



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI ARALIKLARA SAHİP DİKMELERDEN OLUŞAN ÇELİK  
OTOKORKULUKLARIN ÇARPIŞMA DAVRANIŞININ SANAL ORTAMDA  
İNCELENMESİ**

**ERDİNÇ BAYAT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Antakya/HATAY**

**OCAK-2011**

**İÇİNDEKİLER**

ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
SİMGELER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Otokorkuluk Tanımı Ve Kullanma Yerleri .....	2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	8
3.1. Materyal.....	8
3.1.1 Çalışmada Kullanılan CAD Yazılımları .....	8
3.1.2. Kullanılan Ticari Yazılımların Özellikleri .....	8
3.2. Yöntem.....	10
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	13
4.1. Otokorkulukların Tasarım Parametrelerinin Oluşturulması.....	13
4.2. Dikme Mesafeleri Birbirinden Farklı Üç Basit otokorkuluk Sisteminin Katı Modellemeyle Montajlarının Oluşturulması .....	22
4.3. Sonlu Elemanlar Simülasyon Çalışmasının Gerçekleştirilmesi.....	26
4.4. Modellerin Mesh Yapılması.....	27
4.5. Üç Tip Otokorkuluk Sistemlerini Oluşturan Elemanların Yazılıma Tanımlanması .....	34
4.6. Modeli oluşturan Elemanlara Ait Et Kalınlıklarının Atanması.....	35
4.7. Modeli Oluşturan Elemanlara Malzeme ve Malzeme Özellikleri Atanması ...	37
4.8. Modeli Oluşturan Elemanların Çoğaltılarak Otokorkuluk Sisteminin Oluşturulması .....	39
4.9. Farklı Dikme Mesafesine Sahip Otokorkuluk Sistemlerini Oluşturan Elemanlar Arasındaki İlişkilerin ve Çarpışma Sınır Şartlarının Belirlenmesi .....	42
4.10. Test Araçlarının Hazırlanması ve Üç Tip Otokorkuluk Sistemlerinin Analize Hazır Hale Getirilmesi .....	44

4.11. Üç Tip Otokorkuluk Modelinin LS-DYNA Yazılımında EN 1317–2 Standardına Uygun Olarak Çarpıştırılması .....	47
4.12. Farklı Aralıklara Sahip Dikmelerden Oluşan Üç Tip Çelik Otokorkulukların Çarpışma Analiz Sonuçları .....	49
4.12.1. Dikme Mesafesi 1.33 m Olan Basit Otokorkuluğun Çarpışma Sonuçları.....	49
4.12.2. Dikme Mesafesi 2.00 m Olan Basit Otokorkuluğun Çarpışma Sonuçları.....	55
4.12.3. Dikme Mesafesi 4.00 m Olan Basit Otokorkuluğun Çarpışma Sonuçları.....	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR.....	64
TEŞEKKÜR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	67

## ÖZET

**FARKLI ARALIKLARA SAHİP DİKMELERDEN OLUŞAN ÇELİK OTOKORKULUKLARIN ÇARPIŞMA DAVRANIŞININ SANAL ORTAMDA İNCELENMESİ**

Bu tez çalışmasında, araçların karayolunu bir sebepten dolayı terk ederek araç içerisindekiler için risk arz eden bölgelere girmesini önlemek için 3 farklı tasarım ve simülasyon modeli kullanılarak gerçekleştirilen otokorkuluk sistemleri üzerinde yapılan çarpışma test simülasyonlarının sonuçları özetlenmektedir. Otokorkuluk sistemleri en hafifinden en ağırına kadar olan araçları karayolu içerisinde tutmak için özel olarak imal edilmektedir. Yapılan bu çarpışma simülasyon testleri European Norm(EN) 1317 Avrupa Yolkenar Emniyet Sistemleri standardına uygun olarak yapılmış ve dizayn edilmiştir. Tasarımda çelik sigma dikme, çelik U takoz, alüminyum alaşımlı thrie(ray) denen geniş yüzeyli W-ray ve bağlama elemanı olarak cıvatalar kullanılmıştır.

Analizler için otokorkuluklara ait 3 adet sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Birinci model sigma dikme aralığı 1.33 m, ikinci model sigma dikme aralığı 2.00 m ve üçüncü model ise sigma dikme aralığı 4 m olarak dizayn edilmiştir. Modeller LS PREPOST' da tasarlanmış; EN 1317-2 (Avrupa Standardı Karayolu Güvenliği Aracı Yolda Tutma Sistemleri Bölüm 2) standardında belirtilen çarpışma derecelerinden TB11 ve TB42' ye göre karşılaştırılmış, çarpışma simülasyonları LS-DYNA yazılımında doğrusal olmayan dinamik eksplisit sonlu elemanlar analizi metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

TB11: 900 kg otomobil 20 derece açılı ve 100 km/h

TB42:10000 kg kamyon 15 derece açılı ve 70 km/h hızla otokorkuluğa çarpımını öngörmektedir. Ortaya çıkan değerler EN 1317-2 standardına göre araç cinsi, çarpma hızı ve açısı, otokorkuluk yanal deformasyonu ve çarpışma şiddet derecesine göre değerlendirilmiştir. Bulgulardan hareketle EN 1317-2'ye göre minimum standardı sağladığından dolayı vasıtaların yol içerisinde kaldığı sonucu ortaya çıkmıştır. Bu sonuç sanal ortamda elde edilen değerlerin daha az maliyetli, daha hızlı ve kısa zamanda elde edilen çok yakın değerler olduğunu kanıtlamaktadır.

2011, 75 Sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu Elemanlar Yöntemi, Otokorkuluk, LS-DYNA, Dinamik Çarpma, EN 1317-2, Çarpışma Testi, Eksplisit Yöntem

**ABSTRACT****INVESTIGATING CRASH BEHAVIOUR OF THE STEEL GUARDRAILS WITH DIFFERENT POST SPACINGS USING SIMULATION**

In this thesis, it is summarized the results of the crashing tests simulations which were performed on the guardrail systems by using three different designs and simulation models to prevent the vehicle entering the areas pose a risk for the people in it by leaving the motorway because of any reason. These guardrail systems are manufactured specifically to hold the vehicles from the lightest, up to the heaviest ones in the motorway. These crashing simulation tests have been designed and made in accordance with European Norm (EN) 1317 Standards of European Roadside Safety Systems. The design formed by using steel sigma column, steel U-wedge, large surface W- Ray called aluminum alloy thrie (rail) and bolts as binding elements.

Three models of simulation have been formed for the analyses. The distance between the sigma columns for the first model is designed as 1.33 m, the second one is 2 m, and the third one is 4 m. The models were designed at LS PREPOST got crashed according to TB11 ve TB42 crashing degrees were indicated in EN 1317-2 (Standards of European Motorway Safety and Holding Vehicle inside the Road Chapter 2), crash simulations were implemented by using non linear dynamic explicit finite elements analyze method in LS-DYNA software.

TB11: 900 kg automobile 20 degree angle ve 100 km/h

TB42: got crashed by using 10000 kg lorry 15 degree angle and 70 km/h values.

The values came up were evaluated according to EN 1317-2 standard, the type of the vehicle crashing speed and angle, guard rail deformation and crashing rage. From the symptoms, viewpoint according to EN 1317-2 because it supplies the minimum standard it is inferred from the results that the vehicles are staying inside the road. This conclusion proved that the values received from virtual environment are less costly, more rapidly, and close range take less time.

2011, 75 Page

**Key Words:** Finite Element Method, Guardrail Systems, LS-DYNA, Dynamic Crash, EN 1317-2, Crashing Test, Explicit Method.

**SİMGELER DİZİNİ**

E: Elastisite modülü

RO: Malzemenin yoğunluğu

SIGY: Başlangıç akma gerilmesi

MID: Materyal tipi

PR: Poisson oranı

L: Sonlu elemanlar modeli içindeki en küçük eleman uzunluğu,

c: Malzeme içindeki ses hızı

$\rho$  : Malzemenin yoğunluğu

P: Dış kuvvetleri,

I: Eleman iç kuvvetleri,

M: Kütle matrisini,

u: İvmeyi

$\bar{a}_x(t)$  : Maksimum x yönündeki ivme

$\bar{a}_y(t)$  : Maksimum y yönündeki ivme

$\bar{a}_z(t)$  : Maksimum z yönündeki ivme

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Tez çalışmasında kullanılan programlar.....	10
Çizelge 4.1. LS-DYNA analizinde kullanılan çelik malzemelerin materyal özellikleri.....	39
Çizelge 4.2. Çarpışma parametreleri TB11, TB42 ve H1 performans seviyesi özellikleri.....	48
Çizelge 4.3. EN 1317–2 standardında otokorkuluk üzerinde oluşan deformasyon dereceleri tablosu.....	52
Çizelge 4.4. 1.33 m dikme mesafeli otokorkuluğa ait detaylı test simülasyonu parametreleri.....	52
Çizelge 4.5. 2.00 m dikme mesafeli otokorkuluğa ait TB11 ve TB42 detaylı test simülasyonu parametreleri.....	58
Çizelge 4.6. 4.00 m dikme mesafeli otokorkuluğa ait TB11 test sonuçları parametreleri.....	61
Çizelge 5.1. Üç tip basit otokorkuluğun çarpışma sonuçları.....	62

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Karayolu çelik otokorkulukları ve yapı elemanları.....	1
Şekil 4.1. Basit otokorkuluk projesi montajı.....	14
Şekil 4.2. Basit otokorkuluk yapı elemanlarının 2D teknik resim detayları.....	18
Şekil 4.3. Sketch kısayol komutları.....	19
Şekil 4.4. Sketch araç çubuklarının çizim aletlerinin tanıtılması.....	19
Şekil 4.5. Bose base extrude ve cut extrude komutu.....	20
Şekil 4.6. SolidWorks’ de hazırlanan basit otokorkuluk yapı elemanlarının katı modelleri.....	22
Şekil 4.7. Assembly Toolbar komutları.....	23
Şekil 4.8. Assembly Mating komutları.....	23
Şekil 4.9. Üç boyutlu katı modellemeyle hazırlanan farklı aralıklara sahip dikmelerden oluşan tek taraflı basit otokorkuluk sistemleri.....	26
Şekil 4.10. SolidWorks yazılımında dosya uzantısının “*.iges” yapılması.....	28
Şekil 4.11. IGES (*.igs) veri formatı ve Options sekmesinin görünümü.....	28
Şekil 4.12. Surface representation/System preference kısmın Ansys’ e dönüştürülmesi.....	29
Şekil 4.13. IGES File seçilmesi.....	30
Şekil 4.14. FEM menü ve Elemet and Mesh.....	30
Şekil 4.15. Auto mesh dialog kutusu ve FEM genel eleman seçme komutları.....	30
Şekil 4.16. Dikme mesafeleri birbirinden farklı üç adet tek taraflı basit otokorkuluğun mesh yapılmış ve mesh yapılmamış durumu.....	33
Şekil 4.17. Sayfa 3 *Section ve Shell komutlarının seçilmesi.....	36
Şekil 4.18. TITLE ve SECID değerinin girilmesi.....	36
Şekil 4.19. Sayfa 1’ deki Appear ve Thick komutu.....	37
Şekil 4.20. Sayfa 3’ de yer alan *Mat ve listeden 024 numaralı malzeme ataması.....	38
Şekil 4.21. Malzeme özellikleri tablosu.....	38
Şekil 4.22. Sayfa 2’ deki Translt ve Rotate komutları.....	40
Şekil 4.23. Farklı dikme mesafesine sahip üç tip otokorkuluk sistemlerinin çoğaltılmış ve 20° döndürülmüş hali.....	42
Şekil 4.24. Sayfa 3 ve 5 de yer alan *Cnstrnd ve Spc komutları.....	43
Şekil 4.25 Sayfa 3 ve 5 de yer alan *Cnstrnd ve Spc komutları uygulanmış hali.....	43
Şekil 4.26. 900 ve 1500 kg’ lık otomobil ile 10000 kg’ lık kamyonun sonlu elemanlar modeli.....	45
Şekil 4.27. Bilgisayar simülasyonunda kullanılan 900 ve 1500 kg’ lık otomobil ile 10000 kg’ lık kamyon ve otokorkuluk sistemlerinin analize başlamadan önceki modelleri.....	47
Şekil 4.28. TB11 test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları.....	50
Şekil 4.29. TB42 test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları.....	51
Şekil 4.30. Çalışma genişliği - zaman grafiği.....	51
Şekil 4.31. x, y ve z yönlerindeki ivmelerin grafikleri.....	54
Şekil 4.32. TB11 test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları.....	56
Şekil 4.33. TB42 test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları.....	57
Şekil 4.34. Çalışma genişliği- zaman grafiği.....	57
Şekil 4.35. TB11 test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları.....	59
Şekil 4.36. TB 42 test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları.....	60



## 1. GİRİŞ

Çarpma simülasyonlarında yoğun olarak kullanılan sonlu elemanlar metodu, ilk olarak 1950'li yılların sonunda kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi karmaşık ve yoğun non-linear (doğrusal olmayan) problemlerin çözümünde kolaylık sağlamaktadır. İlk kullanım zamanlarında sadece lineer (doğrusal) analizleri yapmakta kullanılan sonlu elemanlar metodu daha sonralarda bilgisayarlı sistemlerin gelişmesine paralel olarak pek çok alanda karmaşık problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle artık karmaşık problemlerin analiz süreci ANSYS, NASTRAN, LS-DYNA, ABAQUS, PATRAN gibi çok sayıda ticari yazılımlar kullanılmaktadır. Bu paket programlar kompleks tasarımlardan, meydana gelen non-linear (doğrusal olmayan) ve dinamik analizlerin kısa zamanda doğru ve etkin olarak çözülmesinde kolaylık sağlamıştır (Gümrük, 2006). Ticari yazılımlar sayesinde çarpma simülasyonları sanal ortamda araç ve insan prototipi kullanılmadan birçok kez analiz yapılarak doğru sonuca hem ekonomik hem de zamandan tasarruf sağlanarak hızlı bir şekilde ulaşılmaktadır.

Gelişen teknoloji ve artan araç sayısı ile otokorkulukların yol trafiğindeki önemi son zamanlarda artmaya başlamıştır. Otokorkulukların asli görevi herhangi bir hatadan dolayı aracın yol dışına çıkarak daha büyük bir kaza yapmasını engellemektir (Cansız, 2003). Bu engelleme yöntemi ile aracın yolun dışına çıkması kontrollü bir şekilde yapılır. Eğer ki araç kontrolsüz bir şekilde engellenir ise seyir halindeki diğer araçlar için de tehlike arz etmeye başlayacaktır. Şekil 1.1.'de bir karayolunda bulunan çelik otokorkuluk ve yapı elemanları görülmektedir.



**Şekil 1.1.** Karayolu Çelik Otokorkulukları ve Yapı Elemanları

Bilgisayar destekli modelleme ve simülasyon sayesinde standartlar dâhilinde yapılan araçlı otokorkuluk çarpışma deneylerinin sonuçlarından elde edilen değerler vasıtasıyla optimum otokorkuluk tiplerinin belirlenmesi, gerçek çarpışma deneylerinde performansı yakalayamayan otokorkuluk sistemlerinde yapılan düzenlemelere göre daha az maliyetli, daha hızlı ve etkin sonuçlara ulaşılması amaçlanmaktadır.

Gerçek çarpışma testleri yaklaşık 900 kg ağırlığındaki karayolu vasıtası kullanılarak, belli bir açıyla, yaklaşık 100 km/h hızla çelik otokorkuluk sistemine çaptırılmasıyla gerçekleşir (EN1317–2, 1998). Deney sonuçlarında, araç cinsi, çarpma hızı ve açısı, otokorkuluk yanal deformasyonu, çarpışma şiddet derecesi, EN 1317–2 (Avrupa Standardı Karayolu Güvenliği Aracı Yolda Tutma Sistemleri Bölüm 2) minimum standardı sağlayacak düzeyde olduğu takdirde vasıtaların yol içerisinde kaldığı görülmektedir (Atahan, 2006). Böylece otokorkuluk tipi ve yapı elemanlarının nasıl üretilmesi gerektiği ve çarpışma testinin derecesinin klasmanı ve tipi belirlenecektir.

Bu çalışma, bilgisayar destekli analiz ve simülasyon programlarından faydalanılarak oluşturulmuştur. Bunlar ticari yazılım LS-DYNA ve yazılım ailesidir. Programlarda çarpışma deney düzenekleri bilgisayar ortamında modellenmektedir. Bu modeller LS-DYNA’ da analiz edildikten sonra gerçek çarpışma deneylerine çok yakın sonuçlar elde edilebilmektedir (Atahan, 2008). Böylece gerçek çarpışma deneylerinden oluşan maliyet ve zaman giderleri minimuma indirgenerek doğru ve etkin sonuçlara ulaşmak amaçlanmıştır.

### **1.1. Otokorkuluk Tanımı Ve Kullanma Yerleri**

Karayollarında seyreden bir aracın herhangi bir sebeple yolun dışına çıkmasına ve daha büyük bir kaza yapmasına engel olan ve aracın güvenli bir şekilde tekrar yola dönmesini sağlayan PASIF KORUMA sistemleri olarak tanımlanabilir. Otokorkuluk sistemleri temel anlamıyla yol kenarlarında kullanılan engellerdir. Bu engeller kullanım yerlerine göre betondan veya çelikten yapılmış olabilir. Gerek yurtdışında gerekse ülkemizde yaygın olarak kullanılan otokorkuluk tipleri çelik yapı elemanlarından imal edilen otokorkuluk tipleridir. Çelikten imal edilen otokorkuluklar diğer malzemelerden (Örn. Beton tip) imal edilen otokorkuluklara göre daha ekonomiktir. Fakat çelik otokorkulukların en ufak kazalarda bile ister istemez deforme olması sebebiyle bakım

gerektirmesi dezavantajlarındandır. Büyük kazalarda sistemin komple hasara uğraması ve sonuç olarak sistemin komple yenilenmesi maliyetleri arttırmaktadır. Bu yüzden karayollarında otokorkuluk seçiminde ekonomik durumlar her zaman göz önüne alınmalıdır.

Genel olarak Türkiye’de ve dünyada yol kenar güvenliği için çeşitli sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler kullanıldığı yerlerde gerek kullanımdan dolayı gerekse sürücülerin dikkatsizliği sebebiyle karayollarında tehlike arz edebilirler. Bu yüzden karayolunda kullanılan bu sistemlerin çarpmalara karşı genel performansı önceden bilinmeli, olası bir çarpışma durumunda araca veyahut araç içerisinde seyir edenlere verebileceği zararın minimuma indirilmesi açısından önem arz etmektedir.

Gelişmiş ülkelerde karayolu güvenlik sistemlerinin çarpışma durumlarına göre performansının belirlenmesinde gerek deneysel gerekse sanal ortamda yapılan çalışmalarla performans belirlenmesi yapılmaktadır. Sanal ortamda yapılan çarpışmaların doğruluğu uzun süren araştırmalar ve gerçek çarpışma testleri yapılarak kanıtlanmıştır. Bu çalışma özel bir şirket için hazırlanan üç tip farklı dikme mesafesine sahip otokorkulukların üç boyutlu LS-DYNA (Livermore Software Dynamic) deneysel metotların pahalı olması ve imkânların yetersizliğinden dolayı LS-DYNA paket programı kullanılarak otokorkuluklar ve çarpıştırılacak araçlar modellenmiş ve bunların çarpışmalar sırasındaki davranışları incelenmiştir (LS-DYNA, 2000). Bu geliştirilmiş yöntemle çarpışma testleri maliyetleri en aza indirilmektedir.

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda, ülkemizde çok yaygın olarak kullanılan ve Avrupa standartlarına uygun olarak inşa edilmiş çelik otokorkuluk sistemleri çarpmalar karşısındaki kabul edilebilir performans seviyeleri sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, modellenen yapıların kullanılabilirliği hakkında somut bilgiler elde edilmiştir.

Yol kenar yapıları, yanal deformasyon yapabilme özelliklerine göre esnek, yarı rijit ve rijit olarak sınıflandırılmaktadır. (AASHTO-AGC-ARTBA Joint Committee (1996)) Bu yapıları karayollarında kullanmadan önce çarpışma davranışları aracın cinsi, hızı ve çarpma açısı kriterlerine göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Esnek, yarı rijit, rijit olarak kullanılan yol yapılarının özellikleri ve kullanım alanları aşağıda açıklanmıştır (Karataş, 2010).

Esnek Sistemler- Yapabileceği yanal deformasyon 2–4 metre arasındaki sistemler;

- a. Çelik halatlı sistem
- b. W-raylı zayıf çelik dikmeli sistem (Basit Otokorkuluk- 4 metre dikme mesafesi)
- c. Geniş W-raylı zayıf çelik dikmeli sistem (Geniş raylı Basit Otokorkuluk–4 metre)

Yarı Rijit Sistemler- Yapabileceği yanal deformasyon 0,5–2 metre arasındaki sistemler;

- a. Kutu kirişli zayıf dikmeli sistem
- b. Bloklanmış W-raylı kuvvetli dikmeli sistem (Basit mesafeli otokorkuluk–2 metre)
- c. Bloklanmış geniş W-raylı kuvvetli dikmeli sistem (Basit Mesafeli Otokorkuluk–2 metre)
- d. Modifiye edilmiş geniş W-raylı sistem

Rijit sistemler-Yapabileceği yanal deformasyon 0–0,5 metre arasındaki sistemler;

- a. Betonarme bariyerler
- b. Kâgir Bariyerler
- c. Özel Çelik Sistemler(Basit Mesafeli Otokorkuluk – 1.33 metre dikme mesafesi)

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bilgisayar destekli simülasyon ve analiz programı LS-DYNA ticari yazılımı kullanılmak suretiyle non-linear (doğrusal olmayan) sonlu elemanlar metoduyla Amerika karayolu güvenliği standartlarına uygun yarı rijit çelik otokorkuluk önüne monte edilen enerji emici kuvvet saptırıcı plakaya üç tip farklı ağırlıktaki araç ve farklı açılarda çarpışma testleri uygulanmıştır. Bu çarpışma testlerinden elde edilen veriler ışığında otokorkuluk elemanı olan W-ray' in x yönündeki deformasyonu ve yer değiştirmesi incelenmiştir (Reid ve Sicking, 1998)

Bir başka çalışmada çelik otokorkuluk yapılarında kullanılan W – ray' in civata bağlantısının, ağır hizmet taşıtı kamyon kullanılarak, farklı metotlarda mesh yapılarak LS-DYNA yazılımında simülasyon sonucunda meydana gelen x ve y yönünde uygulanan kuvvetlerin ve yer değiştirmenin zamana göre değişimi ve çarpışma sonucunda otokorkulukta meydana gelen uzama ve kısalma araştırılmıştır (Tabiei ve Wu, 2000).

Gelişen teknolojiyle beraber otokorkuluk yapımında da farklı malzemeler kullanılmış ve üretilen otokorkuluklar üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Fiber takviyeli polimer (FRP) kompozit malzemeli otokorkuluklar prototipleri geliştirilmiş ve bu otokorkuluklar deneysel ortamda ve bilgisayar destekli simülasyon ve analiz yazılımı LS-DYNA kullanılarak statik ve dinamik yüklemelere maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak çelik otokorkuluklara oranla düşük kapasiteye sahip fakat enerji absorpsiyonu iyi fakat elastik ve plastik deformasyonda zayıf olduğu gözlemlenmiştir (Bank ve Gentry, 2001).

Literatürde dikkat çeken bir özellik de, rijit bir köprü otokorkuluğundan daha esnek standart otokorkuluğa geçiş otokorkuluğunun davranışı hem gerçek çarpışma test sonuçları ve hemde bilgisayar simülasyonları kullanılarak incelenmiştir. Amerika'da yapılan bir çarpışma testinde anılan geçiş otokorkuluğu çarpan aracın takla atmasına ve testin başarısız olmasına sebep olmuştur. İlk aşamada sorunu belirlemek için aynı çarpışma sonlu elemanlar ile modellenmiş ve modellerin doğruluğu karşılaştırmalı olarak teyit edilmiştir. Takla atma sebebinin düşük yükseklikteki ray olduğuna karar verilmiş ve ikinci simülasyonda ray yüksekliği 685 mm den 810 mm ye çıkarılmıştır. Yeni tasarım üzerinde yapılan simülasyon sonuçları sistemde oldukça iyileşmeler

gerçekleştirdiğini gözler önüne sermiştir. Yazarlar yenilenmiş sistemin kullanılmasını önermektedir (Atahan ve Cansız, 2004).

Başka bir çalışmada dikkat çeken W - kirişli otokorkuluk sisteminin modellenmesi ve bilgisayar destekli analiz yazılımı MADYMO (Mathematical Dynamic Model) yazılımı kullanılarak motosikletin 45 derece ve 90 derece açıyla ve değişik hızlarda hazırlanan çarpışma senaryolarıyla otokorkuluğa çarptırılması simüle edilmiştir. Bu yazılımda hem otokorkuluk hemde motosiklet için ASCII metin dosyası oluşturulmuş ve simüle edilmiştir. Çıkan sonuçlar doğrultusunda otokorkuluğun çarpışmadaki korunmasız kenarların durumu, motosiklet tarafından çarpan yüzeydeki elementlerin yer değiştirmesi, enerji yayan alternatif malzemelerin kullanımı ve sağlam bariyer sistemleri önerilmesi olarak değerlendirilmiştir (Ibitoye, Hamouda, Wong ve Radin, 2004).

