

**TEK DİNGİLLİ TARIM ARABALARINDA
OLUŞABİLECEK HASARLARIN TASARIM
AŞAMASINDA SONLU ELEMANLAR ANALİZ
YÖNTEMİYLE SAPTANMASI**

Mustafa Cem ALDAĞ

Doktora Tezi

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cihangir SAĞLAM

2015

T.C.

NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**TEK DİNGİLLİ TARIM ARABALARINDA OLUŞABİLECEK
HASARLARIN TASARIM AŞAMASINDA SONLU ELEMANLAR
ANALİZ YÖNTEMİYLE SAPTANMASI**

Mustafa Cem ALDAĞ

BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Cihangir SAĞLAM

TEKİRDAĞ-2015

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Cihangir SAĞLAM danışmanlığında, Mustafa Cem ALDAĞ tarafından hazırlanan “Tek Dingilli Tarım Arabalarında Oluşabilecek Hasarların Tasarım Aşamasında Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemiyle Saptanması” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof.Dr. Bülent EKER

İmza :

Üye : Prof. Dr. İbrahim YALÇIN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Ali VARDAR

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Atilla BABACAN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cihangir SAĞLAM

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

TEK DİNGİLLİ TARIM ARABALARINDA OLUŞABİLECEK HASARLARIN TASARIM AŞAMASINDA SONLU ELEMANLAR ANALİZ YÖNTEMİYLE SAPTANMASI

Mustafa Cem ALDAĞ

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Cihangir SAĞLAM

Bu çalışmada örnek olarak alınan 3 tonluk sac kasalı tek dingilli tarım arabasında oluşabilecek hasarların tasarım aşamasında sonlu elemanlar analiz yöntemiyle saptanmaya çalışılmıştır. Bunun için Balıkesir, Çanakkale, Bursa, Eskişehir, Kocaeli, Sakarya, İzmir ve Manisa illerinde tarım arabası üreten imalatçılar ve çiftçiler ile birebir görüşülerek hasar meydana gelen aksamaları belirleyebilmek için anket çalışması yapılmıştır. Bu tanımlanmadaki temel hedef ömür faktörüne etkileyen değişkenlerin doğru olarak tanımlanması ve buna bağlı olarak hizmet süresinin geliştirilen yöntemle doğruya yakın bir şekilde elde edilmesidir. Anket sonuçları ile CAD model üzerinde tahmin ettiğimiz sonuçların örtüşmesi neticesinde, ANSYS programı ile rijid dinamik simülasyon modellemesi ve örnek olarak ele alınan tarım arabasının piston bağlantı noktalarının 3 ton yük altında yorulma analizi yapılmıştır. Sistemin genel durumundan maksimum gerilmelerin asıl yükü taşıyan piston bağlantı noktalarında olduğu görülmüş, bu bölgedeki sonuçlara bakıldığında statik durumdaki gerilmeler kullanılan malzemenin maksimum akma gerilmesini aşmadığı gözlemlenmiştir. Fakat yorulma analizinde elde edilen minimum çevrim sayılarına ulaşıldığında güvenlik katsayısının azaldığı ve yorulma hasarının başladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tarım Arabası, Sonlu Eleman Analiz, ANSYS, CAD

2015, 68 Sayfa

ABSTRACT

PhD. Thesis

THE DETERMINATION OF POSSIBLE FUTURE DAMAGE OCCURENCES IN SINGLE-AXLE TRAILERS WITH FINITE ELEMENT ANALYSIS IN DESIGNING PHASE

Mustafa Cem ALDAĞ

Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Main Science Division of Biosystem Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Cihangir SAĞLAM

In this research, efforts (in designing phase) were made to determine possible future damage occurrences in this exemplary 3 tons single-axle trailer with sheet metal damper by using the finite element analysis method. To do this, farmers residing in Balıkesir, Çanakkale, Bursa, Eskişehir, Kocaeli, Sakarya, İzmir and Manisa were contacted in person and surveyed to be able to determine the damaged parts of the trailers. This study explains the stages of determining an example agricultural machine's life with finite element method in steps. The main goal in this determining is to successfully identify the variables affecting the life factor and acquire the service duration as correct as possible thanks to the method we will be developing according to the identification process. With ANSYS, the rigid dynamic simulation modeling and fatigue analysis of the example agricultural machine's piston connection points were done under 3 tons of load. According to the overall status of the system, it is determined that the maximum stress is created at the piston connection points which carry the true load. Where the results of this particular area are concerned, the stress created statically did not exceed the maximum yield stress of the material used. However, when the minimum circuit numbers, which are obtained thanks to the fatigue test, are reached; it was concluded that the safety coefficient diminishes and fatigue damage starts.

Keywords: Farm Trailer, Finite Element Method, ANSYS, CAD

2015, 68 Pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
ŞEKİL DİZİNİ	v
KISALTMALAR	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminin Tarım Makinalarında Önemi	3
2. KAYNAK ÖZETLERİ	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. MATERYAL	27
3.1.1. TARIM ARABASININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ	27
3.1.2. Kullanılan Paket Programlar	30
3.1.2.1. CAD Programı	30
3.1.2.2. SPSS Paket Programı	31
3.2. YÖNTEM	32
3.2.1. Uygulama Verileri Dikkate Alınarak Yapılan Anket çalışmaları	32
3.2.2. ANSYS Analiz Programı Kullanılarak Sonlu Elemanlar Analizinin Gerçekleştirilmesi	32
3.2.3. Yorulma Analizi	38
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	40
4.1. Anket Sonuçları	40
4.2. ANSYS Analiz Sonuçları	50
5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	61
6. KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1.1 Hatalı Tasarım ve Uygun Olamayan Malzeme Kullanımından Kaynaklanan Hasarlar (Kayalı,1997)	6
Çizelge 1.1.2 Hatalı Üretim ve Fabrikasyon İşlemlerinden Kaynaklanan Hatalar (Kayalı,1997)	7
Çizelge 1.1.3 Servis Koşullarında Malzemenin Özelliklerini Yitirmesinden Kaynaklanan Hasarlar (Kayalı,1997)	8
Çizelge 1.1.4 Tane içi (transgranüler) ve taneler arası (intergranüler) kırılma sebepleri (Kayalı,1997)	8
Çizelge 3.1.1 Tarım Arabasının Fonksiyonel Teknik Özellikleri (Dilmaç ve Ark., 1995)	28
Çizelge 4.1.1 İmalatçılar Anketi Güvenirlilik Analizi	41
Çizelge 4.1.2 İmalatçılar Anketi Güvenirlilik Analizi	42
Çizelge 4.1.3 Son Kullanıcı (Çiftçi) Anketi Güvenirlilik Analizi	43
Çizelge 4.1.4 Römork Kapasite Üzerinde Yükleme Dağılımı	44
Çizelge 4.1.5 Tarım Arabası Üretim Malzemesi Tercihi	44
Çizelge 4.1.6 Tarım Arabası Sahiplerinin Ekipmanı 3. Şahıslarla Paylaşma Dağılımı	44
Çizelge 4.1.7 Ortalama Römork Yaşı Dağılımı	45
Çizelge 4.1.8 Yeni Ekipman Seçiminde Dikkat Edilen Kriterler	45
Çizelge 4.1.9 Römork Kullanım Dağılımı	46
Çizelge 4.1.10 Tarım Arabası Park Etme Yeri Dağılımı	46
Çizelge 4.1.11 Hasarların Tamir Ettirme Dağılımı	47
Çizelge 4.1.12 Tarım Arabasında Hasarın Meydana Geliş Şekli	47
Çizelge 4.1.13 En çok hasar gören organların dağılımı	47
Çizelge 4.1.14 Tarım Arabasında Yapılan Değişiklikler	48
Çizelge 4.1.15 Tarım Arabasında İlave Kasa Uzantısı Kullanımı ve Malzeme Seçimi	48
Çizelge 4.1.16 Tarım Arabası Tekerlerinde Hasarla Karşılaşılma Dağılımı	48
Çizelge 4.1.17 Tarım Arabası Tekerinde Oluşan Teker Hasarları	49
Çizelge 4.2.1 Rijid dinamik hareket simülasyonu sonucu hesaplanan kuvvetler	50

