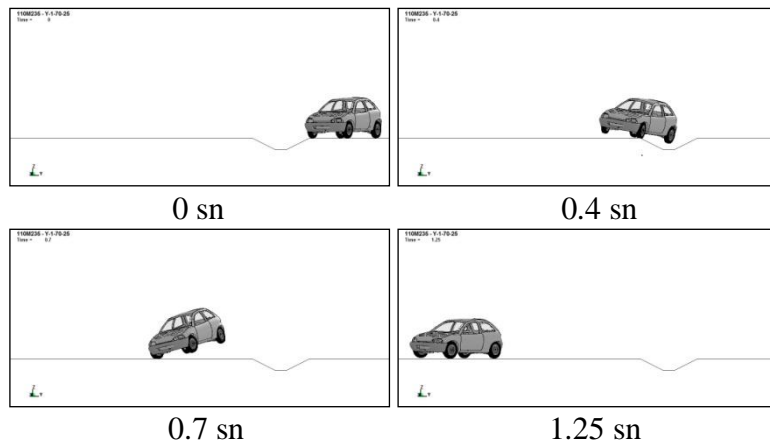
Şekil 4.50. Y-1-50-25 kodlu analiz sonuçları

4.4.1.3.2. Araç Hızı 70 km/saat

Y-1-70-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.51.' de verilmiştir. Şekil 4.51 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.51 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

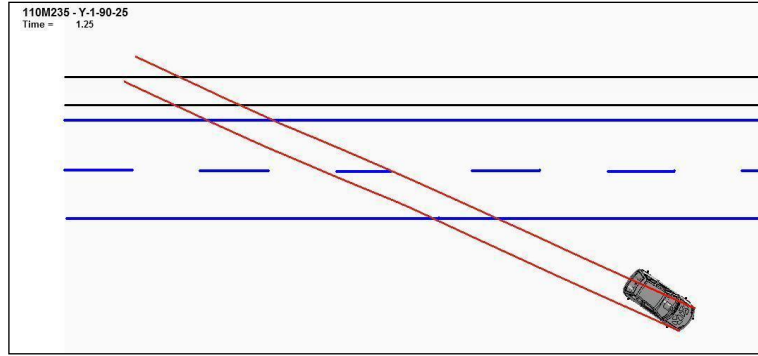


(b) Enkesit görüntüleri

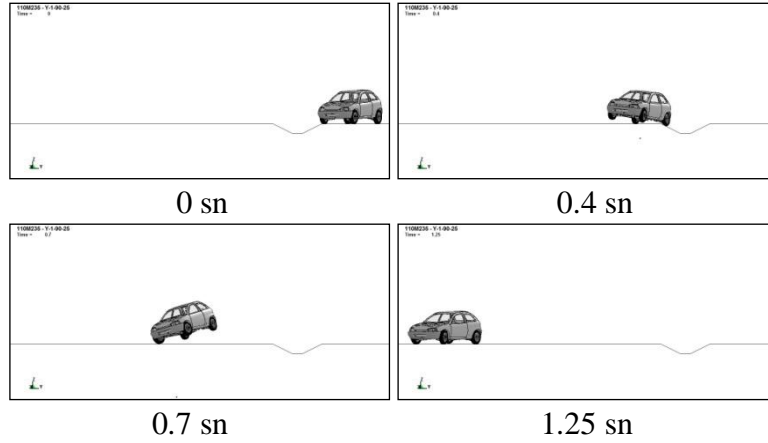
Şekil 4.51. Y-1-70-25 kodlu analiz sonuçları

4.4.1.3.3. Araç Hızı 90 km/saat

Y-1-90-25 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.52.' de verilmiştir. Şekil 4.52 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.52 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

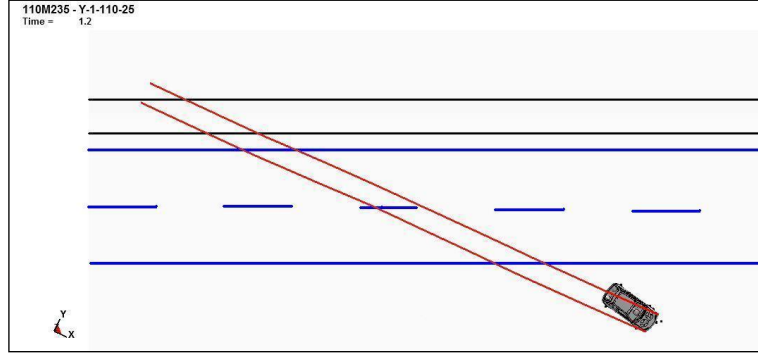


(b) Enkesit görüntüleri

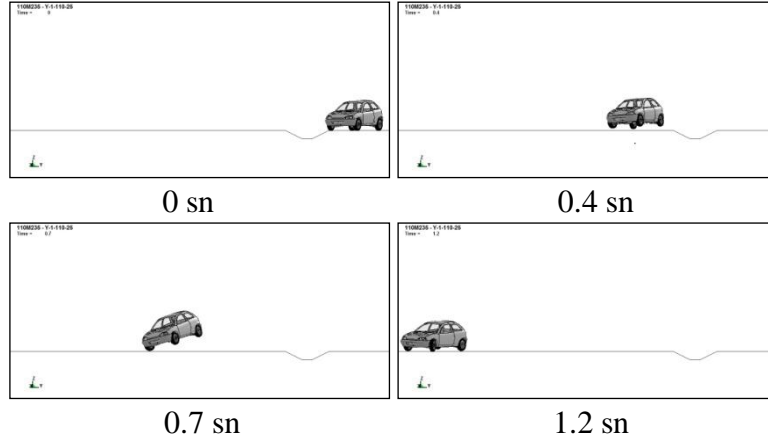
Şekil 4.52. Y-1-90-25 kodlu analizin sonuçları

4.4.1.3.4. Araç Hızı 110 km/saat

Y-1-110-25 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.53.' de verilmiştir. Şekil 4.53 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.53 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol



(b) Enkesit görüntüleri

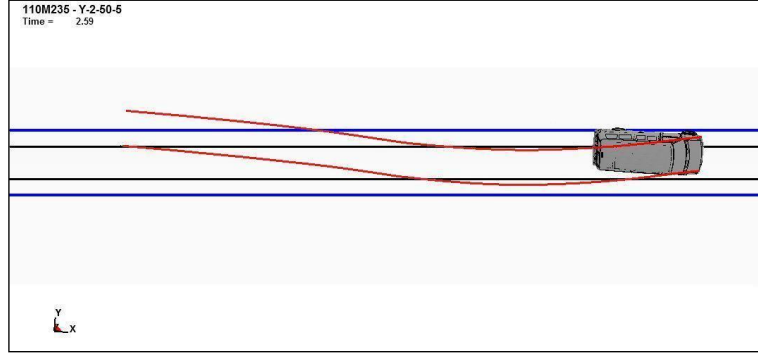
Şekil 4.53. Y-1-110-25 kodlu analizin sonuçları

4.4.2. 3000 kg. Ağırlığındaki Van İçin Sonuçlar

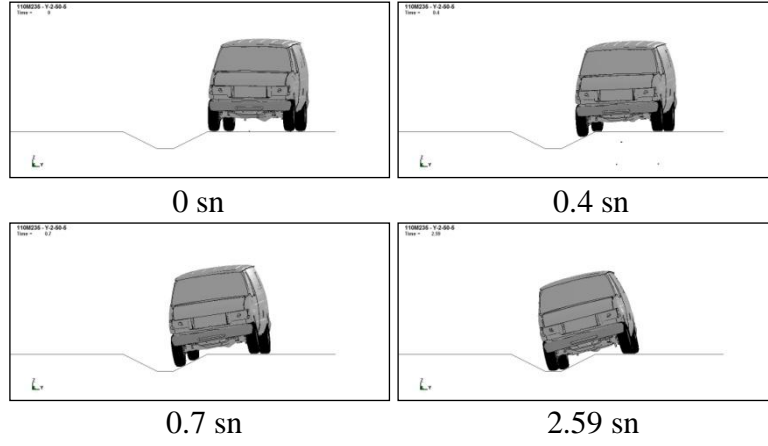
4.4.2.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu

4.4.2.1.1. Araç Hızı 50 km/saat

Y-2-50-5 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.54.' de verilmiştir. Şekil 4.54 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.54 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

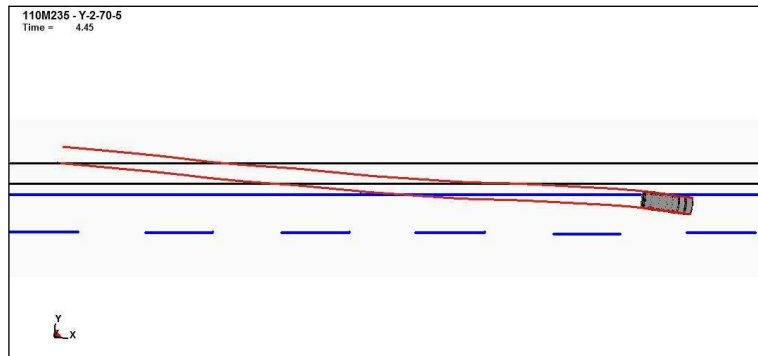


(b) Enkesit görüntüleri

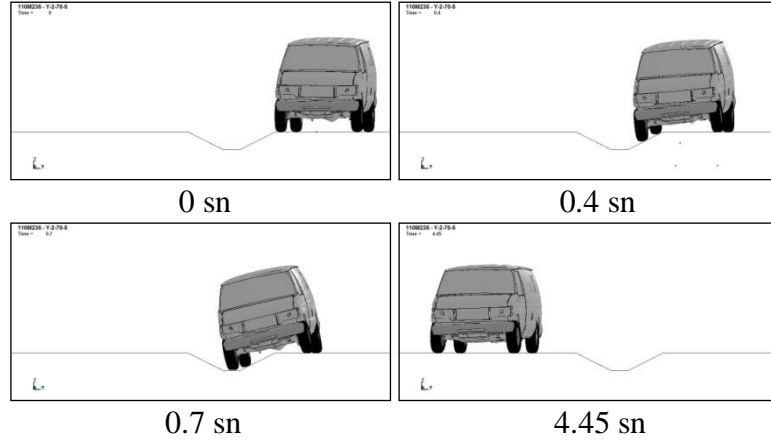
Şekil 4.54. Y-2-50-5 kodlu analizin sonuçları

4.4.2.1.2. Araç Hızı 70 km/saat

Y-2-70-5 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.55.' de verilmiştir. Şekil 4.55 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.55 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

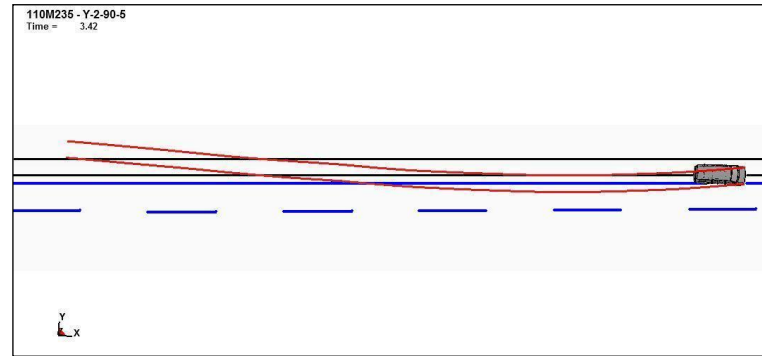


(b) Enkesit görüntüleri

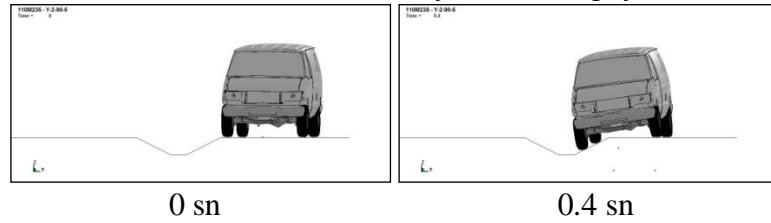
Şekil 4.55. Y-2-70-5 kodlu analiz sonuçları

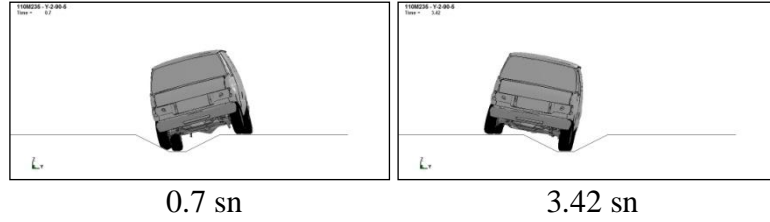
4.4.2.1.3. Araç Hızı 90 km/saat

Y-2-90-5 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.56.' da verilmiştir. Şekil 4.56 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.56 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol





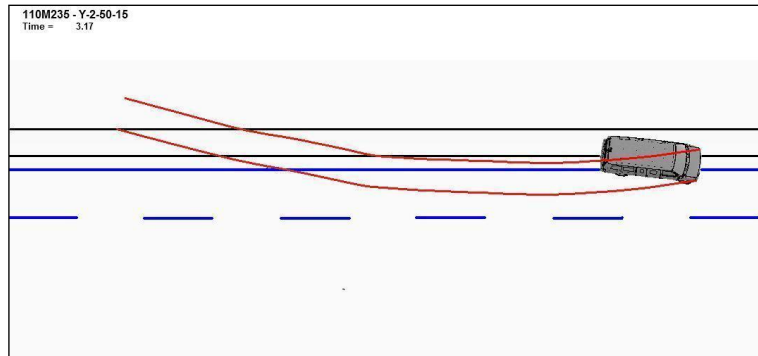
(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.56. U-2-90-5 kodlu analiz sonuçları

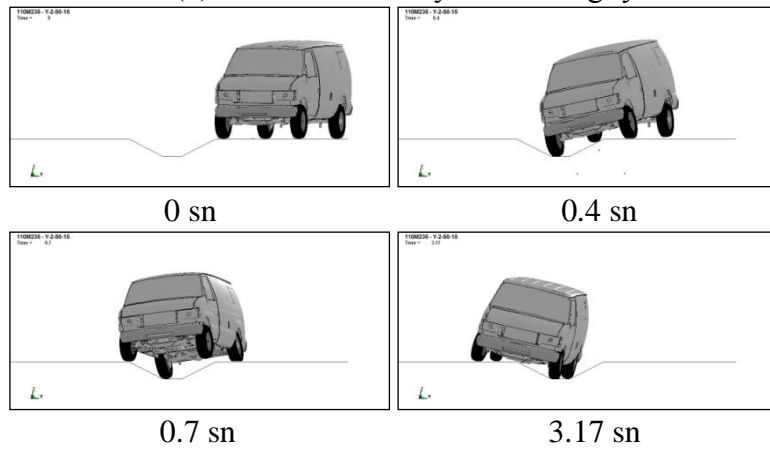
4.4.2.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu

4.4.2.2.1. Araç Hızı 50 km/saat

Y-2-50-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.57.' da verilmiştir. Şekil 4.57 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.57 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

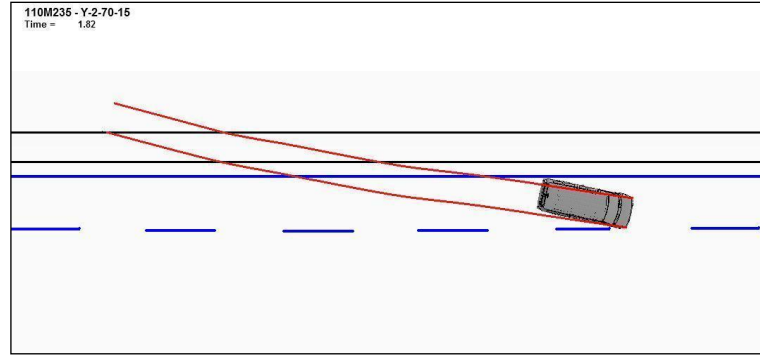


(b) Enkesit görüntüleri

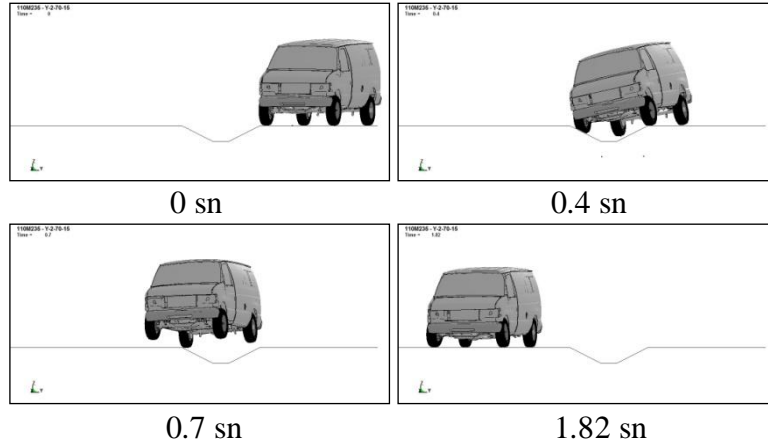
Şekil 4.57. Y-2-50-15 kodlu analiz sonuçları

4.4.2.2.2. Araç Hızı 70 km/saat

Y-2-70-15 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.58.' de verilmiştir. Şekil 4.58 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.58 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

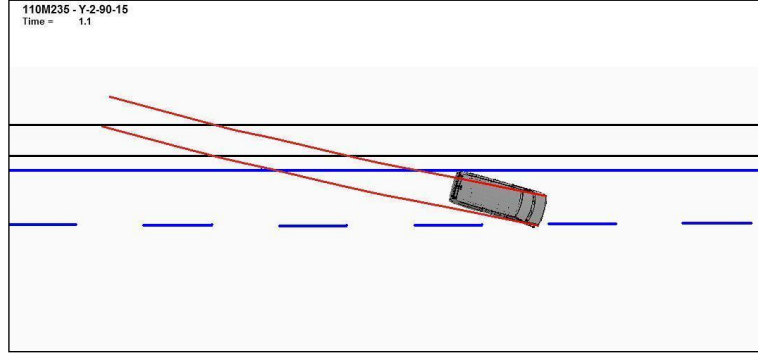


(b) Enkesit görüntüleri

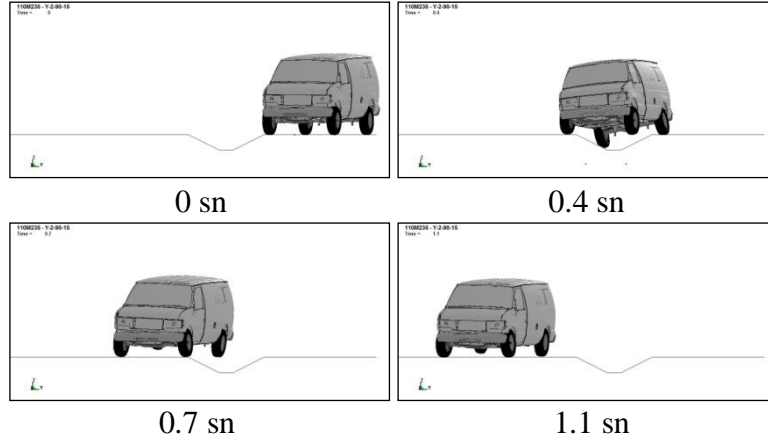
Şekil 4.58. Y-2-70-15 kodlu analizin sonuçları

4.4.2.2.3. Araç Hızı 90 km/saat

Y-2-90-15 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.59.' da verilmiştir. Şekil 4.59 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.59 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol



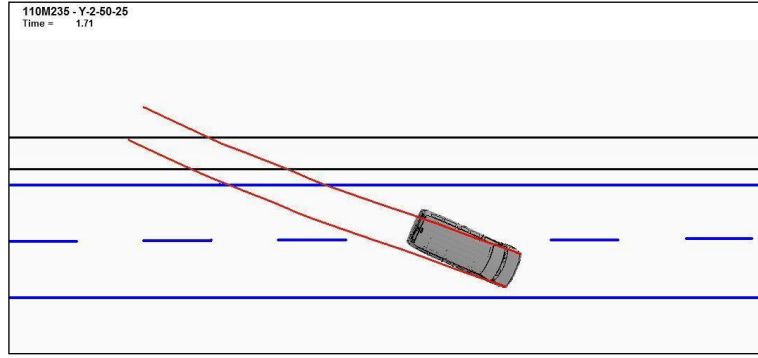
(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.59. Y-2-90-15 kodlu analizin sonuçları