Holdridge ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada Amerika'nın Washington eyaletinde meydana gelen yolkenar kazalarının istatistiksel modellemesi ve yaralanma şiddetleri incelenmiştir. Bu sayede yolkenarlarında meydana gelen kazalar hakkında detaylı bilgiler toplanacak ve alınabilecek önlemler ortaya konabilecektir. Çalışmada yolkenar bölgelerinde sıklıkla bulunan otokorkuluklar, köprü otokorkulukları, direkler, ağaçlar ve diğer bariyerlerin kazalara sebebiyet verdiği belirlenmiştir. Ayrıca sürücü, yol ve araç özelliklerinin istatistiksel çalışmada etkileri incelenmiştir (Holdridge, 2005).

Coon ve Reid tarafından yayınlanan bu çalışmada otokorkulukların sonlarına yerleştirilen enerji yutucu başlıklar ve bunların çarpışma davranışları incelenmiştir. Çarpışmadan sonra meydana gelen deformasyonlardan yola çıkarak çarpışmanın yeniden oluşturulması için bir metod önerilmiştir. Yeniden oluşturma yöntemi için momentumun ve enerjinin korunumu yasaları kullanılmıştır. Yazarlar gerçek kazaların şartlarının belirlenmesinin ve davranışın tahmin edilmesinin daha efektif sistemlerin üretilmesinin yanında kazaların şiddet ve sayılarının azaltılmasını da sağlayacağını vurgulamaktadır (Coon ve Reid, 2005).

Atahan ve Bonin (2006) çalışmalarında Amerika'da kullanılmakta olan otokorkuluk geçiş dizaynının Avrupa çarpışma standardına göre performansını incelemiştir. 810 mm yükseklikteki geçiş dizaynını 30,000 kg ağırlığındaki kamyon darbesine karşı yetersiz olduğunu belirlemiş ve geçiş otokorkuluğunun H4a seviyesini sağlayabilmesi için minimum 1050 mm yükseklikte olması gerektiğini vurgulamıştır.

Çalışmada gerçek çarpışma testlerinin yanında LS-DYNA simülasyon sonuçları da kullanılmıştır.

Atahan (2008) tarafından yapılan başka bir çalışmada bilgisayar simülasyonlarının ve LS-DYNA programının yolkenar güvenliği araştırmalarında kullanılmasına ait literatür çalışmalarını özetlenmiştir. 1990'lı yıllardan beri geliştirilen araç, otokorkuluk ve diğeri modellerin özellikleri ve kullanım örnekleri sunulmuştur.

Reid ve diğeri (2008) tarafından yapılan bu yayında otokorkulukların sonlandırılma bölgelerinde otokorkuluğun ucunun yoldan uzağı kaydırılma oranlarının etkinliğı incelenmiştir. Bu metodun uygulanması otokorkuluk boyunu kısaltarak maliyetleri azaltacağı gibi aynı zamanda meydana gelebilecek darbe şiddetlerini de azaltacağı düşünölmüştür. 5 adet değışik oranlarda kaydırmalı otokorkuluk hazırlanmış ve bu sistemlerde çarpışma testi yapılmıştır. Aynı sistemler üzerinde bilgisayar programları kullanılarak çarpışma simölasyonları da yapılmıştır. Standart otokorkulukların uçlarının yoldan kaydırma oranının 15:1 den daha yüksek olduğı durumlarda testlerin başarısız olduğı belirlenmiştir. MGS olarak önerilen sistemin ise 5:1 gibi keskin kaydırmalarda bile başarıyla çarpan araçlarda etkili olduğı belirlenmiştir. Yazarlar MGS sisteminin ekonomik olduğunu ve standart otokorkuluklar yerine kullanılması gerektiğini belirtmiştir (Reid, 2008).

Atahan (2009) New Jersey tipi beton otokorkulukların yüksekliğinin araç stabilizesine etkisinin araştırmıştır. 10 ve 30 tonluk ağır vasıtalar kullanılarak yapılan bu çalışmada LS-DYNA simölasyonları kullanılarak optimum otokorkuluk yüksekliğı 1050 mm olarak belirlenmiştir. Bu yükseklikten daha alçak inşa edilen beton otokorkulukların 30 tonluk ağır vasıtaları tutmada yetersiz olacağı belirlenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1 Çalışmada Kullanılan CAD Yazılımları

Çalışmamda yer alan yarı rijit ve dikme mesafeleri birbirinden farklı olan otokorkulukların tasarımlarının hazırlanmasında ve simülasyonlarının yapılmasında kullanılan ticari yazılımların en önemlileri Autodesk, Desault System ve Livermore Software Technology Corporation şirketlerine ait olan yazılımlardır. Bu tezde kullanılan programlar AutoCAD, SolidWorks ve LS – DYNA ticari yazılımlardır.

##### 3.1.2. Kullanılan Ticari Yazılımların Özellikleri

AutoCAD, genel amaçlı bir tasarım ve çizim programıdır. Dolayısıyla çok geniş bir yelpaze içerisinde her hangi bir disipline özgü komutlarla kullanıcıyı kısıtlamadığı gibi, açık mimarisi ile istenilen yönde özelleştirilebilir. AutoCAD, tüm mimar, mühendis, tasarımcı, grafiker ve kısaca tasarım ve çizim ile ilgili her disiplin tarafından kullanılacak bir programdır. Bu gün ülkemizde ve dünyada Makine Mühendisliğinden, Güzel sanatlara, Mimarlıktan, Tıbbı, Şehir planlamadan, Reklamcılığa, Haritacılıktan Elektroniğe, Uzay araştırmalarından, Denizbilim Araştırmalarına kadar her alanda AutoCAD'den temel tasarım ve çizim paketi olarak yararlanılmaktadır.

AutoCAD'in bu kadar yaygın olarak tercih edilen bir yazılım olmasının sebebi, gerek 2, gerekse – 3 boyut tasarım ve çizim için sağladığı olanaklar ve kullanım kolaylığıdır. AutoCAD, gerçek bir 2- ve 3- boyutlu(3D) tasarım ve çizim yazılımıdır.

SolidWorks, yenilikçi, kullanımı kolay, Windows için hazırlanmış 3 boyutlu tasarım programıdır. SolidWorks her türlü makine, tesis, ürün tasarımında kullanıcıya Windows'un kolaylıklarını kullanarak hızlı bir şekilde çizim yapmasını sağlar.

SolidWorks parasolid prensibinde çalıştığı için kullanıcıya, tasarımın her aşamasında müdahale şansı vererek, modelin boyutlarının, ölçülerinin ve ayrıntılarının istenilen şekilde değiştirilmesi imkânı vardır, saniyelerle ölçülebilecek zaman dilimlerinde teknik resim ve montajların yapılmasını sağlamaktadır. Feature tree (tasarım ağacı) ile yapılan işlemlerin sıraları ve yapıları değiştirilebilmektedir. Üstelik yapılan değişiklikler sonucu varsa yapılmış olan montaj ve teknik resim anında güncellenmektedir. Böylece



kullanıcıya teknik resimde veya montajda parçaya müdahale edebilme şansı sunmaktadır.

SolidWorks 2000'de “smart mate” (akıllı montaj) adlı uygulama son derece hızlı montaj yapılmasını sağlar. Bunun dışında sac parçaların açılımını yaparak uzama miktarları hesaplanabilir. Ayrıca katı objeler kullanılarak kesme, yırtma veya şekillendirme işlemleri yapılabilmektedir.

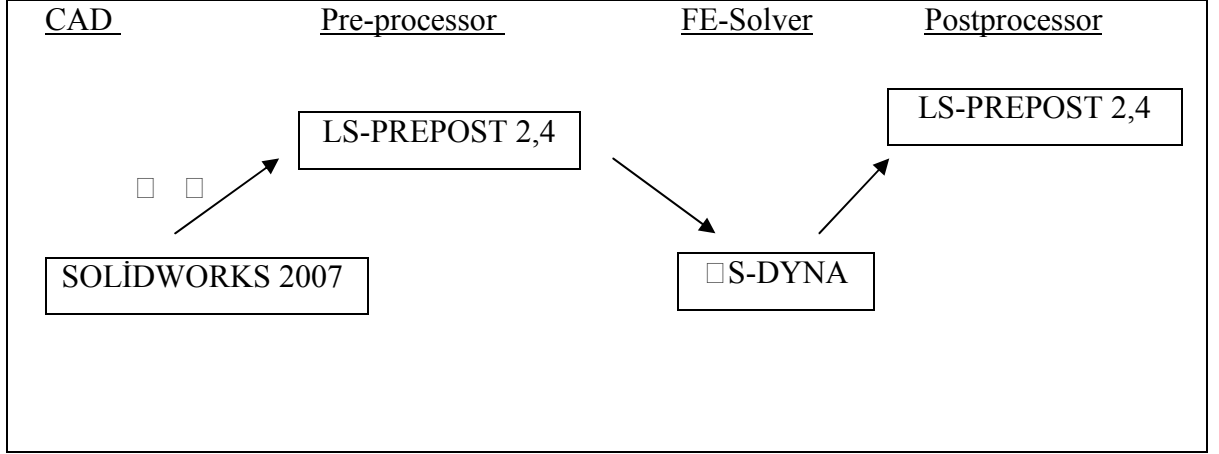
Yapılmış olan tüm bu işlemleri IGES, DXF, DWG, SAT(ACIS), STL, STEP, VDA, VRML, parasolid dosyalarından kayıt veya transfer yapılabilmektedir.

SolidWorks şu andaki CAD programları arasında kullanımı en kolay olan programdır. Ayrıca bünyesindeki “Hole wizard” (delik sihirbazı ) ile metrik veya inch, havşalı veya faturalı tüm delikleri oluşturarak montaj ve tasarımda hızlılığı sağlamaktadır. Yine montajlara hareket verebilir, bu hareketlere çarpma kontrolü “Collision Detection" yapılabilmekte, böylece tasarlanmış parçanın prototip maliyeti sıfıra indirilebilmektedir. Tüm bu işlemler sonucu oluşturulan dosyaların büyüklükleri diğer programlara nazaran çok daha az yer kaplamakta ve açılım işlem zamanları çok kısa sürede olmaktadır. Montajların çok büyük olması bu özelliği etkilememektedir. Tasarımlarda foto gerçekçi görüntüler oluşturulabilir ve animasyonlar yapılabilmektedir. Ayrıca SolidWorks birçok çözüm olanağına sahiptir. Bir kaç örnek vermek gerekirse; CamWorks ile parça veya kalıbın takım yolları çıkarabilmekte, COSMOS/Works ile mukavemet analizleri yapılabilmekte, ToolBox ile standart makine ve kalıp elamanları kullanılabilir.

LS-DYNA, açık (ekspilisit) çözüm kullanan bir sonlu elemanlar modelleme ve simülasyon yazılımı olup; düşme testleri, çarpışma gibi kısa süreli-yüksek frekanslı ve yüksek derecede nonlineer dinamik-quazistatik benzeşimlerin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. LS-DYNA, mühendislere sanal ortamında model oluşturma imkânlarını sağlayabilmekte, LS-DYNA çözücüsünü daha verimli bir şekilde kullanma olanağı sunmaktadır.

LS-PREPOST, bu yazılımlar çoğunlukla LS-DYNA çatısı altında birlikte kullanılan yazılımlardandır. Bu yazılımla sonlu elemanlar modelinin oluşturulduğu, sınır şartlarının ve yüklemelerin tanımlandığı, sonuçların ve simülasyonun değerlendirildiği yazılımdır. Bu yazılımlar analiz programlarının en önemli yardımcı yazılımlarıdır. Çizelge 3.1.2' de tez çalışmasında kullanılmış programlar sıralanmıştır.

**Çizelge 3.1.** Tez çalışmasında kullanılan programlar



### 3.2. Yöntem

Bu çalışmada yer alan yarı rijit ve dikme mesafeleri birbirinden farklı 3 tip otokorkuluk sistemi özel olarak tasarlanmıştır. Bu kısımda otokorkulukların tasarım parametrelerinin nasıl oluşturulduğundan ve bu oluşturulan tasarımların LS – DYNA ticari yazılımı kullanılarak sanal ortamda doğrusal olmayan dinamik ekspilisit (açık) sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak sanal ortamda nasıl çarpıştırıldığından ve çıkan sonuçların EN 1317–2 standardına göre optimum seviyede değerlendirilerek tasarlanan otokorkulukların karayollarında kullanıma uygun olup olmadığı incelenmiştir.

Ekspilisit (açık) yöntem, çarpışma gibi dinamik kuvvetlerin çok kısa zaman aralıklarında büyüklüklerinin ve yönlerinin değiştiği durumlarda ki sonlu elemanların çözümünde kullanılan bir yöntemdir. Bu metotta sistem üzerine etkiyen kuvvetlerin zamanla değişimi söz konusudur. Çarpışmalar sanal ortamda tasarlanan otokorkuluklar ve araçlarla yapılacağından dolayı belli bir miktar enerji araçtan otokorkuluğun yapısına geçecektir.

Çarpma modellerinde çok kısa zaman aralıklarında değişen kuvvet büyüklükleri olduğundan ekspilisit (açık) zaman entegrasyonunda hareket denkleminin zaman alanında entegrasyonu merkezi farklar yöntemi kullanılarak hesaplanır. (Öztürk İ., Kaya N., 2008) İlk basamakta aşağıdaki denklem çözülür;

$$M \dot{u} = P - I \quad (3.1)$$

Denklemdede;

P: dış kuvvetleri,

I: eleman iç kuvvetleri,

M: kütle matrisini,

u: ivmeyi göstermektedir. t zamanı anındaki ivme değeri;

$$u_t = M^{-1} \times (P - I)_t \quad (3.2)$$

Merkezi farklar yöntemi ile ivme, zaman alanında bütünleşmiş edilerek hız büyüklüğü hesaplanır;

$$u \cdot \left( t + \frac{\Delta t}{2} \right) = u \cdot \left( t - \frac{\Delta t}{2} \right) + \left[ \frac{\Delta t_{t+\Delta t} + \Delta t_{(t)}}{2} x u_t \right] \quad (3.3)$$

Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler;

$$u_{(t+\Delta t)} = u_t + \Delta t_{(t+\Delta t)} x u \cdot \left( t + \frac{\Delta t}{2} \right) \quad (3.4)$$

Denklemlerle hesaplanır.

İlk adımda denge eşitliğinin sağlanması ile ivmeler, ivmelerin bilinmesi ile hız ve yer değiştirmeler sonraki adımlar için hesaplanır. Hesaplanan değerlerin doğruluğu ve kararlılığı açısından zaman artım değeri ( $\Delta t$ )'nin oldukça küçük seçilmesi gerekir. Böylece küçük zaman artımları için ivme değerinin sabit olduğu kabul edilebilir. Ayrıca zaman artım değerinin çok küçük alınması çözüm süresini artırır. Ancak her bir adımdaki çözüm işlemi için denklem takımı çözümü gerçekleştirilmez. Bu nedenle her bir adım için çözüm kısa sürer. Hesaplama süresi daha çok eleman kuvvetlerinin hesaplanmasına harcanır.

Zaman artım değerinin seçimi çözümün kararlılığı açısından önemlidir. Bunun için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır ve daha çok yazılım tarafından otomatik olarak belirlenir.

$$\Delta t_{(kararlı)} = L/c \quad (3.5)$$

Burada,

L: Sonlu elemanlar modeli içindeki en küçük eleman uzunluğu,

c: Malzeme içindeki ses hızı

Seçilen  $\Delta t$  değeri  $\Delta t_{(kararlı)}$  değerinden küçük veya eşit olmalıdır. Burada c ses hızı malzemenin karakteristik özelliği olup;

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3.6)$$

Denklemi ile hesaplanır. E malzemenin elastisite modülünü,  $\rho$  malzemenin yoğunluğunu ifade etmektedir (Öztürk İ., Kaya N., 2008).

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

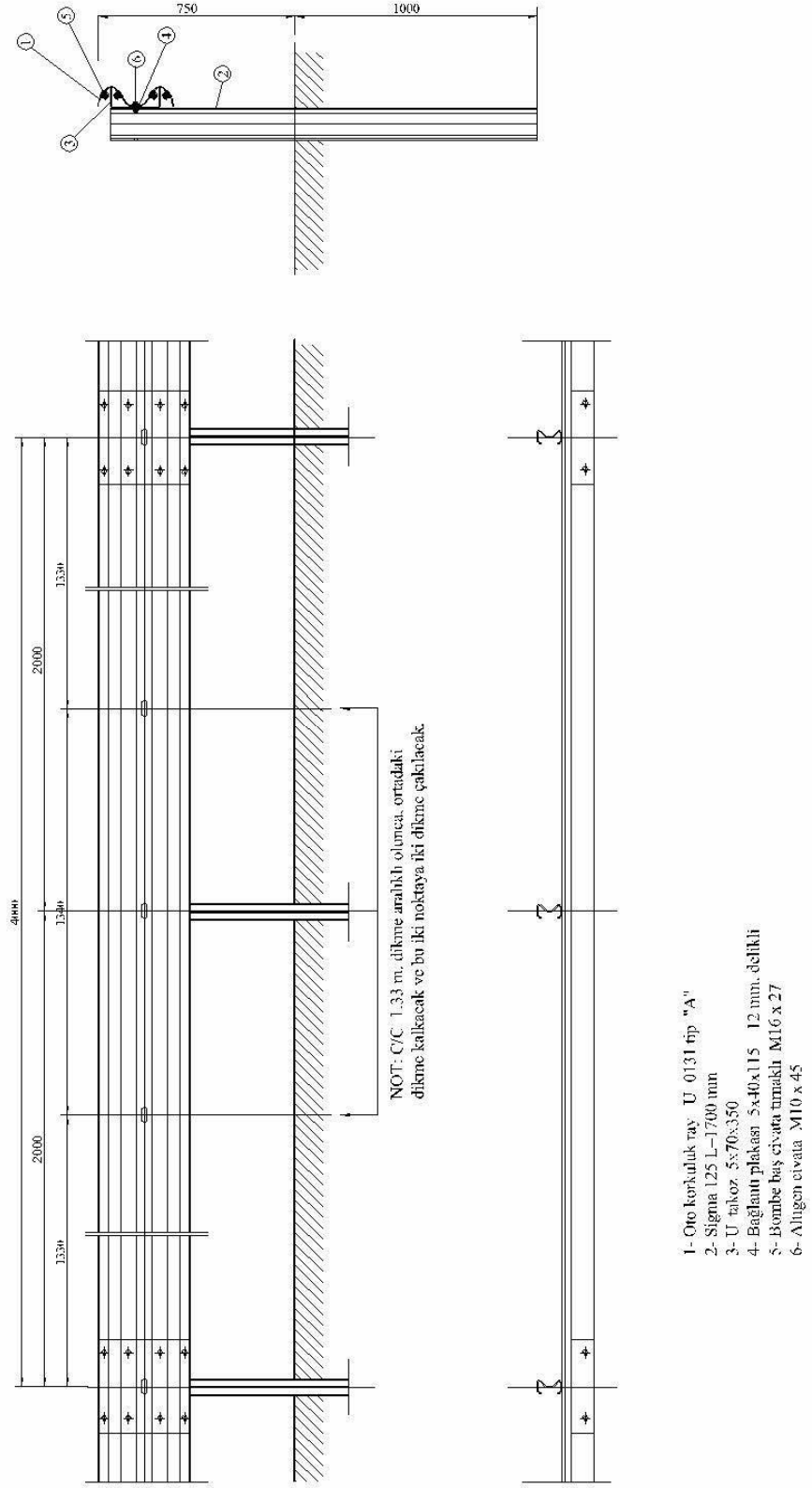
### 4.1. Otokorkulukların Tasarım Parametrelerinin Oluşturulması

Bu çalışmada yer alan dikmeler arasındaki mesafeleri birbirinden farklı üç tip basit otokorkuluk, özel bir şirket için tasarlanmıştır. Tasarlanan bu otokorkulukların parça detayları iki boyutlu taslak olarak AutoCAD yazılımıyla modellenmiştir. Asıl üç boyutta katı model olarak SolidWorks yazılımı kullanılmıştır.

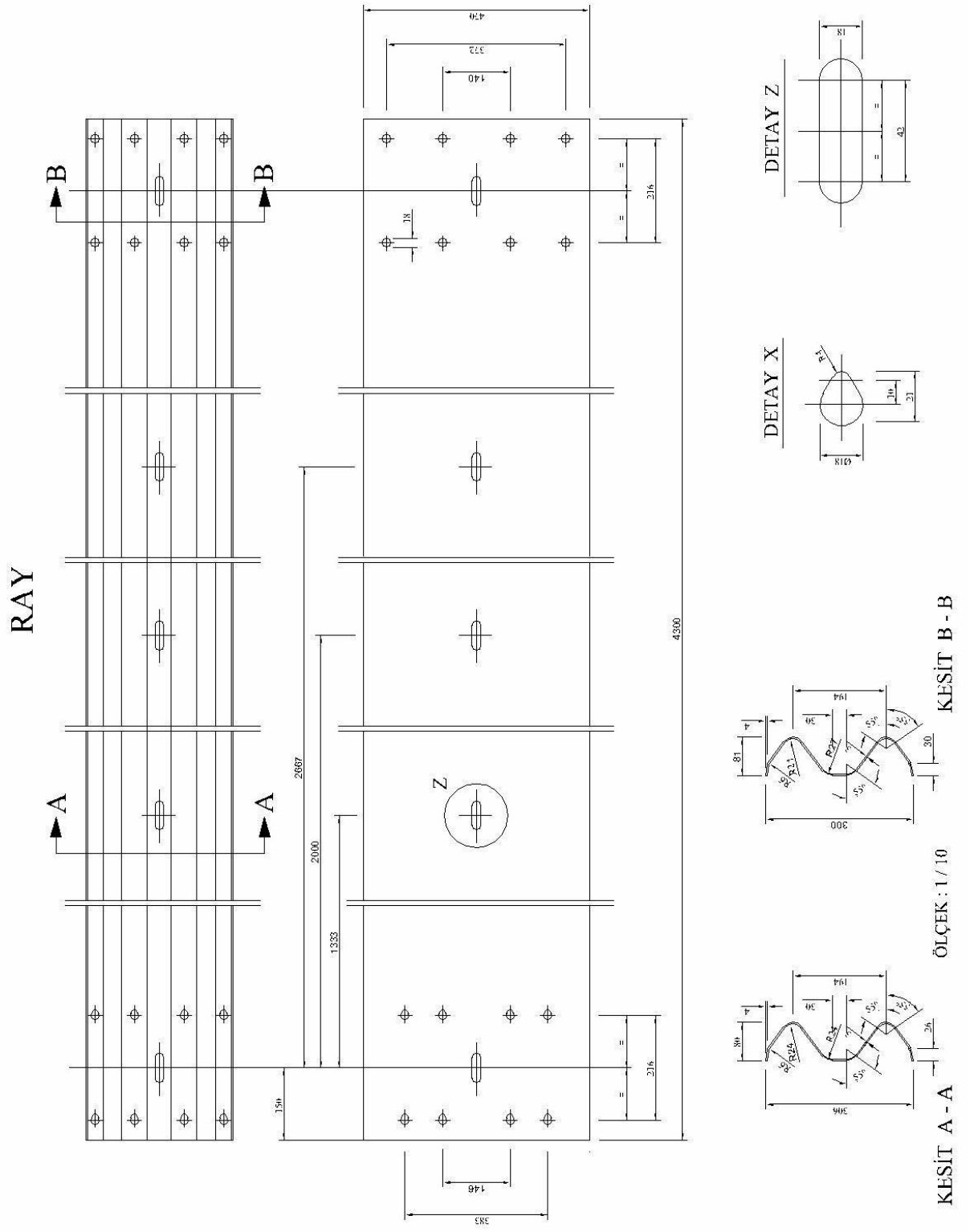
Basit otokorkuluk projesi ve yapımında kullanılan standart yapı elemanları olarak Şekil 4.1 ve 4.2’ de görülmektedir Bu yapı elemanları isimlendirilirse;

1. Otokorkuluk rayı  $L = 4300$  mm
2. Sigma 125  $L = 1700$  mm
3. U takoz  $5 \times 70 \times 350$  mm
4. Bağlantı plakası  $5 \times 40 \times 115$  12mm delikli
5. Bombe baş cıvata tırnaklı M16 x 27
6. Altıgen cıvata M10 x 45 elemanlarından oluşur.