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 3.1.1.1 3 Tonluk Tarım Arabasının Teknik Resmi ve Gerçek Görüntüsü	27
Şekil 3.2.2.1 3 Tonluk Tarım Arabasının CAD Çizimi.....	33
Şekil 3.2.2.2 Sayısal hesaplama için geliştirilmiş sayısal model.....	36
Şekil 3.2.2.3 X Kabuk (shell) ve Katı (solid) modelleri.....	37
Şekil 3.2.3.1 Malzemeye ait yorulma çevrim diyagramı.....	39
Şekil 3.2.3.2 Tam değişken sabit frekanslı yükleme	39
Şekil 4.2.1 Rijid Dinamik Analiz Sonuçları	50
Şekil 4.2.2 Toplam yer değiştirme.....	51
Şekil 4.2.3 Şasede meydana gelen toplam yer değiştirme.....	51
Şekil 4.2.4 Piston üst bağlantı noktasında meydana gelen gerilme	52
Şekil 4.2.5 Piston üst bağlantı noktası için tekrar sayısı	53
Şekil 4.2.6 Piston üst bağlantı noktası hasar	53
Şekil 4.2.7 Piston üst bağlantı noktası 25292 tekrardaki güvenlik katsayısı.....	54
Şekil 4.2.8 Piston üst bağlantı noktası iki eksenlilik	54
Şekil 4.2.9 Piston alt bağlantı noktasında meydana gelen gerilme	55
Şekil 4.2.10 Şase arka bağlantı noktalarında meydana gelen gerilme değeri.....	55
Şekil 4.2.11 Piston alt bağlantı noktası için tekrar sayısı	56
Şekil 4.2.12 Piston alt bağlantı noktası 197000 tekrardaki hasar	56
Şekil 4.2.13 Piston alt bağlantı noktası 197290 tekrardaki güvenlik katsayısı	57
Şekil 4.2.14 Piston alt bağlantı noktası iki eksenlilik.....	58
Şekil 4.2.15 Piston alt bağlantı noktası yorulma hassasiyeti.....	59
Şekil 4.2.16 Piston üst bağlantı noktası yorulma hassasiyeti	60

KISALTMALAR

3D	: 3 Boyutlu
A.İ.T.M.Y.	: Araç İmal Tadil ve Montaj Yönetmeliği
ANYS	: Paket Analiz Programı
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAE	: Bilgisayar Destekli Mühendislik
EKKSEY	: En Küçük Kareler Sonlu Eleman Yöntemi
FEM	: Sonlu Elemanlar Analizi
HCF	: Yüksek Çevrimli Yorulma
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
IGES	: CAD/CAM Dosya Uzantısı Standartı
LCF	: Düşük Çevrimli Yorulma
MESH	: Sonlu Elemanlar Ağı
MIG	: Metal Asal Gaz Kaynak Tekniği
PID	: Geri Besleme Denetleyici Yöntemi
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
TÇBM	: Tamburlu Çayır Biçme Makinesi
TIG	: Metal Aktif Gaz Kaynak Tekniği

ÖNSÖZ

Bu çalışmada desteklerini esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Cihangir SAĞLAM ve özverili çalışmaları arasında zaman ayırarak konumun gelişmesini sağlayan, konuyla ilgili özellikle sanayi konusunda tezin yönlendirilmesini yardımcı olan Prof. Dr. Bülent EKER'e teşekkür ederim. Destekleri ve varlıklarıyla her zaman güç veren aileme, bilgileriyle tezin yönlendirilmesi konusunda yardımcı olan Biyosistem Mühendisliği Bölümü Öğretim Elemanlarına, Namık Kemal Üniversitesi ve Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına, anket çalışmalarında yardımcı olan firmalara ve çalışanlarına da teşekkürü bir borç bilirim.

Kasım 2015

Mustafa Cem ALDAĞ
Ziraat Yüksek Mühendisi

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesine paralel tüm sektörlerde yeni uygulamalara yer verilerek verimlilik artışı sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu açıdan yeni teknolojiler uygulama alanına girmektedir. Bu teknolojiler içinde gerek malzemenin gerekse malzeme kümelerinin oluşturduğu yapıların belli bir ekonomik süreç içinde karşılaşılabileceği olaylara yanıtlarının hangi yönde olacağı önemli bir konu olmaktadır. Bu düşünce tarım alet ve makinaları sektörü içinde geçerli hale gelmiştir. Bu sektör gerek çalışma koşulları gerekse uygulayıcıların koşulları nedeniyle özellik içermektedir. Bu özellik kullanılan alet ve makinaların ömür faktörünü doğrudan etkilemektedir. Ömür konusu gelince ilk akla gelen husus bir olguya dayanarak gelecekte bu ele alınan nesnenin ne kadar süre hizmet edebileceğinin tanımlanmasıdır. Bu tanımlama günümüzde en çabuk sonuçlar içinde sonlu elemanlar analizi ile bir başka boyuta taşınmıştır.

İsminden de anlaşılacağı üzere imal edilecek nesnenin tasarımını sonlu noktalarla ifade etmekten söz ettiğimizde, doğada mevcut olan bütün maddelerin sonsuz noktadan oluştuğu kabul edilir. Böylece tasarımı yapılacak tarım makinesinin bir sınırlamaya tabi tutularak prototipinin çıkarılması gerekiyor. Bu noktada sonlu elemanlar analizinden faydalanarak sonsuz noktadan oluşan tarım makinesini, istenen sınırlamalarla sonlu hale getirebilmekteyiz. Analizin ilk kullanıldığı zamanlarda bütün işlemlerin elle yapılması nedeniyle 10 ile 100 arasında elemanlarla yapılırken bilgisayarların gelişmesiyle birlikte bu sayı 10 milyona kadar çıkmıştır. Bu noktada bilinmesi gereken iki önemli nosyonumuz var; düğüm noktası ve eleman. Düğüm noktaları veya diğer adıyla node, yöntemi kullanarak sonsuz noktadan indirgediğimiz noktaları ifade etmektedir. Elemanlar ise bu noktaların birleşiminden oluşan dizayn parçaları anlamına gelmektedir. Kısaca tasarlanacak tarım makinası, düğümlerle birbirine bağlanmış elemanlara ayrılarak analiz edilir. Tarım makinası, ne kadar çok elemana ayrılırsa sonuçların gerçekçiliğini o derece arttırmış oluruz.

Bir tarım makinesi tasarlanırken, üretimden önce tasarımın kontrol edilmesi gerekir. Bu kontroller, makinenin gerekli şartları sağlayıp sağlayamadığı ya da tepe limitlerini belirleme amaçlı olabilir. Örneğin, bir makine değil de bir bahçe merdiveni tasarladığınızı ele alalım. Bu merdivenin ne kadar ağırlığa dayandığını bilmek, sizin tasarımınız için kilit değerdir. Bu değere uygun, merdivenin malzemesini ve boyutlarını belirlememiz gerekir.

Konvansiyonel yöntemde, seri üretime başlamadan önce prototipler üretilip, bu prototipler üstünde testler yapılabilir. Konvansiyonel yöntem, sanayi devriminin başlangıcından bugüne değin bütün üreticilerin uyguladığı bir yöntemdir. İster basit bir tasarım olan bahçe merdiveni, ister kompleks olan yolcu aracı olsun, mutlaka prototipleri üretilir ve gerekli testler yapılır.

Başlangıcı 1942 yılına kadar uzanan Sonlu Elemanlar Metodu, bilgisayar ortamında tasarımınıza dilediğiniz senaryoyu uygulayarak test etmenize imkân sağlamaktadır. Bunun için ilk önce, tarım makinesi tasarımı bilgisayarda 3 boyutlu olarak çizilmelidir.

Hiç şüphesiz, dünyadaki herhangi bir nesnede sonsuz nokta bulunmaktadır. Bu metot ile tarım makinesi tasarımındaki sonsuz noktayı sonlu adete indirgenir ve meshleme olarak adlandırılır. Bir tarım arabasındaki sonsuz noktayı, geometrik şeklini bozmayacak bir şekilde sonlu noktayla temsil etmek mümkündür. Bu indirgenen noktalar düğüm noktası veya node olarak adlandırılır. Düğüm noktaları birleştirilerek 3, 2 veya 1 boyutlu şekiller oluşturulur, bunlar da eleman veya element olarak adlandırılır.

Böylelikle tarım makinesi tasarımının sonlu elemanlar modeli elde edilmiş olur. Bu modele, gerekli parametreleri girip istenen testi bilgisayarda çözümlenmek mümkündür. Mesela tezimizin konusu olan tarım arabasını bir boyutlu (çizgi şeklinde) elemanlarla modelleyip, kullandığınız malzemeyi modele girdikten sonra; tarım arabasının hangi yükler altında kırılabileceği ve bu işlemin nerede olacağı analiz edebilirsiniz.