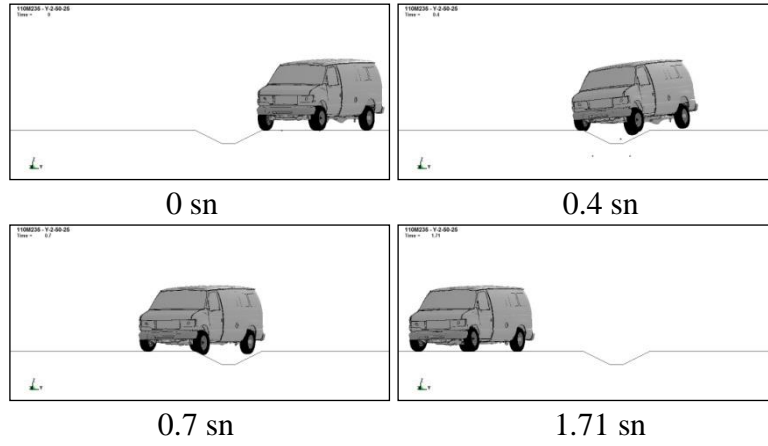
4.4.2.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu

4.4.2.3.1. Araç Hızı 50 km/saat

Y-2-50-25 kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.60.' da verilmiştir. Şekil 4.60 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.60 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

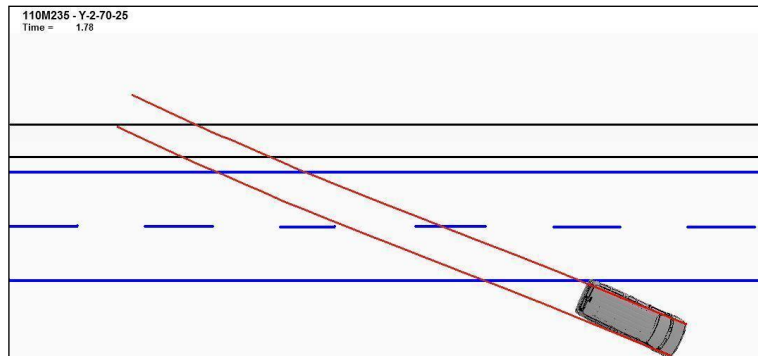


(b) Enkesit görüntüleri

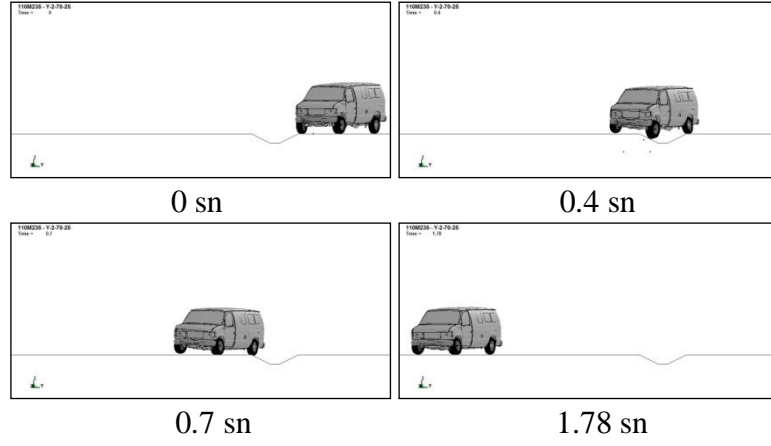
Şekil 4.60. Y-2-50-25 kodlu analiz sonuçları

4.4.2.3.2. Araç Hızı 70 km/saat

Y-2-70-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.61.' de verilmiştir. Şekil 4.61 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.61 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

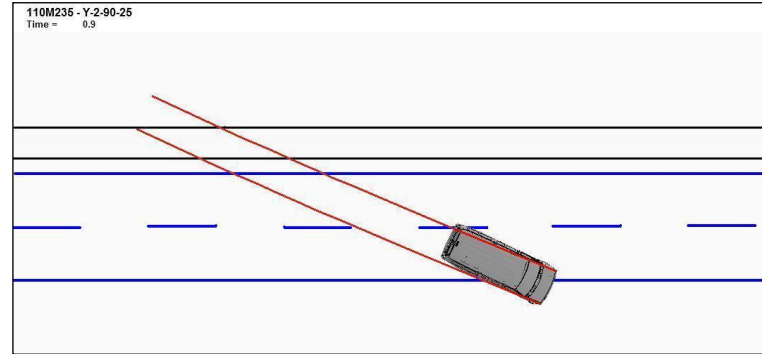


(b) Enkesit görüntüleri

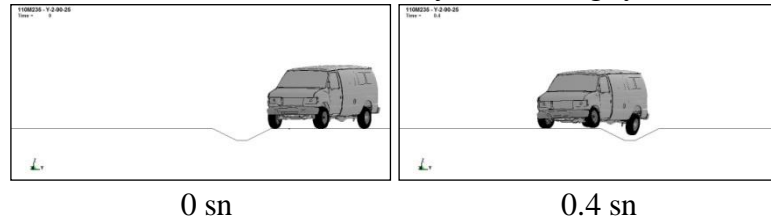
Şekil 4.61. Y-2-70-25 kodlu analiz sonuçları

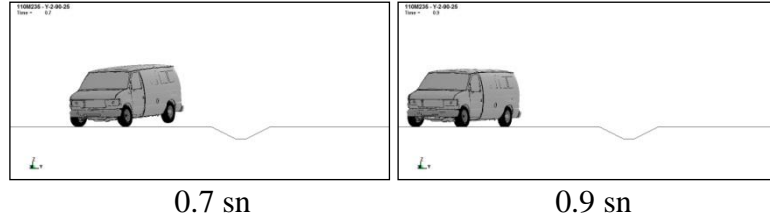
4.4.2.3.3. Araç Hızı 90 km/saat

Y-2-90-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.62.' de verilmiştir. Şekil 4.62 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.62 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol





(b) Enkesit görüntüleri

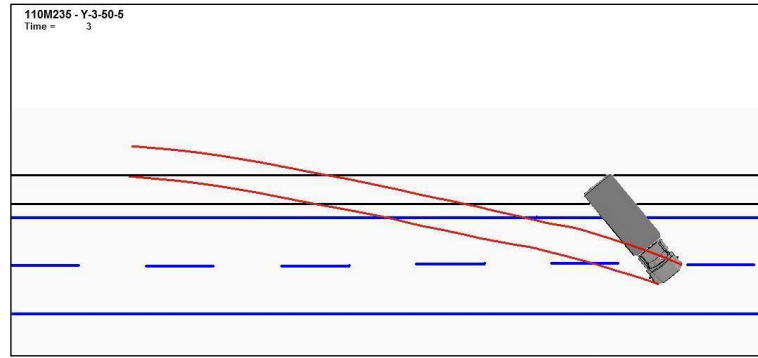
Şekil 4.62. Y-2-90-25 kodlu analiz sonuçları

4.4.3. 10000 kg. Ağırlıındaki Kamyon İçin Sonuçlar

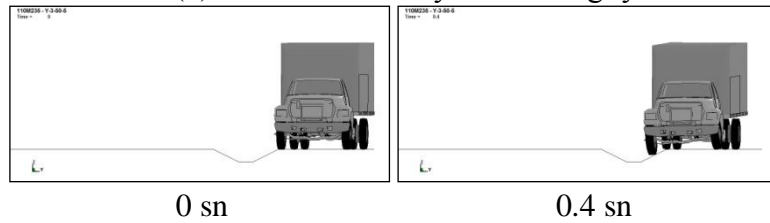
4.4.3.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu

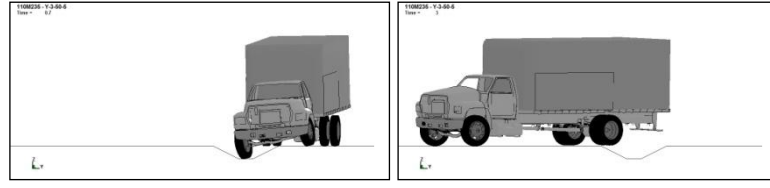
4.4.3.1.1. Araç Hızı 50 km/saat

Y-3-50-5 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.63.' de verilmiştir. Şekil 4.63 (a)' da analiz boyunca aracın izlediğı yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.63 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediğı yol





0.7 sn

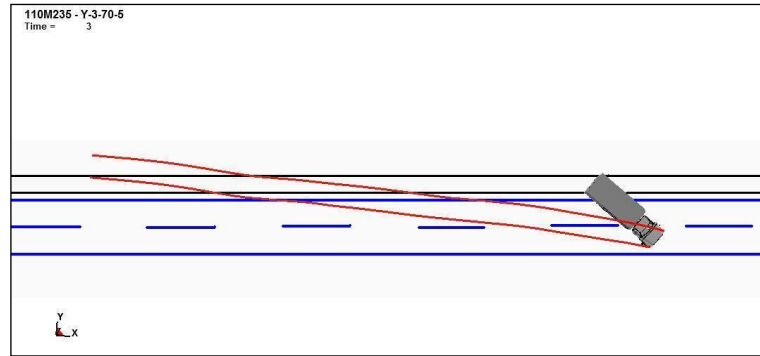
3 sn

(b) Enkesit görüntüleri

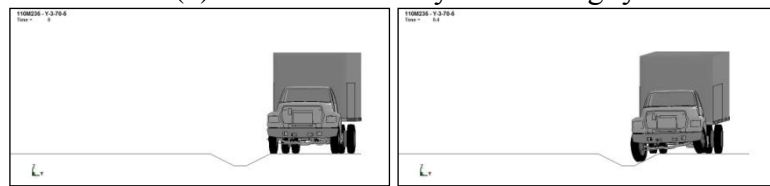
Şekil 4.63. Y-3-50-5 kodlu analiz sonuçları

4.4.3.1.2. Araç Hızı 70 km/saat

Y-3-70-5 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.64.' de verilmiştir. Şekil 4.64 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.64 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.

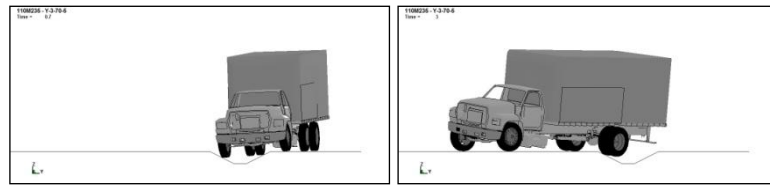


(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol



0 sn

0.4 sn



0.7 sn

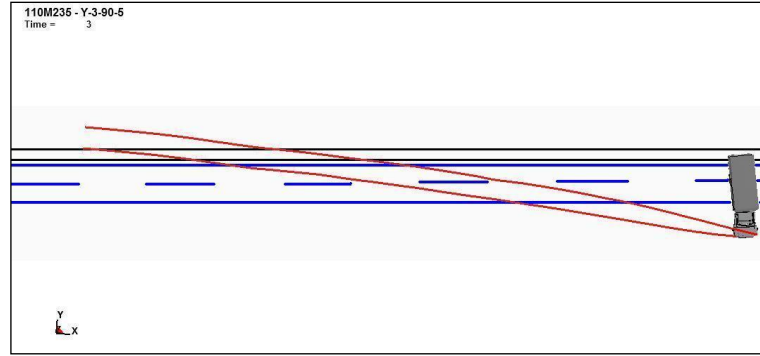
3 sn

(b) Enkesit görüntüleri

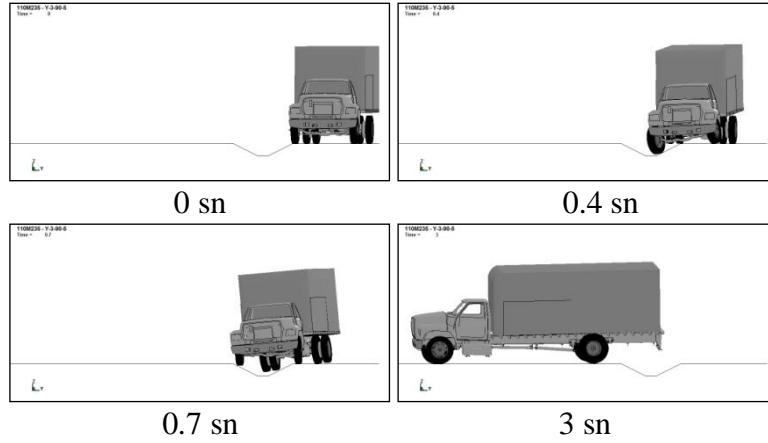
Şekil 4.64. Y-3-70-5 kodlu analiz sonuçları

4.4.3.1.3. Araç Hızı 90 km/saat

Y-3-90-5 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.65.' de verilmiştir. Şekil 4.65 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.65 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol



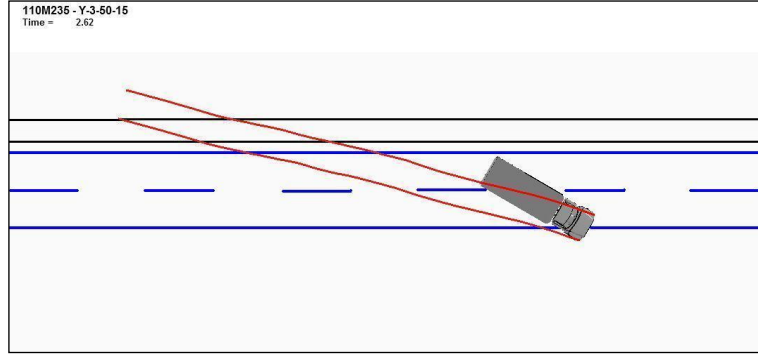
(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.65. Y-3-90-5 kodlu analiz sonuçları

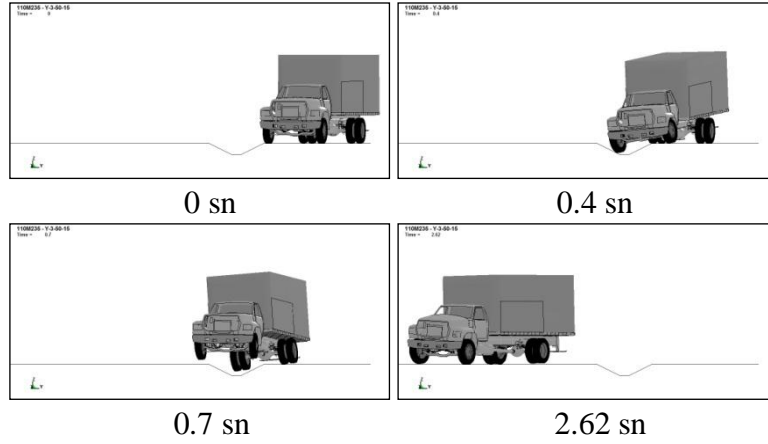
4.4.3.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu

4.4.3.2.1. Araç Hızı 50 km/saat

Y-3-50-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.66.' da verilmiştir. Şekil 4.66 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.66 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

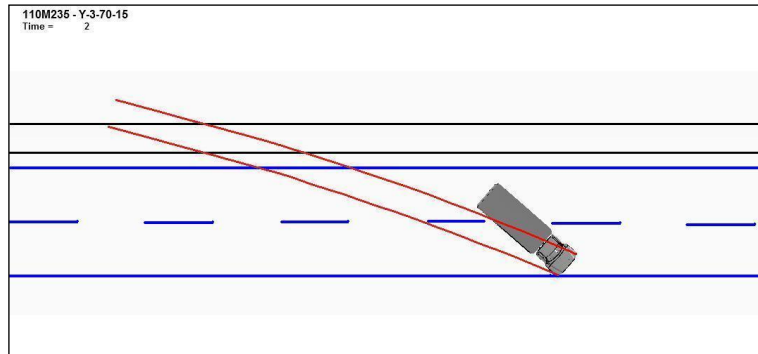


(b) Enkesit görüntüleri

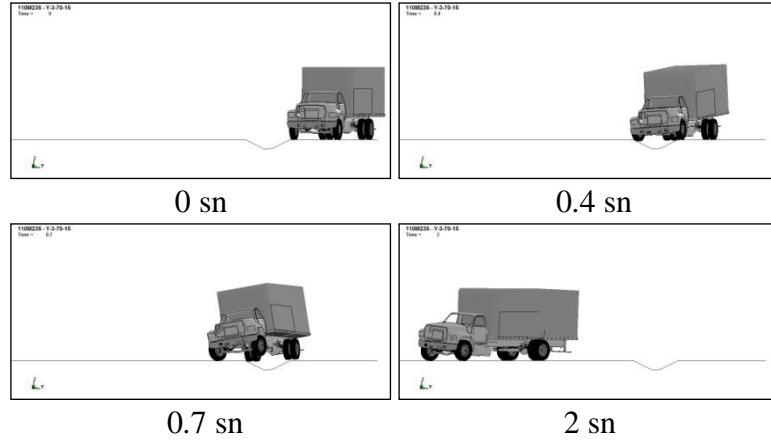
Şekil 4.66. Y-3-50-15 kodlu analiz sonuçları

4.4.3.2.2. Araç Hızı 70 km/saat

Y-3-70-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.67.' de verilmiştir. Şekil 4.67 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.67 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

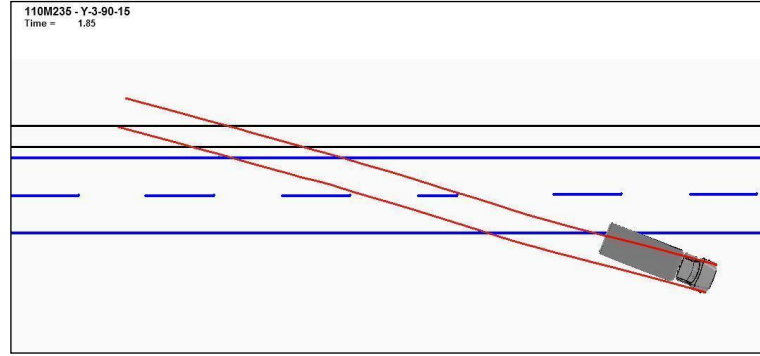


(b) Enkesit görüntüleri

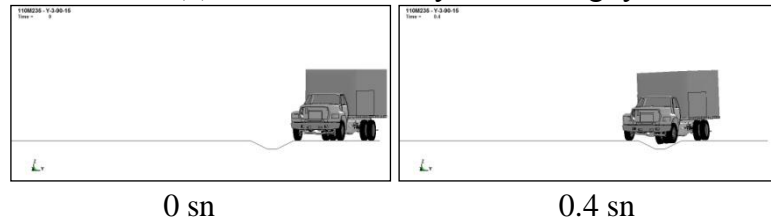
Şekil 4.67. Y-3-70-15 kodlu analiz sonuçları

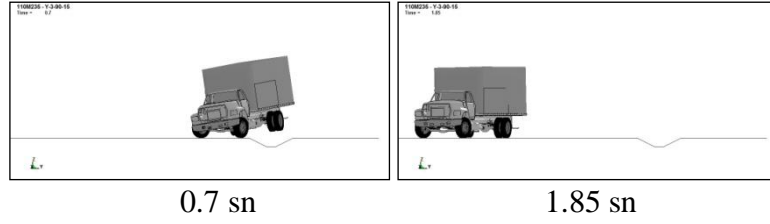
4.4.3.2.3. Araç Hızı 90 km/saat

Y-3-90-15 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.68.' de verilmiştir. Şekil 4.68 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.68 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol





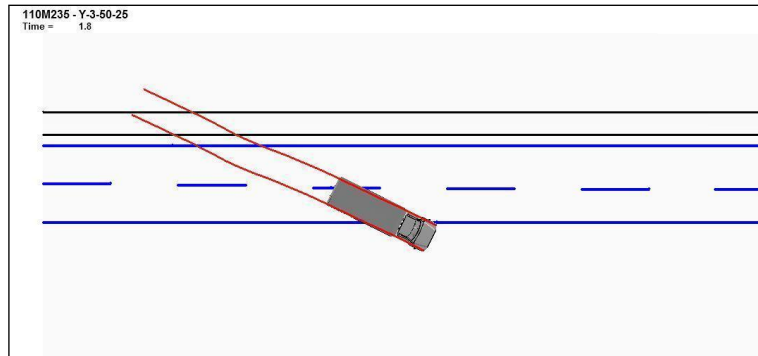
(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.68. U-3-90-15 kodlu analiz sonuçları