## TEK TARAFLI BASIT OTOKORKULUK

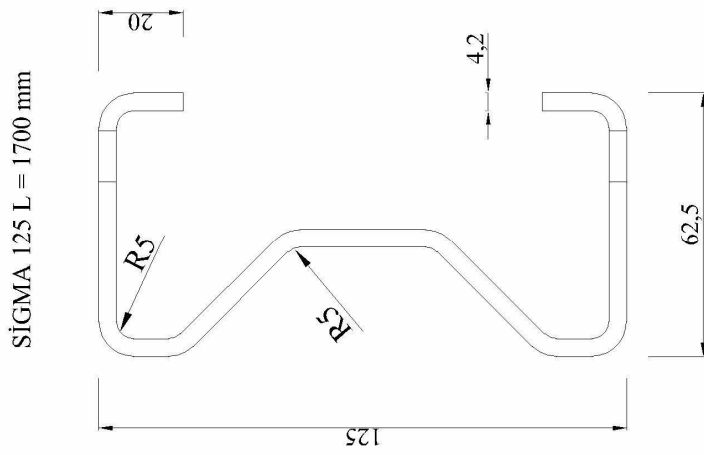


Şekil 4.1. Basit Otokorkuluk Projesi Montajı

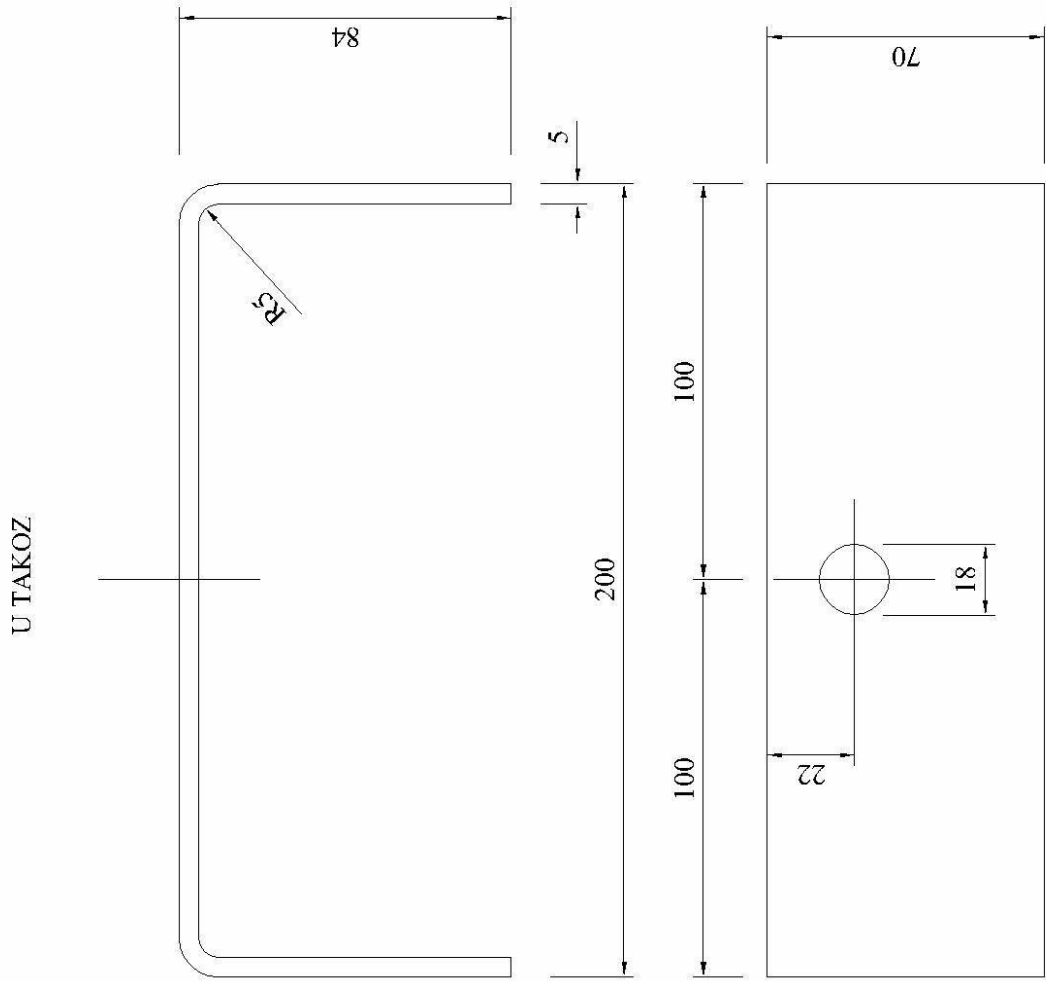


(a) Ray

KESİT A - A      ÖLÇEK : 1 / 10      KESİT B - B



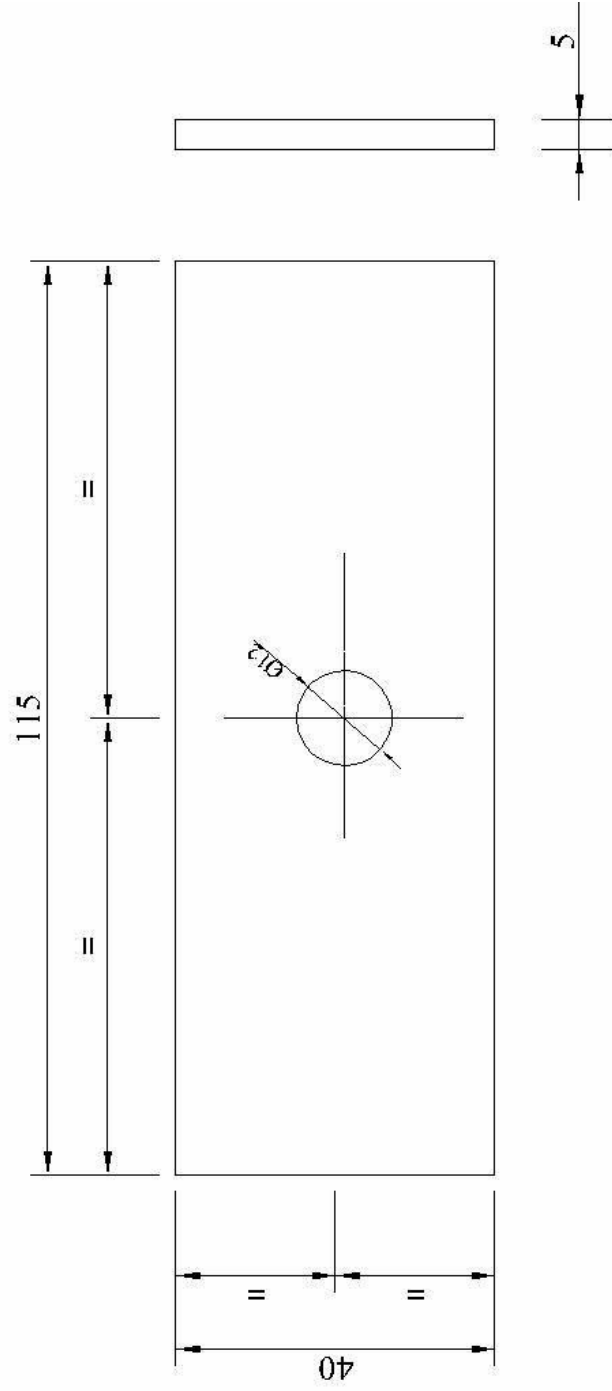
(b) Sigma 125



(c) U takozu

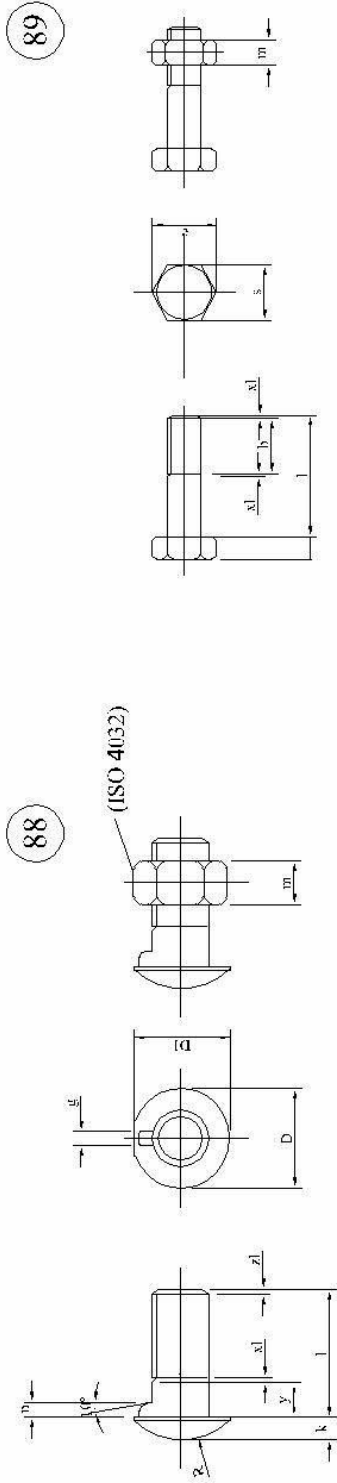


## BAĞLANTI PLAKASI



(d) Bağlantı plakası

## CIVATA - SOMUN - PUL



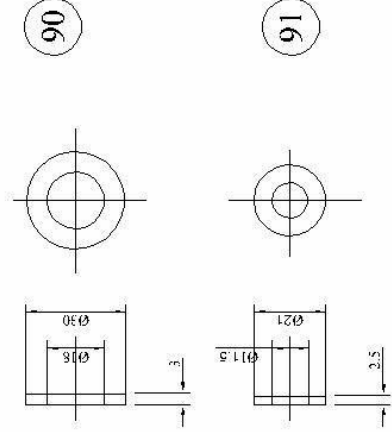
88

89

ölçüler mm

Ref no.	d	D	D1	k	R	i	n	g	s	l	m	y
5	M16	30	29	8	20	4	4	4.2	24	27	14.5	7
6	M16	30	29	8	20	4	4	4.2	24	45	14.5	10

lcd	d	b	k	l	m	n	s
7	M10	20	7	25	8	19.6	17
6	M10	20	7	45	8	19.6	17



90

91

NOT: Bağlantı elemanları 4.6 kalitesinde olacaktır.

(e) Cıvata – Somun ve pullar

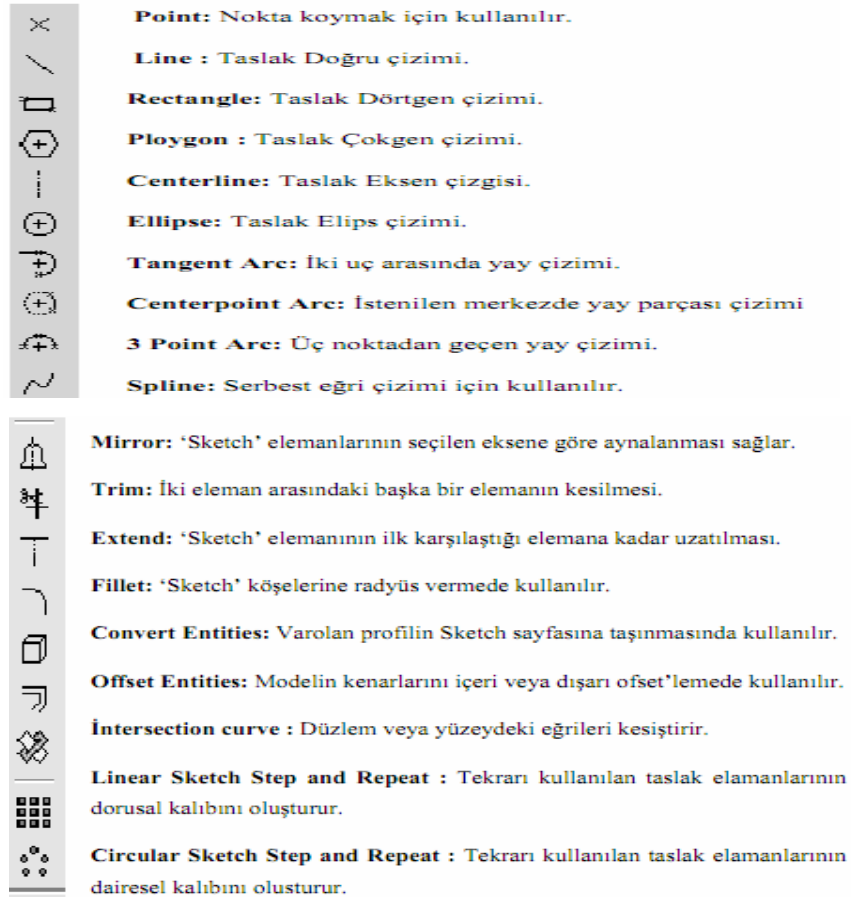
Şekil 4.2. Basit Otokorkuluk Yapı Elemanlarının 2D Teknik Resim Detayları

İki boyutta oluşturulan taslaklar ikinci aşamada SolidWorks yazılımı sayesinde üç boyutlu katı modellere dönüştürülmüştür. Katı modele dönüştürme esnasında kısayolunda bulunan Şekil 4.3.' de gösterilen **Sketch** komut dizini kullanılmıştır.



**Şekil 4.3.** Sketch Kısayol Komutları

Modellerin formları bir profilden oluşur. Bu profillere Sketch (çizim) adı verilir. Sketch'ler bir düzlem veya yüzey üzerine çizilir. Çizilen model üzerindeki yüzeylere veya daha sonra oluşturulan düzlemlere 'Sketch' çizilebilir.



**Şekil 4.4.** Sketch Araç Çubuklarının Çizim Aletlerinin Tanıtılması

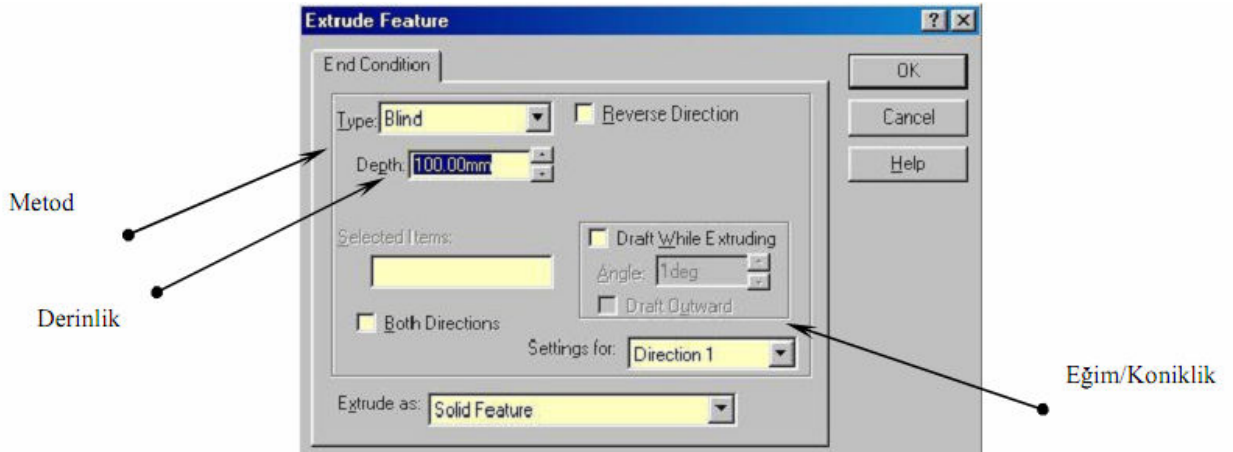
Şekil 4.4' deki Sketch komutlarıyla oluşturulan 2 boyutlu çizimler temel katı komutlarıyla katı parçalara çevrilmiştir. Temel katı komutu olarak Bose Base Extrude, Cut Extrude komutları kullanılmıştır. Bu komutların ne anlama geldiğini açıklamak gerekirse;

Bose base extrude ( Yükseklik Kazandırma Komutu); Çizilen taslağa yükseklik verir, iki tarafa farklı boyutlarda uzatma yapar veya et kalınlığı vererek uzatma yapar. Uzatılacak profili çizdikten sonra Features araç çubuğundaki Extrude Boss /Base

ikonundan veya Insert' ⇒ Extrude Boss/Base komutundan çizilen profile yükseklik

kazandırılmaktadır..

Bose Base Extrude komutunu tıkladığında karşımıza komut menüsü çıkar (Şekil 4.5.). Bu komut menüsünde, ne kadar mesafe uzatılacağı (derinlik) girilir. Ters istikamete uzatılacak ise Reverse Direction seçilir. Koniklik verilecek ise Draft While Extruding seçilir ve istenilen eğimin açı değeri girilir. Dışarıya eğim verilecek ise Draft Outward seçili olmalıdır.

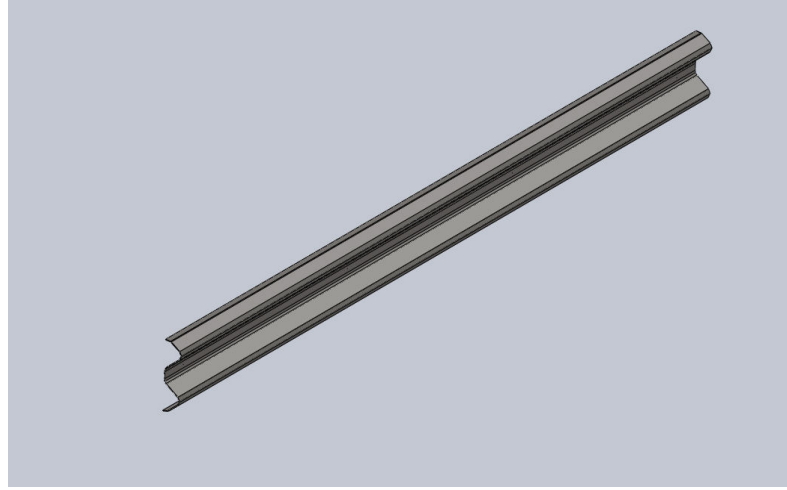


Şekil 4.5. Bose Base Extrude ve Cut Extrude Komutu

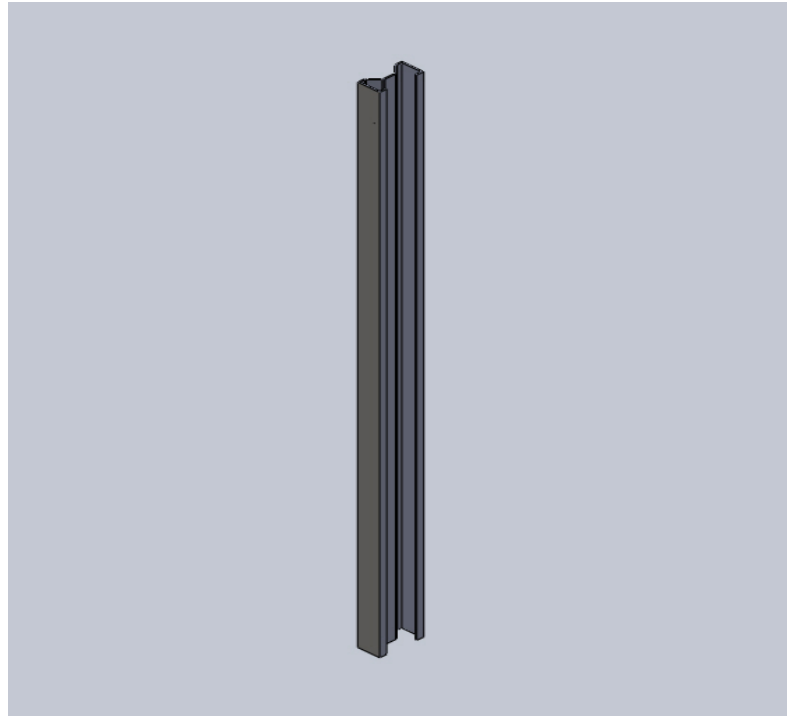
Extrude Cut (Katıdan Profil Çıkarma Komutu); Oluşturulan katının yüzeyine veya düzlemine istenilen profil oluşturularak profili (taslağı) katıdan çıkarma işlemlerinde kullanılır. Genel olarak Extrude Boss /Base komutuyla benzerdirler biri profile

yükseklik kazandırırken diğeri profili katıdan çıkarılmaktadır. Farklı olarak burada Flip side to cut komutu kullanılmaktadır.

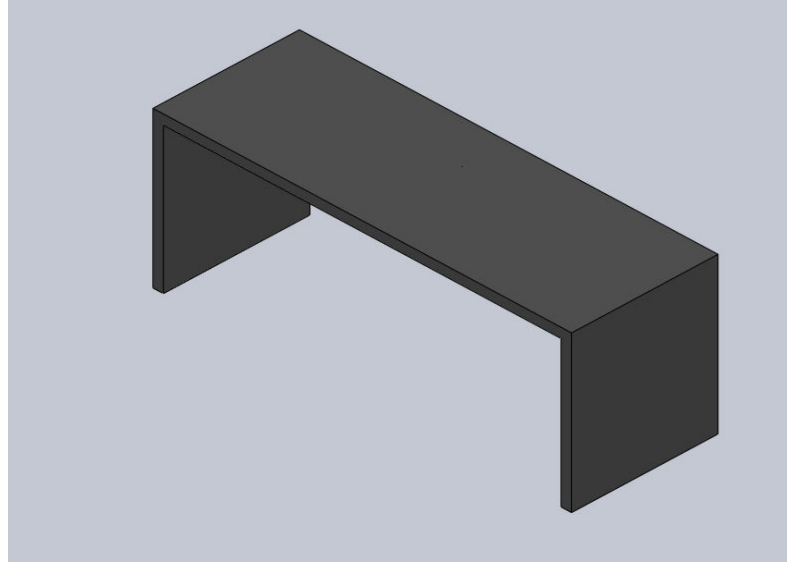
SolidWorks' de oluşturulan basit otokorkuluk yapı elemanlarının üç boyutlu katı modelleri Şekil 4.6.' de görülmektedir.



(a) Ray



(b) Sigma 125



(c) U takozu

**Şekil 4.6.** SolidWorks' de Hazırlanan Basit Otokorkuluk Yapı Elamanlarının Katı Modelleri

Simülasyonda işlem kolaylığı olması açısından SolidWorks yazılımında sadece Ray, Sigma ve U takozu elemanlarının katı modelleri oluşturulmuştur.

#### **4.2. Dikme Mesafeleri Birbirinden Farklı Üç Basit otokorkuluk Sisteminin Katı Modellemeyle Montajlarının Oluşturulması**

SolidWorks yazılımında şekil 7' deki gibi teker teker oluşturulan basit otokorkuluğun parça detayları yine aynı programda dikme aralıkları 1.33 m, 2.00 m ve 4.00 m olmak üzere üç basit otokorkuluk sistemi olarak montajı yapılmıştır.

SolidWorks' de montaj yapma yani Assembly oluşturma işlemi, çizdiğimiz veya çizeceğimiz parçaların (Part) bir dosya altında birleştirilmesi yani montaj yapılması işlemidir. Bunun için ilk önce

FILE=>NEW komutu ile yeni Assembly dosyası açılmalıdır.

Açılan pencereye çizdiğimiz parçaları INSERT=> COMPONENT=>FROM FILE komutu ile getiririz. Önceden çizilmemiş parçalar var ise INSERT=> COMPONENT => NEW PART komutu ile part penceresi açarak yaratılabilir daha sonra montaja eklenmektedir.

Montaja eklediğimiz parçaları Assembly Toolbar komutlarını kullanarak montaj işlemini gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7.). Bu komutlar montaja kolaylık ve parçaların hareketlerini kontrol etmek için kullanılmaktadır.



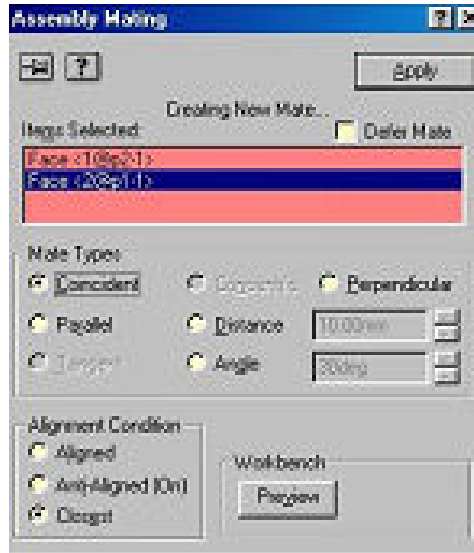
Şekil 4.7. Assembly Toolbar Komutları

Hide / Show Component; Parçayı gizler / gösterir.

Change Suppression State; 'Suppress' hesaplamadan gizler, 'Resolve' tekrar hesaplayıp görüntülenmektedir.

Edit Part; Parçalarda montaj esnasında değişiklik yapmaya olanak sağlamaktadır. Bu komut tıklandığında seçilen parça kırmızı renk alır. Dizayn ağacından istenilen form değişikliği yapılabilir.

Mate; Montajda ilişkilendirme komutudur. Yüzeyler, düzlemler, silindirik yüzeyler, çizgiler (Linear edge, axis, sketch line...), noktalar (Vertex, sketch point) arasında ilişkilendirme yaparak montaj işlemini gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.8.).



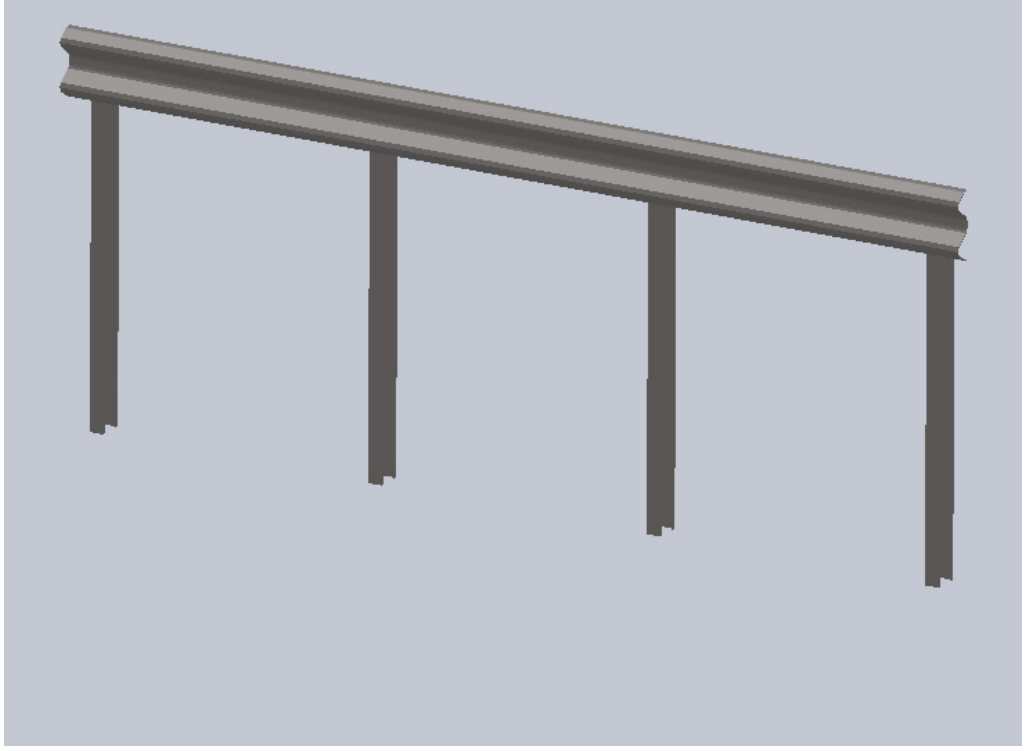
Şekil 4.8 Assembly Mating komutları

Komut tıklanıldığında 'Items selected' penceresinde ilişki kurulacak unsurlar bulunur. Unsurlar fare yardımı ile seçilmektedir.