Bunu reel hayatta gerçekleştirmek için, test başına tarım arabası üretmek zorundasınız. Bu da maliyet ve işçilik demektir. Oysaki bilgisayar ortamında hazırladığınız tek bir sonlu eleman modeliyle dilediğiniz kadar test yapmanız mümkündür. Üstelik ekstra bir ücret ödemenize gerek kalmaz. Tabii bir sonlu eleman modeli hazırlamanın da fiziksel olmasa bile bir maliyeti mutlaka olacaktır. Bir tarım arabasını, çeşitli malzemelerle, çeşitli açılarda test edip tasarlayabilir ve bu tasarımları bilgisayar ortamında geliştirebilirsiniz.

Belki bir bahçe merdiveni veya bir el çapası gibi basit bir alet veya makinede sonlu elemanlar metodunu kullanmak ekonomik ve pratik olmayabilir. Tarım makinesi, otomotiv sanayi, uçak/uzay sanayi, savunma sanayi, makine sanayi gibi karmaşık ve pahalı makinelerin imalatında kaçınılmaz olarak kullanılmaktadır. Bir tarım arabasının maliyetini ve bunun test maliyetini düşündüğünüzde, şüphesiz bu testi sanal ortamda yapmanın daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Bir tarım makinesi için birkaç çeşit analiz türü bulunmaktadır. Bunlar:

- **Dayanıklılık:** Makinenin tümünün veya bir bölümünün sağlamlığını kontrol eden analizler. Mesela tarım arabasının süspansiyon sisteminin hangi yüklemelerde nasıl tepki vereceği hesaplanır.
- **Güvenlik:** Yolcuların güvenliği ile ilgili analizler. Mesela traktör, belli bir hızda duvara çarparsa traktörün alacağı şekil ve bu sürede traktörün şekil değiştirme yörüngesi incelenir.
- **Yorulma:** Tarım arabasının parçalarının kabaca ömrü hesaplanır. Bu analizlerde çıkan zayıf bölgeler güçlendirilir.
- **Ses ve titreşim (NVH) :** Tarım arabasının kullanımı sırasında gelen titreşim ve sesleri öngörülen seviyelerde tutmak için yapılır. Mesela, operatörün kulağına gelen ses basıncı hesaplanabilir. (Bötke, 2012)

İşte her sektörde önemli bir uğraşı haline gelen bu konu tezimiz içinde ele alınmış, örnek olarak alınan bir tarım arabasının sonlu elemanlar analizi ile ömürlerinin saptanması aşamaları adım adım tanımlanmıştır. Bu tanımlanmadaki temel hedef ömür faktörüne etkileyen değişkenlerin doğru olarak tanımlanması ve buna bağlı olarak hizmet süresinin geliştireceğimiz yöntemle doğruya yakın bir şekilde elde edilmesidir.

1.1 Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminin Tarım Makinalarında Önemi

Doğada karşılaşılan her hadise fizik kanunları yardımıyla ve matematik diliyle anlaşılmaya çalışılmaktadır. Bu hadiselerin biyolojik, jeolojik veya mekanik olması durumu değiştirmez. Her hadiseyi kendine ait büyüklükler yardımıyla integral denklemler, cebirsel veya diferansiyel yardımıyla büyük oranda ifade etmek mümkün olabilmektedir. Uygulamada karşılaşılan problemler ne kadar kompleks olurlarsa olsunlar gereksinimlere yanıt verecek derecede modellenmeye çalışılmış ve örnekler vasıtasıyla insanların kullanımına sunulmuştur.

İnsanlar çevrelerinde cereyan eden hadiseleri veya karşılaştıkları problemleri çoğu zaman kolayca anlayıp doğrudan çözemezler. Bu nedenle kompleks bir problem, bilinen veya anlaşılması daha kolay alt problemlere bölünerek daha kavranabilir bir hale getirilir. Oluşturulan alt problemler çözülüp birleştirilerek ana problemin çözümü yapılabilir. Örneğin; gerilme analizi üzerinde çalışan mühendisler, gerilme problemini basit plak, kiriş, küre, silindir gibi geometrisi bilinen şekillerle sınırlarlar. Elde edilen sonuçlar genellikle problemin yaklaşık çözümüdür ve kimi zaman doğrudan kimi zaman da bir katsayı ile düzeltilerek kullanılabilir.

Mühendislik uygulamalarında problemlerin karmaşıklığı sebebiyle genellikle problemlerin tam çözümü yerine, kabul edilebilir seviyede bir yaklaşık çözüm tercih edilir. Öyle problemler vardır ki, tam çözüm imkânsız kabul edilerek yaklaşık çözüm tek yol olarak benimsenir.

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metodun üç temel niteliği vardır: İlk olarak, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit alt bölgelere ayırır. İkincisi her elemandaki, sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir. Üçüncü kabul ise, aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktadaki (düğüm noktaları) değerleri elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olmasıdır. Kullanılan yaklaşım fonksiyonları interpolasyon teorisinin genel kavramları kullanılarak polinomlardan seçilir. Seçilen polinomların derecesi ise çözülecek problemin tanım denkleminin derecesine ve çözüm yapılacak elemandaki düğüm sayısına bağlıdır.

Sürekli bir ortamda alan değişkenleri (gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık vs.) sonsuz sayıda farklı değere sahiptir. Eğer sürekli bir ortamın belirli bir bölgesinin de aynı şekilde sürekli ortam özelliği gösterdiği biliniyorsa, bu alt bölgede alan değişkenlerinin değişimi sonlu sayıda bilinmeyen olan bir fonksiyon ile tanımlanabilir.

Bilinmeyen sayısının az ya da çok olmasına göre seçilen fonksiyon lineer ya da yüksek mertebeden olabilir. Sürekli ortamın alt bölgeleri de aynı karakteristik özellikleri gösteren bölgeler olduğundan, bu bölgelere ait alan denklem takımları birleştirildiğinde bütün sistemi ifade eden denklem takımı elde edilir. Denklem takımının çözümü ile sürekli ortamdaki alan değişkenleri sayısal olarak elde edilir.

Sonlu elemanlar metodunun kullanılması ve bilgisayarların sanayiye girmesiyle, bugüne kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen bir çok makina elemanının (motor blokları, pistonlar vs.) kolayca incelenebilmesi, hatta çizim esnasında mukavemet analizlerinin kısa bir sürede yapılarak optimum dizaynın gerçekleştirilmesi mümkün olabilmektedir.

Sonlu elemanlar metodunu diğer nümerik metotlardan üstün kılan başlıca unsurlar şöyle sıralanabilir:

- a) Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir.
- b) Bir veya birden çok delik veya köşeleri olan bölgeler kolaylıkla incelenebilir.

- c) Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan cisimler incelenebilir.
- d) Sebep sonuç ilişkisine ait problemler, genel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Sonlu elemanlar metodunun bu özelliği problemlerin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.
- e) Sınır şartları kolayca uygulanabilir. (Topçu ve Taşgetiren, 1998)

Öte yandan üzerinde çalıştığım ana alan olan tarım makinaları, üretim sürecinde üretilecek ürünün her biri için prototip modeller üretilip testlerinin yapılması gerekmektedir. Üzerinde yapılacak her değişiklikte de bu testlerin tekrar edilmesi başarının anahtarı olarak ele alınır. Bu da yüksek maliyet ve işçilik gerektirebilen bir işlemdir. Oysa bilgisayar yardımıyla kullanılacak sonlu eleman yöntemiyle uzman personel ve yazılım maliyeti dışında ek ücret ödemedi defalarca ele aldığımız tarım makinası üzerinde test yapma imkânına sahip olmaktadır. Böylece rekabettin en önemli parçalarından olan maliyeti düşürerek rakiplerinize karşı avantaj sağlamış olursunuz.

Günümüzde tarım alet ve makinalarında yukarıda değinilen hususların ele alındığı konu aslında hasar analizinden başka bir şey değildir. Bu nedenle sonlu eleman analizinde amaç hasarın analizini gerçekleştirebilmeyi doğru ve etkin bir şekilde sağlamaktır.