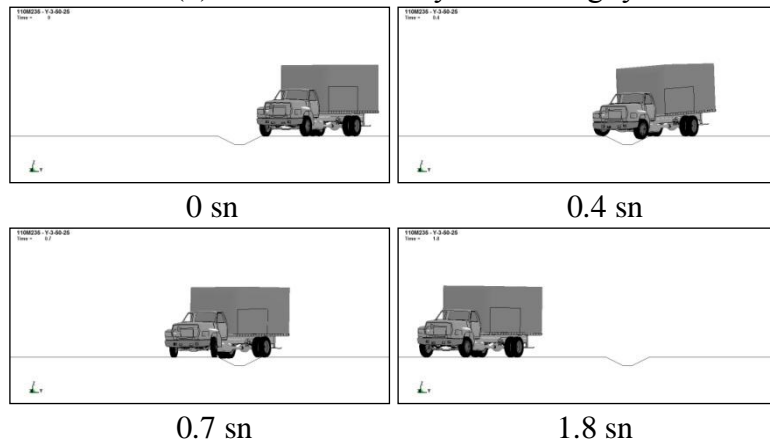
4.4.3.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu

4.4.3.3.1. Araç Hızı 50 km/saat

Y-3-50-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.69.' da verilmiştir. Şekil 4.69 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.69 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

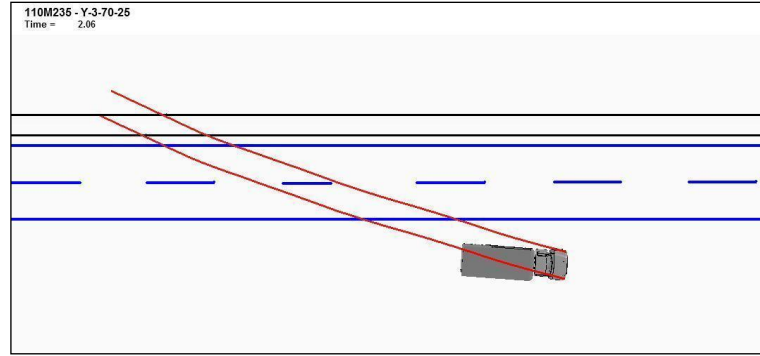


(b) Enkesit görüntüleri

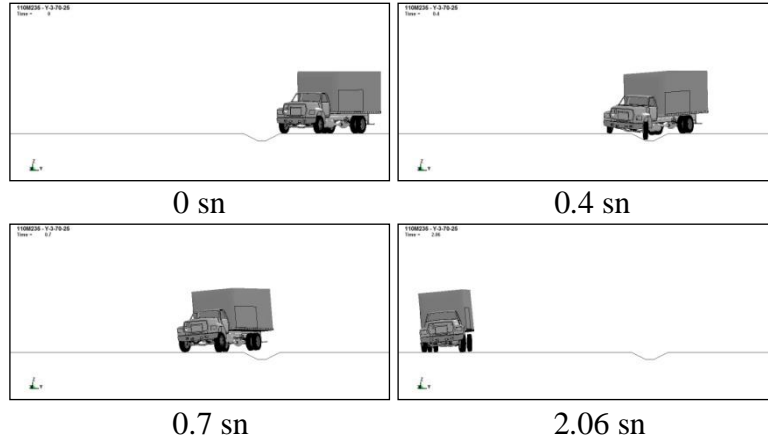
Şekil 4.69. Y-3-50-25 kodlu analiz sonuçları

4.4.3.3.2. Araç Hızı 70 km/saat

Y-3-70-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.70.' de verilmiştir. Şekil 4.70 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.70 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

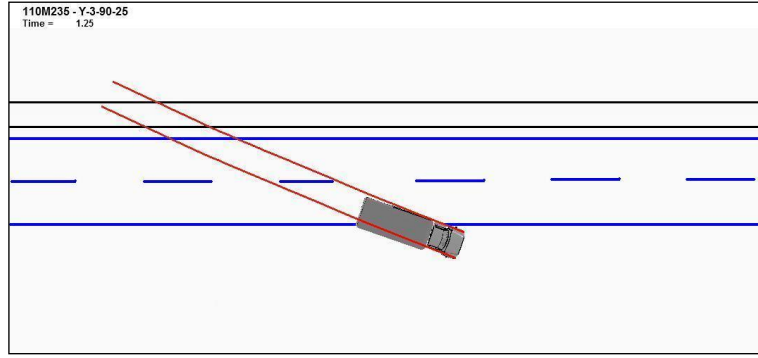


(b) Enkesit görüntüleri

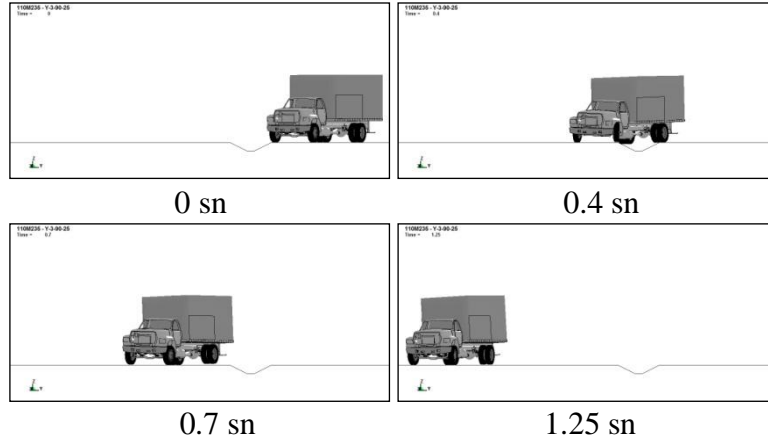
Şekil 4.70. Y-3-70-25 kodlu analiz sonuçları

4.4.3.3.3. Araç Hızı 90 km/saat

Y-3-90-25 kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.71.' de verilmiştir. Şekil 4.71 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.71 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol



(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.71. Y-3-90-25 kodlu analiz sonuçları

4.5. Trapez Kesitli Kanal İçin Yapılan Analizlerle İlgili Sayısal Veriler

4.5.1. Araçların Stabilité Durumları

Trapez kesitli kanallar için tamamlanan analizlerde yapılan incelemeler sonucunda araçların davranışları hakkında özet açıklamalar aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Trapez kesitli kanallarda araçların davranışı

Analiz No	Analiz Kodu	Araç Davranışı
1	Y-1-50-5	Araç kanal içerisinde kalıyor
2	Y-1-70-5	Araç kanal içerisinde kalıyor
3	Y-1-90-5	Araç kanal içerisinde kalıyor
4	Y-1-110-5	Araç kontrollü bir şekilde karşı yola geçmekte

Çizelge 4.6. (Devam) Trapez kesitli kanallarda araçların davranışı

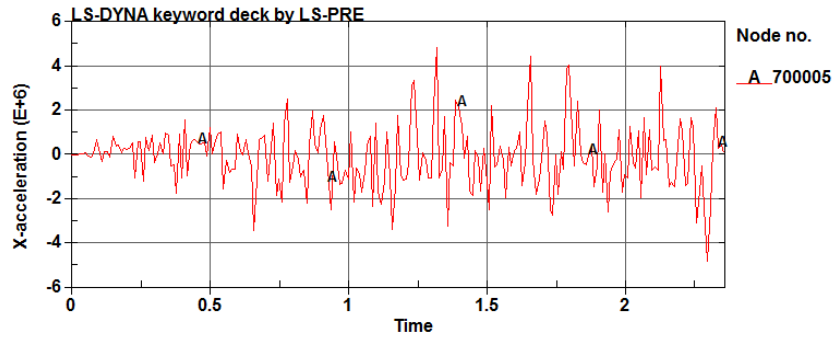
5	Y-1-50-15	Araç kontrolsüz şekilde savrulurak karşı yola geçmekte
6	Y-1-70-15	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
7	Y-1-90-15	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
8	Y-1-110-15	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
9	Y-1-50-25	Araç kontrolsüz şekilde savrulurak karşı yola geçmekte
10	Y-1-70-25	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
11	Y-1-90-25	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
12	Y-1-110-25	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
13	Y-2-50-5	Araç kanal içerisinde kalıyor
14	Y-2-70-5	Araç kontrollü bir şekilde karşı yola geçmekte
15	Y-2-90-5	Araç kanal içerisinde kalıyor
16	Y-2-50-15	Araç kanal içerisinde kalıyor
17	Y-2-70-15	Araç kontrolsüz şekilde savrulurak karşı yola geçmekte
18	Y-2-90-15	Araç kontrolsüz şekilde savrulurak karşı yola geçmekte
19	Y-2-50-25	Araç kontrolsüz şekilde savrulurak karşı yola geçmekte
20	Y-2-70-25	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
21	Y-2-90-25	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
22	Y-3-50-5	Araç kontrolsüz şekilde savrulurak karşı yola geçmekte
23	Y-3-70-5	Araç kontrolsüz şekilde savrulurak karşı yola geçmekte
24	Y-3-90-5	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
25	Y-3-50-15	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
26	Y-3-70-15	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
27	Y-3-90-15	Araç savrulurak karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
28	Y-3-50-25	Araç kanal üzerinden kontrollü bir şekilde karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
29	Y-3-70-25	Araç kanal üzerinden kontrollü bir şekilde karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var
30	Y-3-90-25	Araç kanal üzerinden kontrollü bir şekilde karşı yola geçmekte ve karşı yoldan çıkma riski var

Tahmin edileceği gibi araçların kanal içinde kalması ve burada ilerlemesi durumunda hem araç ve hem de trafikteki diğer yol kullanıcıları için büyük tehlikeler oluşmamaktadır. Eğer kanal içerisinde ilerleyen araca çarpma ihtimali olan rijit bir engel bulunmuyorsa araç kanala girmesinden dolayı fazla hasar almamaktadır. Bunun yanında araçların kanala geniş açıyla girmesi durumunda karşı yola geçme riski artmakta ve dolayısıyla karşı şeritten gelen araçlarla kontrolsüz bir şekilde çarpışma riski ortaya çıkmaktadır. Savrulmanın fazla olduğu durumlarda yol ve hava şartlarına bağlı olarak araç devrilebilir veya savrulmanın etkisiyle araç içerisindekiler zarar

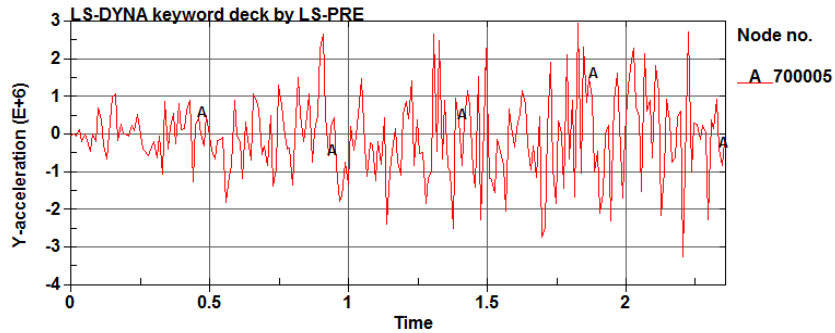
görebilir. Eğer araç yol ortasındaki kanaldan karşı yola geçiyor ve karşı yol kenarında da yarma veya dolgu şevi varsa bu durum yolcuların yaralanma risklerini artırmaktadır.

4.5.2. 900 kg'lık Araçların Hızlanma Şiddeti Endeksinin Hesabı

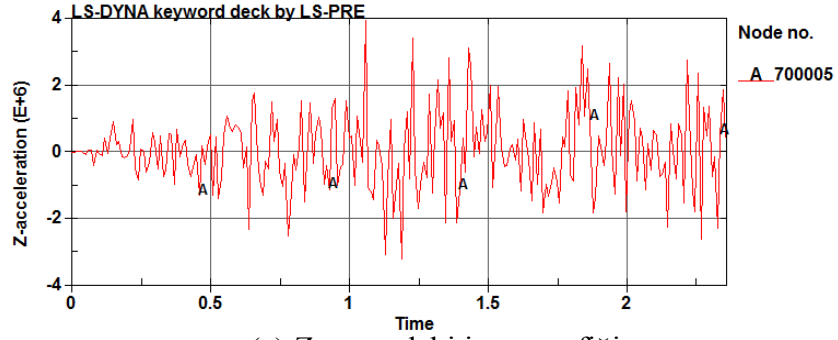
Çizelge 4.7.'deki darbe şiddeti endeksi, ASI (Accident Severity Index), değeri aracın ivmelenmesinden dolayı taşıt yolcuları üzerinde oluşabilecek yaralanma riskini ifade etmektedir. Bu değer genel olarak $ASI \leq 1$ olması istenir. LS-DYNA yazılımında x, y ve z yönündeki maksimum ivme değerleri otomatik hesaplanır. ASI değeri üçgen kanallarda bahsedilen yöntemle elde edilmektedir. Şekil 4.72.'deki grafikler Y-1-50-5 kodlu simülasyon sonucu elde edilen ivme değerlerini göstermektedir. Bu grafiklerde zamanın birimi saniye, ivmenin birimi ise milimetre/saniye²'dir.



(a) X yönündeki ivme grafiği



(b) Y yönündeki ivme grafiği



(c) Z yönündeki ivme grafiği

Şekil 4.72. Y-1-50-5 kodlu analiz için X, Y, Z yönlerindeki ivme grafikleri

Çizelge 4.7. Trapez kesitli kanallarda 900 kg'lık araçların hızlanma şiddeti endeksi

Analiz No	Analiz Kodu	ASI
1	Y-1-50-5	0.13
2	Y-1-70-5	0.20
3	Y-1-90-5	0.29
4	Y-1-110-5	0.57
5	Y-1-50-15	0.25
6	Y-1-70-15	0.36
7	Y-1-90-15	0.65
8	Y-1-110-15	0.81
9	Y-1-50-25	0.27
10	Y-1-70-25	0.33
11	Y-1-90-25	0.63
12	Y-1-110-25	0.97

4.5.3. Analizlerde Elde Edilen Sayısal Verilerin Karşılaştırılması

Trapez kesitli kanal için yapılan analizlerin sonuçlarına ilişkin yukarıdaki bilgilere ek olarak Çizelge 4.8.'deki sayısal veriler elde edilmiştir.

Çizelge 4.8. Analizlere ilişkin bazı sayısal veriler

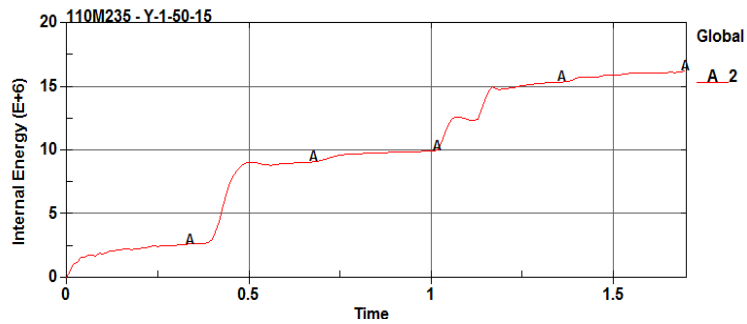
Analiz No	Analiz Kodu	1 sn. de Sönümlenen Enerji (Joule)	İlk Hız (km/saat)	1 sn.de hız (km/saat)	Hızdaki Değişim (%)	Araçların Maksimum Devrilme Açısı (derece)
1	Y-1-50-5	5300	50	50.8	1.6	20.2
2	Y-1-70-5	6800	70	71.8	2.6	17.7
3	Y-1-90-5	9300	90	91	1.1	21

Çizelge 4.8. (Devam) Analizlere ilişkin bazı sayısal veriler

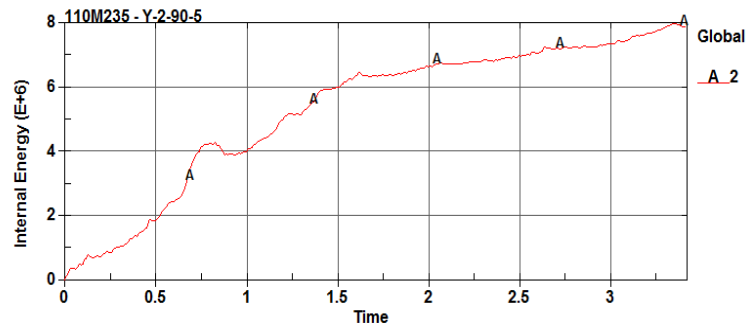
4	Y-1-110-5	14500	110	107.3	-2.5	18.9
5	Y-1-50-15	9900	50	52.3	4.6	16.5
6	Y-1-70-15	15400	70	68.4	-2.3	25.7
7	Y-1-90-15	24000	90	85.7	-4.8	35
8	Y-1-110-15	32000	110	102.7	-6.6	29.3
9	Y-1-50-25	14400	50	49	-2	12.1
10	Y-1-70-25	16000	70	64.8	-7.4	11.7
11	Y-1-90-25	19800	90	84.2	-6.4	17.9
12	Y-1-110-25	25700	110	105.7	-3.9	17.8
13	Y-2-50-5	2460	50	42	-16	14.9
14	Y-2-70-5	4400	70	61.6	-12	14.2
15	Y-2-90-5	4000	90	81.3	-9.7	14.9
16	Y-2-50-15	6900	50	42.3	-15.4	14
17	Y-2-70-15	12600	70	58.3	-16.7	12.7
18	Y-2-90-15	14700	90	79.2	-12	10.3
19	Y-2-50-25	11800	50	40.3	-19.4	9.1
20	Y-2-70-25	16400	70	60	-14.3	6.4
21	Y-2-90-25	16500	90	80.4	-10.7	3.8
22	Y-3-50-5	37700	50	50.3	0.6	24.4
23	Y-3-70-5	45600	70	70	0	16.2
24	Y-3-90-5	63000	90	88	-2.2	21.7
25	Y-3-50-15	63000	50	51	2	20.1
26	Y-3-70-15	76300	70	67.5	-3.6	13.7
27	Y-3-90-15	81700	90	87.5	-2.8	11.8
28	Y-3-50-25	51500	50	49.6	-0.8	7.5
29	Y-3-70-25	62500	70	70	0	5.2
30	Y-3-90-25	90600	90	88.5	-1.7	5.7

Çizelge 4.9.' da trapez kesitli kanallar için tamamlanan 30 analize ait veriler bulunmaktadır. Çizelgenin ilk sütununda analiz numaraları ve analiz kodları vardır. Üçüncü sütunda ise analiz boyunca araç tarafından sönmölenen enerji değerleri bulunmaktadır. Dördüncü sütunda araçların ilk hızları, beşinci sütunda araçların 1. saniye sonundaki hızları ve altıncı sütunda ise ilk hızlar ve 1. saniye sonundaki hızların yüzdesel olarak artma veya azalma oranları verilmiştir. Son sütunda ise araçların devrilme açısı (roll angle) verilmiştir (Şekil 4.32.). Bu okuma 900 kg ve 3000 kg ağırlığındaki araçlar için yapılabilmektedir. Kamyon için bu değerler verilmemiştir.

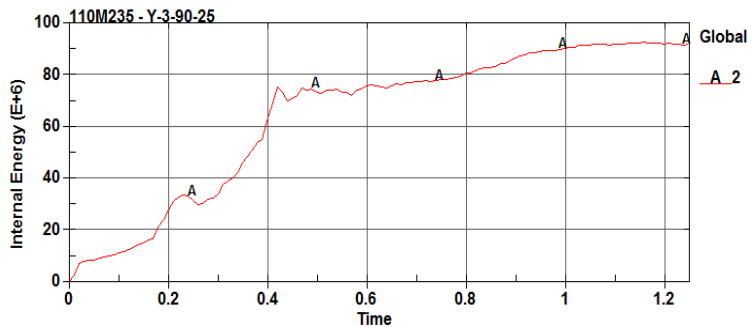
Çizelge 4.9.' da verilen aracın 1 sn. de sönümlendiği enerji değeri (internal energy) LS-DYNA'nın yardımcı programı olan LS-PrePost'tan elde edilen ve örnekleri Şekil 4.73.' de verilen grafiklerden okunmuştur. Şekil 4.73.' de yapılan 30 simülasyonu temsilen her araç için birer tane olmak üzere toplam üç araca ait zaman-sönümlenen enerji grafiği verilmiştir. Aracın sahip olduğu kinetik enerjinin büyük kısmı aracın lastikleri ile yüzey arasındaki sürtünme ve süspansiyon sistemi tarafından sönümlenmektedir. Bu grafiklerde x eksenini zamanı saniye cinsinden, y eksenini ise enerjiyi kilo joule (joule x 10^3) cinsinden vermektedir.