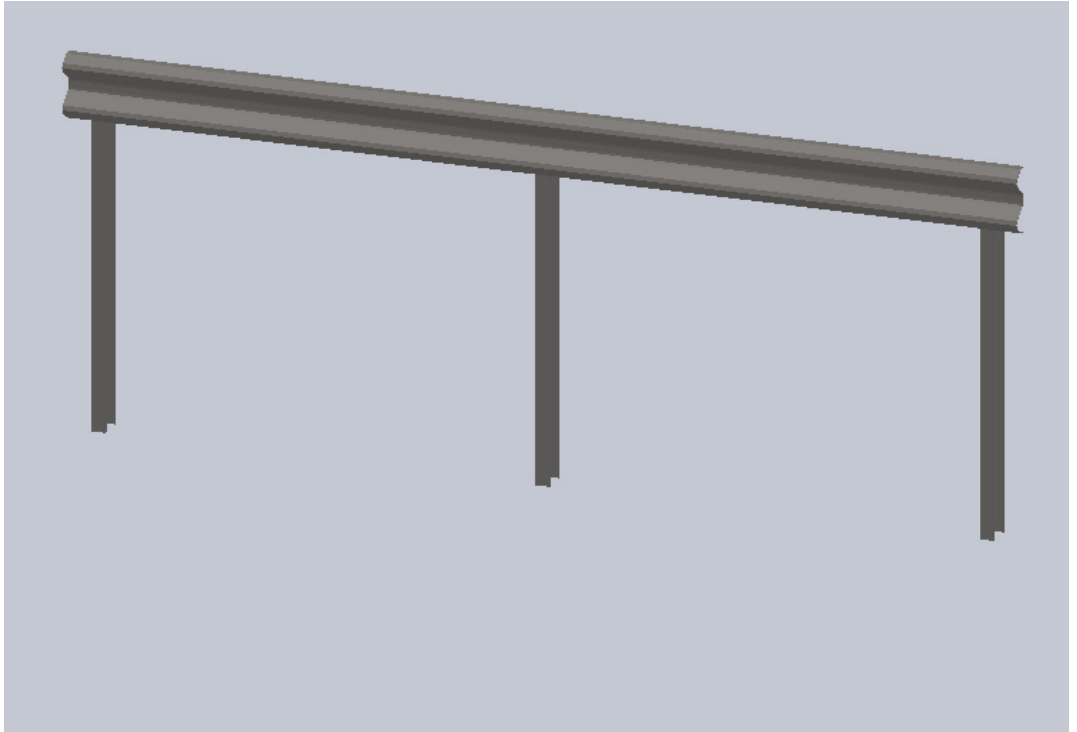
Mate types elemanlar arasındaki ilişkiyi gösterir. Unsurlar arasındaki ilişkiler aşağıda açıklanmış komutlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

- a) Coincident: Yüzeyleri aynı düzlemde, noktaları üst üste yapar.
- b) Concentric: Silindirik yüzeyleri aynı orijinden geçirir.
- c) Perpendicular: Unsurları birbirlerine dik yapar.
- d) Paralel: Unsurları birbirlerine paralel yapar.
- e) Tangent: Unsurları birbirlerine teğet yapar.
- f) Distance: Unsurları verilen mesafe kadar yaklaştırır veya uzaklaştırır.
- g) Angle: Unsurlar arasına açı verir.

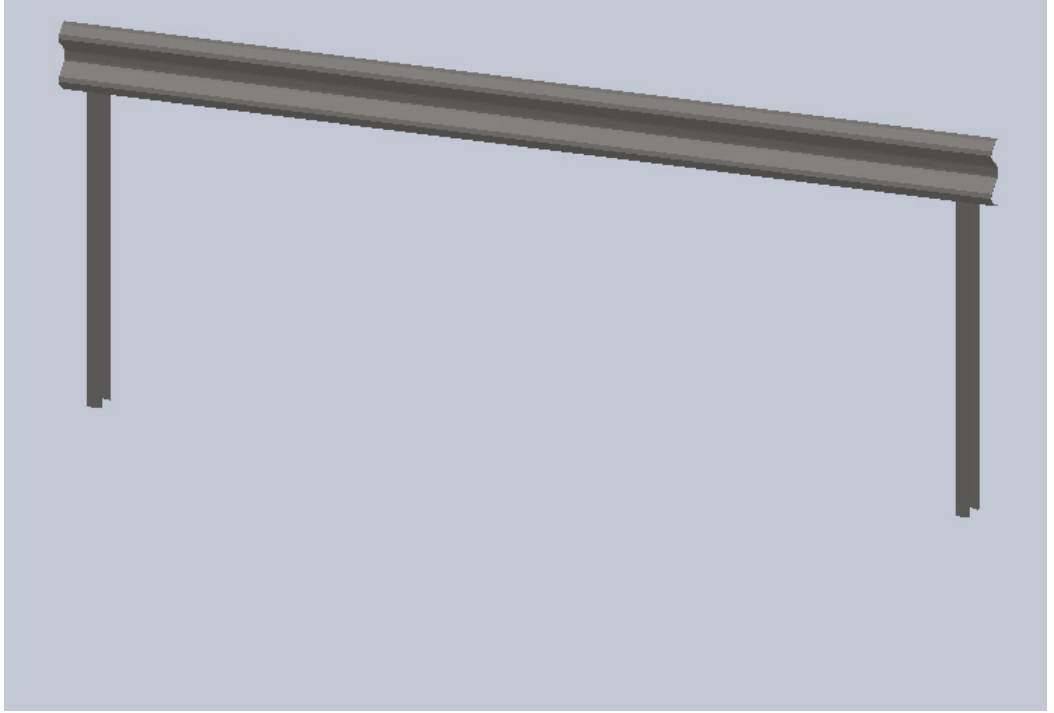




(a) 1.33 m Dikme Mesafeli Tek Taraflı Otokorkuluk



(b) 2.00 m Dikme Mesafeli Tek Taraflı Otokorkuluk



(c) 4.00 m Dikme Mesafeli Tek Taraflı Otokorkuluk

**Şekil 4.9.** Üç Boyutlu Katı Modellemeyle Hazırlanan Farklı Aralıklara Sahip Dikmelerden Oluşan Tek Taraflı Basit Otokorkuluk Sistemleri

SolidWorks' de montaj sayfası ve montaj komutları kullanılarak 1.33 m, 2.00 m ve 4.00 m dikme mesafelerine sahip üç tip tek taraflı basit otokorkuluğun Şekil 4.9' da görüldüğü gibi üç boyutlu katı modeller gerçekleştirilmiştir.

### 4.3. Sonlu Elemanlar Simülasyon Çalışmasının Gerçekleştirilmesi

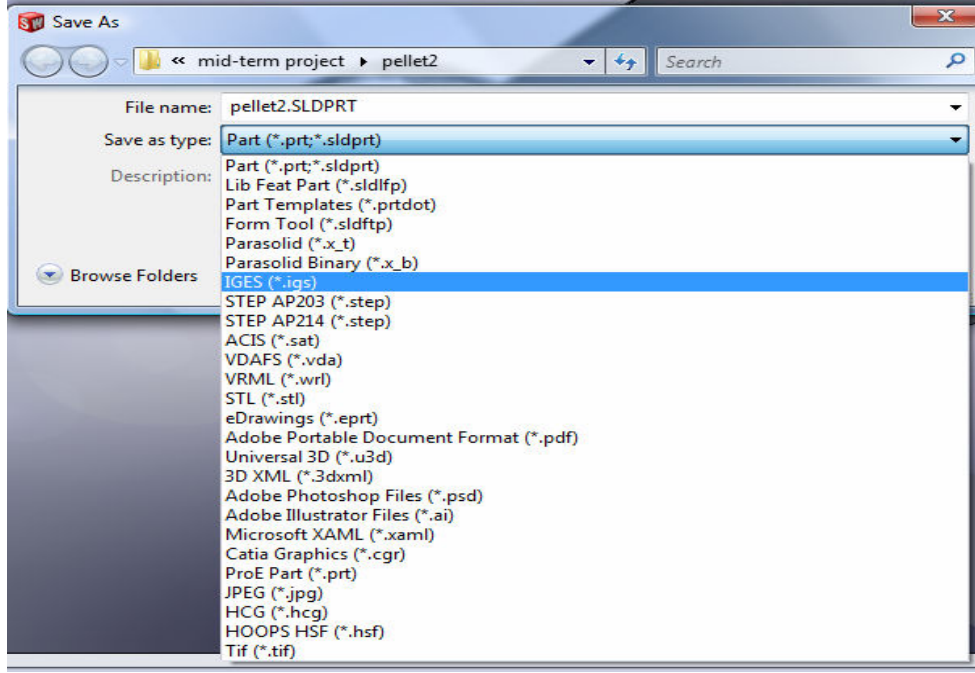
SolidWorks' de üç boyutlu katı model olarak hazırlanan basit otokorkuluk sistemleri ve çarpışma testi yapacak olan araçların LS-DYNA ile ortak çalışan LS-PREPOST yazılımında sonlu elemanlar modellemesi bu kısımda anlatılacaktır. Daha önce yapılan çalışmalarda basit otokorkuluk ve çarpıştırılacak araçların tasarımı ve sonlu elemanlar modellemesi LS-DYNA ticari yazılımında yapılmıştır. Bu işlem LS-DYNA yazılımında hem uzun zaman hem de modelleme esnasında karşılaşılan tasarım parametreleri problemlerinden dolayı kullanıcılar için güçlük yaratmaktaydı. Ama bu

çalışmada tasarımın farklı bir yazılımda analizin ve simülasyonun farklı bir yazılımda yapılması hem zamandan tasarruf hem de tasarımda kolaylıklar sağlanmıştır.

#### 4.4. Modellerin Mesh Yapılması

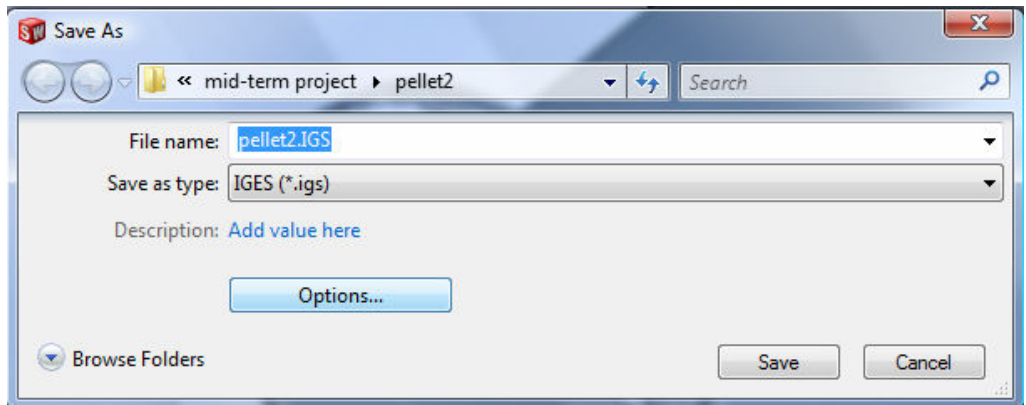
Dikmeler arası mesafeleri birbirinden farklı olan üç tip tek taraflı otokorkuluk sistemlerinin analize hazır hale getirilebilmesi için öncelikle bu otokorkuluk sistemlerini tek tek mesh yapılması gerekmektedir. Mesh sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan modelleri sonlu sayıda elemanlara bölme metodudur. Mesh oluşturma işlemi düğüm noktalarının ve elemanların koordinatlarını oluşturulur. Aynı zamanda kullanıcı tarafından girilen minimum bilgiye karşılık optimum sürede otomatik olarak düğüm noktalarını ve elemanları sıralar, numaralandırılmasını sağlar. Mesh oluşturmada modeller sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlar belli noktalardan birbirleriyle bağlanır, bu noktalara düğüm (node) denir. Mesela katı modellerde her bir elemandaki yer değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilişkilidir. Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ise elemanların gerilmeleriyle ilişkilidir. Mesh oluşturarak bu düğümlerdeki yer değiştirmeleri çözmeye çalışır. Böylece gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Bu düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde sabitlenmelidir. Sonlu Elemanlar Yöntemi düğüm noktaları için tanımlanmış şartları, cebrik lineer denklemlere çevirir, önce bu denklemler çözülür ve bütün elemanlardaki gerçek gerilmeleri bulmaya çalışır. Sonuç olarak model ne kadar çok sayıda elemana bölünürse o elemana uygulanan yüke göre daha gerçekçi sonuç verir (Bircan, 2010).

Öncelikli olarak SolidWorks yazılımında katı model olarak hazırlanan üç tip basit otokorkuluk sonlu elemanlar ile modelleyebilmek için dosya uzantısı şekil 11’ de gösterildiği gibi “.igs” veri formatı olarak değiştirerek, oluşturulan modelleri LS-PREPOST yazılımına aktararak katı modeller sonlu elemanlar modeline dönüştürülerek analize hazır hale getirilmiş olur.

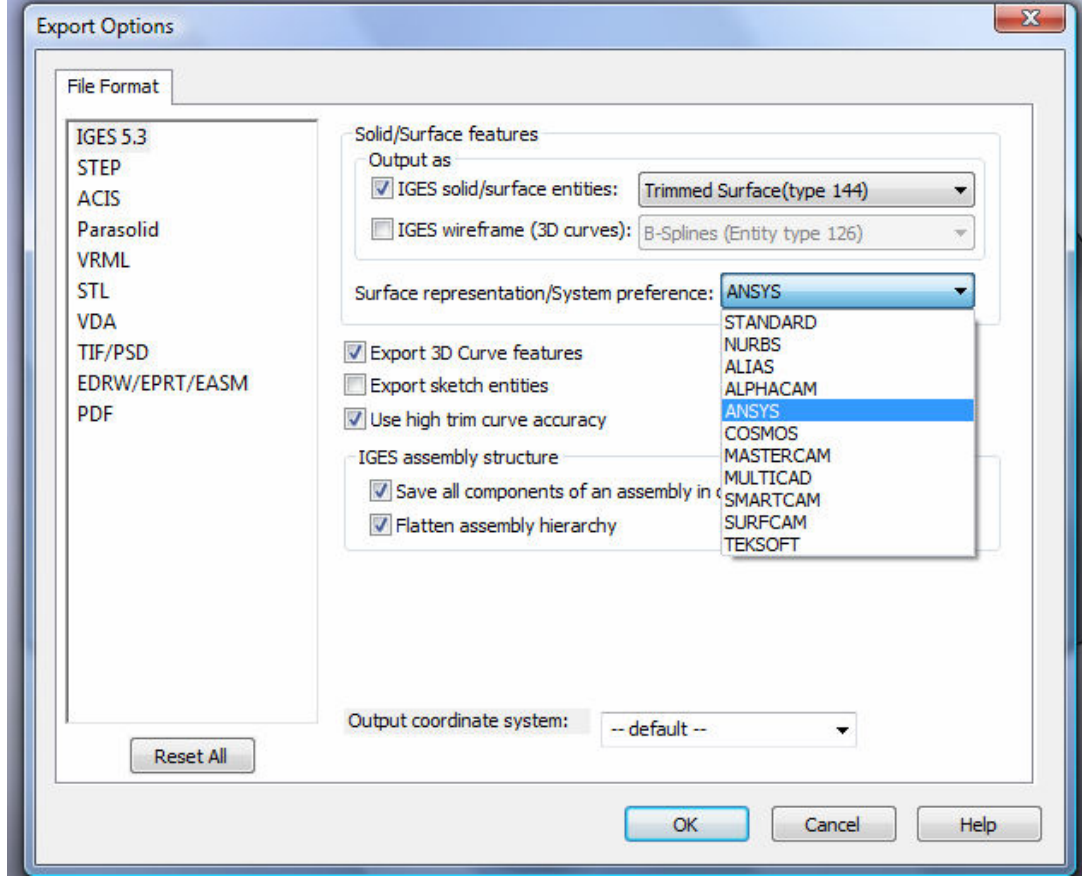


**Şekil 4.10.** SolidWorks Yazılımında Dosya Uzantısının “\*.igs” Yapılması

“\*.igs” veri formatı uzantısını seçtikten sonra Şekil 4.10’ da gösterilen altta bulunan Options sekmesine tıklanır. Açılan sayfada Şekil 4.11 ve Şekil 4.12. de görüldüğü gibi Surface Representation/System Preference (Yüzey gösterimi/Sistem Seçenekleri) menüsünde yer alan “Standard” yazılı olan yer “Ansys” olarak değiştirilerek kaydedilir.

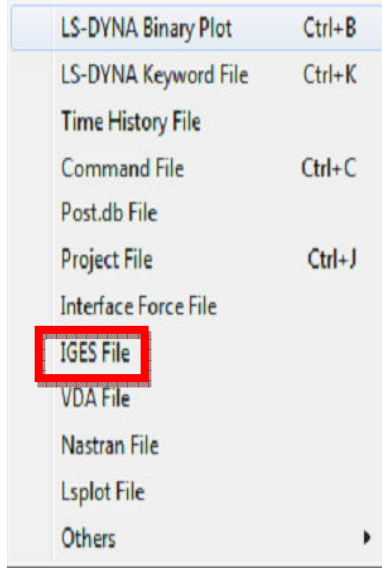


**Şekil 4.11.** IGES (\*.igs) Veri Formatı ve Options Sekmesinin Görünümü

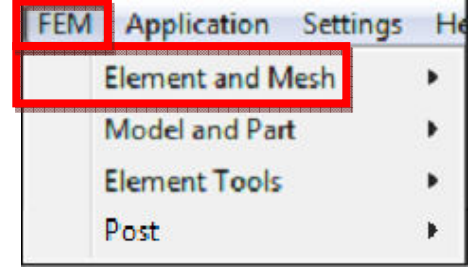


**Şekil 4.12** Surface representation/System preference Kısmın Ansys' e Dönüştürülmesi

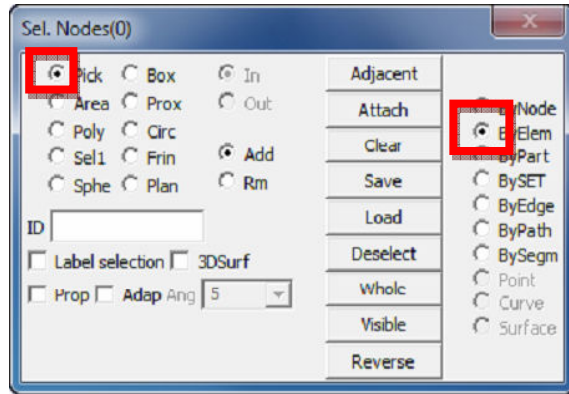
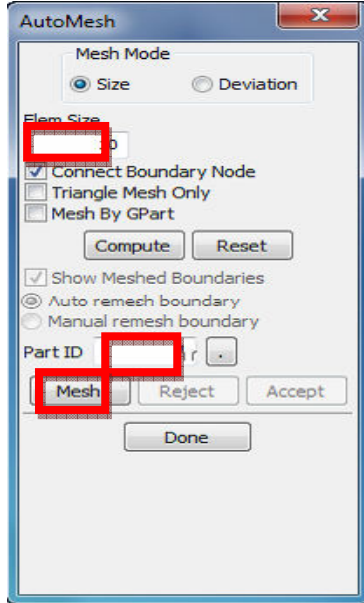
Uzantısı değiştirilen modeller Şekil 4.13' de gösterildiği gibi IGES File seçilerek, LS-PREPOST yazılımında açılır; Şekil 4.14' den FEM (Finite Element Menu) menüden Element ve Mesh kısmından şekil 4.15' den Auto Mesh dialog kutusu ve FEM genel eleman seçme komutları kullanılmıştır. Auto mesh dialog kutusunda yer alan ifadelerden hareketle, Element Size; eleman boyutu 50 olarak girildi. Part ID; parça numarası 1 olarak girilmiştir. Son olarak Mesh ve Done seçilmiştir. Genel eleman seçme dialog kutusundan Pick ve By Element seçilmiştir. Element Size değerlerini ne kadar arttırılırsa elemanımızı o kadar küçük parçalara bölünür. Bu durum analizde daha gerçekçi sonuçlar elde etmede imkân sağlamaktadır.



Şekil 4.13. IGES File Seçilmesi

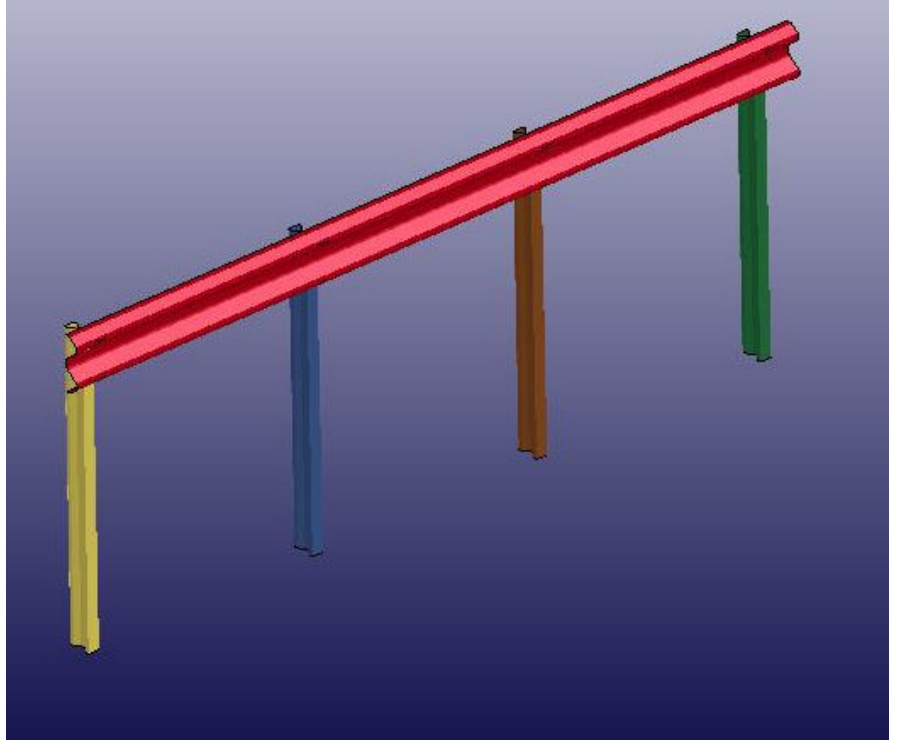


Şekil 4.14. FEM Menü ve Elemet and Mesh

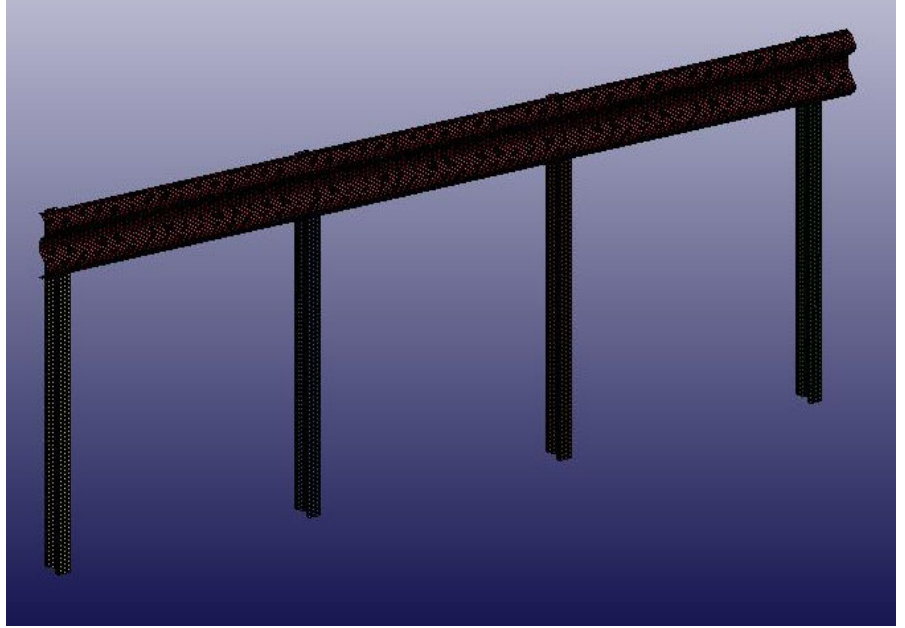


Şekil 4.15. Auto Mesh Dialog Kutusu ve FEM Genel Eleman Seçme Komutları

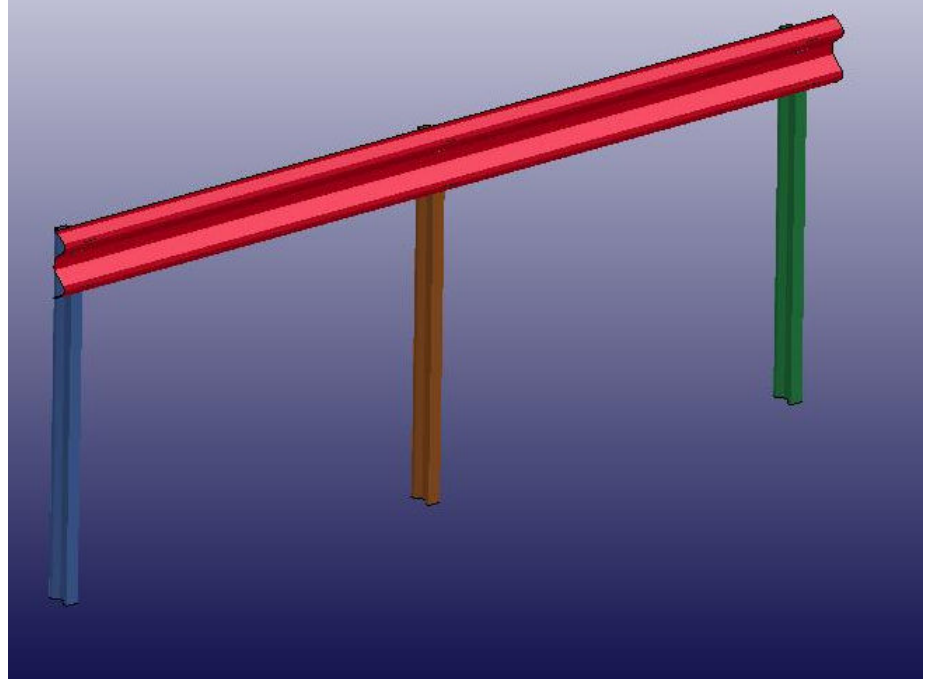
Yukarıda anlatılan aşamalar montaj resminde yer alan bütün parçalara tek tek uygulandıktan sonra çalışmamızda yer alan üç tip tek taraflı basit otokorkuluk sistemlerinin Şekil 4.16.' da görüldüğü gibi mesh yüzey yapıları elde edilmiştir.