Buna dayanılarak, çeşitli mühendislik yapılarını oluşturan sistemlerin, elemanların ve parçaların servise sunulmalarının daha başında veya servis süresince, fonksiyonlarını yitirerek iş görmez ve kullanılamaz hale gelmeleri, beklenen performansı sergileyememeleri veya kullanılmaya devam edilmelerinin tehlikeli durum oluşturması “hasar” olarak tanımlanır. Hasar nedenlerini ortaya çıkarmak amacıyla yapılan bilimsel inceleme ve araştırmalar ise “Hasar Analizi” olarak nitelendirilir.(Kayalı, 1997)

Mühendislik yapılarında karşılaşılan hasarlar;

- a) Hatalı tasarım veya uygun olmayan malzeme seçiminden (Çizelge 1.1.1),
- b) Hatalı üretim yönteminden (Çizelge 1.1.2)
- c) Servis koşullarının malzemeyi olumsuz yönde etkilemesinden (Çizelge 1.1.3)

kaynaklanmaktadır. Bu mekanizmalar tek başlarına hasar meydana getirebileceği gibi, hasar olaylarında genellikle birden fazla mekanizma hasara katkıda bulunmaktadır. Kırılma ile son bulan hasarlarda çatlak ilerlemesi, Çizelge 1.1.1’de de görülebileceği üzere tane içi (transgranüler) ve/veya taneler arası (intergranüler) yapısında olup, kırılma nedenleri Çizelge 1.1.4’de özetlenmektedir.

Çizelge 1.1.1 Hatalı Tasarım ve Uygun Olamayan Malzeme Kullanımından Kaynaklanan Hasarlar (Kayalı,1997)

Hasarlar	Malzemelerde Görülen Sonuçları
Sünek Hasar	Aşırı Elastik Veya Plastik Deformasyon, Yırtılma Veya Sünek Kırılma
Gevrek Kırılma	Gerilme Yoğunlaşmasına Neden Olan Kritik Boyuttaki Süreksizlik Ve Çatlaklar
Yorulma	Çevrimsel Yükleme, Çevrimsel Deformasyon, Isıl Çevrim, Yuvarlanmalı Sürtünme Aşınması, Kazımalı Aşınması
Yüksek Sıcaklık Hasarı	Sürünme, Oksitlenme, Lokal Ergime, Çarpılma
Gecikmeli Statik Yükleme Kırılması	Hidrojen Gevrekliği, Ortam Koşullarının Etkisiyle Yavaş Çatlak İlerlemesi
Aşırı Gerilme Yoğunlaşması İçeren Tasarım	Sert Köşeli, Karmaşık Şekilli Ve Çentikli Tasarım
Kompleks Bir Parçada Gerilme Analizinin Doğru Yapılmaması	
Tasarımın, Servis Koşullarında Ortaya Çıkabilecek Muhtemel Hasarlarla İlgili Malzeme Özellikleri Göz Önüne Alınmaksızın Sadece Çekme Deneyi İle Belirlenen Özelliklere Göre Yapılması	

Çizelge 1.1.2 Hatalı Üretim ve Fabrikasyon İşlemlerinden Kaynaklanan Hatalar
(Kayalı,1997)

Hasarlar	Malzemelerde Görülen Sonuçları
Kimyasal Bileşim Kusurları	Kalıntılar, Gevrekliğe Neden Olan Empüriteler, Yanlış Malzeme Seçimi
Döküm Hataları	Segregasyon, Porozite, Cüruf ve Metalik Olmayan Kalıntılar
Mekanik İşlem Hataları	Çatlaklar, Yüzey Kusurları, Katmerleşme, Aşırı Lokal Plastik Deformasyonu
Talaşlı İmalat Hataları	Yüzey Çizikleri, Yanma, Yırtılma, Çatlama, Gevrekleşme
Kaynak Hataları	Porozite, Kalıntılar, Yetersiz Ergime, Yetersiz Nüfuziyet, Yanma Olukları, Çatlaklar, Çarpılma
Isıl İşlem Hataları	Aşırı Isıtma, Yanma, Su Verme Çatlakları, Tane Büyümesi, Dekarbürizasyon, Çökelme
Yüzey Sertleştirme İşlemi Hataları	İntergranüler Karbürler, Yanlış Isıl Çevrim, Yumuşak İç Bölge
Yüzey İşlemi Hataları	Temizleme, Kaplama, Kimyasal Difüzyon, Hidrojen Gevrekliği
Montaj Kusurları	Parçaların Uyumsuz Monte Edilmesi, Montajın Temiz Koşullarda Yapılmaması Ve Sisteme Yabancı Madde Girmesi, Kalıntı Gerilme Oluşması, Parçaların Çizilmesi, Hasara Uğraması vb.
Anizotropik Yapıdan Kaynaklanan Kusurlar	Mekanik İşlem Uygulanan Parçalarda Deformasyona Dik Yönde Düşük Süneklik ve Tokluk

Çizelge 1.1.3 Servis Koşullarında Malzemenin Özelliklerini Yitirmesinden Kaynaklanan Hasarlar (Kayalı,1997)

Hasarlar	Malzemelerde Görülen Sonuçları
Aşınma	Yenme, Boyut Değişimi, Oyuklanma
Korozyon	Kimyasal Etki, Gerilmeli Korozyon, Korozyonlu Yorulma, Çinko Kaybı, Dökme Demirlerde Grafitleşme, Atmosferik Etki
Bakım veya Tamir Kusuru	Kaynak, Taşlama, Perçinleme, Delik Açma, Soğuk Düzeltme vb.
Yüksek Sıcaklıklarda Kimyasal, Sıvı Metal veya Kaplama İşlemi Etkileri	
Radyasyon Hasarı	Süreye, Sıcaklığa, Ortama ve Dozaja Bağlı
Kontrol Dışı Gelişen Koşullar	Anormal Çalışma Sıcaklığı, Aşırı Mekanik Titreşim, Darbe, Isıl Şok Gibi

Çizelge 1.1.4 Tane içi (transgranüler) ve taneler arası (intergranüler) kırılma sebepleri (Kayalı,1997)

Transgranüler Kırılma		İntergranüler Kırılma	
Gevrek	Sünek	Gevrek	Sünek
Klivaj kırılma (HMK kristal yapıları çeliklerde genellikle sünek-gevrek geçiş sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda ve/veya çok az veya hiç plastik deformasyon olmaksızın kırılma. Kırık yüzey parlak, düzgün ve kristalin görünümde)	Kayma kırılması (Aşırı deformasyon sonucu oluşan kırılma. Kırık yüzey mat, pürüzlü ve lifi görünümde)	Hidrojen gevrekliği (Tane sınırlarında Mikro çatlak izleri ve porozitelerin mevcudiyeti) Empürite elementlerinin tane sınırı segregasyonu (Çeliklerde fosfor ve arsenik segregasyonu) İkinci fazın tane sınırlarına çökmesi (Yüksek karbonlu çeliklerin tane sınırlarında sementit filmi bulunması) Gerilmeli korozyon (Uygulanan veya kalıntı gerilme ile korozif ortamın birlikte etkisi)	Sürünme kopması (Mutlak ergime sıcaklığının ½'sinden yüksek sıcaklıklarda) Tanelerin kesişme noktalarında oluşan boşlukların birleşmesi (Yüksek sıcaklıklarda tanelerin tane sınırları boyunca kayması ile taneler arası boşluk oluşumu)

Bu çizelgeler aracılığıyla tarım makinalarında oluşan hasarlar belirlenerek ele alınan makine ya da alet üzerinde mekanizmaları ortaya çıkartılmaya çalışılır. Daha sonra belirlenen mekanizma yine belirli bir servis koşulu için ki bu tarım alet ve makinalarında yapılan tarımsal faaliyettir bu tür hasarın tekrar oluşmasına engel olacak tedbirleri almak ve böylece üretim, malzeme, iş ve hatta can kaybını minimuma indirmek için;

- a) Ön inceleme,
- b) Olay öncesi bilgilerin toplanması,
- c) Laboratuvar incelemeleri,
- d) Verilerin analizi ve hasarların değerlendirilmesi,

aşamalarını kapsayacak şekilde hasar analizi planlaması yapılır.

Bu planlamalarda verilerin analizi ve hasarların değerlendirilmesi birçok tekrür içerir. Bunun sonucunda oluşan veri yoğunluğu, değerlendirmelerin yapılmasındaki zorluk kaynağını oluşturmaktadır. Bu nedenle elde edilen veriler sonlu elamanlar analizi ile yapılarak daha hızlı sonuçlandırılabilir.