(a) Y-1-50-15 kodlu analize ait zaman-sönümlenen enerji grafiği



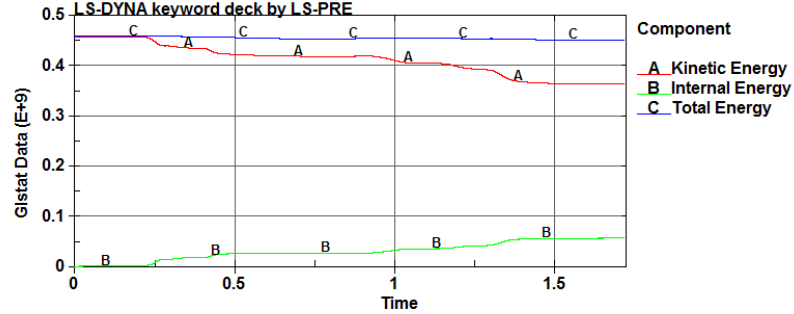
(b) U-2-90-5 kodlu analize ait zaman-sönümlenen enerji grafiği



(c) Y-3-90-25 kodlu analize ait zaman-sönümlenen enerji grafiği

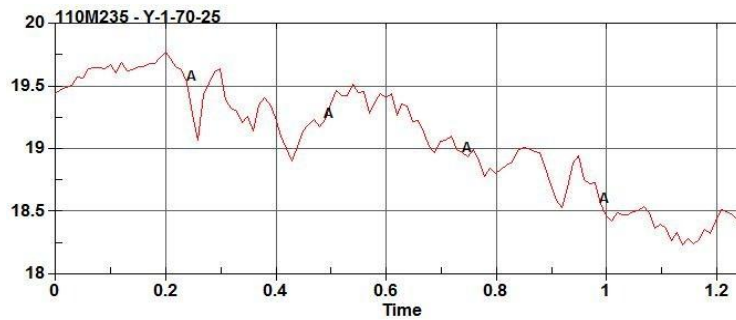
Şekil 4.73. Araçların zaman-sönümledikleri enerji grafikleri (x-ekseni saniye, y-ekseni kilo Joule)

Yine LS-PrePost'dan elde edilen ve Şekil 4.74.' de gösterilen grafik ise analiz boyunca kinetik enerjiyi, sönümlenen enerjiyi ve toplam enerjiyi göstermektedir. Y-ekseni mega joule (joule x 10^6) cinsinden enerjiyi göstermektedir.

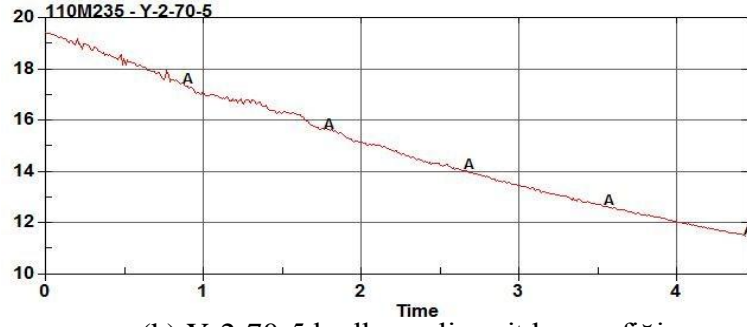


Şekil 4.74. Y-1-110-15 kodlu analize ait zaman-enerji grafikleri (x-ekseni saniye, y-ekseni mega Joule)

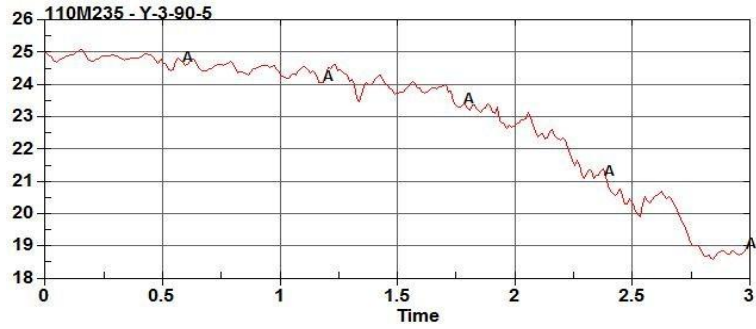
Çizelge 4.8.' de verilen hız değerleri LS-PrePost'dan elde edilen ve örnekleri Şekil 4.75.' de gösterilen grafiklerden okunmuştur. Toplam 30 adet grafik vardır ancak burada herbir araçtan birer tane olmak üzere toplam üç adet grafik gösterilmiştir. Bu grafiklerde de görüleceği gibi hız değerleri 900 kg ağırlığındaki hafif araç için dalgalı olarak değişmekte ve araç ani yavaşlayamamaktadır. 3000 kg ağırlığındaki van için hız değerleri genelde zamana bağlı olarak düşüş eğilimi göstermektedir. 10000 kg ağırlığındaki kamyonunda ise hız değerleri dalgalı bir şekilde azalmaktadır. Bu grafiklerde zamanın birimi saniye, hızın birimi ise milimetre/saniye'dir.



(a)Y-1-70-25 kodlu analize ait hız grafiği



(b) Y-2-70-5 kodlu analize ait hız grafiği



(c) U-3-90-5 kodlu analize ait hız grafiği

Şekil 4.75. Araçların zaman-hız değişim grafikleri (x-ekseni saniye, y-ekseni mm/sn)

4.6. Trapez Kesitli Kanallar İçin Yapılan Hassas Analizler

Trapez kesitli kanallar için yapılan analizlerin tamamlanmasının ardından kanal yüzeyindeki sürtünmenin yüksek olduğu ek analizler yapılmıştır. Bu kapsamda Çizelge 3.3.' de verilen 6 analiz yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları da önceki analizlerde olduğu gibi aracın analiz boyunca izlediği yolu gösteren üstten görünüm ve 4 adet enkesit görünümü içeren şekillerle verilecektir.

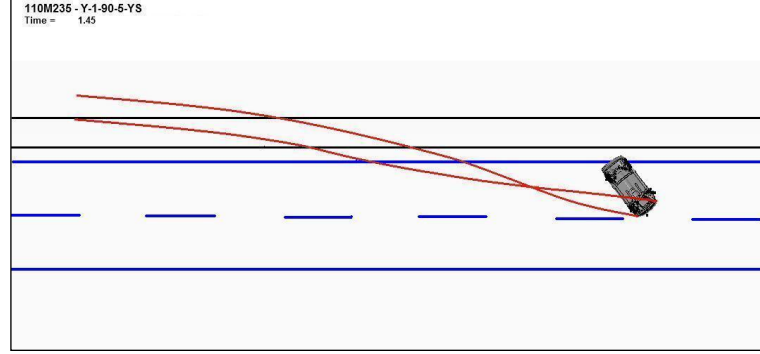
4.6.1. 900 kg. Ağırlığındaki Araç İçin Sonuçlar

4.6.1.1. Araç Hızı 90 km/saat

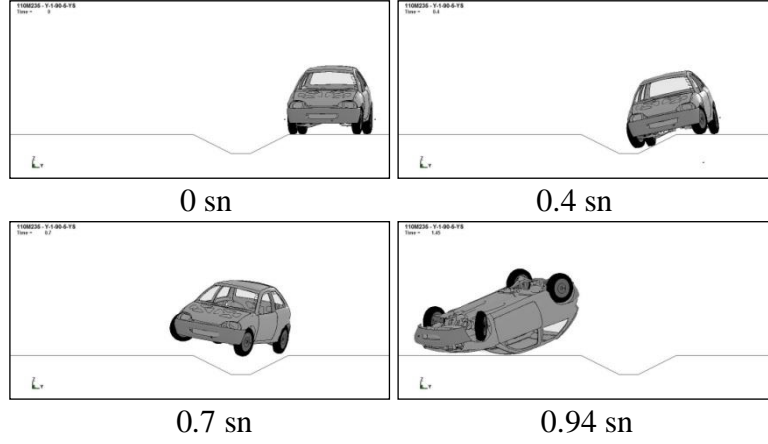
4.6.1.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu

Y-1-90-5-YS kodlu analizinin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.76.' da verilmiştir. Şekil 4.76 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil

4.76 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

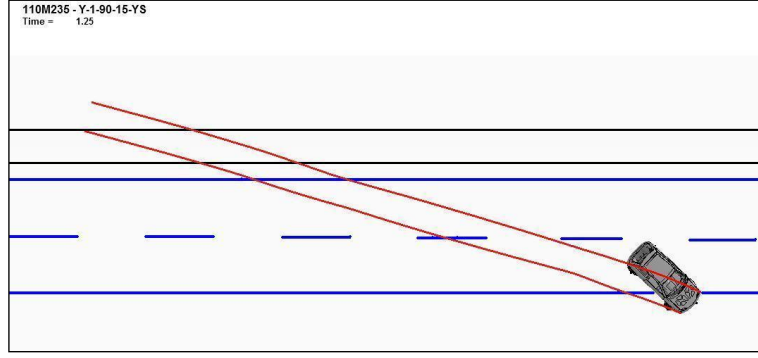


(b) Enkesit görüntüleri

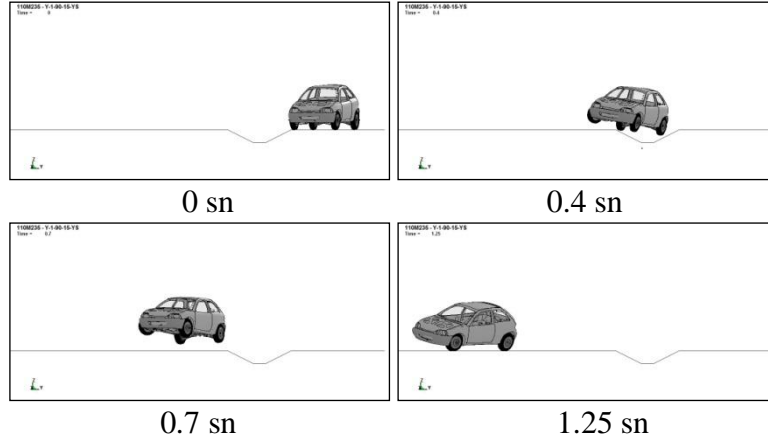
Şekil 4.76. Y-1-90-5-YS kodlu analizin sonuçları

4.6.1.2.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu

Y-1-90-15-YS kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.77.' de verilmiştir. Şekil 4.77 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.77 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

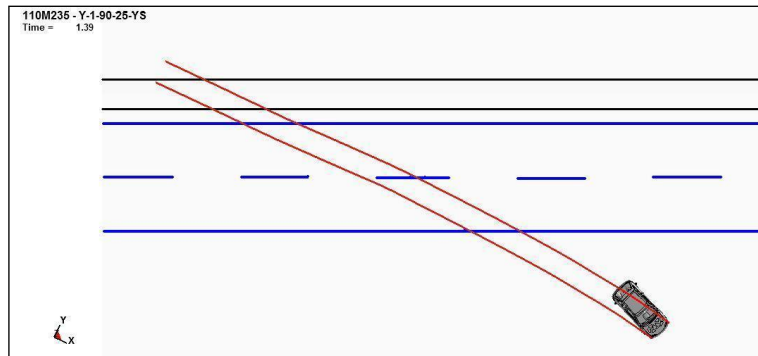


(b) Enkesit görüntüleri

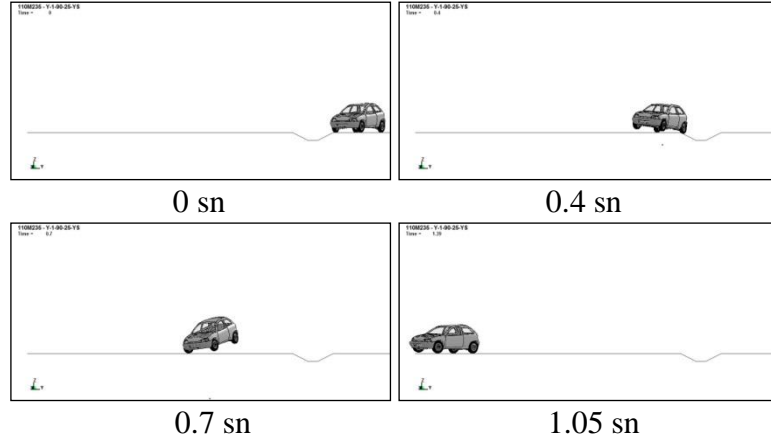
Şekil 4.77. Y-1-90-15-YS kodlu analizin sonuçları

4.6.1.2.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu

Y-1-90-25-YS kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.78.' de verilmiştir. Şekil 4.78 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.78 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol



(b) Enkesit görüntüleri

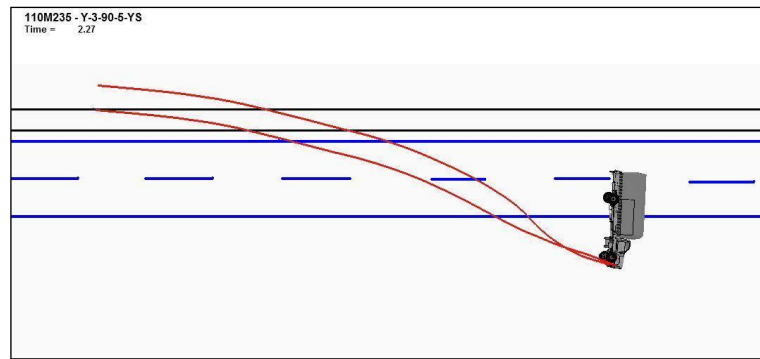
Şekil 4.78. Y-1-90-25-YS kodlu analiz sonuçları

4.6.2. 10000 kg. Ağırlığındaki Kamyon İçin Sonuçlar

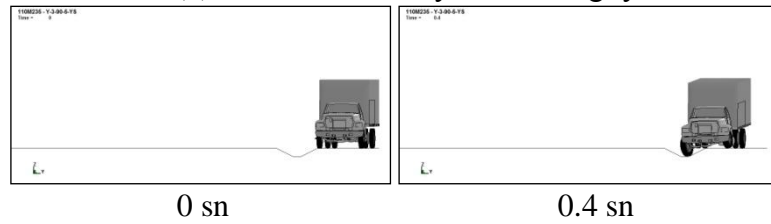
4.6.2.1. Araç Hızı 90 km/saat

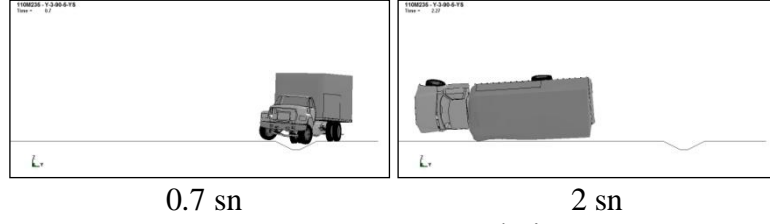
4.6.2.1.1. Kanala Giriş Açısı 5° Olması Durumu

U-3-90-5-YS kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.79.' da verilmiştir. Şekil 4.79 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.79 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol



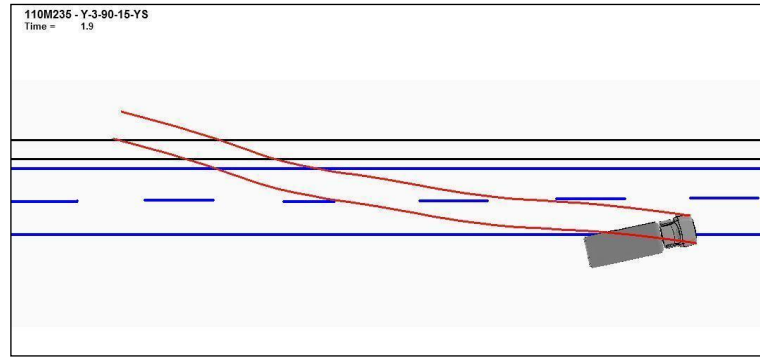


(b) Enkesit görüntüleri

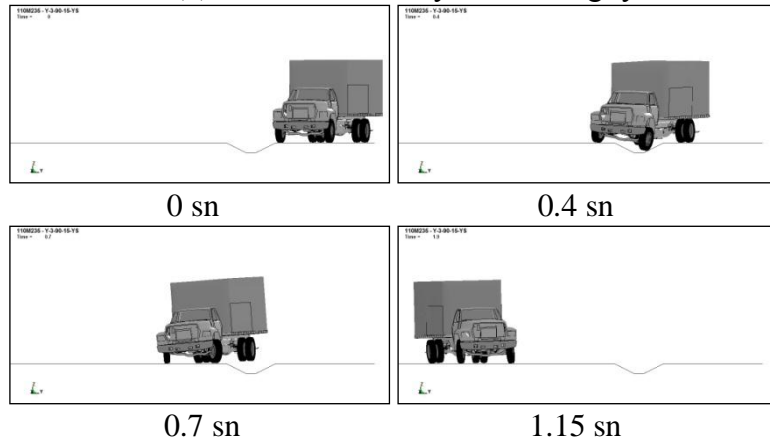
Şekil 4.79. Y-3-90-5-YS kodlu analiz sonuçları

4.6.2.1.2. Kanala Giriş Açısı 15° Olması Durumu

Y-3-90-15-YS kodlu analiz sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.80.' de verilmiştir. Şekil 4.80 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.80 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol

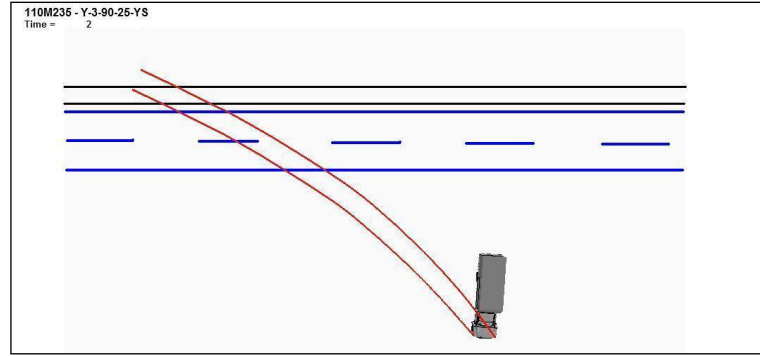


(b) Enkesit görüntüleri

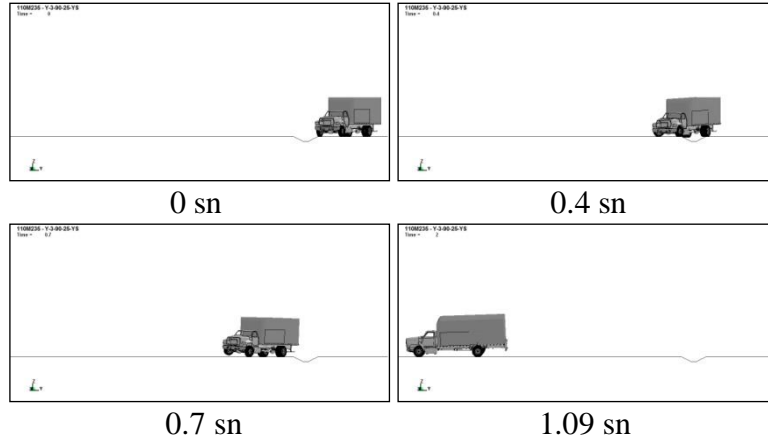
Şekil 4.80. Y-3-90-15-YS kodlu analiz sonuçları

4.6.2.1.3. Kanala Giriş Açısı 25° Olması Durumu

Y-3-90-25-YS kodlu analizin sonuçlarına ait görüntüler Şekil 4.81.' de verilmiştir. Şekil 4.81 (a)' da analiz boyunca aracın izlediği yolu gösteren üstten görünüm, Şekil 4.81 (b)' de ise belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri verilmiştir.



(b) Aracın analiz boyunca izlediği yol



(b) Enkesit görüntüleri

Şekil 4.81. Y-3-90-25-YS kodlu analizin sonuçları

4.6.3. Normal Analizler İle Yüzeyin Yüksek Sürtünmeli Olduğu Analizlerinin Karşılaştırılması

Her iki durum içinde bulunan ASI değerleri Çizelge 4.9.' da verilmiştir.