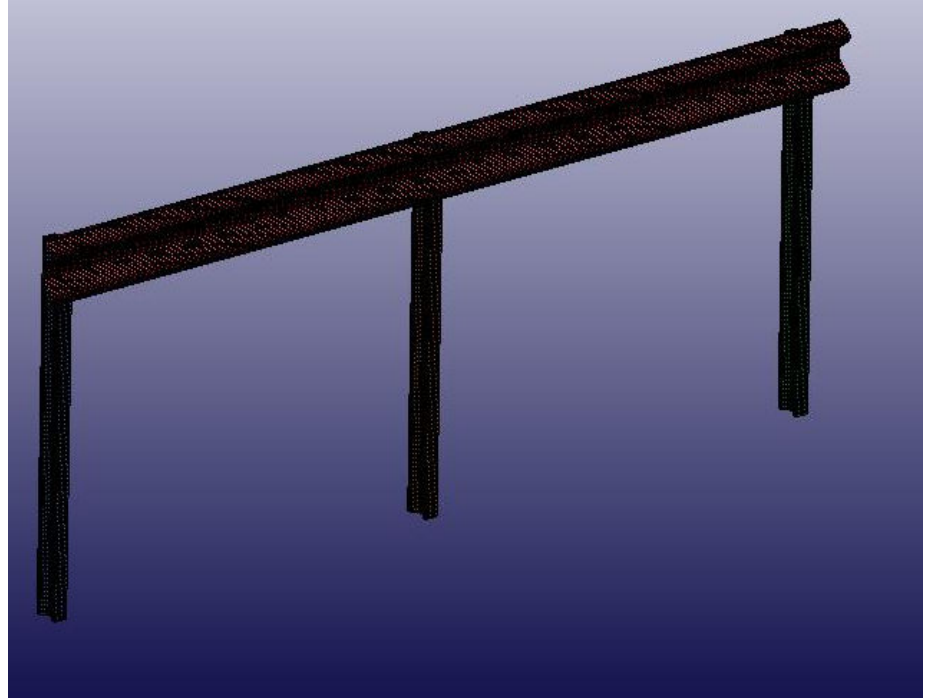
(a) Dikme Mesafesi 1.33 m Olan Otokorkuluğun Mesh Yapılmamış Hali



(b) Dikme Mesafesi 1.33 m Olan Otokorkuluğun Mesh Yapılmış Hali

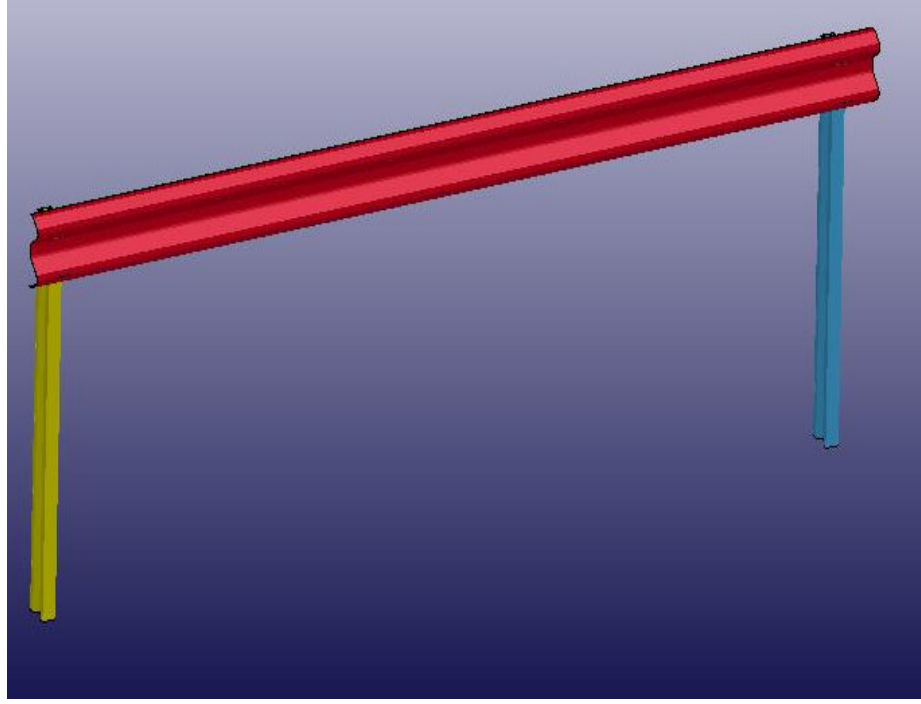


(c) Dikme Mesafesi 2.00 m Olan Otokorkuluğun Mesh Yapılmamış Hali

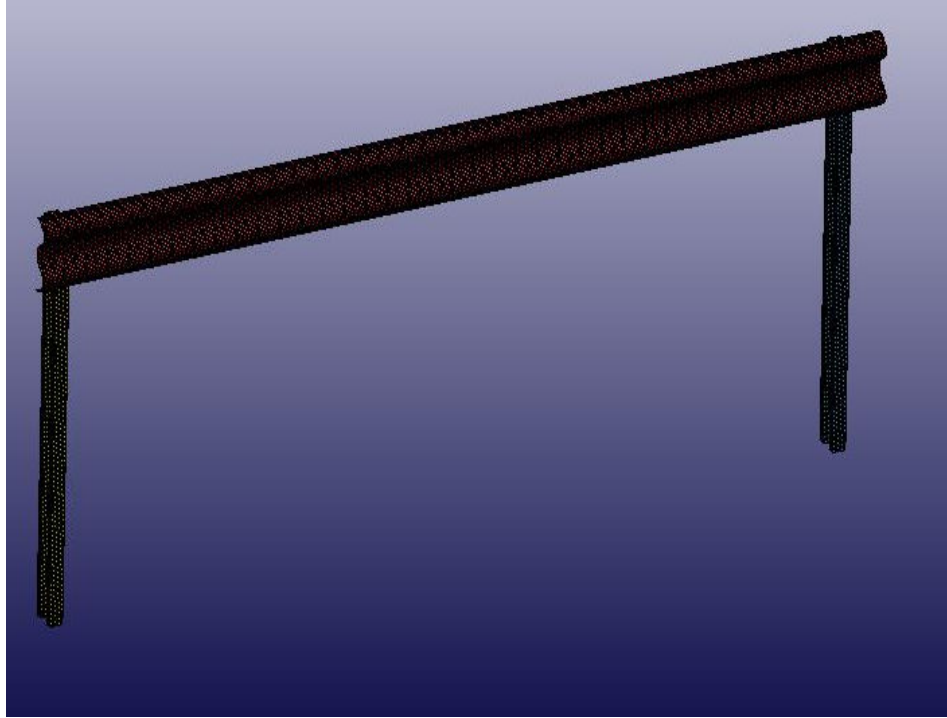


(d) Dikme Mesafesi 2.00 m Olan Otokorkuluğun Mesh Yapılmış Hali





(e) Dikme Mesafesi 4.00 m Olan Otokorkuluğun Mesh Yapılmamış Hali



(f) Dikme Mesafesi 1.33 m Olan Otokorkuluğun Mesh Yapılmamış Hali

**Şekil 4.16.** Dikme Mesafeleri Birbirinden Farklı Üç Adet Tek Taraflı Basit Otokorkuluğun Mesh Yapılmış ve Mesh Yapılmamış Durumu

#### **4.5. Üç Tip Otokorkuluk Sistemlerini Oluşturan Elemanların Yazılıma Tanımlanması**

Üç tip basit otokorkuluk sistemlerini oluşturan elemanları LS-PREPOST ticari yazılımına tanıtabilmek için hazırlanan elemanlara tek tek parça numarası, elemanların et kalınlıkları (thickness), malzeme (material) ve özelliklerinin atanması, elemanlar arasındaki ilişkileri, sınır şartları ve otokorkuluk elemanlarının çoğaltılması gibi spesifikasyonların tayin edilmesi gerekmektedir. Bütün bu koşullar sağlandıktan sonra otokorkuluk analize hazır duruma gelmiş olmaktadır. Bu özelliklerin birinde yapılacak olan hata simülasyonun ve analizin yapılmamasına neden olacaktır. Bu yüzden sonlu elemanlar modellemesinin bu evresi önem taşımaktadır.

Bu safhada yapılacak işlemler, hazırlanacak olan farklı dikme mesafesine sahip üç tip tek taraflı otokorkuluk sistemleri için ortak özellik arz etmektedir. Yapılacak işlemler kısaca özetlenirse;

- a) Modeli oluşturan elemanlara ait et kalınlıklarının (thickness) atanması,
- b) Modeli oluşturan elemanlara malzeme (material) ve malzeme özelliklerinin atanması,
- c) Modeli oluşturan elemanların çoğaltılarak ve çarpışma açısına göre otokorkuluk sistemlerinin oluşturulması,
- d) Otokorkuluk sistemini oluşturan elemanlar arasındaki ilişkilerin ve çarpışma sınır şartlarının belirlenmesi,
- e) Test araçlarının hazırlanması ve üç tip otokorkuluk sistemlerinin analize hazır hale getirilmesi,
- f) Son olarak hazırlanan üç tip otokorkuluk modelinin LS-DYNA yazılımında EN 1317-2 standardına uygun olarak çarpıştırılması gerekmektedir.

Tüm bu yukarıda özetlenen koşullar oluşturulduğu takdirde hazırlanan bu otokorkuluk sistemi çarpışmaya hazır hale gelmektedir.

#### 4.6. Modeli oluşturan Elemanlara Ait Et Kalınlıklarının Atanması

Şekil 4.17.' de g3r3ld3đ3 gibi Sayfa 3 'de \*Section seçilir. Açılan listede SHELL seçilir ve Edit 'e tıklanır.

Şekil 19' da g3r3ld3đ3 gibi;

TITLE: Eleman adının girilmesi

SECID: Section numarasının girilmesi

T1:1,T2,T3,T4: Et kalınlıklarının girilmesi

Değerleri yazılır. Diğer değerler değiştirilmez. ACCEPT ve DONE denir. İşlem sonlandırılır. Tabi bu değerler oluşturulan otokorkuluktaki her bir eleman için ayrı ayrı girilir (Şekil 4.18). 3rneğin;

Ray için;

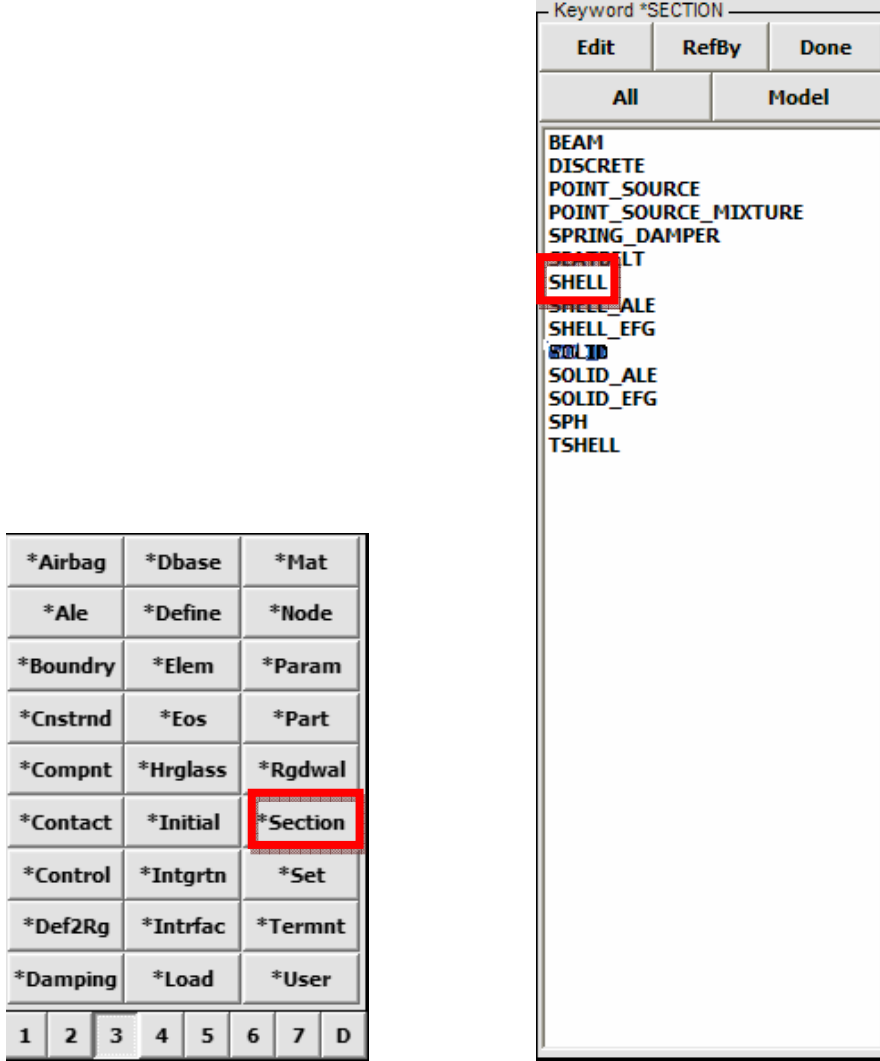
SECID: 1; T1,T2,T3,T4: 3 mm

Sigma için;

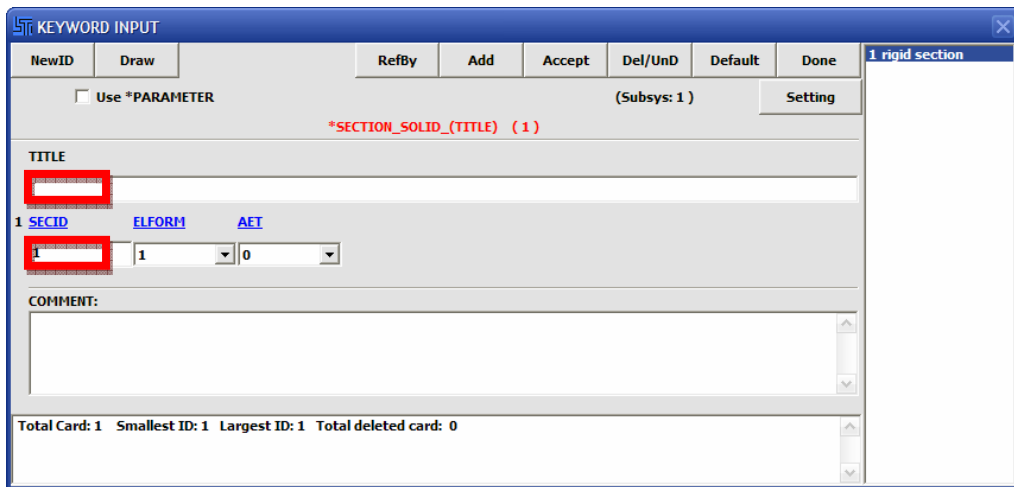
SECID: 2; T1,T2,T3,T4: 5 mm

Takoz için;

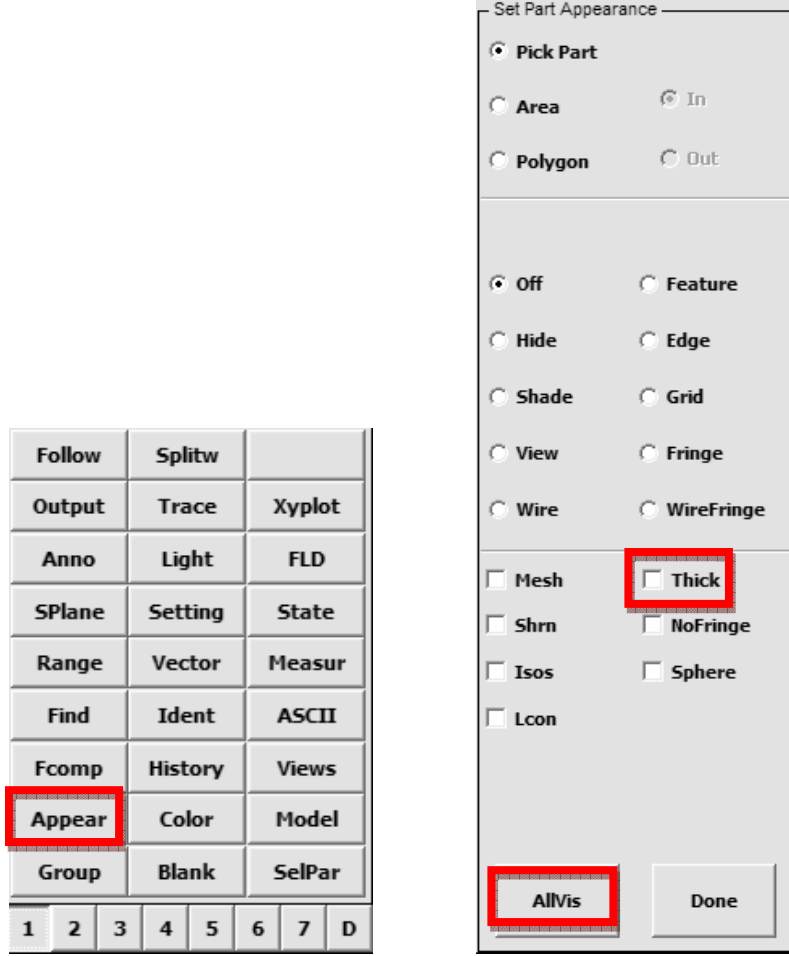
SECID: 3; T1,T2,T3,T4: 5 mm olarak girilmiştir.



Şekil 4.17.. Sayfa 3 \*Section ve Shell Komutlarının Seçilmesi



Şekil 4.18.. TITLE VE SECID Değerlerinin Girilmesi



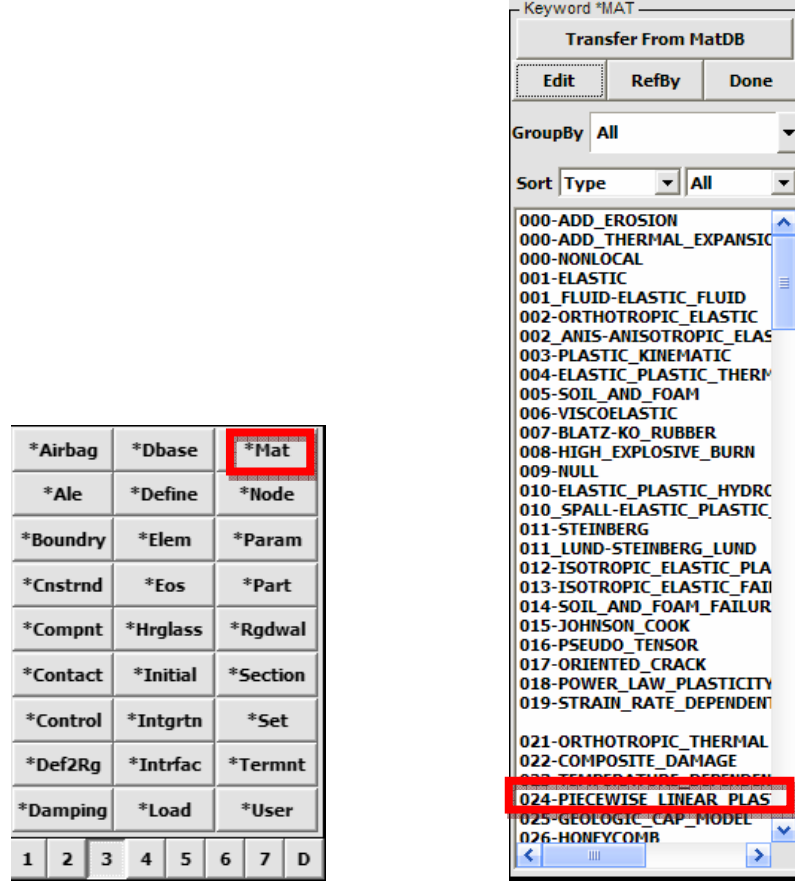
Şekil 4.19. Sayfa 1' deki Appear ve Thick komutu

Parçaya verilen et kalınlığını görmek için Şekil 4.19.' da görülen sayfa 1 'deki APPEAR komutuna tıklanır ve altta bulunan Thick seçilir ve Allvis tıklanır ve Done denir. Böylece atanmış olunan et kalınlığını görülebilmektedir.. Bu işlemleri üç ayrı otokorkuluk sistemine ayrı ayrı uygulanmıştır.

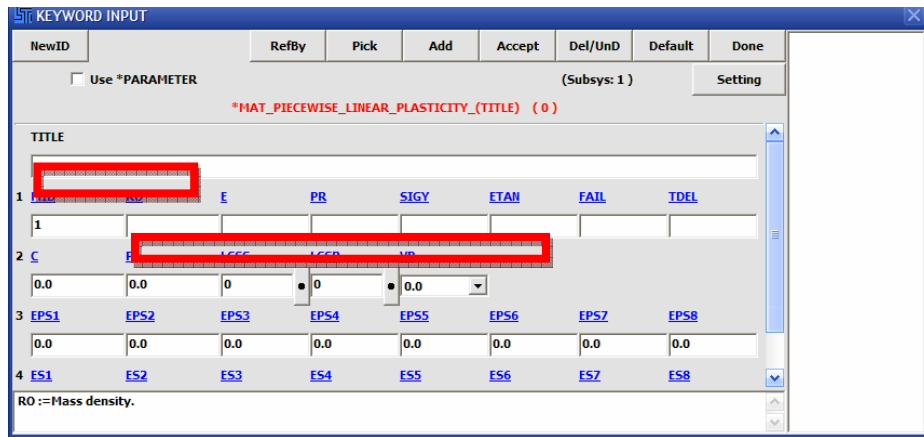
#### 4.7. Modeli Oluşturan Elemanlara Malzeme ve Malzeme Özellikleri Atanması

Hazırlanmış olunan otokorkuluk sistemlerindeki elemanlar aynı malzemedan imal edileceği için kullanılan malzeme tipi Şekil 4.20' de görülen sayfa 3' de bulunan \*Mat komutu kullanılmıştır. \*Mat komutu içerisinde bulunan 24 nolu malzeme tipi, yani

‘sınırlı lineer plastik’ (piecewise linear plastic) kullanılmaktadır. Çarpışma modellerinin simülasyonlarında özellikle çelik yapılar için bu malzeme tipi çok sık kullanılmaktadır.



Şekil 4.20. Sayfa 3’ de Yer Alan \*Mat ve Listedен 024 Numaralı Malzeme Ataması



Şekil 4.21. Malzeme Özellikleri Tablosu

Şekil 4.21.' de görülen tabloya malzeme adı ve özellikleri yazılır. Malzeme adı Title başlığı altına malzeme özellikleri ise malzeme adının altındaki kısaltmaların altına yazılır. Daha sonra Accept ve Done denilerek işlem sonlandırılır. Malzeme özellikleri otokorkuluk elemanları standart çelik malzemeden imalat edileceğinden dolayı çelik malzeme özellikleri girilir. Çizelge 4.1' de gösterilen malzeme tablosundaki kısaltmaların anlamları ve otokorkuluk sistemlerinde kullanılan elemanlara ait olan malzeme özellikleri aşağıdaki tabloda verilen değerler girilerek tanımlanmıştır. Bu işlemlerin hepsi üç otokorkuluk sistemi için ayrı ayrı uygulanmıştır.