Tarım makinelerinde en çok kullanılan makine olma hüviyetini taşıyan tarım arabaları baz alınarak, sonlu elamanlar analizi ile yukarıda bahsedilen aşamalar tezimizde ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Buradaki temel dayanak uygulamadan kaynaklanan verileri ele alıp, oluşan sorunları kısa zamanda çözebilmeyi sağlayabilecek bir yöntemi uygulanabilirliği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu durum modern uygulamalar içinde söz edilen çalışmaların daha verimli ve isteğe doğru yanıt verebilecek özellikte tarım makinalarının yapımına olanak sağlayacaktır. Bilgisayar teknolojisindeki son yıllardaki gelişmeler imalata başlamadan önce yapısal sorunları çözümlenmesine olanak tanınması, sonlu elemanlar analizi yöntemi ile diğer mühendislik alanlarında olduğu gibi tarım makineleri alanında da kullanılarak imalat ve uygulamaya dayalı verilerin kısa bir süre içerisinde değerlendirilerek, özellikle zor koşul olan tarımsal alanlara uygun tarım alet ve makinelerini ortaya çıkması bu yöntem sayesinde daha etkin olacağı düşünülmüştür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tezimizin esas konusu sonlu elemanlar analizi yardımı ile tarım makinalarında imalatın yönlendirilmesidir. İkinci amacımız bu yönlendirme ışığında ele alınan tarım arabaları imalatında yapılabiliğini ortaya çıkarmaktır. Sonlu elemanlar kullanılarak yapılan birçok çalışma olmasına rağmen tarım makinaları imalatı ile ilgili son derece az literatür bilgisine ulaşılmıştır. Bu nedenle literatür bildirişlerinde diğer benzer nitelikli kullanım alanları verilerek konunun açıklanması tercih edilmiştir. Aşağıda bu çalışmalardan bazıları özet bilgi halinde sunulmuştur.

Beneš ve Kruis (2015)'in yapmış oldukları çalışmada, sonlu eleman karışımlarını etkili bir biçimde 3D olarak göstermek amaçlı kullanılan bir grafik editörü programının projeye katılış detaylarını açıklamışlardır. Bu programın amacı giriş yapan veriyi sonlu eleman metodu (kısmi denklemler tarafından ortaya atılmış bilimsel ve mühendislik problemleri için geniş çapta bilinen bir metottur) için hazırlamaktır. Günümüzde ise, bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile hesaplamalarda gün geçtikçe daha fazla arzu edilen "doğruluk" daha iyi ve detaylı sonlu eleman gruplarının kullanımını gerektirir. Fakat çok sayıda eleman ve devresi bulunan gruplar genelde yaygın olarak kullanılan programlarda görsellik oluşturmada problemler yaşayabilirler çünkü bu programlar yavaş, geç tepki veren ve bazı işlemler için tamamen kullanılamaz olan programlardır. Bu yüzden, etkili veri yapıları ve algoritmalar düzenlenmiş. Bunların uygulanmasıyla birlikte çok büyük sonlu eleman gruplarının bile hızlı bir şekilde çalışması sağlandığını bildirmişlerdir.

Karpat ve ark. (2014)'in yaptıkları çalışmada traktör, tarımsal mekanizasyon düzeyinin en önemli göstergelerinden birisidir. Üzerine bağlanan çeşitli tarım makinalarını tahrik ederek zorlu koşullarda tarımsal faaliyetlerin gerçekleşmesine imkân sağlamaktadır. Traktör motorundan üretilen güç, hem kuyruk mili (PTO) vasıtasıyla tarım aletine aktarılır, hem de şanzıman yardımıyla traktörün hareketinde kullanılır. Bu aktarma sistemindeki en önemli eleman traktör debriyajıdır. Güç aktarımı esnasında debriyaj elemanları üzerinde oluşan gerilmeler hasarlara neden olmaktadır. Arazi koşullarında traktör üzerinden veri toplanarak işlenmesi planlanan bir projenin ilk çıktıkları olan çalışmada debriyaj parmak mekanizmasında gücün emniyetli bir şekilde aktarılması esnasında ortaya çıkan gerilme değerleri incelenmiştir. Farklı sac kalınlıklarındaki parmakların sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiş ve ortaya çıkan gerilmeler değerlendirilmiştir

Kutlak ve Uygur (2014)'un yaptıkları çalışmaya göre, taşıtlarda kullanılan direksiyon ve süspansiyon sistemleri, taşıtların sürüş güvenliğini sağlayan elemanlardır. Spesifik bir aracın süspansiyon sistemine ait salıncak parçasının, önceden belirlenmiş ve test ortamında etki eden yükler altındaki mukavemet, yorulma ve ömür analizini yapmak için ömür test cihazındaki koşullar ANSYS ortamında modellenerek, ANSYS ve nCode programları kullanılarak çözdürülmüştür. Bu çalışma kapsamında, direksiyon ve süspansiyon sisteminin elemanını olan Peugeot Partner 635/6 Sac Salıncak parçasının mukavemet, yorulma ve ömür analizi yapılmıştır.

Tolun ve Eren (2014)'in yapmış oldukları çalışmada, karayolu taşıtları, ülkemizde ve dünyada en yaygın kullanılan taşımacılık şeklidir. Araçlarda kullanılan yakıt maliyetlerinin fazla olması; karayolu taşımacılığında, özellikle de uluslararası taşımacılıkta yarı römork tipi araçların kullanımını çoğaltmıştır. Bu araçlar ağır yükler ve düzensiz bir takım yol şartlarında kullanıldığı için belirli bir işletme süresi sonunda yapısal bazı problemler görülmektedir. Ortaya çıkan problemler genellikle kritik bölgelerde görülen gerilmeler ve bu gerilmelerin neden olabileceği hasarlardır. Bu nedenle şasi bağlantılarındaki gerilme ve deformasyon değerlerinin araştırılması ve oluşan problemlerin tasarım aşamasında giderilmesi önemlidir.

Yapmış oldukları bu çalışmada; düşük şase aralığı altında statik yükler altında, sonlu elemanlar yöntemine göre yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda en yüksek gerilme değerlerinin ve deformasyonun; düşük şase aralığında geçiş bölgesinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Ahmadzadehrishehri (2013), yapmış olduğu Modifications on A-F Hardening Rule to Assess Ratcheting Response of Materials and Its Interaction with Fatigue Damage under Uniaxial Stress Cycles (Maddelerin Yorulma Bozunumunu Ölçmek İçin A-F Sertleşme Kuralına Yapılan Modifikasyonlar ve Bunun Tek Eksenli Gerilim Çevirimi Altında Yorulma Hasarı ile Etkileşimi) çalışmasında çevrimsel gerilim uygulamaları uygulanan materyallerde yorulma bozunumu deformasyonu, git gide artan üç farklı aşamada gerçekleştiğinden bahsetmiştir. Materyallerin trifazik yorulma bozunumunu iki ayrı bakış açısından incelemiş ve ilk olarak mekanikle alakalı bakış açısını, gerilim çevrimi üstünde yorulma bozunumu aşamalarının materyallerin seviyesi, ömrü, mekanik özellikleri ve yumuşama/sertleşme yanıtı gibi mekanik parametrelere bağlı olduğu yaklaşım olarak tanımlamıştır. Formülleştirilen mekanik yaklaşım tek eksenli gerilim çevirimi altında bulunan çeşitli çelik ve bakır alaşımların trifaz aşamalarında yorulma bozunumu gerilimini ölçmek için geliştirildiğinden söz etmiştir. Önerilen formüldeki değerlere dayandırılan beklenen yorulma bozunumu

gerilimi değerleri ve deney sırasında elde edilen değerler arasında iyi bir bağ olduğunun görüldüğünü bildirmiştir.

İkinci olarak kinematik sertleşme kuralı yaklaşımından söz etmiş (bu kuraldaki sertleşme kuralın yüzey gerilimi mekanizması ve eşdeğer plastik modülüs tarafından karakterize edilmiştir) tutarlılık koşuluna dayanarak hesap yapmıştır. Materyallerin yorulma bozunumu çeşitli devirli plastik modeller kullanılarak çeşitli yükleme şartları altında test edilmiştir. Armstrong-Frederic (A-F) sertleşme kuralı bu tezde yapılan yorulma bozunumu analizinin belkemiği niteliğindedir. Bunun sebebi ise daha önceden bu alanda geliştirilmiş sertleşme kurallarına kıyasla daha kolay anlaşılabilir olması ve daha az katsayı bulundurmasıdır. Gerilim çevirimini üzerindeki trifazik yorulma bozunumu gerilimini tahmin edebilmek için A-F sertleşme kuralı yeni bir dizi faktör eklenerek daha da geliştirilmiştir ve bu faktörler sertleşme kuralının ilerleyen aşamalardan geçen yorulma bozunumu değerlerini kontrol ve kalibre edebilme yeteneğini geliştirdiğinden bahsetmiştir.