Çizelge 4.9. ASI değerleri

Analiz Kodu	Normal Durumda ASI Değerleri	Yüzey Yüksek Sürtülmeli olması durumunda ASI Değerleri
Y-1-90-5	0.13	0.28
Y-1-90-15	0.65	0.60
Y-1-90-25	0.63	0.56

Normal analizler sonrası bulunan 1 saniyede sönmölenen enerji değerleri ve 1 saniye sonundaki hız değerleri ile hızdaki yüzdesel değişim değerleri kanal yüzeyi yüksek sürtülmeli durumlar için yapılan analizler için de bulunmuş. Çizelge 4.10.' da bu iki durum karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.10.' da normal analizler (a), yüksek sürtülmeli analizler ise (b) ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Normal analizler ile yüzeyin yüksek sürtülmeli olduğu analizlerin karşılaştırılması

Analiz No	Analiz Kodu	1 sn. de Sönmölenen Enerji (Joule)		İlk Hız (km/saat)	1.saniyedeki hız (km/saat)		Hızdaki Değişim (%)		Devrilme Açısı	
		a	b		a	b	a	b	a	b
1	Y-1-90-5	9300	38100	90	91	81.7	1.1	-9.2	21	Devrildi
2	Y-1-90-15	24000	39600	90	85.7	82.8	-4.8	-8	35	25.6
3	Y-1-90-25	19800	24700	90	84.2	85.8	-6.4	-4.7	17.9	11.7
4	Y-3-90-5	63000	129000	90	88	86.3	-2.2	-4.1	21.7	Devrildi
5	Y-3-90-15	81700	103000	90	87.5	86	-2.8	-4.4	6.9	8.2
6	Y-3-90-25	90600	148000	90	88.5	81	-1.7	-10	6.7	5.5

4.7. Değişik Tipteki Üçgen Kesitli Kanalların Ağır Vasıta Araç Davranışına Etkisi

4.7.1. Görsel Sonuçlar

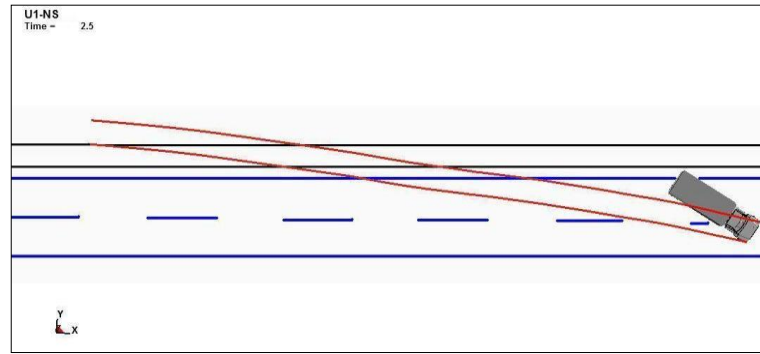
Çalışmanın bu aşamasında, üçgen kesitli kanallar için toplam 14 analiz yapılmıştır. Analiz süresince aracın ilk konumundan itibaren analiz sonuna kadar izlediği yolu gösteren görüntüler ile belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri aşağıda verilmiştir. Şekillerde kanal kenarları siyah çizgilerle gösterilmektedir. Kanalin her iki tarafında, kanala 1 metre uzaklıktaki yol

kenarı çizgisi kesintisiz olarak gösterilmiştir. Ayrıca, yol şerit çizgileri kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Şerit genişliği 3.5 metre alınmıştır. 10 ton ağırlığındaki aracın 5 farklı tipteki kanala 90 km/sa hızla ve 5° açıyla girmesi durumunda ortaya çıkan sonuçlar aşağıda Şekil 4.82.-4.95. ile özetlenmiştir:

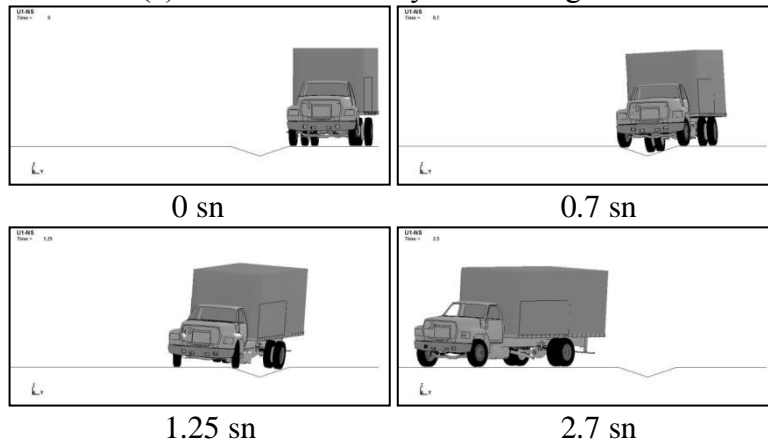
4.7.1.1 U1 Kanal Tipi

Bu kanal tipinde Çizelge 3.4.' de verilen sürtünme değerleri kullanılmıştır. Bu çizelgeden görüleceği gibi kanal ve yol platformundaki sürtünme değerlerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

Normal Pürüzlülük



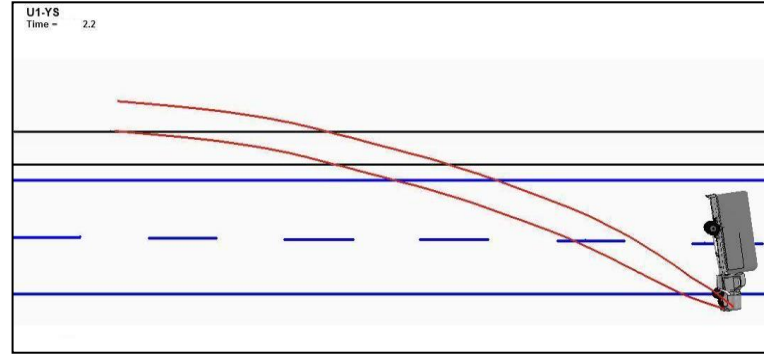
(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



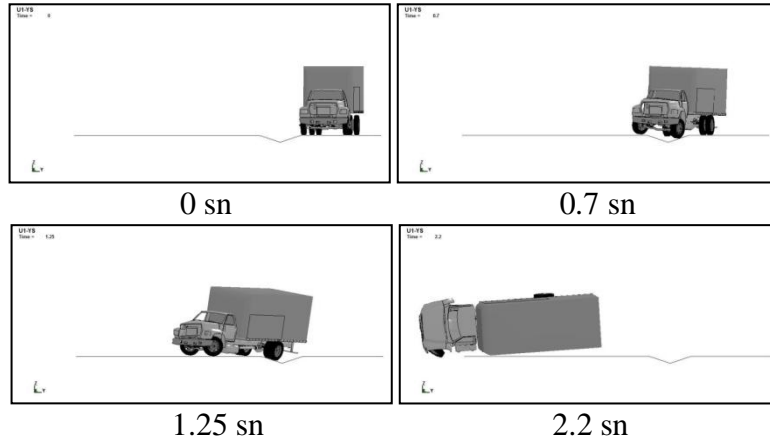
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.82. U1-NS kodlu analiz sonuçları

Yüksek Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



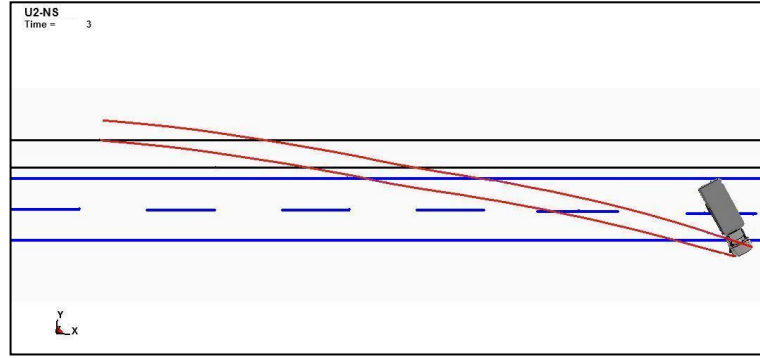
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.83. U1-YS kodlu analiz sonuçları

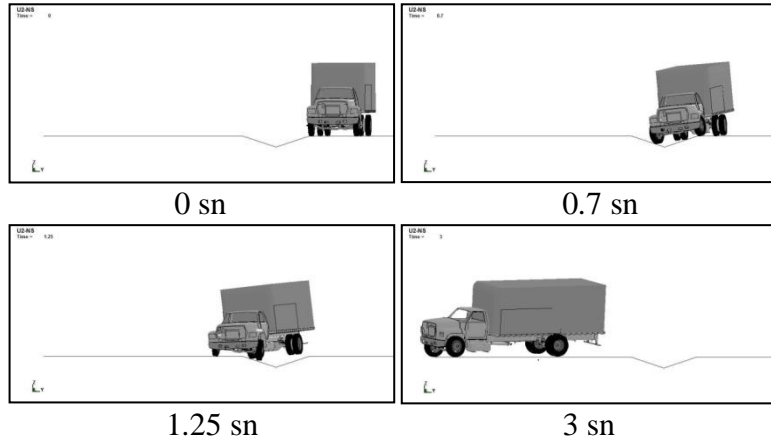
4.7.1.2. U2 Kanal Tipi

Bu kanal tipinde Çizelge 3.4.' de verilen sürtünme değerleri kullanılmıştır. Bu çizelgeden görüleceği gibi kanal ve yol platformundaki sürtünme değerlerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

Normal Pürüzlülük



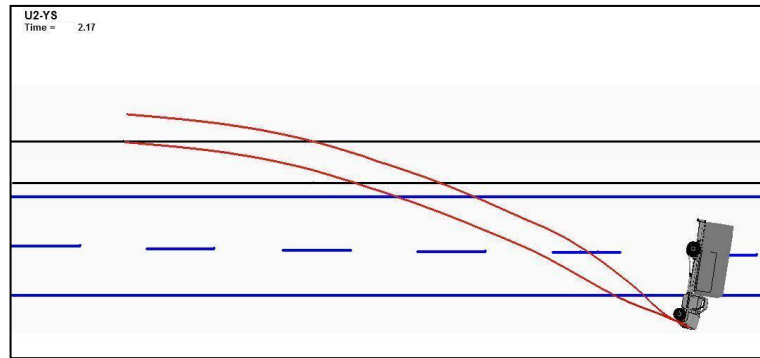
(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



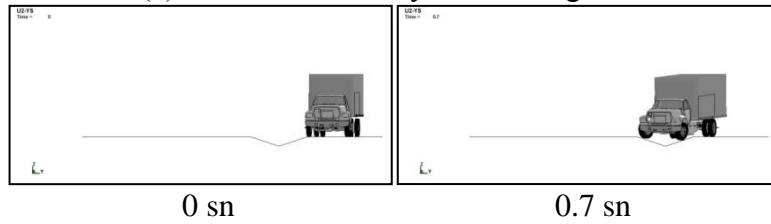
(b) Enkesit Görüntüleri

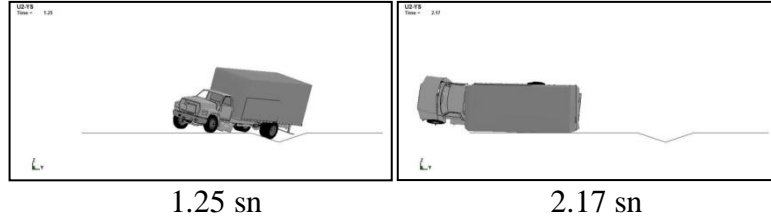
Şekil 4.84. U2-NS kodlu analiz sonuçları

Yüksek Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol





1.25 sn

2.17 sn

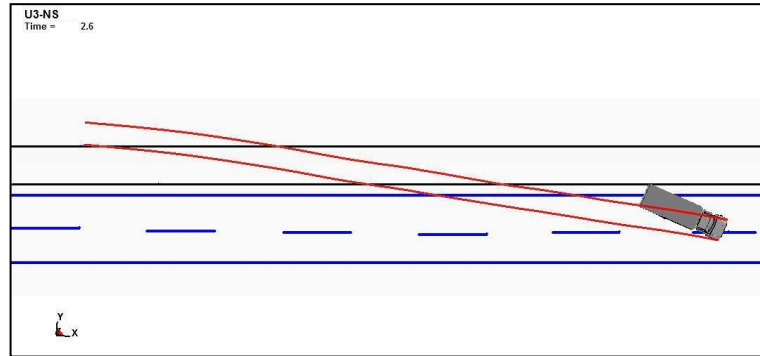
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.85. U2-YS kodlu analiz sonuçları

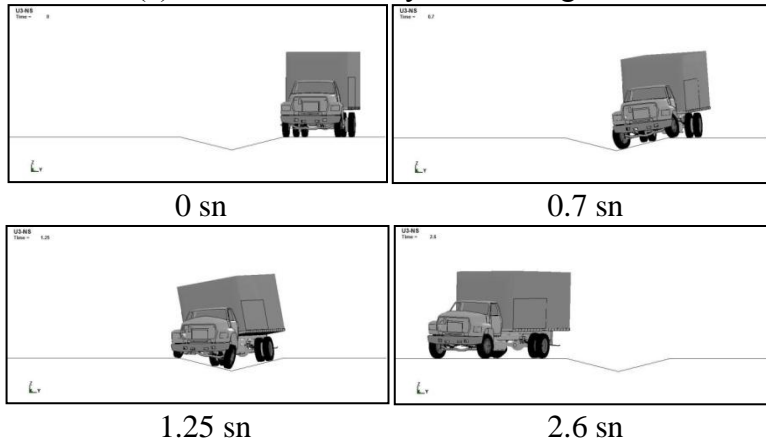
4.7.1.3. U3 Kanal Tipi

Bu kanal tipinde Çizelge 3.4.' de verilen sürtünme değerleri kullanılmıştır. Bu çizelgeden görüleceği gibi kanal ve yol platformundaki sürtünme değerlerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

Normal Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



0 sn

0.7 sn

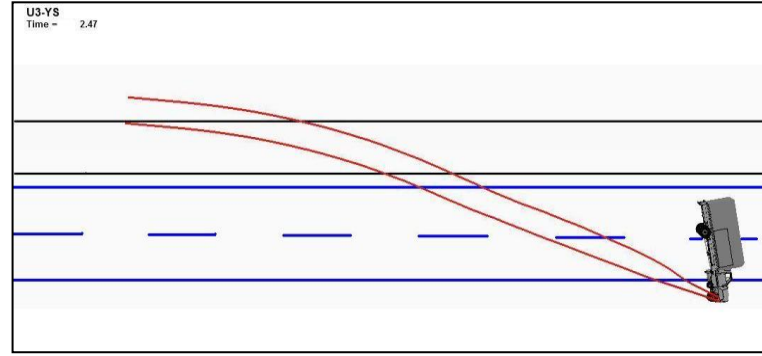
1.25 sn

2.6 sn

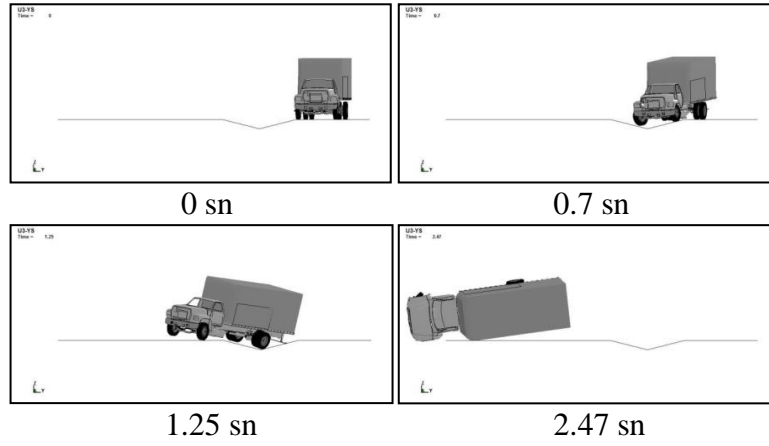
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.86. U3-NS kodlu analiz sonuçları

Yüksek Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



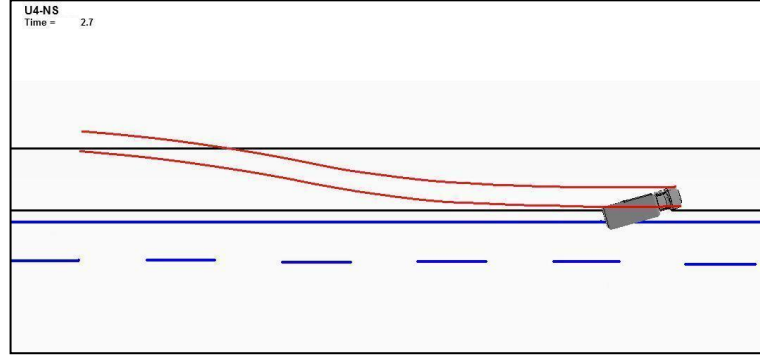
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.87. U3-YS kodlu analiz sonuçları

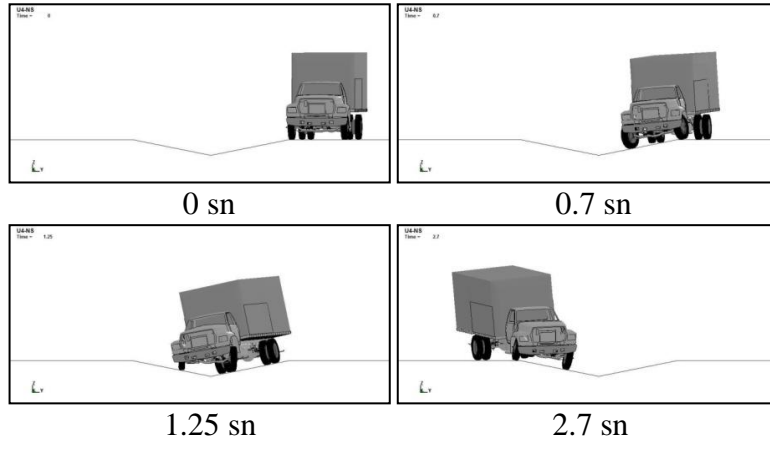
4.7.1.4. U4 Kanal Tipi

Bu kanal tipinde Çizelge 3.4.' de verilen sürtünme değerleri kullanılmıştır. Bu çizelgeden görüleceği gibi kanal ve yol platformundaki sürtünme değerlerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

Normal Pürüzlülük



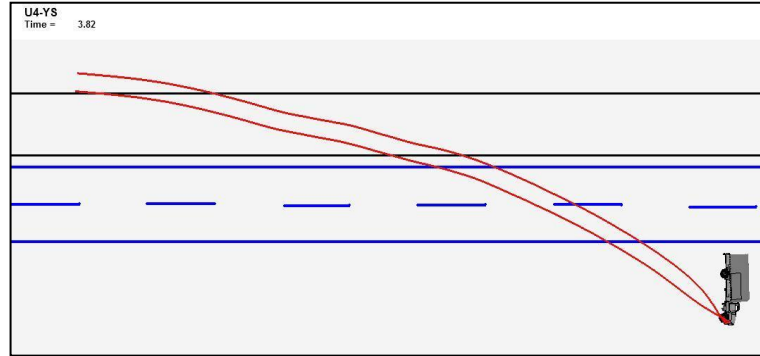
(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



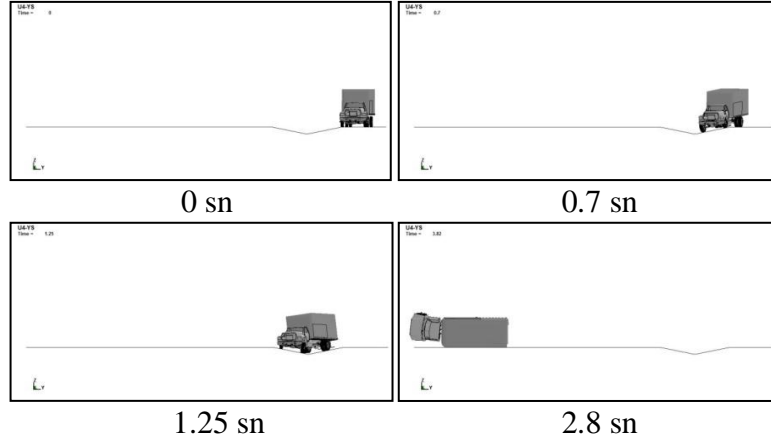
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.88. U4-NS kodlu analiz sonuçları

Yüksek Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



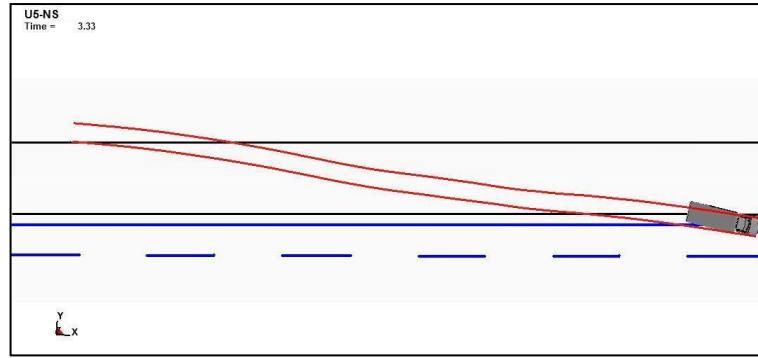
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.89. U4-YS kodlu analiz sonuçları