**Çizelge 4.1.** LS-DYNA analizinde kullanılan çelik malzemelerin materyal özellikleri

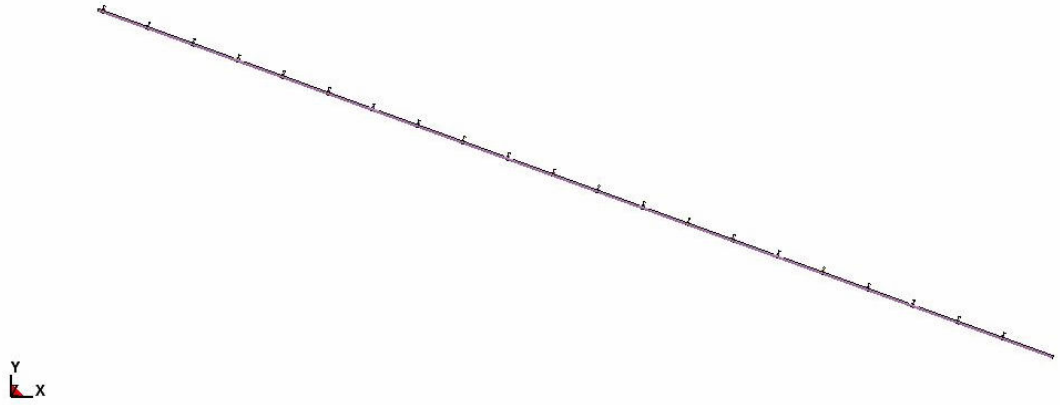
Materyal Tipi (MID)	024	Sınırlı lineer plastik
Yoğunluk(RO)	7.850e-009	Kg/m <sup>3</sup>
Elastisite modülü(E)	2.050e+005	MPa
Akma Gerilmesi(SIGY)	355 St 52	MPa
Poisson Oranı(PR)	0.30	

#### **4.8. Modeli Oluşturan Elemanların Çoğaltılarak Otokorkuluk Sisteminin Oluşturulması**

Yukarıda malzeme ataması yaparak hazırlanmış olan otokorkuluk sistemini bu bölümde çoğaltarak komple sonlu elemanlar analizine hazır bir otokorkuluk sistemi haline dönüştürülmesi anlatılacaktır. Çoğaltma işlemini LS-PREPOST programında Şekil 4.22.' de bulunan Translt komutu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Translt komutu parçaları hareket ettirmek ve çoğaltmak için kullanılmıştır. Aracın çarpacağı açığı otokorkuluğa kazandırmak için de yine aynı sayfada yer alan Rotate komutu kullanıldı. Rotate komutu ise parçaları istenildiği açıda döndürmek için kullanılır. Bu işlemler üç otokorkuluk sistemi için ayrı ayrı uygulanarak otokorkuluklar 30m' ye kadar uzatılmıştır. Ve sonuç olarak Şekil 4.23.' deki durumlar elde edilmiştir.

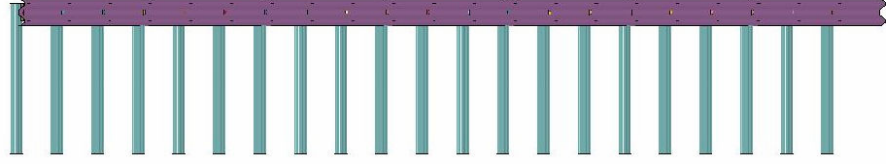
CFD	Cgat	Stereo
Binout	Skid	AleMat
Subsys	PTravel	PTrim
Renum	Refchk	MatDB
ElGen	Detach	
ElEdit	Curves	Offset
Movcpy	DupNod	Normals
Trnsfrm	Reflect	Project
Translt	Rotate	Scale
1	2	3
4	5	6
7	D	

Şekil 4.22. Sayfa 2' deki Translt ve Rotate Komutları

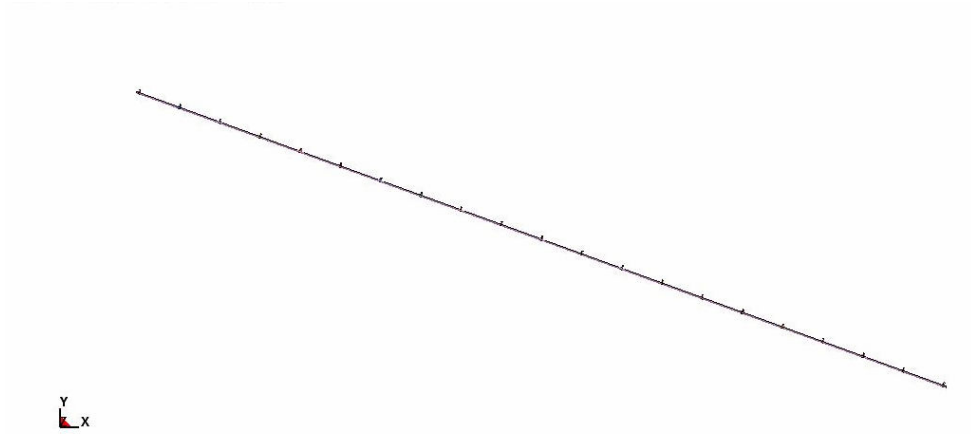


(a) Dikme Mesafesi 1.33 m Olan Otokorkuluğun 20° Açılı ve Döndürülmüş Üstten Görünüşü

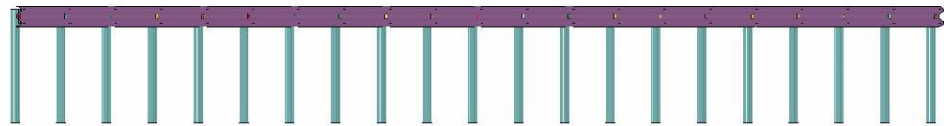




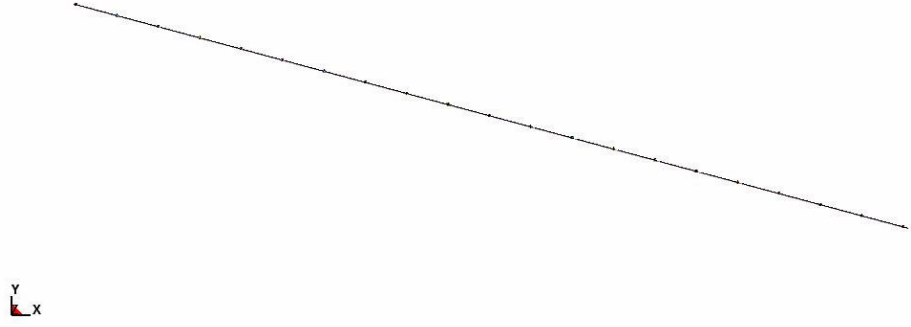
(b) Dikme Mesafesi 1.33 m Olan Otokorkuluğun 20° Açılı ve Döndürülmüş Önden Görünüşü



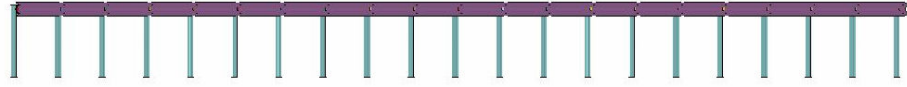
(c) Dikme Mesafesi 2.00 m Olan Otokorkuluğun 20° Açılı ve Döndürülmüş Üstten Görünüşü



(d) Dikme Mesafesi 2.00 m Olan Otokorkuluğun 20° Açılı ve Döndürülmüş Önden Görünüşü



(e) Dikme Mesafesi 4.00 m Olan Otokorkuluğun 20° Açılı ve Döndürülmüş Üstten Görünüşü



(f) Dikme Mesafesi 4.00 m olan Otokorkuluğun 20° Açılı ve Döndürülmüş Önden Görünüşü

**Şekil 4.23.** Farklı Dikme Mesafesine Sahip Üç Tip Otokorkuluk Sistemlerinin Çoğaltılmış ve 20° Döndürülmüş Hali

#### 4.9. Farklı Dikme Mesafesine Sahip Otokorkuluk Sistemlerini Oluşturan Elemanlar Arasındaki İlişkilerin ve Çarpışma Sınır Şartlarının Belirlenmesi

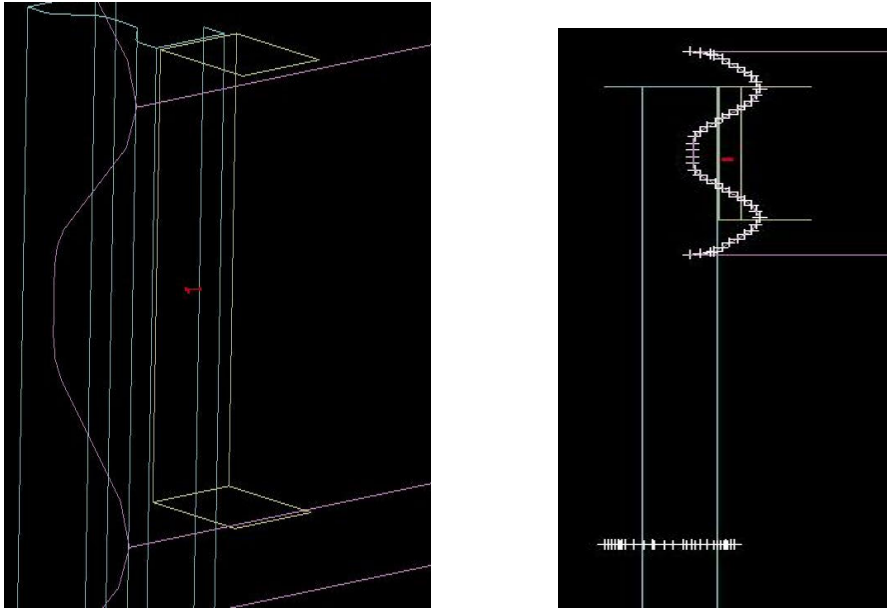
Yukarıda hazırlanmış olan üç tip otokorkuluk sistemlerini oluşturan elemanlar arasındaki sabit veyahut cıvata bağlantısı diye tabir edilen bağlantılar Şekil 25' de görülen sayfa 3 kısmından \*Cnstrn komutu kullanılarak yapılmıştır. Bu komutta yer alan bağlantı özelliklerinden Nodal Rigid Body (Noktasal Sabitleme) özelliği kullanılarak cıvata bağlantıları oluşturulmuştur. Bu sabitleme tipi otokorkuluk

modellemelerinde yaygın olarak kullanılan özelliklerin başında gelmektedir. Bu özellikten faydalanılarak tek tek taslaktan cıvata bağlantılarının noktaları tespit edilir ve bu komut uygulanır. Sabitleme bağlantılarından sonra otokorkuluklara sınır şartları atamasını Şekil 4.24' de yer alan sayfa 5' de görülen Spc komutu kullanılır. Bu komutla ray ucundan zemine kadar bütün noktalar x, y ve z doğrultularında sabitlenmiş olur. Yani otokorkuluğun zemine temas ettiği noktalardan sabitlenerek sınır şartları tariflenmiş olur (Şekil 4.25.).

*Airbag	*Dbase	*Mat					
*Ale	*Define	*Node					
*Boundry	*Elem	*Param					
<b>*Cnstrnd</b>	*Eos	*Part					
*Compnt	*Hrglass	*Rgdwal					
*Contact	*Initial	*Section					
*Control	*Intgrtn	*Set					
*Def2Rg	*Intrfac	*Termnt					
*Damping	*Load	*User					
1	2	3	4	5	6	7	D

ABFold	DmyPos	BeltFit					
Conchk	LoadPt	Guide					
DampPt	TiedNF	BinderW					
XSect	Vector	DrawB					
IniVel	Accels	DBHist					
SpWeld	<b>Spc</b>	Wall					
Box	Rivet	GWeld					
Coord	Constn	CNRB					
SetD	PartD	MassD					
1	2	3	4	5	6	7	D

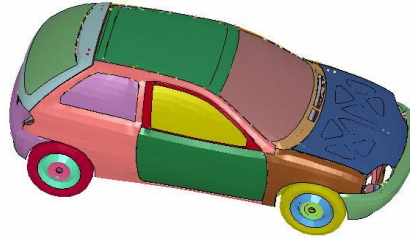
Şekil 4.24. Sayfa 3 ve 5 de Yer Alan \*Cnstrnd ve Spc Komutları



Şekil 4.25. Sayfa 3 ve 5 de yer alan \*Cnstrnd ve Spc komutları uygulanmış hali

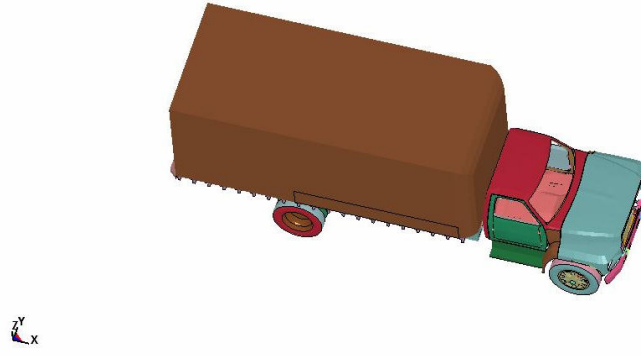
#### 4.10. Test Araçlarının Hazırlanması ve Üç Tip Otokorkuluk Sistemlerinin Analize Hazır Hale Getirilmesi

LS-DYNA sonlu elemanlar analiz ve simülasyon yazılımında kullanılacak olan üç tip otokorkuluk sistemleri LS-PREPOST yardımcı yazılımında yukarıda anlatıldığı gibi hazırlanmıştır. Dinamik analizde kullanılan ve daha önce doğruluğu ispatlanmış 900 kg'lık, otomobil ile 10000 kg'lık kamyonun modeli, Amerikan Ulusal Çarpışma Analiz Merkezinden (NCAC) alınarak çarpışmayı modellemekte kullanılmıştır(NCAC 2008). Dinamik analizde kullanılan araçların modelleri Şekil 4.26.' de görülmektedir. Modellenen otokorkuluk sistemleri ile araçlar analize hazır olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu modeller gerçek çarpışma deneylerinin ölçüleriyle aynı koşullarda çalıştırılmıştır. Böylece analize hazırlanan farklı dikme mesafelerine sahip üç tip otokorkuluk sisteminin modelleri Şekil 4.27.' de görülmektedir. Üç tip Otokorkuluk sistemine ait hazırlanan modeller LS PREPOST yazılımında “.k” uzantılı dosya sistemi olarak kaydedilmiştir. Böylece LS-DYNA' da çalıştırılmak üzere key dosyası oluşturulmuştur.



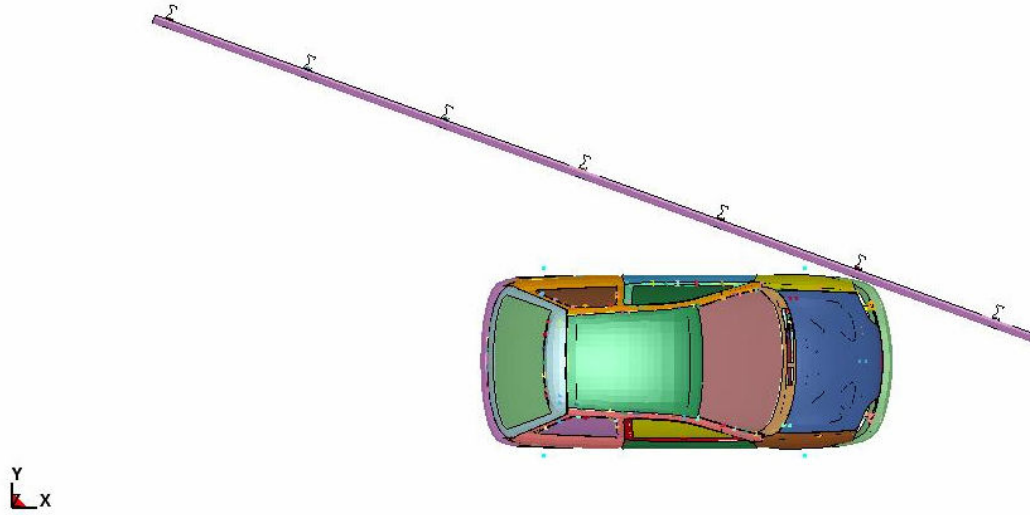
3x

(a) 900 kg'lık Otomobil

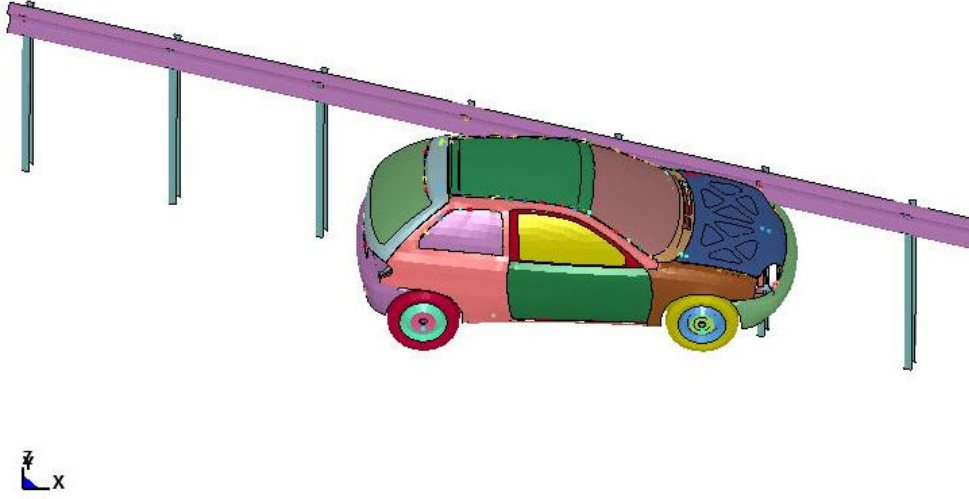


(b) 10000 kg'lık Kamyon

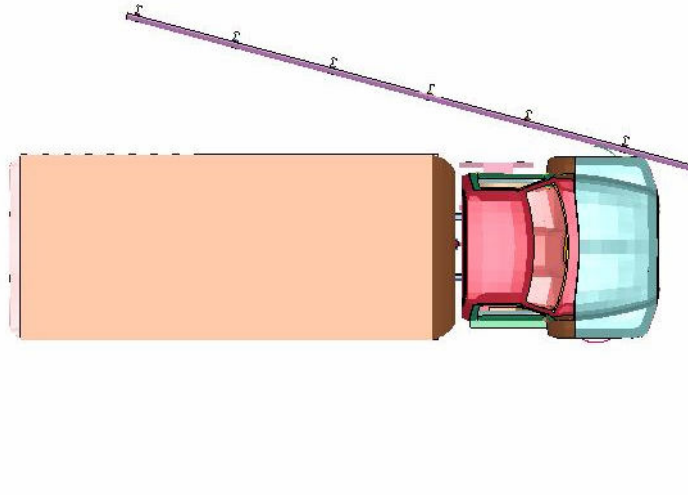
**Şekil 4.26.** 900 kg'lık Otomobil ile 10000 kg'lık Kamyonun Sonlu Elemanlar Modeli



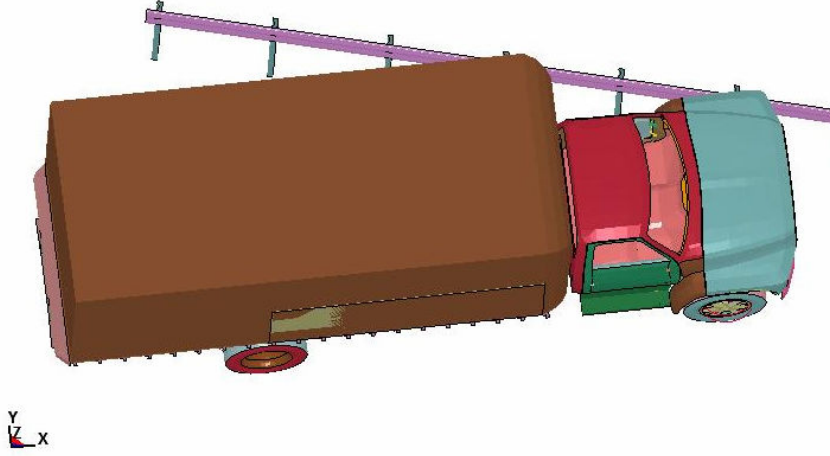
(a) 900 kg'lık Otomobil ve Otokorkuluk Üst Görünüşü



(b) 900 kg' lık Otomobil ve Otokorkuluk Yan Görünüüü



(c) 10000 kg' lık Kamyon ve Otokorkuluk Üst Görünüüü



(d) 10000 kg' lık Kamyon ve Otokorkuluk Ön Görünüşü

**Şekil 4.27** Bilgisayar Simülasyonunda Kullanılan 900 ve 1500 kg' lık Otomobil İle 10000 kg' lık Kamyon ve Otokorkuluk Sistemlerinin Analize Başlamadan Önceki Modelleri

#### 4.11. Üç Tip Otokorkuluk Modelinin LS-DYNA Yazılımında EN 1317–2 Standardına Uygun Olarak Çarpıştırılması

European Norm (EN) 1317–2 standardının amacı, otokorkuluğun çarpışma testi süresince ve sonrasında otokorkuluğun fazla hasara uğramadan ve çarpan aracın tekrar yola dönmesini sağlayacak kadar mukavemete sahip olduğunu ve ayrıca araç içerisindeki yolcuların yaralanma risklerini minimum seviyeye indirmeyi garanti etmesidir. Bu, çarpan aracın hiçbir şekilde yolu terk etmemesi ve güvenli bir şekilde yavaşlayarak durmasını öngörmektedir. Testte belirli miktardaki enerji çarpışmadan dolayı araçtan otokorkuluğa geçmektedir.

Çalışma dâhilinde yapılan iki tip çarpışma simülasyonları vardır. Çizelge 4.2' den de görüleceği gibi bunlar TB11 ve TB42 testleridir. Bu testlerde başarılı olan sistemler H1 performans seviyesinde olduğu belirlenir.

**Çizelge 4.2.** Çarpışma parametreleri TB11, TB42 ve H1 performans seviyesi özellikleri

TEST KODU	ARAÇ AĞIRLIĞI VE TİPİ	ÇARPMA AÇISI VE HIZI
TB11	900 kg Otomobil	20 derece 100 km/saat
TB 21	1300 kg Otomobil	8 Derece 80 km/saat
TB22	1300 kg Otomobil	15 Derece 80 km/saat
TB31	1500 kg Otomobil	20 Derece 80 km/saat
TB32	1500 kg Otomobil	20 Derece 110 km/saat
TB41	10000 kg Kamyon	8 Derece 70 km/saat
TB42	10000 kg Kamyon	15 Derece 70 km/saat
TB51	13000 kg Otobüs	20 Derece 70 km/saat
TB61	16000 kg Kamyon	20 Derece 80 km/saat
TB71	30000 kg Kamyon	20 Derece 65 km/saat
TB81	38000 kg Tır	20 Derece 65 km/saat

OTOKORKULUK TİPİ	YAPILMASI GEREKEN TEST KODU
<b>En Hafif Hizmet</b>	
T1	TB21
T2	TB22
T3	TB41 ve TB21
<b>Normal Hizmet</b>	
N1	TB31
N2	TB32 ve TB11
<b>Ağır Hizmet</b>	
H1	TB42 ve TB11
H2	TB51 ve TB11
H3	TB61 ve TB11
<b>Çok Ağır Hizmet</b>	
H4a	TB71 ve TB11
H4b	TB81 ve TB11



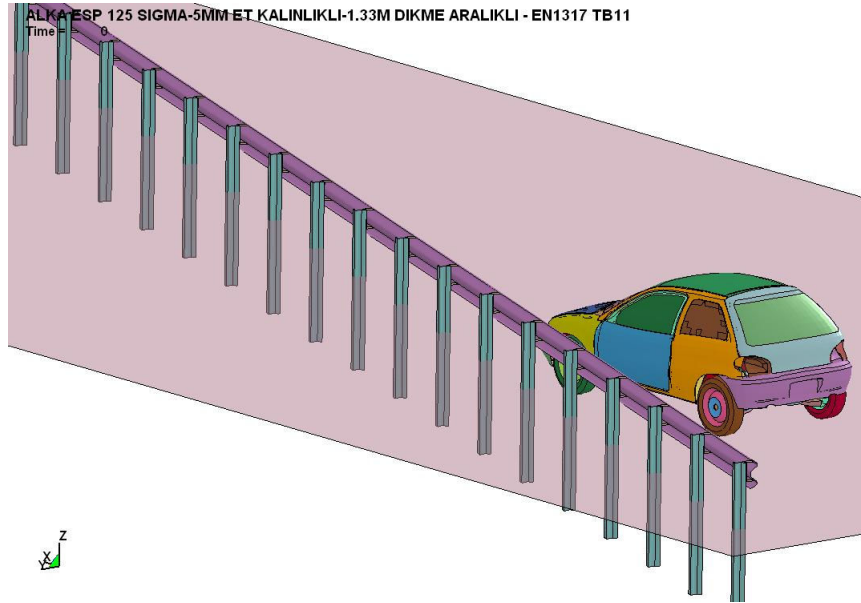
Üç tip basit Otokorkuluk sistemlerine ait LS-PREPOST ta hazırlanan key dosyaları LS-DYNA ticari yazılımına yüklenerek birden çok işlemciye sahip bilgisayarda çalıştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

#### 4.12. Farklı Aralıklara Sahip Dikmelerden Oluşan Üç Tip Çelik Otokorkulukların Çarpışma Analiz Sonuçları

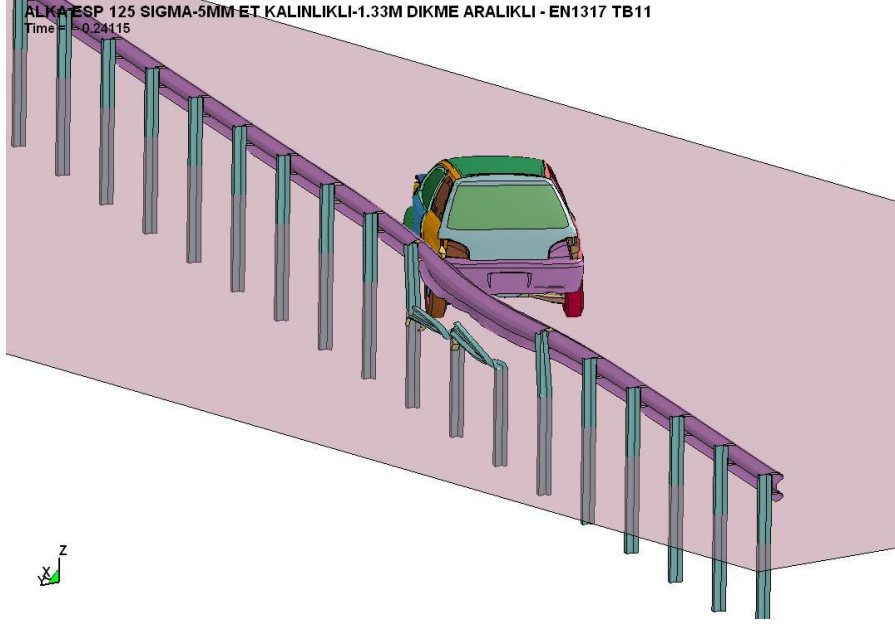
##### 4.12.1. Dikme Mesafesi 1.33 m Olan Basit Otokorkuluğun Çarpışma Sonuçları

1.33 m dikme mesafeli otokorkuluğun LS-DYNA yazılımında EN 1317-2 standardına göre TB11 ve TB42 kriterlerine göre çarpışma testleri yapılmış ve H1 performans seviyesi olduğu belirlenmiştir.