Modifiye edilmiş sertleşme formülü, yorulma bozunumu esnasında gerilim çevrimleri üzerinde oluşan gerilim-gerginlik histerezis döngülerini ve I. II. ve III. aşamadaki yorulma bozunumu değerlerini kontrol etmek için sertleşme kuralının faktörlerini değişik bir şekilde kullanıyor. Bu faktörler uygulanan gerilim seviyelerine göre belirleniyor ve kalibre ediliyor. çeşitli çevrimsel gerilim seviyelerinde ve tek eksenli yükleme koşulları altındaki materyallerin gerilim değeri faktörlerini belirlemek için kalibrasyon şemaları inşa edildi. Üzerinde değişiklik yapılmış sertleşme kuralına dayandırılarak tahmin edilen yorulma bozunumu gerilimi değerleri tek eksenli yükleme koşulları altında aşama I ve II' de deneysel olarak elde edilen yorulma bozunumu değerleriyle makbul miktarda eşleşmiştir.

Değiştirilmiş sertleşme kuralının çok aşamalı tek eksenli yükleme spektrumları altındaki materyallerin yorulma bozunumu deformasyonunu ölçebilme kapasitesi de test edildi. Artarda yapılan yüklemeler kendinden önce gelen, çoklu yükleme kondisyonları altında yapılan yükleme aşamalarından büyük bir oranda etkilenmiştir. Yüksek-alçak gerilim aşamaları için olan yorulma bozunumu gerilimleri değiştirilen sertleşme kuralı tarafından başarılı bir şekilde tahmin edilebilmiştir.

Yüksek-alçak yükleme sıralamaları daha sonraki yükleme aşamalarında değerinden fazla değer verilmiş ters yorulma bozunumu gerilimine sebep olmuştur. Bu tezde bahsedilen değiştirilmiş sertleşme kuralı, yorulma bozunumunu ve onun çelik alaşımlardaki gerilim çevrimi üzerindeki yorulma bozunumu gerilimi ve yorulma hasarıyla eş zamanlı olan etkileşimini tahmin etmek için kullanılmıştır. Yorulma bozunumu ve yorulma hasarı arasındaki etkileşim maddelerin ortalama gerilimin etkileri, gerilim büyüklüğü ve

konjonktürel yumuşama/sertleşmesi gibi mekaniktik parametrelere dayandırılmıştır. Yorulma bozunumunun çelik örneklerde bıraktığı ayrıntılı hasar uygulanan maksimum çevrimsel gerilim ve gerilim çevrimi sonucunda yorulma bozunumu geriliminin averajı baz alınarak, yorulma hasarı ise Xia-Ellyin ve Smith-Watson-Topper'ın daha öncesinde geliştirmiş oldukları enerjiye dayalı modeller baz alınarak analiz edilmiştir. Çeşitli oranlardaki ortalama gerilim/konjoktürel gerilim büyüklüğü oranlarında yorulma ve yorulma bozunumu tarafından bırakılan hasar bir ölçme faktörü aracılığıyla kalibre edilmiştir (σ_m/σ_a). Değişik ortalama gerilim ve gerilim büyüklüklerinde önerilen algoritmaya dayandırılan Hesaplanan ömürler deneyler ile uyuşan sonuçlar gösterdiğini bildirmiştir.

Çelik(2013)'in bildirdiğine göre, tarım alet ve makine tasarımlarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesi süreçlerinde kullanılabilecek, ileri düzey bilgisayar destekli tasarım (CAD: Computer Aided Design), mühendislik (CAE: Computer Aided Engineering) ve yapısal optimizasyon tekniklerini referans alan bir bilgisayar destekli yapısal optimizasyon uygulama algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, traktör kuyruk milinden hareketli bir hasat makinesi olan Tamburlu Çayır Biçme Makinesi (TÇBM)'ne ait bazı yapısal elemanlar üzerinde, farklı optimizasyon tekniklerinin (Topoloji, şekil ve boyut optimizasyonu) örneklendirilmesi ile uygulamaya konulmuştur. Uygulama örneklerinde takip edilen adımlar, özellikle sektör çalışanlarının ve araştırmacıların farklı tarım alet ve makinelerinin yapısal optimizasyonu süreçlerinde de kullanabilmesi amacıyla ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Ele alınan TÇBM uygulama örneğinde, makinenin tasarım amacına uygun ve tasarım amacını zorlayıcı gerçek yüklenme koşullarını temsil eden bir toplam çalışma çevrimi senaryosu kurulmuştur. Bu senaryo referans alınarak, makineye ait bazı yapısal elemanlar ve bazı hareket iletim elemanlarının çalışma koşullarındaki deformasyon davranışı ve gerilme dağılımları incelenmiştir. Bunun için CAE destekli (Sayısal), teorik (Analitik) ve bir dizi fiziksel testlere bağlı deneysel gerilme analizleri gerçekleştirilmiştir. CAE analizlerinde ileri düzey üç boyutlu katı modelleme teknikleri ve Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM: Finite Elements Method), Fiziksel testlerde ise TÇBM'nin askı, taşıma ve hasat pozisyonundaki gerilme analizleri için Strain Gauge (Gerilme Ölçme) yöntemi kullanılmıştır. Fiziksel testler neticesinde elemanlar üzerindeki gerilme dağılımları deneysel olarak elde edilmiştir. Buna göre makinenin en yüksek derecede yüklendiği çalışma koşulunun tarla içi yolda, yol pozisyonu taşıma koşulunda olduğu, ancak bazı yapısal elemanlar için ortaya çıkan gerilme değerlerinin bu yüksek çalışma koşullarında dahi malzeme hasar kriterinin oldukça altında kaldığı tespit edilmiştir.

Bununla birlikte CAE destekli analizler, teorik ve fiziksel testler ile doğrulanarak, CAE destekli analizlerin gerçek çalışma koşullarını tatmin edici derecede karşıladığı ve seçilen TÇBM elemanları için yapısal optimizasyon çalışmalarının yapılabilirliği ortaya konulmuştur.

Takip eden aşamada fiziksel yüklenmenin en yüksek olduğu çalışma koşulu referans alınarak, geliştirilen algoritmaya ait uygulama adımları takip edilmiş ve farklı optimizasyon teknikleri farklı yapısal elemanlar üzerinde örneklendirilmiştir. Gerçekleştirilen topoloji, şekil ve boyut optimizasyonu uygulama örneklerinde, ele alınan yapısal elemanların optimizasyon öncesi ağırlıklarına göre sırasıyla % 24.24, % 18.00 ve % 40.64 oranında malzeme azaltılması gerçekleştirilmiş ve optimize edilen geometrilere ait imalat çıktıları hazırlanmıştır.

Erdem (2013)'te yaptığı çalışmada, hibrit, kalın kesitli ve cıvata bağlantısı olan tabakalı bir yapının hasar tahmini için üç boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturmuştur. Simülasyon sonuçları test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Simülasyon aşaması iki adımdan oluşmaktadır. Öncelikle, gerçekçi bir modelleme için 3 boyutlu bir model, lineer olmayan geometri ve temas göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Kompozit tabakalı yapı modeli 3 boyutlu tabakalı elemanlarla yapılmıştır. Kalınlık boyunca farklı sayıda eleman kullanmanın etkisi incelenmiştir. Hasarın tahmini simülasyon çalışmasının ikinci kısmıdır. İlerleyen hasar yöntemiyle ve bu yöntem kullanılmadan hesaplamalar yapılmış ve hasarın optimum simülasyonu için ilerleyen hasar yönteminin etkisi tartışılmıştır. Kalın kompozit yapının hasar tahmininde kullanılması için en uygun hasar kriteri, çeşitli kriterler değerlendirilerek belirlenmiştir. Testlerin ve sonlu eleman analizlerinin sonuçları karşılaştırılarak, modelin ve seçilen hasar kriterinin geçerliliği tartışılmıştır.