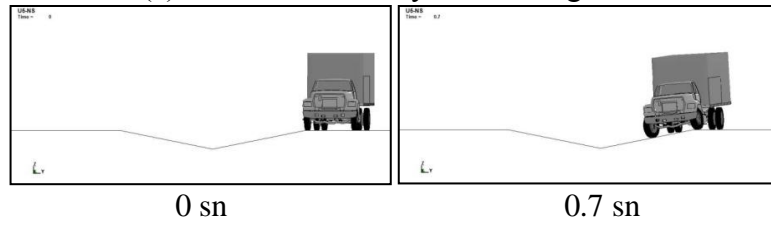
4.7.1.5. U5 Kanal Tipi

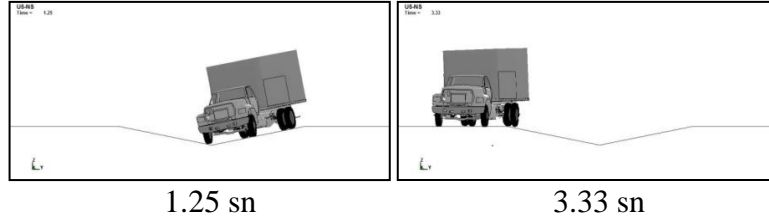
Bu kanal tipinde Çizelge 3.4.' de verilen sürtünme değerleri kullanılmıştır. Bu çizelgeden görüleceği gibi kanal ve yol platformundaki sürtünme değerlerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

Normal Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol





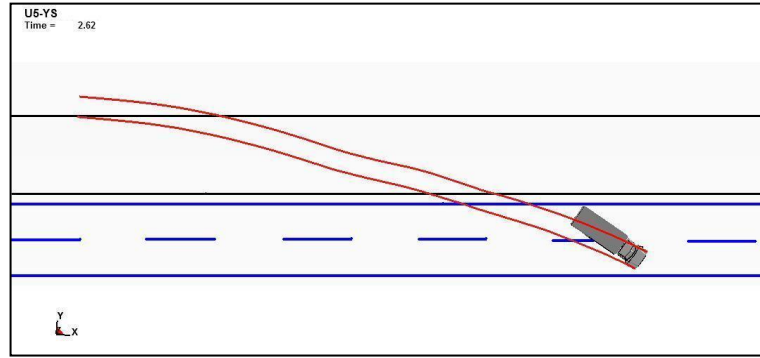
1.25 sn

3.33 sn

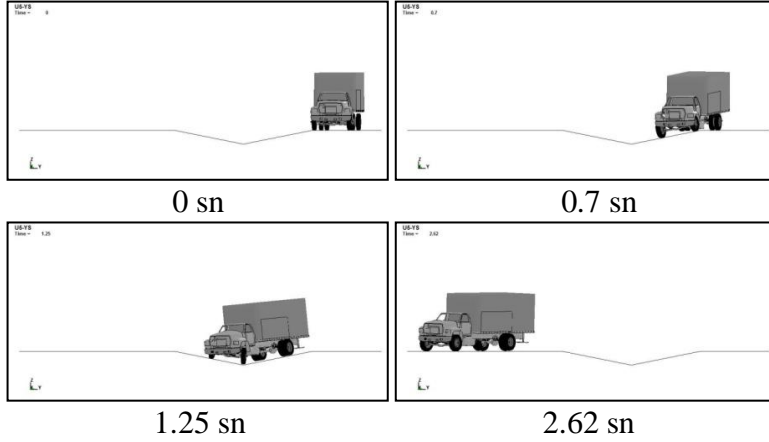
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.90. U5-NS kodlu analiz sonuçları

Yüksek Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



0 sn

0.7 sn

1.25 sn

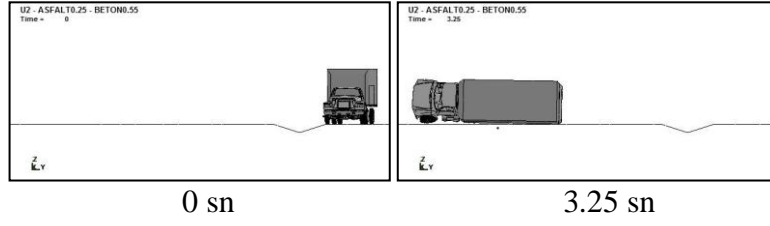
2.62 sn

(b) Enkesit Görüntüleri

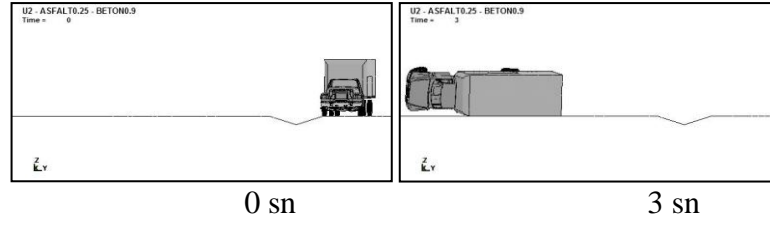
Şekil 4.91. U5-YS kodlu analiz sonuçları

4.7.1.6. U2 Kanal Tipi Ek Analizler

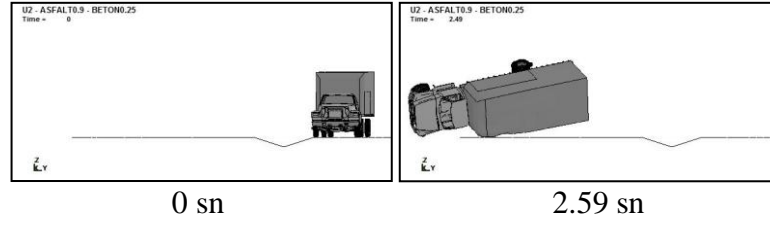
Kaplamanın yapım yöntemi, yağış durumu ve zamanla oluşacak aşınmalar da sürtünme değerlerini değiştirebildiği için bu durumları da inceleyebilmek için araç lastiği ile kanal ve yol yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayılarının farklı olduğu 4 analiz daha yapılmıştır. Çizelge 3.4.' de gösterilen 11-14 nolu analizlere ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

11 No' lu Analiz

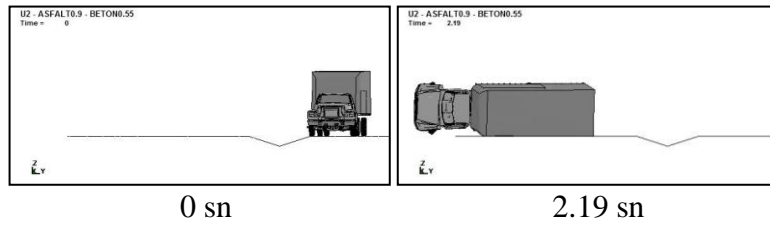
Şekil 4.92. 11 No' lu analiz enkesit görüntüleri

12 No' lu Analiz

Şekil 4.93. 12 No' lu analiz enkesit görüntüleri

13 No' lu Analiz

Şekil 4.94. 13 No' lu analiz enkesit görüntüleri

14 no' lu analiz

Şekil 4.95. 14 No' lu analiz enkesit görüntüleri

4.7.2. Analizlerde Elde Edilen Sayısal Verilerin Karşılaştırılması

Analizlerin sonuçlarına ilişkin yukarıdaki görüntülere ek olarak Çizelge 4.11.'deki sayısal veriler elde edilmiştir.

Çizelge 4.11. Analizlere ilişkin sayısal veriler

Analiz No	Analiz Kodu	1,5. sn. de Sönümlenen Enerji (kJoule)	İlk Hız (km/saat)	1,5. sn.de hız (km/saat)	Hızdaki Değişim (%)	Aracın Maksimum Devrilme Açısı (derece)
1	U1-NS	78	90	87.1	-3.22	14.8
2	U1-YS	350	90	74.2	-17.6	Devrildi
3	U2-NS	67	90	86.4	-4	15.7
4	U2-YS	230	90	77.4	-14	Devrildi
5	U3-NS	64	90	85.7	-4.78	18.5
6	U3-YS	250	90	79.2	-12	Devrildi
7	U4-NS	59	90	89	-1.11	17.1
8	U4-YS	100	90	84.3	-6.33	Devrildi
9	U5-NS	55	90	89.5	-0.56	19.5
10	U5-YS	106	90	86.4	-4	19.4
11	U2	120	90	84.3	-6.33	Devrildi
12	U2	175	90	81.7	-9.22	Devrildi
13	U2	142	90	83.3	-7.44	Devrildi
14	U2	185	90	81.1	-10	Devrildi

Çizelge 4.11.' de yapılan 14 analize ait sonuçlar bulunmaktadır. Çizelgenin ilk sütununda analiz numaraları ve ikinci sütunda ise analiz kodları vardır. Üçüncü sütunda, analiz boyunca araç tarafından sönümlenen enerji değerleri bulunmaktadır. Aracın sahip olduğu kinetik enerjinin büyük kısmı aracın lastikleri ile yüzey arasındaki sürtünme ve süspansiyon sistemi tarafından sönümlenmektedir. Dördüncü sütunda araçların ilk hızları, beşinci sütunda araçların 1,5 saniye sonundaki hızları ve altıncı sütunda ise ilk hızlar ve 1,5 saniye sonundaki hızların yüzdesel olarak azalma oranları verilmiştir. Tüm analizler için ortak bir değer olduğundan sayısal değerlerin karşılaştırılması 1,5. saniye için yapılmıştır. Son sütunda verilen değerler aracın devrilme açısı, diğer bir deyişle, aracın tabanının yol yüzeyi ile yaptığı ölçülen maksimum açıdır. Çizelgeden de görüleceği üzere 2, 4, 6, 8, 11,12,13 ve 14 numaralı analizlerde araçlar karşı şeride geçerek devrilmiştir.

4.8. Değişik Tipteki Trapez Kesitli Kanalların Ağır Vasıta Araç Davranışına Etkisi

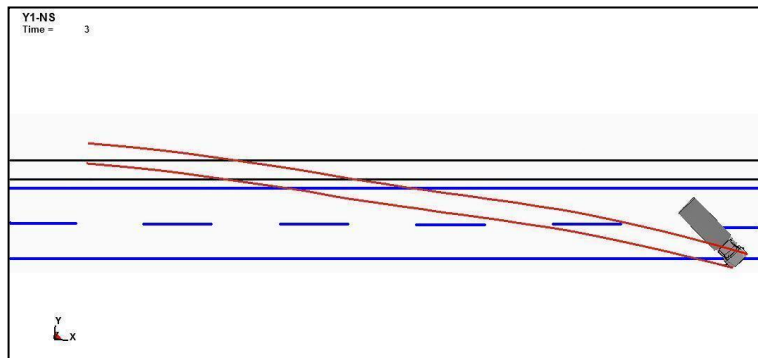
4.8.1. Görsel Sonuçlar

Çalışmanın bu aşamasında, trapez kesitli kanallar için toplam 14 analiz yapılmıştır. Analiz süresince aracın ilk konumundan itibaren analiz sonuna kadar izlediği yolu gösteren görüntüler ile belirli zaman aralıklarında aracın durumunu gösteren enkesit görüntüleri aşağıda verilmiştir. Şekillerde kanal kenarları siyah çizgilerle gösterilmektedir. Kanalın her iki tarafında, kanala 1 metre uzaklıktaki yol kenarı çizgisi kesintisiz olarak gösterilmiştir. Ayrıca, yol şerit çizgileri kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Şerit genişliği 3.5 metre alınmıştır. 10 ton ağırlığındaki aracın 5 farklı tipteki kanala 90 km/sa hızla ve 5° açıyla girmesi durumunda ortaya çıkan sonuçlar aşağıda Şekil 4.96.-4.109. ile özetlenmiştir:

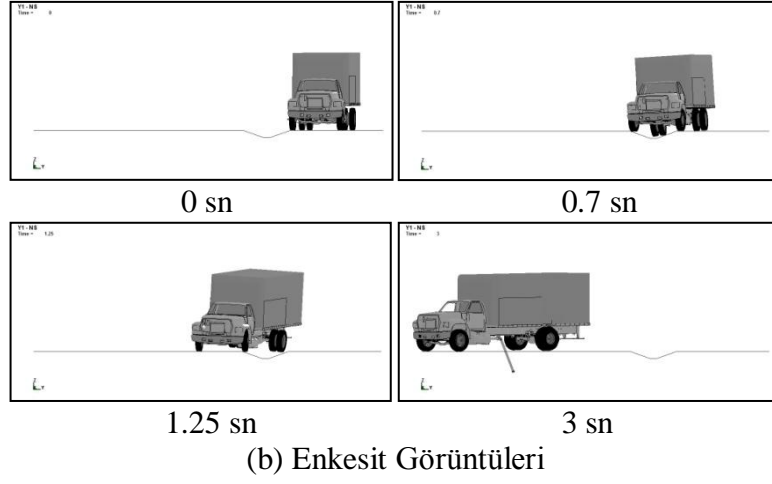
4.8.1.1 Y1 Kanal Tipi

Bu kanal tipinde Tablo 3.5' de verilen sürtünme değerleri kullanılmıştır. Bu tablodan görüleceği gibi kanal ve yol platformundaki sürtünme değerlerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

Normal Pürüzlülük

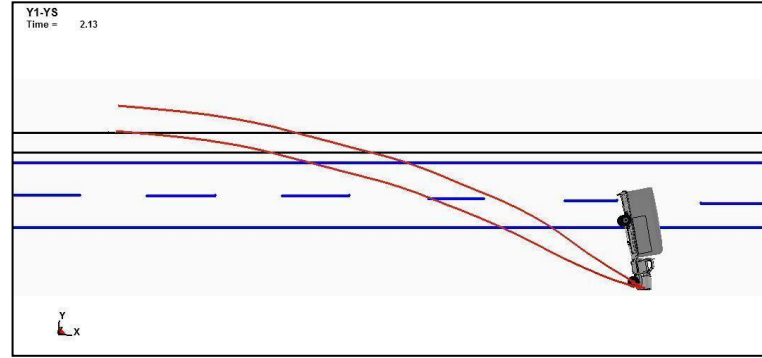


(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol

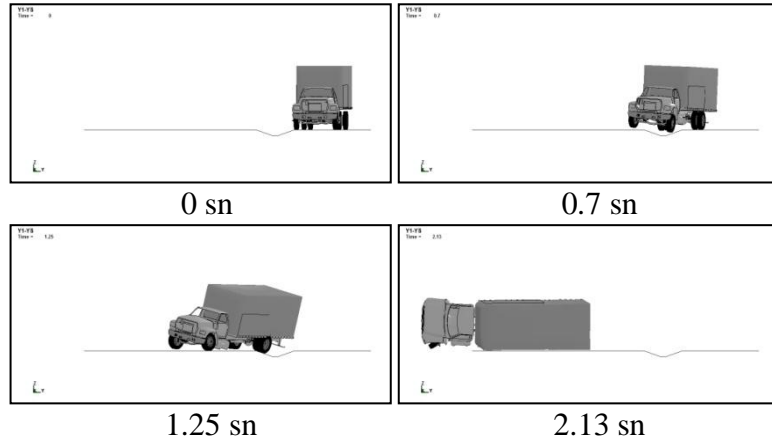


Şekil 4.96. Y1-NS kodlu analiz sonuçları

Yüksek Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol

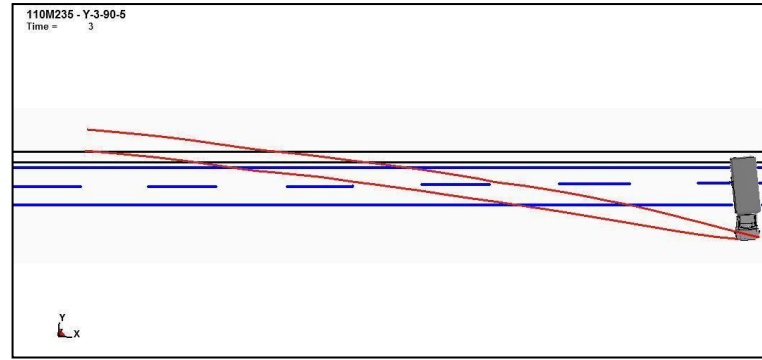


Şekil 4.97. Y1-YS kodlu analiz sonuçları

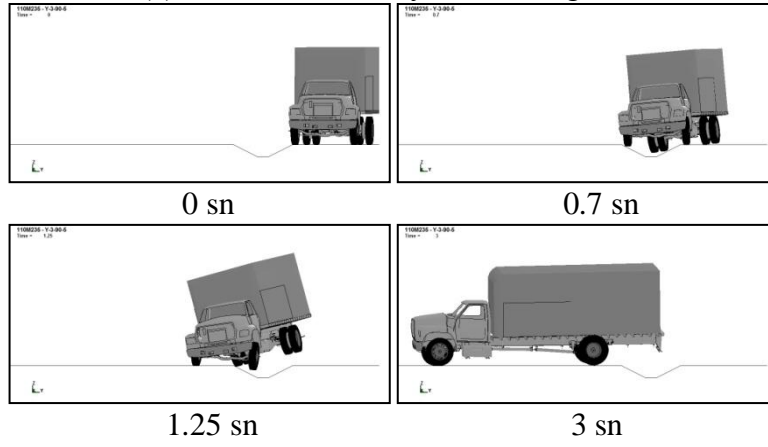
4.8.1.2 Y2 Kanal Tipi

Bu kanal tipinde Tablo 3.5’ de verilen sürtünme değerleri kullanılmıştır. Bu tablodan görüleceği gibi kanal ve yol platformundaki sürtünme değerlerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

Normal Pürüzlülük



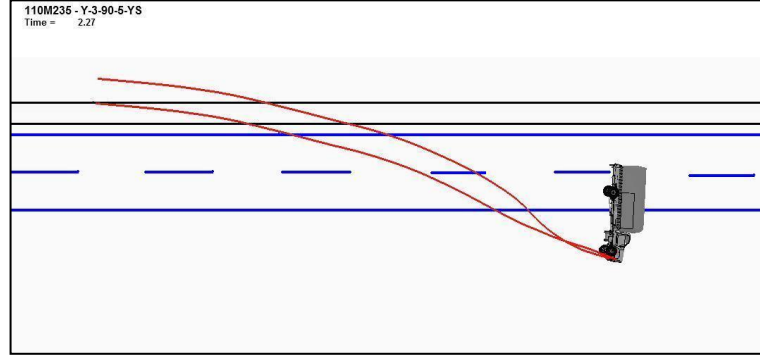
(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



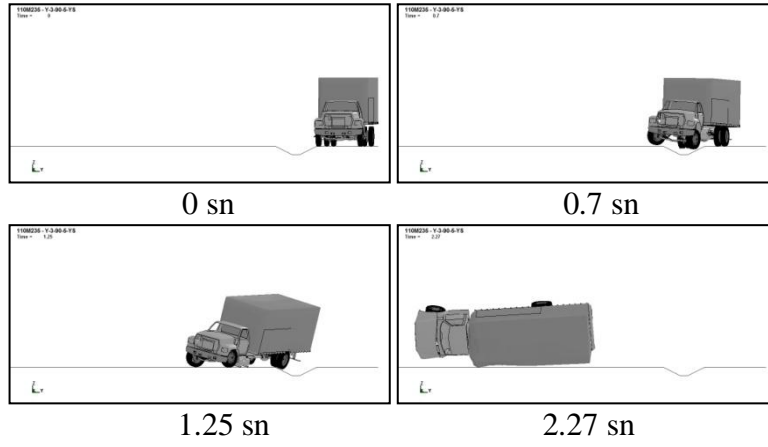
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.98. Y2-NS kodlu analiz sonuçları

Yüksek Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



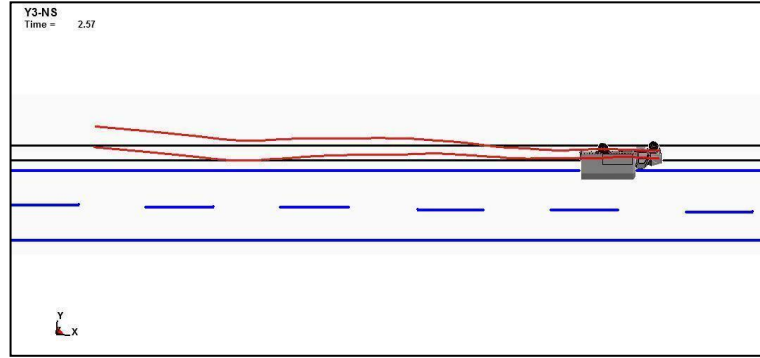
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.99. Y2-YS kodlu analiz sonuçları