TB11 testini gerçekleştirmek için 900 kg otomobil kullanılmış olup otomobil 100 km/saat hızda ve 20° açıyla otokorkuluğa çarptırılmıştır. Şekil 4.28' de TB11 test simülasyonu öncesi (a) ve sonrası (b) çarpışma durumları görülmektedir.



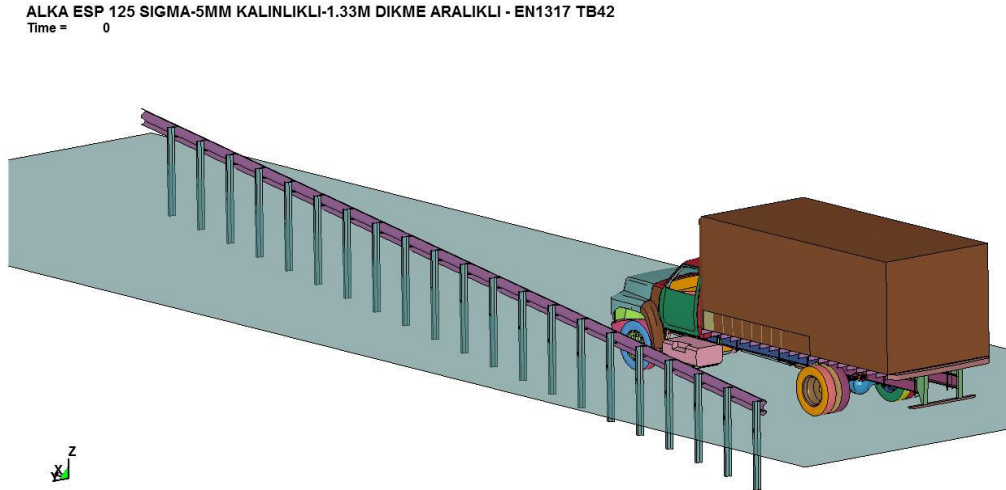
(a) EN 1317 TB11 Test Öncesi Simülasyonu



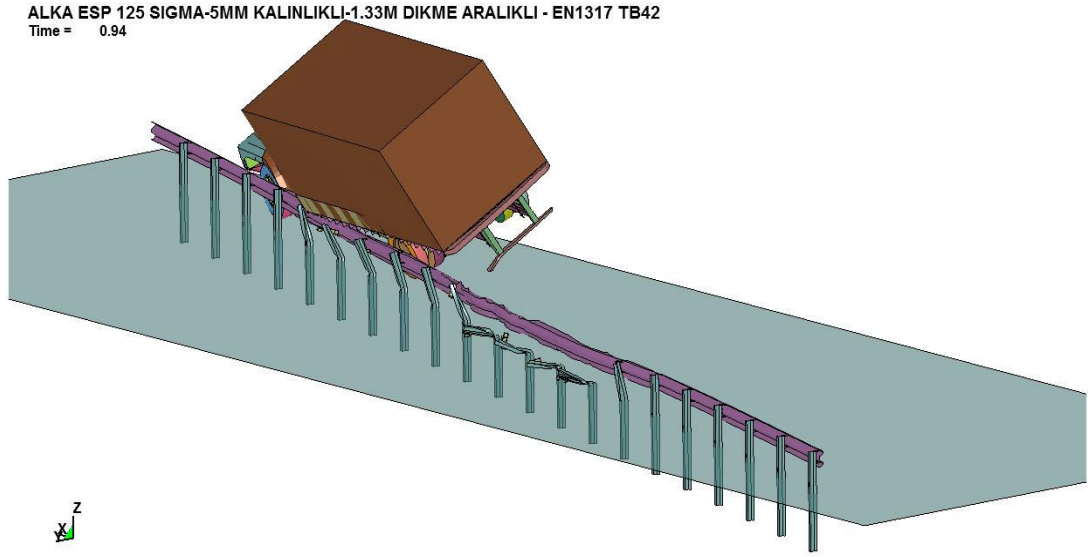
(b) EN 1317 TB11 Test Simülasyonu Sonrası

**Şekil 4.28.** TB11 test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları

TB42 testini gerçekleştirmek için 10000 kg'lık kamyon kullanılmış olup 70 km/saat hızla ve 15° açıyla otokorkuluğa çarpıştırılmış ve Şekil 4.20.'de çarpışma öncesi ve sonrası durumları görülmektedir.



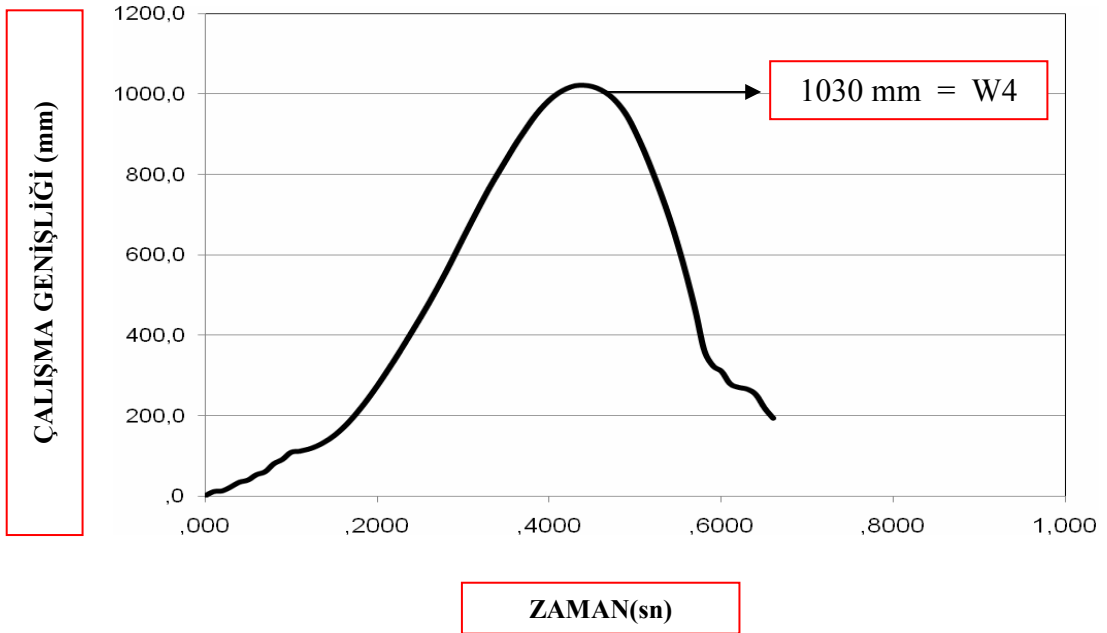
(a) EN 1317 TB42 Test Simülasyonu Öncesi



(b) EN 1317 TB42 Test Simülasyonu Sonrası

Şekil 4.29. TB42 test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları

TB42 çarpışma testi sonrasında oluşturulan zamana bağlı çalışma genişliği grafiği Şekil 4.30' da görülmektedir.



Şekil 4.30. Çalışma Genişliği - Zaman Grafiği

**Çizelge 4.3.** EN 1317–2 Standardında otokorkuluk üzerinde oluşan deformasyon dereceleri tablosu

<b>Deformasyon Kodu</b>	<b>Deformasyon Derinliği (metre)</b>
W1	$W \leq 0.6$
W2	$W \leq 0.8$
W3	$W \leq 1.0$
W4	$W \leq 1.3$
W5	$W \leq 1.7$
W6	$W \leq 2.1$
W7	$W \leq 2.5$
W8	$W \leq 3.5$

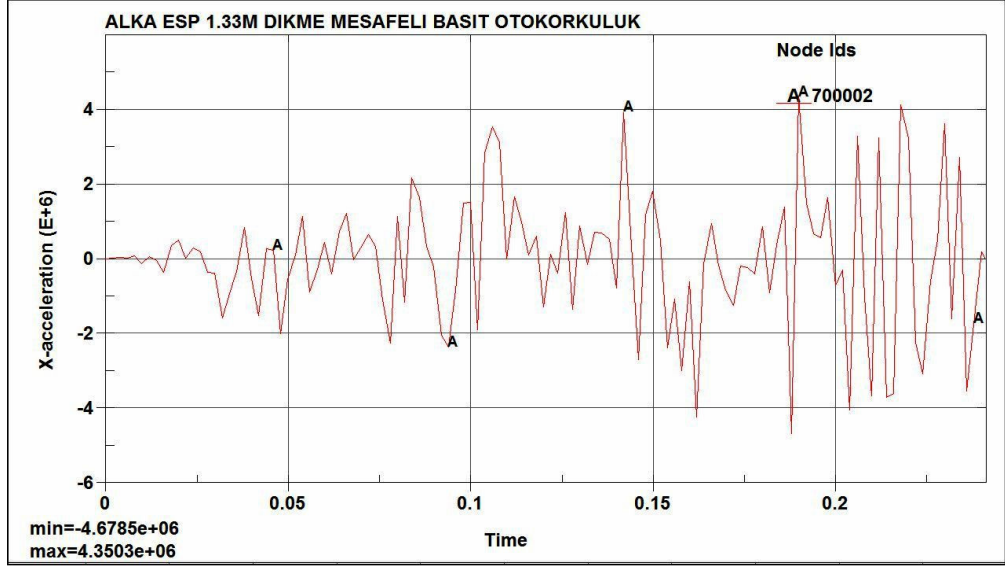
Çizelge 4.3' den hareketle bulduğumuz 1.030 m değeri  $W \leq 1.3$  m' den küçük olduğu tespit edilmiş ve otokorkuluğun deformasyon kodu W4 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.4** 1.33 m dikme mesafeli otokorkuluğa ait detaylı test simülasyonu parametreleri

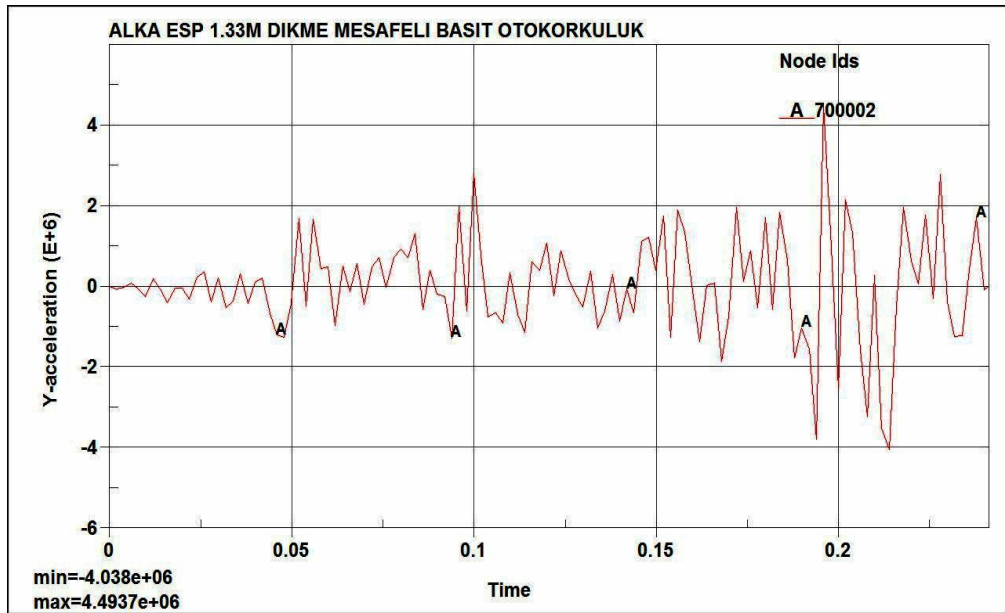
<b>Parametre</b>	<b>TB11</b>	<b>TB42</b>
Araç Cinsi	900 kg Otomobil	10000 kg Kamyon
Çarpma Hızı ve Açısı	100 km/sa, 20 derece	70 km/sa, 15 derece
Otokorkuluk Yanal Deformasyonu	-----	W4 ( $W \leq 1.3m$ )
Çarpışma Şiddet Derecesi	A ( $ASI \leq 1$ )	-----

Çizelge 4.4' deki çarpışma şiddet derecesi; ASI (Acceleration Severity Index) değeri oluşan ivmeden dolayı taşıt içerisindeki üzerindeki tahribatı ifade ederki bu değer  $ASI \leq 1$  olduğu zaman A kategorisinde,  $ASI \leq 1.4$  olması durumunda B

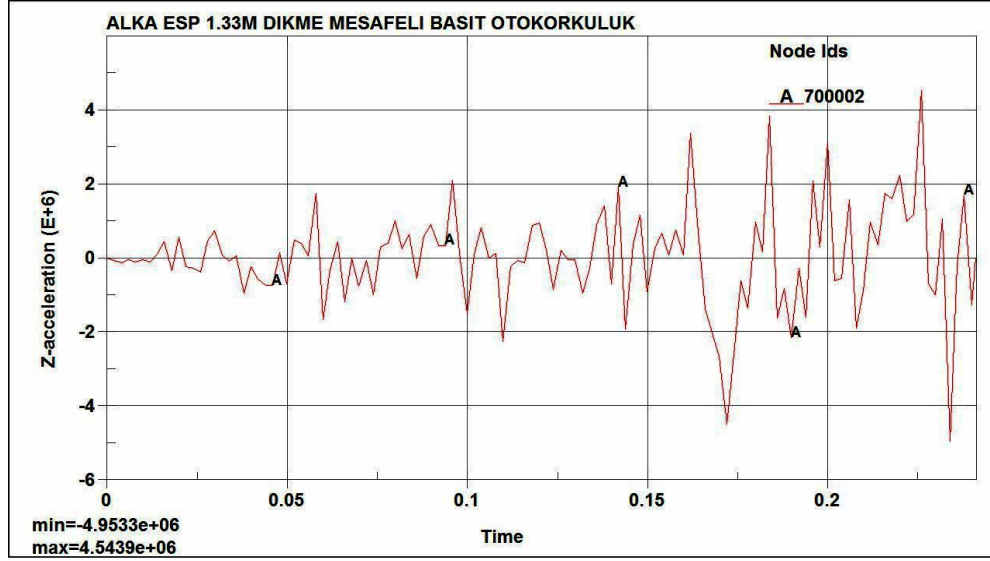
kategorisinde olduğu belirlenir. Genel olarak  $ASI \leq 1$  olması istenir. LS-DYNA ticari yazılımında x, y ve z yönündeki maksimum ivme değerleri otomatik hesaplanır. Şekil 4.31' deki grafikler elde edilir ve x, y ve z yönündeki maksimum ivme değerleri alınır.



(a) X Yönündeki İvme Grafiği



(b) Y Yönündeki İvme Grafiği



(c) Z Yönündeki İvme Grafiği

### Şekil 4.31. X, Y ve Z Yönlerindeki İvmelerin Grafikleri

Aşağıdaki formülde maksimum ivme değerleri yerlerine konularak ASI değeri hesaplanır. Elde edilen veriler ışığında ASI değeri 0.76 hesaplanmıştır. Böylece  $ASI \leq 1$  A tipi bulunmuş olup taşıt içerisindeki en az tahribata uğradığı tespit edilmiştir. Bulunan bu değer diğer iki çarpışma testi içinde ortalama bir değerdir.

$$ASI_{(t)} = \left[ \left( \frac{\bar{a}_x(t)}{12} \right)^2 + \left( \frac{\bar{a}_y(t)}{9} \right)^2 + \left( \frac{\bar{a}_z(t)}{10} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.12.1.1)$$

Formülü kullanılır. Burada,

$\bar{a}_x(t)$  : Maksimum x yönündeki ivme

$\bar{a}_y(t)$  : Maksimum y yönündeki ivme

$\bar{a}_z(t)$  : Maksimum z yönündeki ivmeyi ifade eder.

TB11 ve TB42 detaylı test simülasyonu sonuçları doğrultusunda Tablo 5.' deki değerler elde edilmiş olup 1.33 m dikme mesafeli otokorkuluğun H1-W4-A hizmet seviye şartlarını başarıyla sağlayacağı belirlenmiştir.

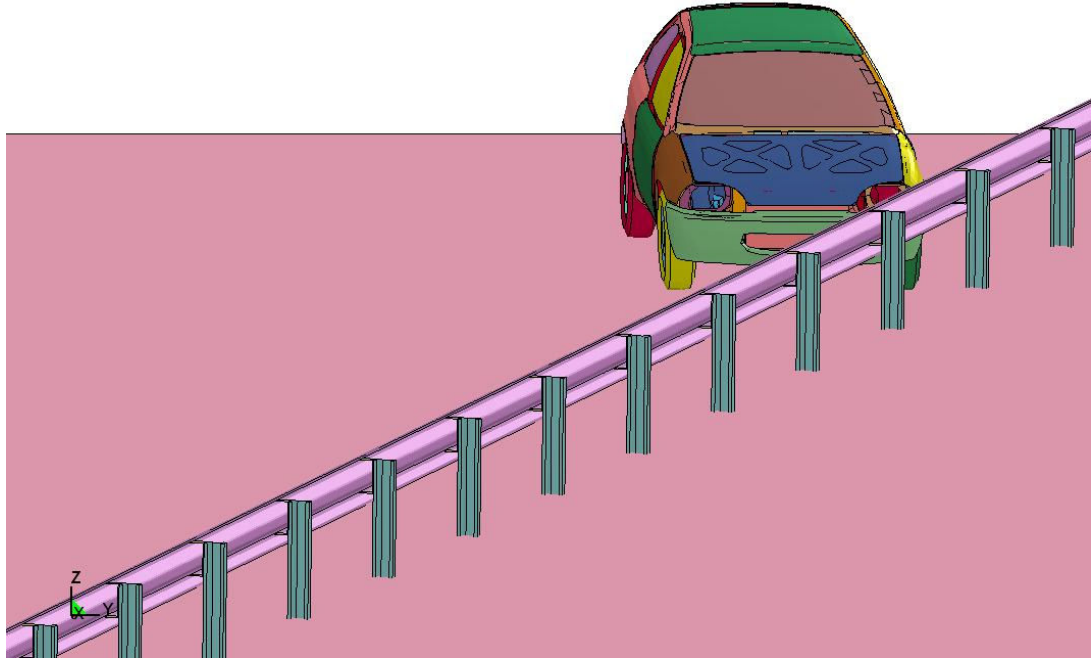
#### 4.12.2. Dikme Mesafesi 2.00 m Olan Basit Otokorkuluğun Çarpışma Sonuçları

2.00 m dikme mesafeli otokorkuluğun LS-DYNA yazılımında EN 1317-2 standardına göre TB11 ve TB42 kriterlerine göre çarpışma testleri yapılmış ve H1 performans seviyesi olduğu belirlenmiştir.

TB11 testini gerçekleştirmek için 900 kg otomobil kullanılmış olup otomobil 100 km/saat hızda ve 20° açıyla otokorkuluğa çarpıtılmıştır. Şekil 4.32' de TB11 test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları görülmektedir

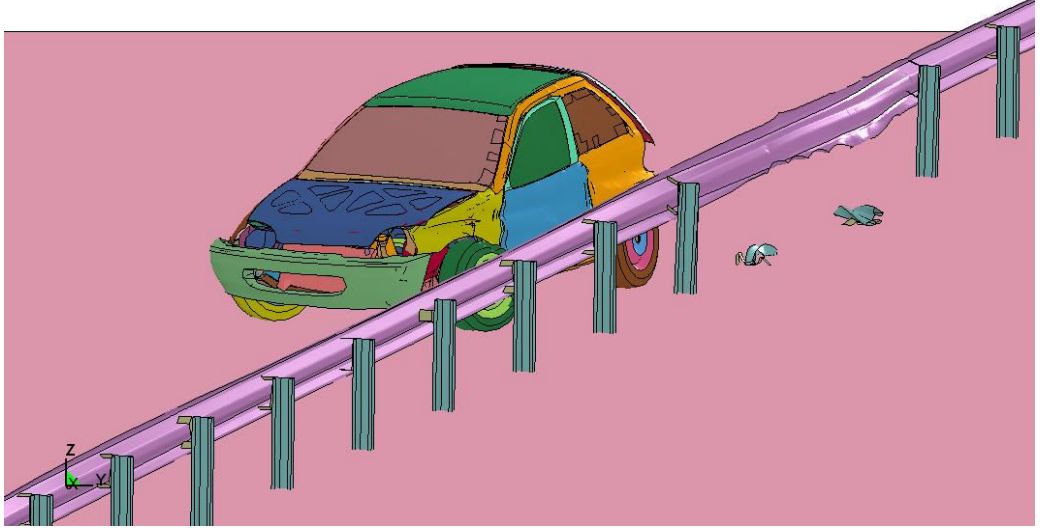
TB42 testini gerçekleştirmek için 10000 kg' lık kamyon kullanılmış olup 70 km/saat hızla ve 15° açıyla otokorkuluğa çarpıtılmış ve Şekil 4.33.' deki çarpışma öncesi ve sonrası durumları görülmektedir.