Kaplan (2013)'nın bildirdiğine göre, sahte-rijit-cisim metodu ile link boyları belirlenen esnek mekanizmalar için sonlu elemanlar yöntemi ile bir analiz prosedürü geliştirilmiştir. Mekanizmaların hareketi sonucu esnek parçalar üzerinde oluşan reaksiyon kuvvetleri, reaksiyon momentleri, gerilmeler ve deformasyonlar tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile esnek mekanizma analizi pek bilinmeyen bir konudur.

Bu çalışmada esnek mekanizmaların sonlu elemanlar yöntemi ile çözülebilmesine yönelik bir yöntem oluşturulmaya çalışılmıştır. Rijit cisim ve esnek cisim kontak tanımları, sınır koşulları ve lineer olmayan çözümleme metodu üzerinde durulmuştur.

Mekanizmalar ANSYS Workbench 14.0 versiyonu ile 3 boyutlu olarak lineer olmayan hesaplama yöntemi kullanılarak çözdürülmüştür. Uygulanan yöntemin doğruluğu,

sahte-rijit-cisim metodu ve test sonuçları ile karşılaştırılarak kontrol edilmiştir. Sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Onan (2013) farklı geometrilere sahip boruların dış yüzeyindeki hareketli sıvı filminden olan ısı ve kütle transferi deneysel ve sayısal olarak incelediği çalışmasında, zorlanmış taşınım şartlarında farklı hava hızlarında, besleme suyu sıcaklıklarında ve akış debilerinde yivli borunun testleri yapılmıştır. Aynı şekilde, farklı hava hızlarında, besleme suyu sıcaklıklarında ve akış debilerinde referans düz borunun testleri yapılmıştır.

Sayısal görüntü işleme metotları araştırılmış ve deney düzeneğinde yapılan görüntülemeler üzerinde bu metotlar uygulanarak ıslak yüzey alan yüzdesi belirlenmiştir. MATLAB programı görüntü işleme araç çubuğu kullanılarak farklı geometriye sahip borular için görüntü işleme analizi yapılarak, sonuçlarına yer verilmiştir. Her iki tip boru için ısı ve kütle transferinin çözümlenmesinin ardından zorlanmış taşınım şartlarında, yivli boruda sıvı-gaz ara yüzeyindeki Nu sayısı için $Nu_g = a (Pr)^{1/3} (Re_a)^b (Re_s)^c$ korelasyonu önerilmiştir.

Burgulu trapez yivli ve referans düz borunun test hücresi içerisinde, Ansys Fluent hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ile sayısal analizi yapılmıştır. Üç boyutlu modeli oluşturulan boruların, çözüm ağı ICEM CFD ile yapılmıştır. Yiv ve boru yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları zorlanmış taşınım koşulları için belirlenmiştir. Yüzey ısı transfer katsayısı, Nu değerleri ve yüzey sıcaklıkları sayısal analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Eşzamanlı ısı ve kütle transferinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olan deneylerin belirsizlik analizi yapılarak sistemin hatasız yüzde sonuçları verilmiştir.

Özdemir (2013)'un yapmış olduğu çalışmaya göre, motor biyel kolu üretim aşamaları derinlemesine incelenmiştir. Motor biyel kolu üretiminde kullanılan temel malzemelerden biri olan perlitik yapıdaki C70S6 malzemesiyle kırma deneyleri, ve bunun akabinde kırma deneylerinde elde edilen veriler baz alınarak ANSYS ve LS-DYNA programlarıyla bilgisayar destekli analiz yapılmıştır. Deneyler yapılırken elde edilen biyel kolu kırma parametreleri hem motor biyel kolu optimizasyon çalışmalarında, hem de motor biyel kollarının sonlu elemanlar yöntemiyle analizi sürecinde kullanılmıştır. Perlitik yapıdaki C70S6 biyel kolu, başlangıç kırma deneylerinde elde edilen veriler ışığında çeşitli ısıl işlemlere tabii tutulmuştur. Malzemelerin ısıl işlemler yoluyla elde edilen yeni mekanik özellikleri (perlit-ferrit, martenzit ve temperlenmiş martenzit) ANSYS programına tekrar tanımlanmış ve yeniden bilgisayar destekli analize tabi tutularak deneysel sonuçlarla simülasyon analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Kırma deneyleri hem gerçek ortamda hem de simülasyon

ortamında motor biyel kolu başlık kısmına açılan kırılma başlangıç çentiğinin yardımıyla başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemiyle analiz işleminde ANSYS Workbench13 ve LS-DYNA R7.4 v5358 (Ls Prepost) programları kullanılmıştır. Analizler neticesinde motor biyel kolu için en uygun malzeme bileşimi tespit edilmiş, bu bulgu sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan testlerle desteklenmiştir. Bu çalışma, motor biyel kollarının optimizasyonunun sonlu elemanlar yöntemiyle derinlemesine incelenmesi ve elde edilen bulguların karşılaştırılması noktasında, geçmişte yapılan çalışmalardan ayrılmaktadır.

Güç (2012)'e göre, kompozit plaklarda oluşan hasar başlangıcını incelemektir. Çalışmada Maksimum Gerilme Hasar Kriteri, Azzi Tsai-Hill Hasar Teorisi, Tsai-Hill Hasar Teorisi, Tsai-Wu Hasar Teorisi kullanılmıştır. 1m boyuna ve enine sahip, malzemesi Hexcel G986/RTM6 olan kompozitin kalınlığını ve tabaka sayısını değiştirerek, kompozite uygulanan yük miktarı değiştirilerek ve kompozitin ortasına delik açılarak, klasik kabuk model ve sürekli kabuk model kullanarak, kompozit açıları değiştirilerek analizler yapılmıştır. Abaqus programında ilk analiz klasik kabuk model ile yapılmıştır. Analizde 4 tabakalı oryantasyon açıları [0/90/90/0] olan dört tarafından ankastre plakaya 1000 N/m² 'lik sabit basınç yükü uygulanmış, 4 ayrı hasar kriteri için elde edilen değerlerden uygulanan yükün hasar oluşturmadığı görülmüştür. Yük miktarı arttırılarak hasar başlangıcının olduğu yük miktarı bulunmuştur. Daha sonra analiz oryantasyon açıları [0/45/45/0] olan kompozit için tekrarlanmıştır. Hasar başlangıcının en alt tabakada olduğu ve oryantasyon açısına göre değiştiği görülmüştür. İkinci analizde aynı parça tek tabakalı kompozit olarak tasarlanmış üzerine 1000 N/m² 'lik sabit basınç yükü uygulanmıştır.

Kompozitin kalınlığı 0,33 mm arttırılarak klasik kabuk model ve sürekli kabuk model ile analiz yapılmış, Analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Her iki modelleme için çıkan sonuçlar birbirine yakındır. Üçüncü analiz tek tabakalı kalınlığı 0,33 mm arttırılan kompozitin ortasına 20 cm çapında delik açılmış ve kompozitin üzerine 1000 N/m² 'lik sabit basınç yükü uygulanarak klasik kabuk model ve sürekli kabuk model ile yapılmıştır. Delik çevresinde ve mesnetlerde hasar oluşmuştur. Delik çapı arttırıldığında yükün etkidiği alan küçüldüğü için parça daha geç hasara uğramıştır. Delik kenarlara yaklaştıkça parça daha çabuk hasara uğramıştır.

Göktolga (2012)'nin yapmış olduğu çalışmada en küçük kareler sonlu eleman yöntemi (EKKSEY) tabanlı bir eşlenik ısı transferi çözücüsü geliştirilmiştir. Bahsedilen çözücüde, akış ve ısı transferi hesaplamaları ayrı ayrı yapılmıştır. Bu, akışkan çözücü kısmında hesaplanan hız değerlerinin, ısı transferi çözücüsündeki enerji denkleminin taşınım

kısmında kullanılması manasına gelmektedir. Akışkan çözümlerinde sıkıştırılmayan Navier-Stokes denklemleri kullanılmaktadır. Eşlenik ısı transferi çözümlerinde, hem katı hem de sıvı kısımlar için ısı transferinin hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada, eşlenik davranış sıkı bağlı bir şekilde modellenmiştir. Yani, enerji denklemi sıvı ve katı kısımlar için aynı anda çözülmüş ve sıvı-katı ara yüzü için ayrıca sınır koşulları tanımlanmamıştır. Geliştirilen çözücünün düzgün bir şekilde çalıştığından emin olabilmek için; kapakla hareket ettirilen kavite akışı problemi, geriye dönük basamak akışı problemi ve ısıyla hareket ettirilen kavite akışı probleminin üç boyutta benzetimleri yapılmış ve bulgular literatürde bulunan verilerle örtüşmüştür.