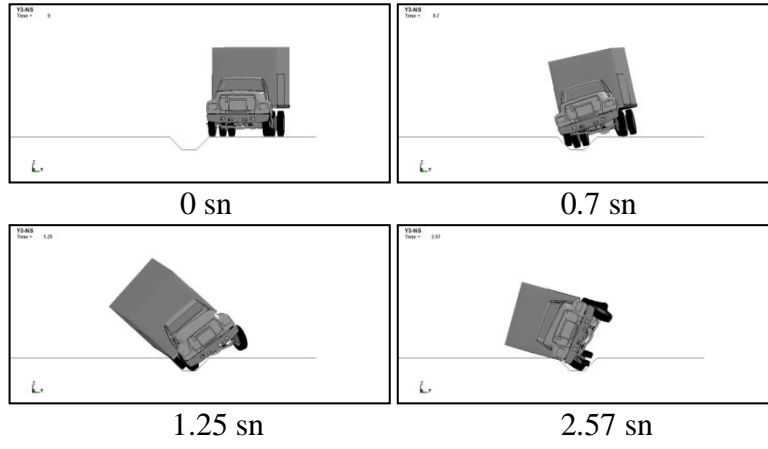
4.8.1.3 Y3 Kanal Tipi

Bu kanal tipinde Tablo 3.5’ de verilen sürtünme değerleri kullanılmıştır. Bu tablodan görüleceği gibi kanal ve yol platformundaki sürtünme değerlerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

Normal Pürüzlülük



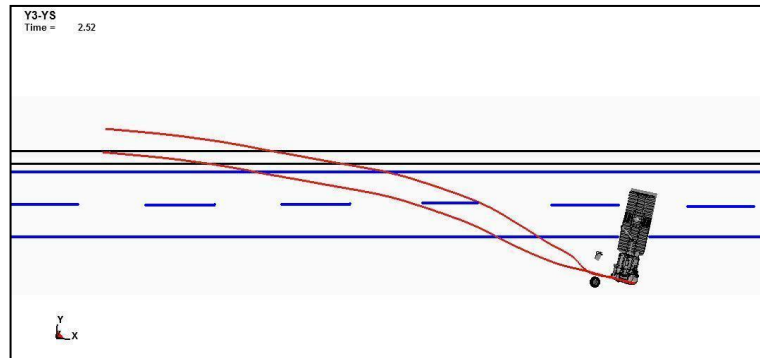
(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



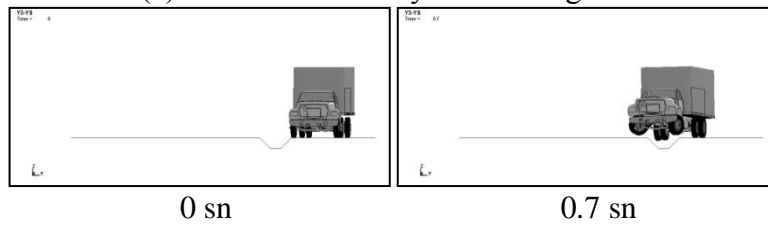
(b) Enkesit Görüntüleri

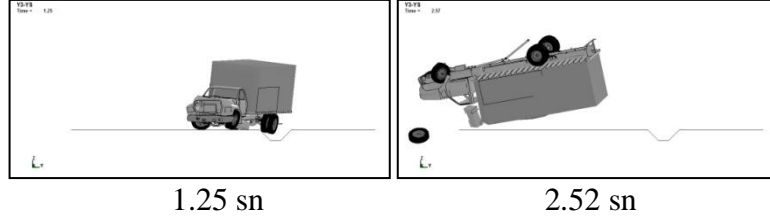
Şekil 4.100. Y3-NS kodlu analiz sonuçları

Yüksek Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol





1.25 sn

2.52 sn

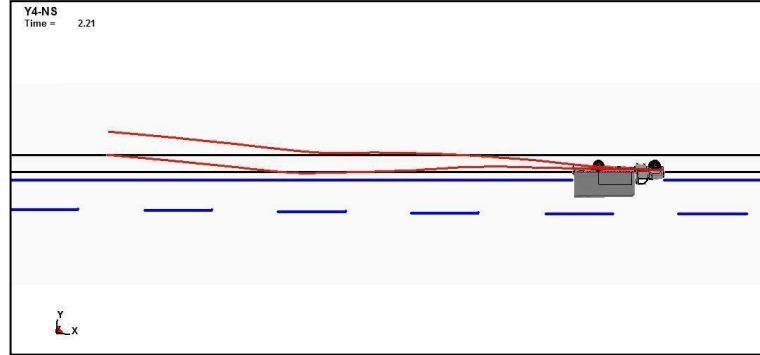
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.101. Y3-YS kodlu analiz sonuçları

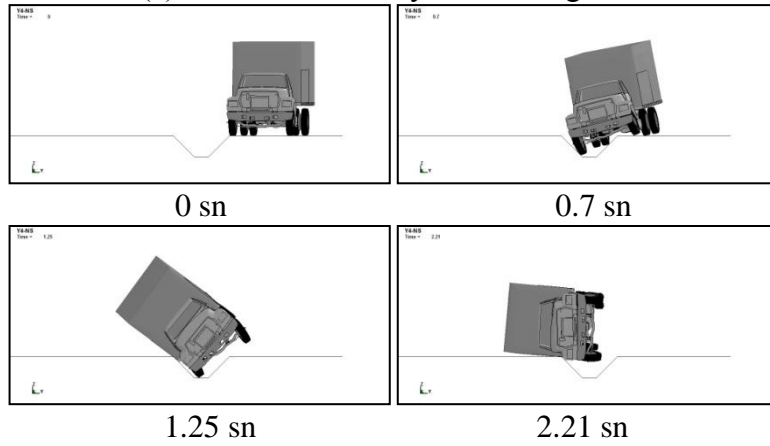
4.8.1.4 Y4 Kanal Tipi

Bu kanal tipinde Tablo 3.5’ de verilen sürtünme değerleri kullanılmıştır. Bu tablodan görüleceği gibi kanal ve yol platformundaki sürtünme değerlerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

Normal Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



0 sn

0.7 sn

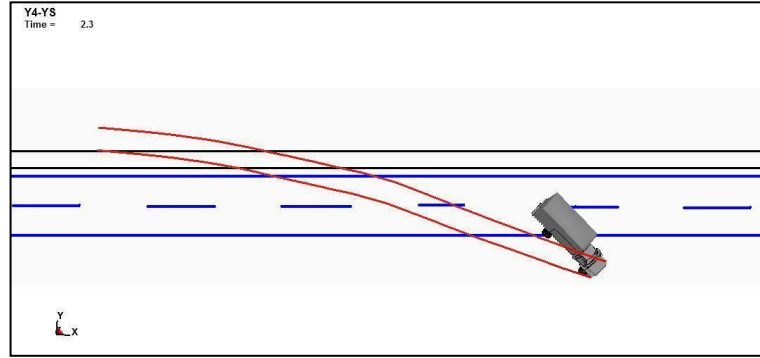
1.25 sn

2.21 sn

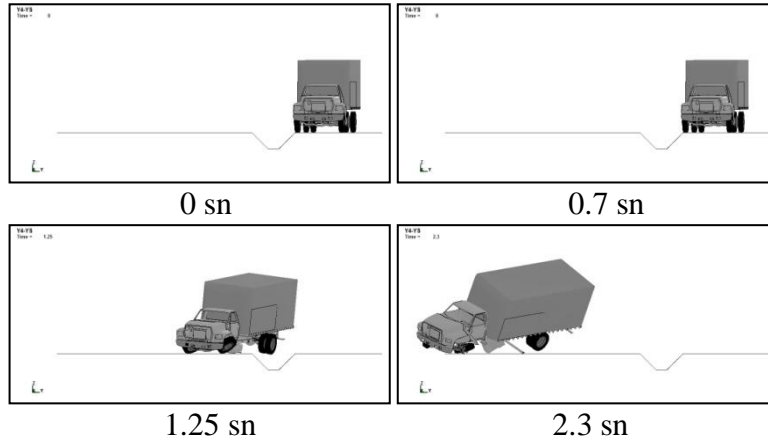
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.102. Y4-NS kodlu analiz sonuçları

Yüksek Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



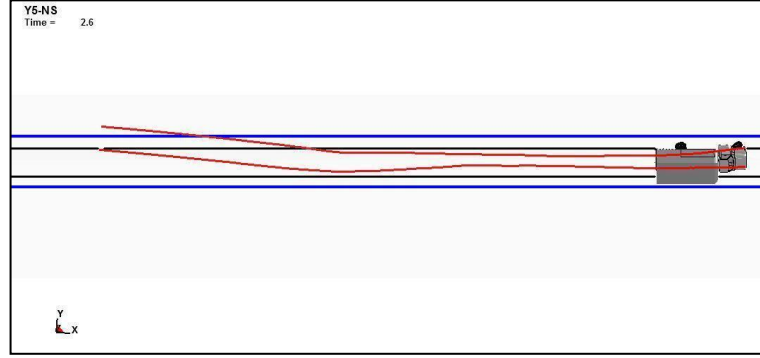
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.103. Y4-YS kodlu analiz sonuçları

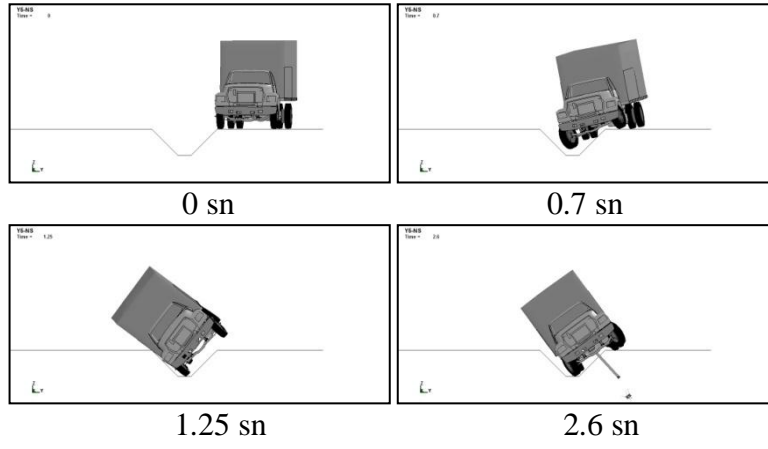
4.8.1.5 Y5 Kanal Tipi

Bu kanal tipinde Tablo 3.5' de verilen sürtünme değerleri kullanılmıştır. Bu tablodan görüleceği gibi kanal ve yol platformundaki sürtünme değerlerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

Normal Pürüzlülük



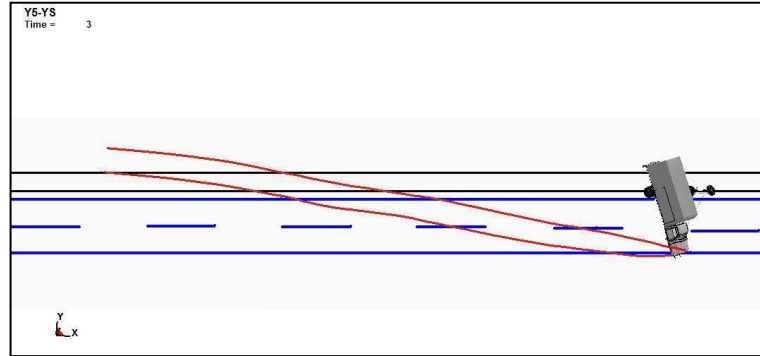
(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol



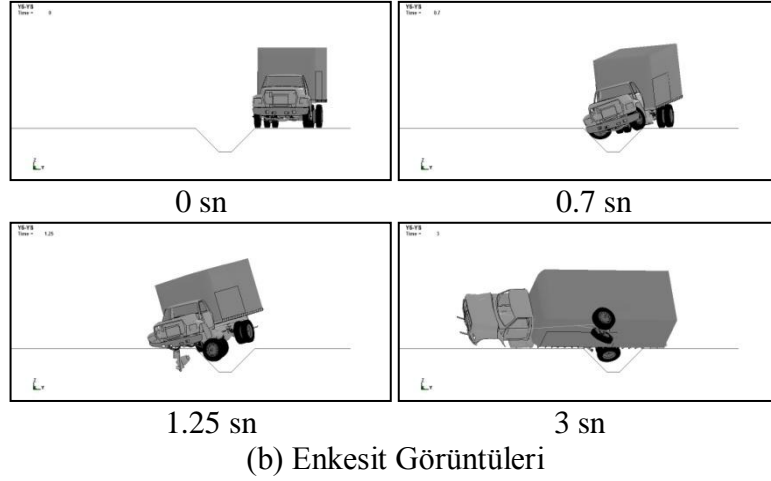
(b) Enkesit Görüntüleri

Şekil 4.104. Y5-NS kodlu analiz sonuçları

Yüksek Pürüzlülük



(a) Aracın Analiz Boyunca İzlediği Yol

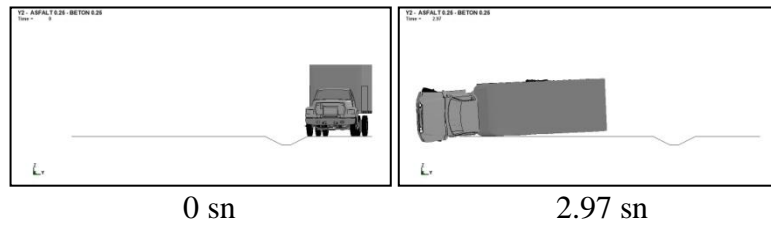


Şekil 4.105. Y5-YS kodlu analiz sonuçları

4.8.1.6. Y2 Kanal Tipi Ek Analizler

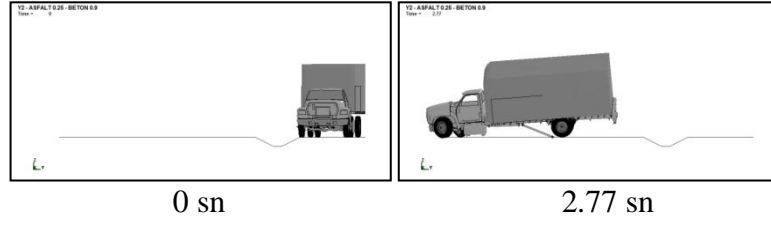
Kaplamanın yapım yöntemi, yağış durumu ve zamanla oluşacak aşınmalar da sürtünme değerlerini değiştirebildiği için bu durumları da inceleyebilmek için araç lastiği ile kanal ve yol yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayılarının farklı olduğu 4 analiz daha yapılmıştır. Tablo 3.5’ de gösterilen 11-14 nolu analizlere ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

11 No’lu Analiz



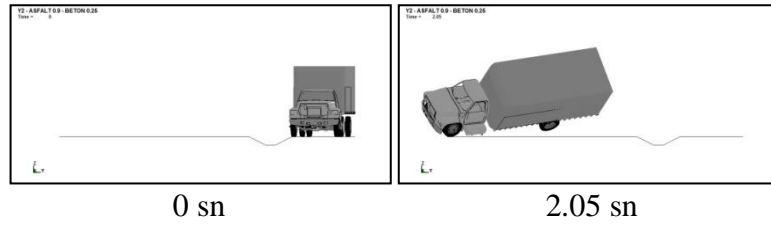
Şekil 4.106. 11 No’lu analiz enkesit görüntüleri

12 No'lu Analiz



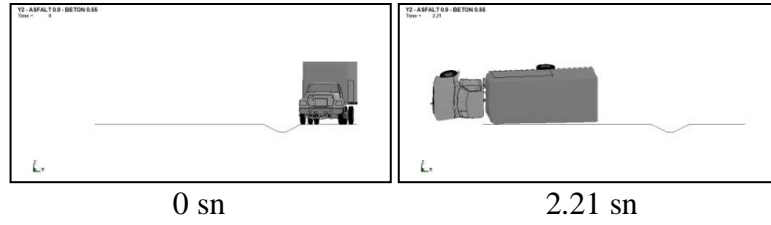
Şekil 4.107. 12 No'lu analiz enkesit görüntüleri

13 No'lu Analiz



Şekil 4.108. 13 No'lu analiz enkesit görüntüleri

14 no'lu analiz



Şekil 4.109. 14 No'lu analiz enkesit görüntüleri

4.8.2. Analizlerde Elde Edilen Sayısal Verilerin Karşılaştırılması

Analizlerin sonuçlarına ilişkin yukarıdaki görüntülere ek olarak Çizelge 4.12.'deki sayısal veriler elde edilmiştir.

Çizelge 4.12. Analizlere ilişkin sayısal veriler

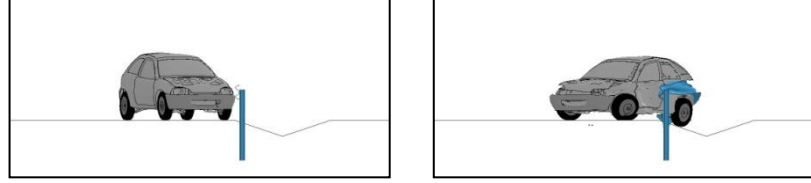
Analiz No	Analiz Kodu	1,5. sn. de Sönümlenen Enerji (kJoule)	İlk Hız (km/saat)	1,5. sn.de hız (km/saat)	Hızdaki Değişim (%)	Aracın Maksimum Devrilme Açısı (derece)
1	Y1-NS	95.5	90	86.4	-4	13.4
2	Y1-YS	212	90	79.7	-11.4	Devrildi
3	Y2-NS	86	90	85.1	-5.4	21.7
4	Y2-YS	257	90	76.5	-15	Devrildi
5	Y3-NS	154	90	83.3	-7.4	Devrildi
6	Y3-YS	88	90	74.9	-16.8	Devrildi
7	Y4-NS	106	90	85.1	-5.4	Devrildi
8	Y4-YS	363	90	73.3	-18.6	Devrildi
9	Y5-NS	95	90	85.4	-5.1	Devrildi
10	Y5-YS	465	90	65.9	-26.8	Devrildi
11	Y2	89	90	82.7	-8.1	Devrildi
12	Y2	184	90	79.2	-12	15.9
13	Y2	170	90	81.7	-9.2	Devrildi
14	Y2	270	90	78.1	-13.2	Devrildi

Çizelge 4.12.' de yapılan 14 analize ait sonuçlar bulunmaktadır. Çizelgenin ilk sütununda analiz numaraları ve ikinci sütunda ise analiz kodları vardır. Üçüncü sütunda, analiz boyunca araç tarafından sönümlenen enerji değerleri bulunmaktadır. Aracın sahip olduğu kinetik enerjinin büyük kısmı aracın lastikleri ile yüzey arasındaki sürtünme ve süspansiyon sistemi tarafından sönümlenmektedir. Dördüncü sütunda araçların ilk hızları, beşinci sütunda araçların 1,5 saniye sonundaki hızları ve altıncı sütunda ise ilk hızlar ve 1,5 saniye sonundaki hızların yüzdesel olarak azalma oranları verilmiştir. Tüm analizler için ortak bir değer olduğundan sayısal değerlerin karşılaştırılması 1,5. saniye için yapılmıştır. Son sütunda verilen değerler aracın devrilme açısı, diğer bir deyişle, aracın tabanının yol yüzeyi ile yaptığı ölçülen maksimum açıdır. Çizelgeden de görüleceği üzere 1, 3 ve 12 numaralı analizler dışında araçlar karşı şeride geçerek veya kanal içerisinde devrilmiştir.