ALKA ESP 125 SIGMA-5MM KALINLIK-2.00M ARALIKLI DIKME - EN1317 TB11  
Time = 0



(a) EN 1317 TB11 Test Simülasyonu Öncesi

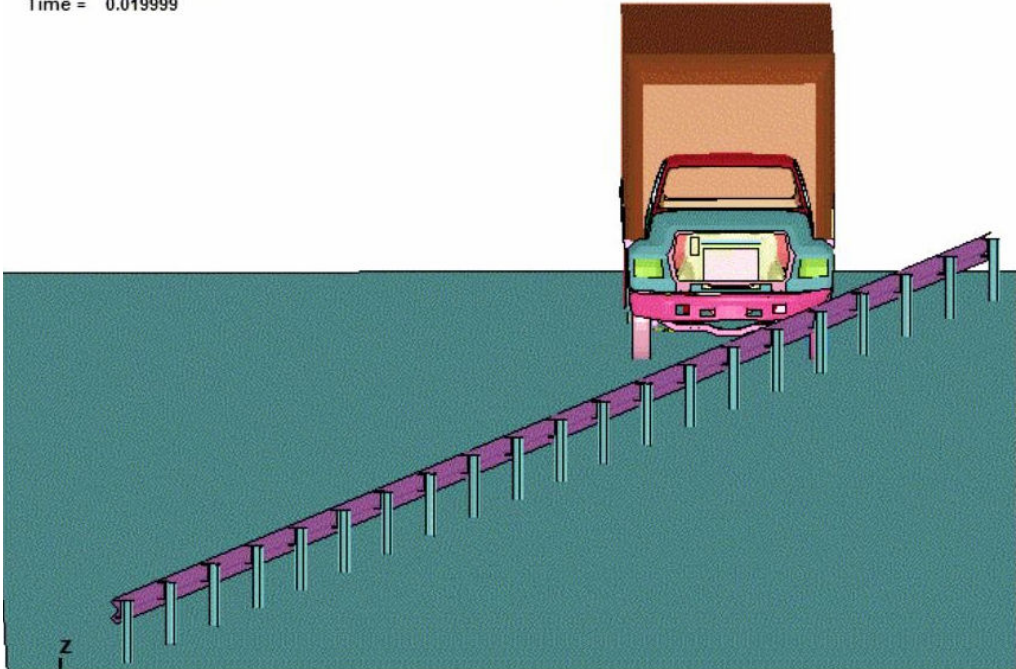
ALKA ESP 125 SIGMA-5MM KALINLIK-2.00M ARALIKLI DIKME - EN1317 TB11  
Time = 0.32



(b) EN 1317 TB11 Test Simülasyonu Sonrası

Şekil 4.32. TB11 test simülasyonu öncesi ve sonrası çarpışma durumları

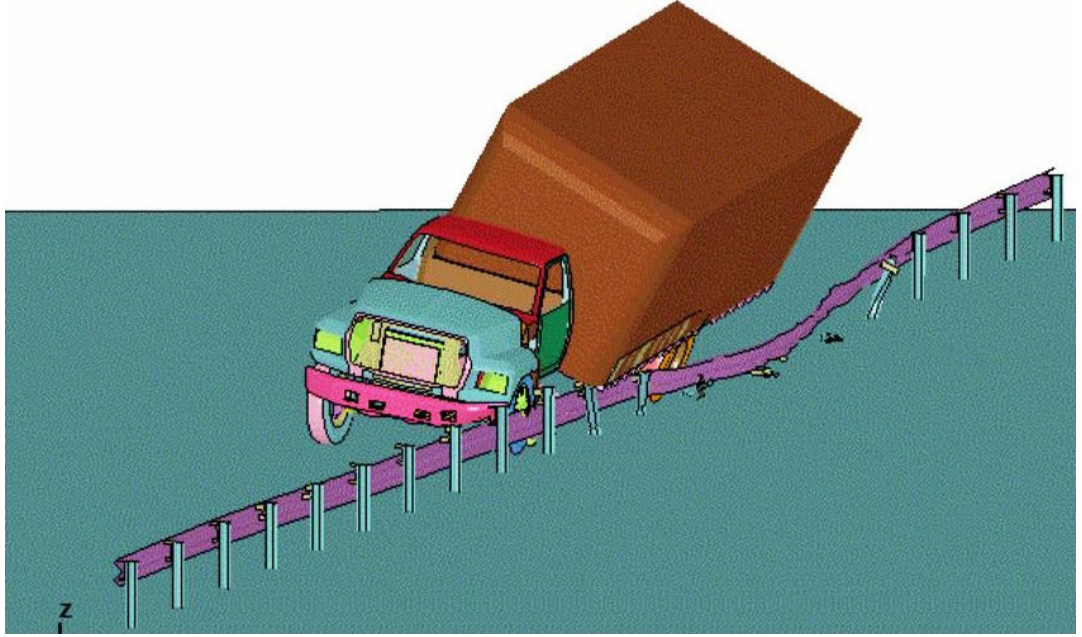
ALKA ESP 125 SIGMA-5.0MM KALINLIK-2.00M MESAFELI-St52 DIKME-3.0MM RAY - TB42  
Time = 0.019999



(a) EN 1317 TB42 Test Simülasyonu Öncesi

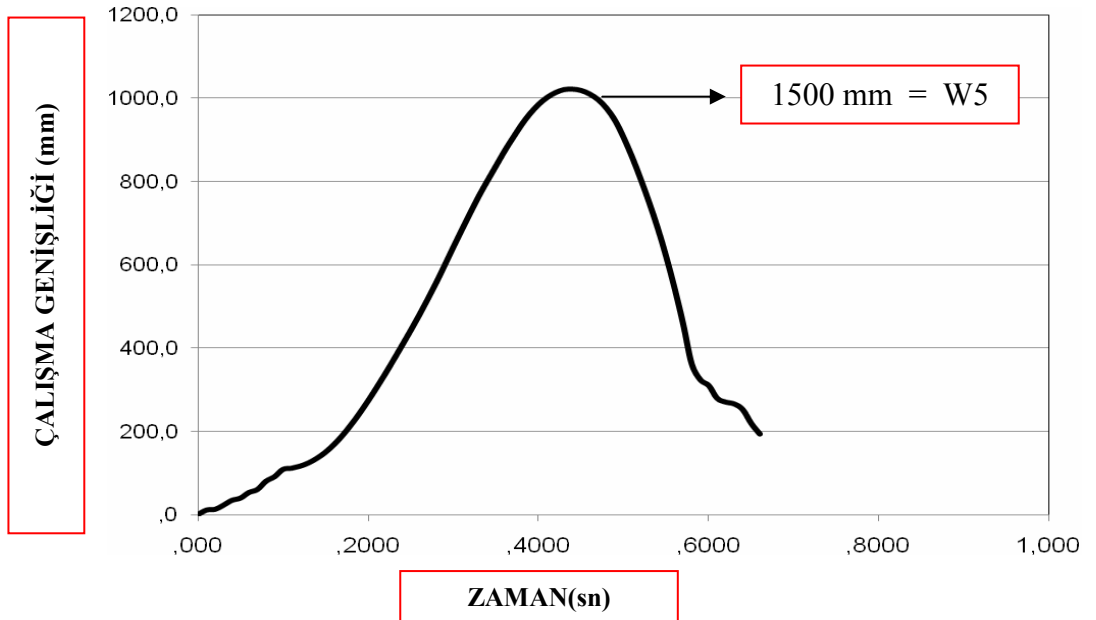


ALKA ESP 125 SIGMA-5.0MM KALINLIK-2.00M MESAFELI-St52 DIKME-3.0MM RAY - TB42  
Time = 0.86



(b) EN 1317 TB42 Test Simülasyonu Sonrası

Şekil 4.33. TB42 Test Simülasyonu Öncesi ve Sonrası Çarpışma Durumları  
TB42 test sonuçlarına göre Şekil 34' deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.34. Çalışma Genişliği- Zaman Grafiği

Şekil 4.34' de çalışma genişliği – zaman grafiğinden çalışma genişliği 1.500 m olarak bulunmuştur.

TB11 ve TB42 detaylı test simülasyonu sonuçları doğrultusunda Çizelge 4.5 elde edilmiştir. Bu tablodan hareketle 2.00 m dikme mesafeli otokorkuluğun H1-W5-A hizmet seviye şartlarını başarıyla sağlayacağı belirlenmiştir.

**Çizelge 4.5.** 2.00 m dikme mesafeli otokorkuluğa ait TB11 VE TB42 detaylı test simülasyonu parametreleri

Parametre	TB11	TB42
Araç Cinsi	900 kg Otomobil	10000 kg Kamyon
Çarpma Hızı ve Açısı	100 km/sa, 20 derece	70 km/sa, 15 derece
Otokorkuluk Yanal Deformasyonu	-----	W5 ( $W \leq 1.7m$ )
Çarpışma Şiddet Derecesi	A ( $ASI \leq 1$ )	-----

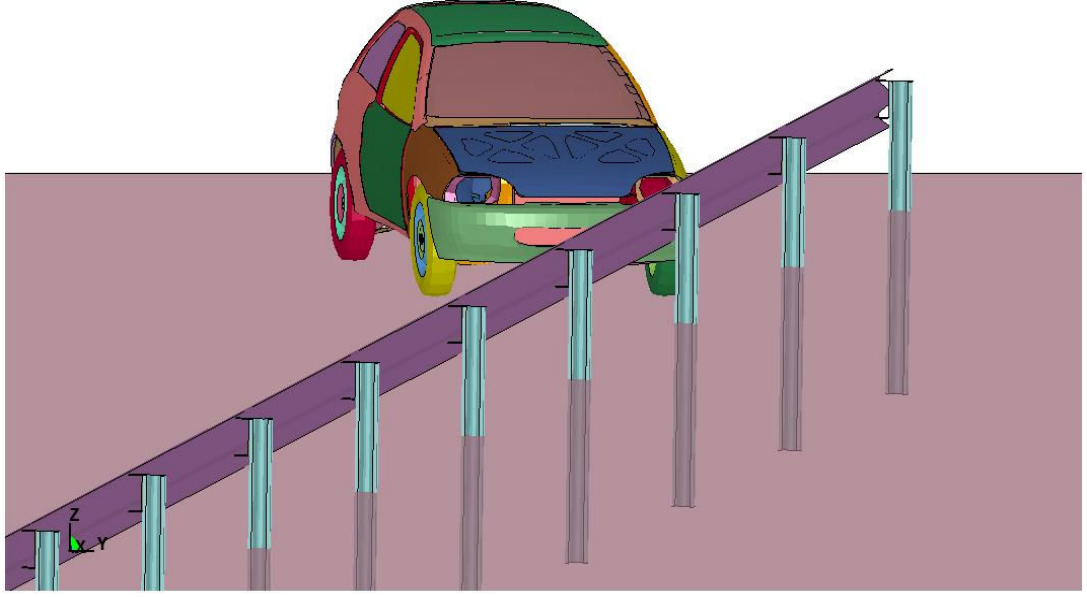
#### 4.12.3. Dikme Mesafesi 4.00 m Olan Basit Otokorkuluğun Çarpışma Sonuçları

4.00 m dikme mesafeli otokorkuluğun LS-DYNA yazılımında EN 1317–2 standardına göre TB11, TB32 ve TB42 kriterlerine göre çarpışma testleri yapılmış ve H1 performans seviyesi olduğu belirlenmiştir.

TB11 testini gerçekleştirmek için 900 kg otomobil kullanılmış olup otomobil 100 km/saat hızda ve 20° açıyla otokorkuluğa çarptırılmıştır (Şekil 4.35.).

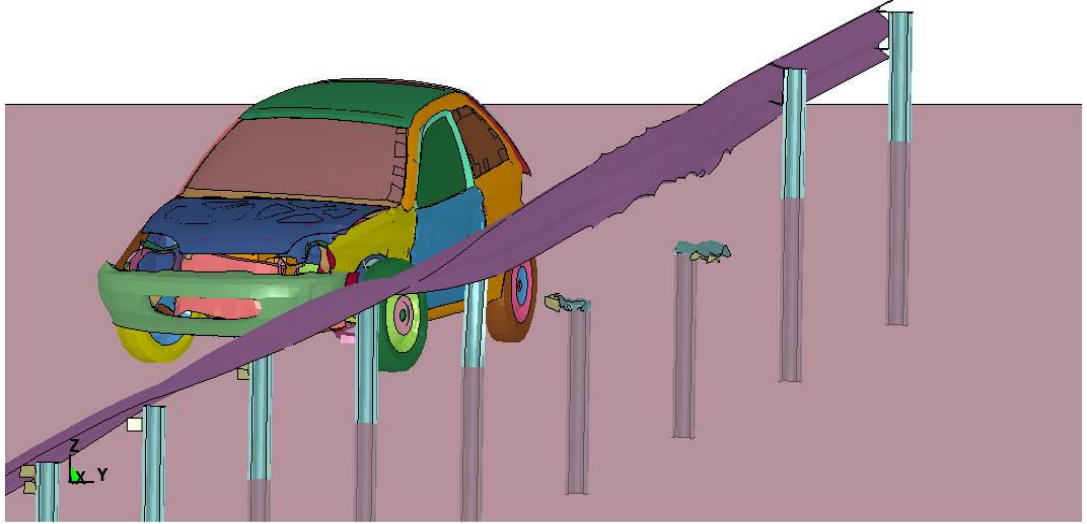
TB42 testini gerçekleştirmek için 10000 kg' lık kamyon kullanılmış olup 70 km/saat hızla ve 15° açıyla otokorkuluğa çarpıştırılmış ve Şekil 4.36.' deki çarpışma öncesi ve sonrası durumları görülmektedir..

ALKA ESP 125 SIGMA-5MM KALINLIK-4.00M ARALIKLI DIKME - EN1317 TB11  
Time = 0



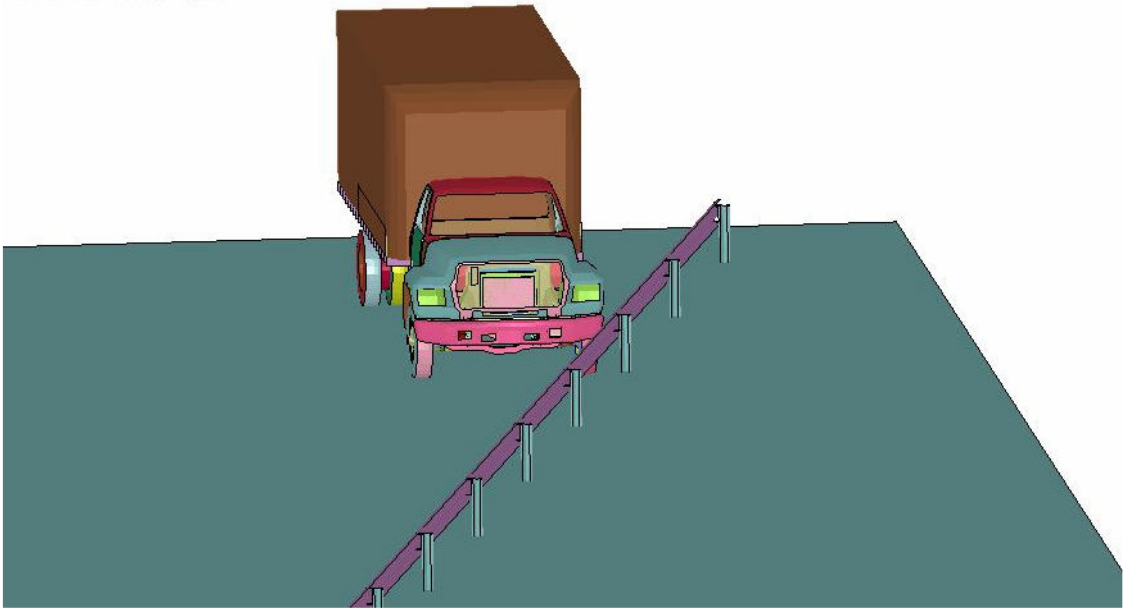
(a) EN 1317 TB11 Test Simülasyonu Öncesi

ALKA ESP 125 SIGMA-5MM KALINLIK-4.00M ARALIKLI DIKME - EN1317 TB11  
Time = 0.41

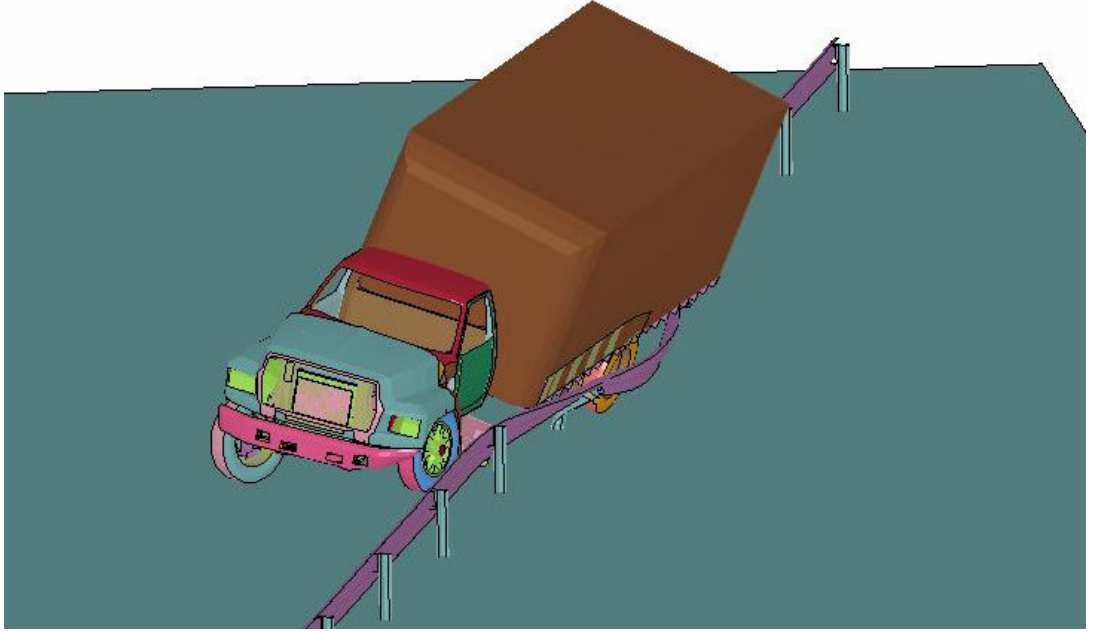


(b) EN 1317 TB11 Test Simülasyonu Sonrası

**Şekil 4.35.** TB11 Test Simülasyonu Öncesi ve Sonrası Çarpışma Durumları



(a) EN 1317 TB42 Test Simülasyonu Öncesi



(b) EN 1317 TB42 Test Simülasyonu Sonrası

**Şekil 4.36.** TB 42 Test Simülasyonu Öncesi ve Sonrası Çarpışma Durumları

4.00 m dikme mesafesine sahip otokorkuluğun detaylı test simülasyonu sonunda aracın devrildiği tespit edilmiştir. Şekil 4.36’da görüldüğü gibi TB42 testi H1 performans seviyesini başarılı şekilde tamamlayamamıştır.

**Çizelge 4.6.** 4.00 m dikme mesafeli otokorkuluğa ait TB11 test sonuçları parametreleri

Parametre	TB11
Araç Cinsi	900 kg otomobil
Çarpma Hızı ve Açısı	100 km/sa, 20 derece
Otokorkuluk Yanal Deformasyonu	-----
Çarpışma Şiddet Derecesi	A ( $ASI \leq 1$ )

Şekil 4.35’de görülen sonuçlardan hareketle Çizelge 4.6 oluşturulmuş, 4.00 m dikme mesafeli otokorkuluk sadece TB11 testini başardığından dolayı H1 hizmet seviye şartını başarıyla sağlayamayacağı belirlenmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

LS-DYNA ticari yazılımında yapılan detaylı simülasyon sonuçları ışığında EN 1317–2 standardına göre çarpışma sonuçlarının değerlendirme kriterleri,

### 1. Yapısal yeterlilik,

- Otokorkuluk aracı tutabilmeli ve üstünden veya altından geçmesine izin vermemeli.
- Otokorkuluk kesinlikle yırtılarak veya yere yatarak araçla kontağını kaybetmemelidir.

### 2. Sürücü ve yolculara gelen darbe yükleri,

- Çarpışma esnasında oluşan ivmelenme ve savrulmalar standartlardan yüksek olmamalı
- Araç çarpışma anında stabilizesini kaybetmemeli

### 3. Aracın otokorkuluktan ayrılma açısı az olmalıdır.

Kriterlerine göre yapılan detaylı simülasyonlar değerlendirilmeye alınarak Çizelge 5.1. oluşturulmuştur.

**Çizelge 5.1.** Üç tip basit otokorkuluğun çarpışma sonuçları

PARA METRELER	Dikme Mesafesi 1.33 m Olan Basit Otokorkuluk Simülasyon Sonuçları		Dikme Mesafesi 2.0 m Olan Basit Otokorkuluk Simülasyon Sonuçları		Dikme Mesafesi 4.00 m Olan Basit Otokorkuluk Simülasyon Sonuçları	
	TB11	TB42	TB11	TB42	TB11	TB42
Araç Cinsi	900 kg Otomobil	1000 kg Kamyon	900 kg Otomobil	1000 kg Kamyon	900 kg Otomobil	1000 kg Kamyon
Çarpma Hızı ve Açısı	100km/sa, 20 derece	70 km/sa, 15 derece	100km/sa, 20 derece	70 km/sa, 15 derece	100 km/sa, 20 derece	70 km/sa, 15 derece
Otokorkuluk Yanal Deformasyonu	-----	W4 (W≤1.3m)	-----	W5 (W≤1.7m)	-----	<b>DEVİRİLDİ</b>
Çarpışma Şiddet Derecesi	A (ASI≤1)	-----	A (ASI≤1)	-----	A (ASI≤1)	-----

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı üzere üç tip otokorkuluğumuz TB11 testini başarıyla sağlamıştır. TB42 testini ise 1.33 m dikme mesafesine sahip basit otokorkuluk ile 2.00 m dikme mesafesine sahip otokorkuluk testte başarılı olurken, dikme mesafesi 4.00 m olan basit otokorkulukta simülasyon sırasında araç devrilmiştir yani testi geçememiştir. Bu nedenle dikme mesafeleri 1.33 m ve 2.00 m olan basit otokorkuluklar H1 hizmet seviyesini elde etmişlerdir. 1.33 m ve 2.00 m dikme mesafesine sahip otokorkulukların yanal deformasyon değerleri EN 1317-2 standardına göre değerlendirildiğinde dikme mesafesi 1.33 m olan otokorkulukta  $W \leq 1.3$  m çıkmış ve W4 olarak nitelendirilmiş, dikme mesafesi 2.00 m olan otokorkulukta  $W \leq 1.7$  m olarak çıkmış ve W5 nitelendirilmiştir. Bu ölçülen değerler ışığında otokorkulukların araçları yolda tutma kabiliyeti olarak karşılaştırdığımızda dikme mesafesi 1.33 m olan basit otokorkuluk diğer otokorkuluklara göre daha kabiliyetli olduğu ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak yapılan detaylı simülasyonlarla otokorkulukların EN 1317-2 standardına göre araçları yolda tutma kabiliyeti en yüksek olan dikme mesafesi 1.33 m olan basit otokorkuluk en düşük olan ise dikme mesafesi 4.00 m olan basit otokorkuluktur.

Bu tez çalışmasının devamı niteliğinde farklı dikme mesafeleri, farklı et kalınlığı ve malzemeden, farklı otokorkuluk tasarımlarının ve ilk yatırım maliyetinin araştırılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- AASHTO-AGC-ARTBA, 1996, Joint Committee. “**A Standardized Guide to Highway Barrier Hardware.**” American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- Atahan A.O.ve Cansız O.F., 2005, **Impact analysis of a vertical flared back bridge rail-to-guardrail transition structure using simulation**, Finite Elements in Analysis and Design 41 371–396, Elsevier Science Ltd.
- Atahan A.O.ve Cansız O.F., 2004, **Design and simulation of two wooden-post W-beam guardrails to eliminate wheel snagging**, Heavy Vehicle Systems, Int. J. of Vehicle Design, Vol. 11, No. 1, Inderscience Enterprises Ltd.
- Atahan A.O. ve Bonin G., 2006, **Numerical analysis of an H4a heavy containment level transition**, Int. J. Heavy Vehicle Systems, Vol. 13, No. 4, Inderscience Enterprises Ltd.
- Atahan A.O., 2009, **Effect of permanent jersey-shaped concrete barrier height on heavy vehicle post-impact stability**, Int. J. Heavy Vehicle Systems, Vol. 16, Nos. 1/2, Inderscience Enterprises Ltd.
- CANSIZ O.F., 2003, **Kuvvetli ahşap dikmelere sahip otokorkuluk sistemlerinde çarpışma deneyi davranışının sanal ortamda iyileştirilmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya.
- Coon B.A ve Reid J.D., 2006, **Reconstruction techniques for energy-absorbing guardrail end terminals**, Accident Analysis and Prevention 38, 1–13, Elsevier Ltd.
- Elitok K., 2006, **Taşıtların Devrilme Çarpmasının LS-DYNA Kullanılarak Eksplisit Dinamik Analizi**, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- European Committee for Standardization (1998) **European Standard EN1317-2, Road Restraint Systems**, Brussels.
- <http://www.lstc.com/lsp/>
- <http://www.muhendisiz.net>
- <http://dabircan.blogspot.com/2010/08/sonlu-elemanlar-analizi->
- <http://www.solidworks.com/tutorial>
- <http://turkey.autodesk.com/>
- Karataş F., 2010, **Ağır Vasıta Çarpmalarına Dayanıklı Geçiş Otokorkulukları: Bir Çelikten-Betona Geçiş Otokorkuluğu Tasarımı ve Analizi**, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya.
- Holdridge J.M., Shankar V.N., Ulfarsson G.F., 2005, **The crash severity impacts of fixed roadside objects**, Journal of Safety Research 36, 139 – 147, National Safety Council and Elsevier Ltd.
- Hallquist J.O., 1998, **LS DYNA user manuel**, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, California
- Gümrük R., 2006, **Şekil verme işleminin çarpma performansına etkilerinin sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Livermore Software Technology Corporation (LSTC), 2000, **A General Purpose Dynamic Finite Element Analysis Program, LS-DYNA Version 960 User’s Manual**, Livermore Software.
- Öztürk İ., Kaya N., 2008, **Otomobil ön tampon çarpışma analizi ve optimizasyonu**, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 13, Sayı 1



- Reid J.D., Kuipers B.D., Sicking D.L., Faller R.K., 2008, **Impact performance of W-beam guardrail installed at various flare rates**, International Journal of Impact Engineering, Elsevier Ltd.
- Reid J.D. ve Sicking D.L., 1998, **Design and simulation of a sequential kinking guardrail terminal**, Int. J. Impact Engng Vol. 21, No. 9, pp. 761Ð772, Elsevier Science Ltd.
- Tabiei A., Wu J., 2000, **Roadmap for crashworthiness finite element simulation of roadside safety structures**, Finite Elements in Analysis and Design 34, 145-157, Elsevier Science Ltd.

## TEŞEKKÜR

Çarpışma analizlerini ve sonlu elemanlar yöntemini birleştiren bir konuda çalışma imkânı sağlayan ve gösterdiği ilgiden dolayı danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet YAPICI' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması sırasında projenin gerek modellemesinde gerekse analizlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN' a teşekkür ederim.

Yrd. Doç. Dr. Cemal GENEŐ' in yürütücülüğünde 106M258 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında temin edilen 16 işlemcili paralel hesaplama bilgisayar sistemi kullanılmıştır. Bu bilgisayarın kullanımında Yrd. Doç. Dr. Cemal GENEŐ' e ayrıca teşekkür ederim.

Ayrıca, bugüne kadar hep yanımda olan sevdiklerime ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İskenderun'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladım. Üniversite öğrenimini Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde tamamladım. 2006 yılı Haziran döneminde Makine Mühendisi ünvanıyla mezun oldum. 2008 yılında, Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans programına başladım. Uzun bir süre özel sektörde görev yaptıktan sonra halen bir kamu kuruluşunda Makine Mühendisi olarak görev yapmaktayım.