4.9. Kanal Kenarlarına Otokorkuluk Uygulanması Durumu İçin Yapılan Analiz Sonuçları

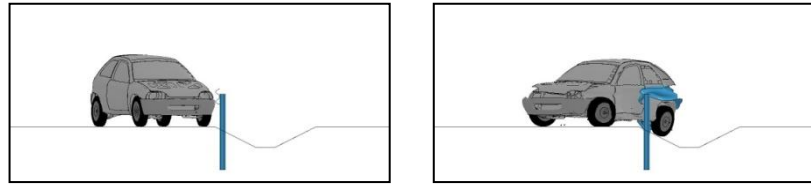
Çizelge 3.8.' de gösterilen 16 analize ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1 no'lu analiz



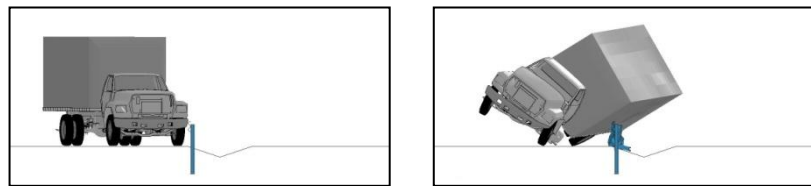
Şekil 4.110. 1 No'lu analiz enkesit görüntüleri

2 no'lu analiz

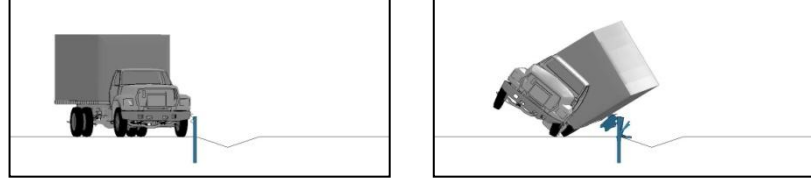


Şekil 4.111. 2 No'lu analiz enkesit görüntüleri

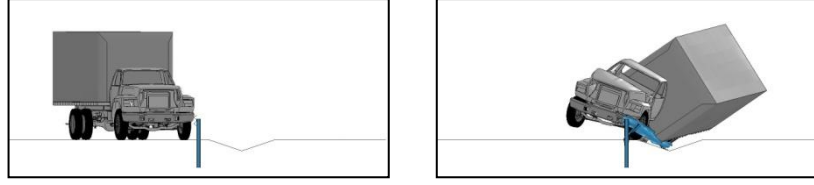
3 no'lu analiz



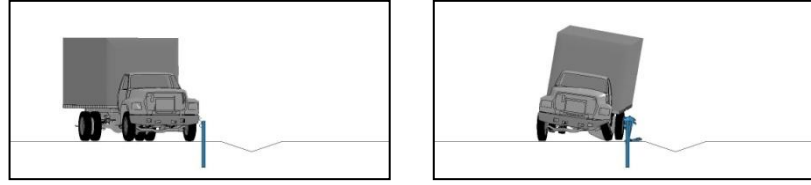
Şekil 4.112. 3 No'lu analiz enkesit görüntüleri

4 no'lu analiz

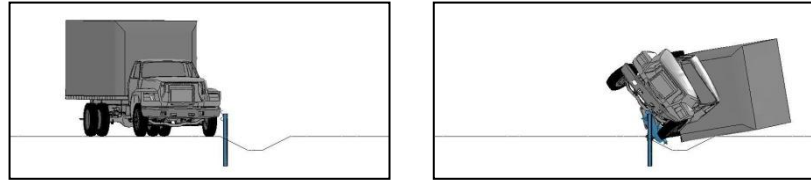
Şekil 4.113. 4 No'lu analiz enkesit görüntüleri

5 no'lu analiz

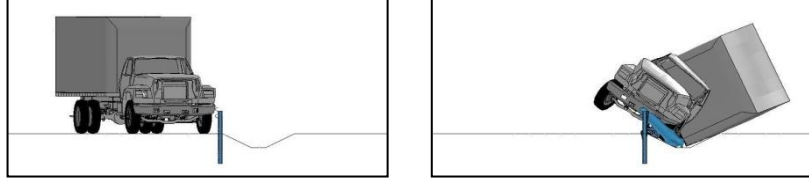
Şekil 4.114. 5 No'lu analiz enkesit görüntüleri

6 no'lu analiz

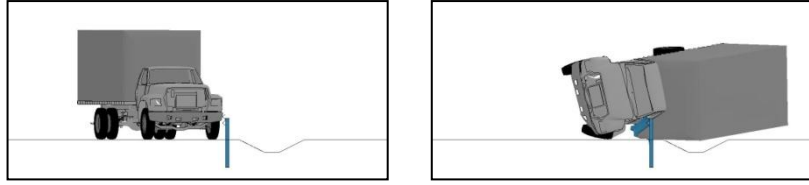
Şekil 4.115. 6 No'lu analiz enkesit görüntüleri

7 no'lu analiz

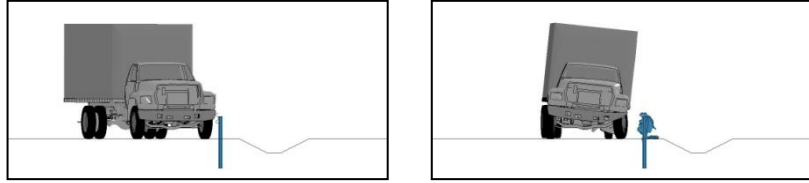
Şekil 4.116. 7 No'lu analiz enkesit görüntüleri

8 no'lu analiz

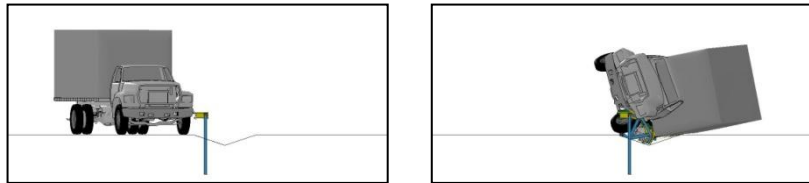
Şekil 4.117. 8 No'lu analiz enkesit görüntüleri

9 no'lu analiz

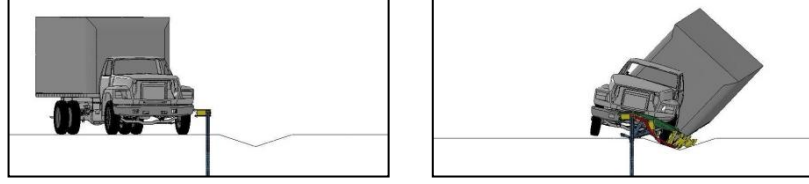
Şekil 4.118. 9 No'lu analiz enkesit görüntüleri

10 no'lu analiz

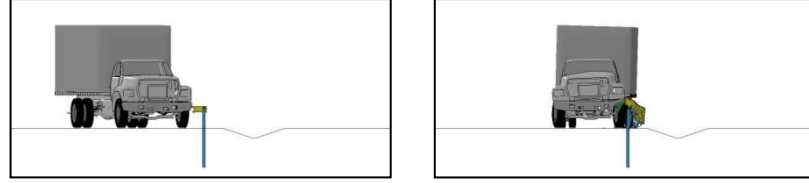
Şekil 4.119. 10 No'lu analiz enkesit görüntüleri

11 no'lu analiz

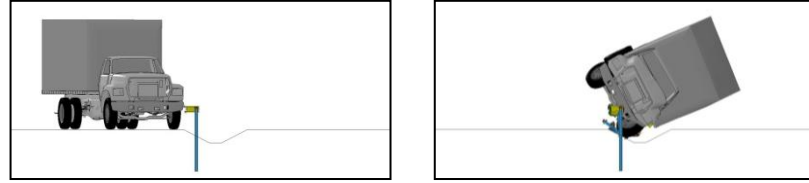
Şekil 4.120. 11 No'lu analiz enkesit görüntüleri

12 no'lu analiz

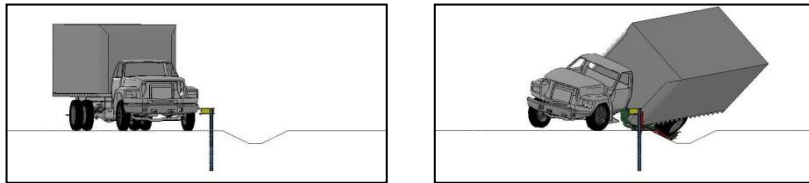
Şekil 4.121. 12 No'lu analiz enkesit görüntüleri

13 no'lu analiz

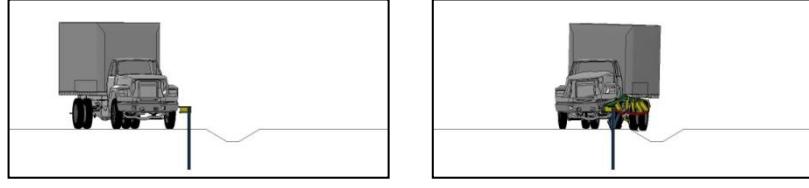
Şekil 4.122. 13 No'lu analiz enkesit görüntüleri

14 no'lu analiz

Şekil 4.123. 14 No'lu analiz enkesit görüntüleri

15 no'lu analiz

Şekil 4.124. 15 No'lu analiz enkesit görüntüleri

16 no'lu analiz

Şekil 4.125. 16 No'lu analiz enkesit görüntüleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada karayollarında özellikle duble yolların refüj kısımlarında bulunan üçgen ve trapez kesitli drenaj kanallarının içerisine giren araçlar için oluşturacağı tehlikeler incelenmiştir. Bu tehlikelerin tespiti için yapılan 3 farklı tipteki aracın, 3 farklı hız ve 3 farklı açı ile kanala girmesi durumlarını içeren 60 analiz sonucunda,

- 900 kg. ağırlığındaki araba ve 3000 kg. ağırlığındaki van düşük hız ve düşük açılarla kanala girdiğinde kanal içerisinde kalmaktadır. Diğer durumlarda ise araçlar kontrolsüz olarak karşı yola geçmekte veya takla atmaktadır.
- 60 analiz sonrasında, farklı yol pürüzlülükleri için yapılan 12 analizde yüksek pürüzlülüğün araç davranışını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

Farklı kanal boyutlarının güvenlik sorunlarını ortadan kaldırıp kaldırmadığının tespiti için yapılan toplam 28 analiz sonucunda,

- Kanal ile yol platformunun farklı pürüzlülükte olduğu analizlerde yol pürüzlülüğünden bağımsız olarak kanal pürüzlülüğünün araç davranışını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.
- Üçgen kesitli kanallar için yapılan analizlere U5 kodlu 8 metre genişliğindeki kanal kesiti dışındaki tüm kanal kesitlerinde araç lastiği ile yüzey arasındaki sürtünme değerinin yüksek olması durumunda araç takla atmakta, düşük olduğu durumda ise kontrolsüz olarak karşı şeride geçmektedir. Bu durum karşı yoldan gelen araçla çarpışma riskini ortaya çıkmaktadır. 8 metre genişliğindeki kanalda ise araç uzun süre kanal içerisinde kalmaktadır.
- Trapez kesitli kanallar için yapılan analizlerde Y1 ve Y2 kodlu kanal kesitleri dışındaki tüm kanal kesitlerinde araç takla atmakta veya kanal içerisinde yan yatmaktadır. Y1 ve Y2 kodlu kanal kesiti için yapılan analizlerde ise sürtünmenin yüksek olduğu durumda aracın devrildiği, normal sürtünme durumunda ise aracın devrilmeden karşı yola geçtiği belirlenmiştir. Bu durum kanalın genişliği ile ilgilidir.
- Trapez kesitli kanalların üçgen kesitli kanallara göre güvenlik açısından daha tehlikeli olduğu tespit edilmiştir.

5.2. Öneriler

Çalışmanın sonuçları kanal sürtünmesinin değişmesi veya kanal tiplerinin varyasyonu drenaj kanallarının araçlar için güvenli hale gelmesini sağlayamadığını göstermiştir. Bu sebeple aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

1. Mevcut drenaj kanallarının araç güvenliğine olumsuz etkileri olduğu belirlendiğinden, bu dizaynlar yerine gelişmiş ülkelerde olduğu gibi kaplama altından geçen güvenli dizaynların seçilmesi önerilmektedir. Yer altı drenaj sistemleri aracın dengesinin bozulmasını önleyecek fakat karşı şeride geçmeyi önleyemeyecektir. Ayrıca yeraltı kanallarında tıkanma sorunları yaşanabilir.

2. Yol platformunun birbirinden uzaklaştırılarak geliş ve gidiş yollarının birbirinden en az 20 metre uzağa inşa edilmesi de ekonomik olmamakla birlikte olası bir çözümdür. Karşı şeride geçmeyi önlemede etkin olan bu yöntemde sorun kamulaştırma genişliğidir. Bu mesafelerin sağlanması ekonomik olarak pek mümkün değildir.

3. Araç güvenliğini sağlayabilmek için araçların kanala girmeden yavaşlatılarak durdurulması en uygun çare olarak görünmektedir. Bu şartlar altında araç güvenliğinin sağlanabilmesi için kanala girme ve karşı şeride geçme durumlarını önleyecek tek çözüm yolu kanalların her iki tarafında uygun otokorkuluk kullanılmasıdır. Drenajın yeraltına alınması durumunda ise tek sıra otokorkuluk (çift taraflı) yeterli olacaktır.

4. Bu çalışmada 3 tip otokorkuluğun nerede ve nasıl kullanılması gerektiği hakkında kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Araç özelliklerine bağlı olarak bu otokorkulukların hizmet seviyesi ve uygulama yeri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ortaya konan otokorkuluk standardı TCK, belediyeler ve diğer idareler için drenaj kanallarının araç güvenliğine fayda sağlanması beklenmektedir. Otokorkulukların uygulama yeri ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda:

- N2 normal hizmet seviyesi otokorkuluğun ray yüzü ile kanal köşesi aynı hizada olacak şekilde kanal içerisine çakılması herhangi bir güvenlik sorunu oluşturmadığından sadece araba trafiği olan yollarda kullanılması önerilmektedir.
- H1 hizmet seviyesi otokorkulukları AG04 ve EDSP/1.33 uygulanma yeri bakımından aynı performansı göstermişlerdir. Her iki sistemin kanal köşesi ile

dikme yüzü arasındaki mesafe minimum 50 cm. olacak şekilde çakılarak kullanılması önerilmektedir.

- Analizler sonucunda benzer performans gösteren AG04 ve EDSP/1.33 sistemleri maliyet ve üretim kolaylığı bakımından kıyaslandığında AG04 sisteminin daha avantajlı olduğu görülmektedir. Bunun yanında EDSP/1.33 sistemi daha çok bileşenden oluştuğundan arazide montaj süresi AG04 sistemine göre uzun sürmektedir. Ayrıca EDSP/1.33 sisteminin 1 metre ağırlığı 30.7 kilogram, AG04 sisteminin 1 metre ağırlığı ise 18.5 kilogramdır. Bu sebeple yeni nesil otokorkuluk olan AG04 sisteminin EDSP/1.33 yerine kullanılması önerilmektedir.
- Bu çalışmada drenaj kanallarına giren araçların güvenliğini sağlayabilmek için N2 ve H1 seviye otokorkulukların kullanım yerleri ile alakalı çarpışma simülasyonları yapılmıştır. Tüm simülasyonlarda otokorkulukların yolların sadece aliyman (virajsız) kısımlara uygulandığı varsayılmıştır. Bunun yanında ileriki çalışma olarak otokorkulukların yolun kurp kesimlerinde uygulanması durumlarının da dikkate alınması önerilmektedir. Kupta uygulanan otokorkuluğa araçların çarpma açısı 15 dereceden daha geniş olacağından bu kesimlerde yüksek hizmet seviyesine sahip H2, H3 ve H4b otokorkuluklar için benzer çalışmalar yapılması önerilmektedir.
- Son olarak ileriki çalışmalarda 10 tondan daha yüksek tonajlı araçların da kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Atahan, A.O. (2003). **Impact behavior of G2 steel weak-post W-beam guardrail on nonlevel terrain**. Heavy Vehicle Systems, A series of the International Journal of Vehicle Design 10(3), 209-223.
- Atahan, A.O. Bonin, G., (2006). **Numerical analysis of an H4a heavy containment level transition**, Heavy Vehicle Systems, A series of the International Journal of Vehicle Design, 13(4), 351-365.
- Atahan, A.O., Bonin, G. Cicinnati, L., Yaşarer, H. (2008). **Development of a crashworthy end terminal TWINY for thrie-beam guardrail**, Journal of Transportation Engineering, ASCE, 133(4), 467-476.
- Atahan, A.O. (2009). **Effect of permanent jersey shaped concrete barriers height on heavy vehicle post-impact stability**, Heavy Vehicle Systems, A series of the International Journal of Vehicle Design, 16(1/2), 243-257.
- Bonin, G., Cantiasani, G. Loprencipe, G., Ranzo, A., Atahan, A.O. (2009). **Retrofit of an existing italian bridge rail for H4a containment level using simulation**, Heavy Vehicle Systems, A series of the International Journal of Vehicle Design, 16(1/2), 258-270.
- Consolazio, G., Chung, J., and Gurley, K., (2003). **Impact simulation and full scale crash testing of a low profile concrete work zone barrier**, Comput. Struct., 81(13), 1359–1374.
- Haberler (2010). <http://www.haberler.bbs.tr/volcu-minibuau-takla-atti.html>
- Ihcalı, M. (2010). **Taşıt hareketleri ders notları**, Ulaştırma 2, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.
- Karpuz, O. (2008). **Beton Yol Karışımındaki İnce Agreganın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- KGM (2005). **Karayolları genel müdürlüğü karayolu tasarım el kitabı**, KGM, Ankara.
- KGM (2011). **Bölünmüş yollarda uygulanacak orta refüj detayları**, KGM, Ankara.
- KGK (2012). **Karayolu güvenliği yüksek kurulu toplantısı**, <http://www.haberler.com/karayolu-guvenligi-yuksek-kurulu-toplantisi-3666370-haberi/>.
- LSTC (2010). **LS-DYNA kullanıcı el kitabı**, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, CA.
- Marzougui, D., Mohan, P., Kan, C. D., Opiela, K., (2007). **Performance evaluation of low tension three strand cable median barriers**, Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C.
- NCAC (2010). **National crash analysis center**, George Washington Üniversitesi, <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>.
- Polivka, K. A., Faller R.K., Sicking D.L., Rohde J.R., Holloway J.C., Keller E.A., (2001). **Development of a W-beam guardrail system for use on a 2:1 slope**. Transportation Research Record 1743, 80-87.
- Reid, J.D. (2004). **LS-DYNA Simulation influence on roadside hardware**, Transportation Research Board Annual Meeting, Paper No. 04-2619, Washington D.C.

- Sheikh, N.M. ve Bligh, R.P. (2006). **Analysis of the impact performance of concrete median barrier placed on or adjacent to slopes**. Report No. FHWA/TX-06/0-5210-1, Texas A&M University, Texas. <http://tti.tamu.edu/documents/0-5210-1.pdf>.
- Solid Works (2010). **Kullanıcı el kitabı**, Dassault Systèmes SolidWorks Şirketi, Velizy, Fransa.
- Texas Karayolları, (2007). **Karayollarında drenaj kanallarının dizaynı ve karayolu güvenliği açısından incelenmesi**, http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/rdw/drainage_facility_placement.htm.
- TÜİK (2008). **Trafik kaza istatistikleri**, TÜİK, Ankara.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yol gösteren ve iyi bir bilimsel çalışma ortamı sağlayan danışman hocam sayın Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bununla birlikte yaptığı maddi ve manevi yardımlardan dolayı TÜBİTAK kurumuna şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Turan ARSLAN, Yrd. Doç. Dr. Umur Korkut SEVİM, Yrd. Doç Dr. Selçuk KAÇIN' a ve tüm İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen, hayatımın her aşamasında bana destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Sivas ili Gemerek ilçesinde doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Kayseri’de tamamladım. 2006 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne yerleştim ve 2010 yılında mezun oldum. Aynı yıl yüksek lisans öğrenimine başladım. 2010 eylül ayından beri TÜBİTAK destekli 110M235 nolu ‘**Karayolu Yağmur Drenaj Kanallarının Araç Güvenliğine Etkisinin Dinamik Analizlerle Belirlenmesi**’ başlıklı projede bursiyer öğrenci olarak görev almaktayım.

EKLER

EK- I	Drenaj kanal kesitleri
EK- II	Örnek LS-DYNA Data Dosyası

EK-I

Örnek LS-DYNA Data Dosyası

```

*KEYWORD 300000000
*TITLE
Deneme
*INCLUDE
kanal.k
*INCLUDE
arac.k
*CONTROL_TERMINATION
$ ENDTIM  ENDCYC  DTMIN  ENDNEG  ENDMAS
   1.5    0   .000   .000   .000
*DATABASE_BINARY_D3PLOT
1.00000-2
*DATABASE_GLSTAT
1.00000-4
*DATABASE_MATSUM
5.0E-04
*DATABASE_HISTORY_NODE
700002 700003
*DEFINE_CURVE
  17    0 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000
  0.0000000E+00  1.0000000E+00
  5.00000005E+00  1.0000000E+00
  1.00000000E+01  1.0000000E+00
*LOAD_BODY_Z
  17 9810.0000    0
*CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE
$Contact between parts of the vehicle
   6    0    2    0    0    0    0    0
0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000    0 0.0000000 0.0000000
1.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000
0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000    0 0.0000000 0.0000000
*CONTACT_AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE
$ SSID  MSID  SSTYP  MSTYP  SBOXID  MBOXID  SPR  MPR
 1000000    6    3    2    0    0    0    0
$ FS  FD  DC  VC  VDC  PENCHK  BT  DT
0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000    0 0.0000000 0.0000000
$ SFS  SFM  SST  MST  SFST  SFMT  FSF  VSF
0.0000000 0.0000000 10.000000 10.000000 0.0000000 0.0000000
$ SOFT SOFSCL LCIDAB MAXPAR SBOPT DEPTH BSORT
FRCFRQ
  1  0.1    1.025    2.0  100  1
*END

```