Çözücüyü daha da doğrulamak için, eşlenik ısı transferi içeren iki boyutlu Couette akışı ve ısı ile hareket ettirilen kavite akışı modellenmiştir. Son olarak, bir mikro kanal eşlenik ısı transferi probleminin benzetimi yapılmıştır. Mikro kanal probleminin akış çözümünde kütle korunumu sağlanamamıştır. EKKSEY'in özellikle yüksek açıklık oranına sahip kanallarda kütle korunumuyla alakalı problemleri olduğu bilindiğinden, bu tarz bir problemle karşılaşmak zaten beklenmektedir. Belirtilen problemi aşmak için, süreklilik denkleminin ağırlığı, bir katsayıyla çarpılarak artırılmıştır. Ağırlık artırma mikro kanal problemi için işe yararmış ve kütle korunumu sıkıntısı giderilmiştir. Mikro kanal problemi için elde edilen sonuçlar, daha önce yapılan deneysel ve sayısal çalışmalarla örtüşmektedir. Çözücüyle yapılan ilk hesaplamalarda; iki boyutta dört yüzlü ve üçgen elemanlar, üç boyutta ise altı yüzlü ve dört yüzlü (üçgen piramit) elemanlar kullanılmıştır. Fakat iki boyutta sadece dört yüzlü, üç boyutta ise sadece altı yüzlü elemanlar tatmin edici sonuçlar verdiği için, yukarıda bahsedilen tüm benzetimlerde bu elemanlar kullanılmıştır.

Bircan (2011)'in bildirdiğine göre, malzemelerde oluşan hasarın incelenip önceden saptanabilmesi, hasarları önleyebilmek için çok büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmanın amacı bazı makina parçalarında meydana gelen erken hasarın önlenmesi ve kalitenin artırılması için yapılabilecek uygun tasarım düzeltmelerini yapmaktır. Çalışmanın ilk bölümünde hasar konusunda genel bilgi verilmiştir. Daha sonra malzemelerin genel özelliklerinden ve kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Bu çalışmada 3 farklı malzeme seçilip, bu malzemelere sertlik deneyleri uygulanmış, parçaların kırık yüzeyleri metalografik incelemeye tabi tutulmuştur. İşlemler sonucunda malzemelerin yapılarında ve özelliklerinde oluşan değişimler incelenmiştir. Mekanik yapı incelenmiş, mikro yapının analizi yapılmıştır. Sertlik deneyinin sonuçları malzemelerin orijinal sertliklerinin azaldığını göstermiştir. Bu durum aynı zamanda kullanılan civata ve somunların dayanımlarının düştüğü anlamına gelmektedir. Mekanik deney numunelerinin kırık yüzey incelemeleri yapılarak mekanik

deney sonuçları ile metalografik incelemeden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilmiştir. Cıvata tarafından taşınan yükün aşırı olduğu anlaşılmıştır.

Çetinkaya (2011)'nın yapmış olduğu çalışmada bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımıyla, klasik (teğetsel akışlı) bir biçerdöverin 3 Boyutlu (3D) modellenmesi ve modellenen biçerdöverin ayırma düzeneğinde yer alan sarsak mekanizmasının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile kinematik analizinin yapılması amaçlanmıştır. Biçerdöverin 3D modellenmesi, Class ve John Deere marka biçerdöverlerin değişik modellerinden yararlanılarak, unsur (parametrik) tabanlı Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) programlarından Solid Works'te yapılmıştır. Harmanlamada önemli bir yere sahip olan sarsak mekanizmasının SEY ile kinematik analizi, Solid Works içinde bulunan COSMOSMotion yazılımında yapılarak, sarsak ve sarsak krank milinin optimizasyonunda SEY'in avantajları ve sunduğu olanaklar incelenmiştir.

Orçen (2011), yaptığı çalışmada iki paralel pim bağlantılı cam fiber takviyeli dokuma epoksi kompozit levhalarda, farklı çevre şartlarının, hasar tipleri, maksimum hasar yükleri ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu amaçla çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada kuru haldeki levhalar çekme testine tabi tutulmuştur. İkinci aşamada 3 ay ve üçüncü aşamada ise 6 ay süre ile deniz suyunda bekletilen levhalar çekme testine tabi tutularak kuru haldeki levha sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Değişik geometrik parametrelerdeki kompozit levhalar, hem deneysel hem de sayısal olarak incelenmiştir. Bu parametreler; levha üst kısmından delik merkezine olan mesafenin delik çapına oranı (E/D), iki delik merkezi arasındaki mesafenin delik çapına oranı (K/D), delik merkezinden levhanın uzun kenarı arasındaki mesafenin delik çapına oranı (M/D) ve levhanın genişliğinin delik çapına oranı (W/D) olarak belirlenmiştir. Çalışmada, E/D oranı; 2, 3, 4, 5, K/D oranı; 2, 3, 4, M/D oranı; 1, 2, 3, 4 ve W/D oranı; 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 olarak belirlenmiştir. Sayısal çalışma, ANSYS 11.0 programında ilerlemeli hasar analizi metodu kullanılarak yapılmıştır. İlerlemeli hasar analizinde hasar kriteri olarak Tsai-Wu kriteri kullanılmış, hasar tipleri ve hasar yükleri elde edilmiştir. Deniz suyu etkisindeki cam fiber takviyeli dokuma epoksi kompozit levhalarda, kuru haldeki kompozit levhalara nazaran, hasar yük değerlerinin ve mekanik özelliklerinin düştüğü, dolayısıyla mukavemetinin azaldığı yönünde bir etkinin olduğu ortaya çıkmıştır. Deneysel ve sayısal çalışmada elde edilen sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğunu bildirmiştir.

Demirci ve Gökçe (2010)'un bildirdiğine göre, otomotiv sektöründe, gövde imalatı ve diğer uygulamalarda, sac parça montajı için kullanılan bağlama aparatlarının imalatı günümüz rekabet ortamında gerekli hız, kalite ve ucuzluğu gerçekleştirebilecek kabiliyetini

ancak işlerin planlı bir otomasyonu ve standardizasyonu ile sağlamaktadır. Bağlama aparatlarında, parçanın geometrik kısıtlamalarını tayin eden destek yerlerinin sayısı ve konumları, parçanın deforme olmuş şeklini ve ölçüsel değerlere etkisini belirlemektedir. Bu çalışmada; birbirine kaynak yöntemi ile birleştirilen sac parçaların bağlama aparatları üzerinde kendi ağırlığından dolayı oluşan sehimin minimum olduğu optimum destek noktalarının bulunarak kaynak operasyonları için hata oranının en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla “Bağlama Noktası Optimizasyon Arayüzü” geliştirilerek sisteme entegre edilmiştir. Otomotiv sektöründe kullanılan bir sac parçanın kaynak ile birleştirme işlemi için gerekli bağlama noktaları incelenmiş, kullanılacak bağlama aparatlarının parça üzerindeki en ideal konum geliştirilen makro yardımı ile bulunmuştur. Geliştirilen makronun endüstriyel uygulanabilirliği ortaya konulmuş endüstride maliyet ve zaman kazancı gibi olumlu etkiler sağladığı gözlenmiştir.

Şener (2010) yapmış olduğu çalışmasında, bilgisayar yardımlı analiz çalışmalarının laboratuvar testlerine bir alternatif olarak kullanılabilceği, buna bağlı olarak hem maliyette etkinlik hem de pazara özgü ürünlerin daha iyi geliştirilmesinin sağlanabileceğini açıklamıştır. Sonlu elemanlar analizlerinin özellikle kritik kuvvetlerin ve gerilme aralıklarına iyi bir şekilde tanımlanması koşulunda tasarlanan projelerin geliştirilmesinde önemli bir kazanım olacağından bahsetmiştir. Günümüzde otomobil üreticilerinin kullandıkları önemli dayanım test metodlarının 4 adet olduğunu bunların, sonlu elemanlar analizine dayanan yorulma analizleri, test rigleri, test bankoları (laboratuvar tek parça testleri) ve hızlandırılmış test yolları olduğundan bahsederek sonlu elemanlar analizine dayalı yorulma analizleri çok kısa zamanda ve en uygun bir tasarım çözümünü sağlayacağını açıklamıştır. Aynı araştırmacı ürün ve süreç hataları sonlu elemanlar analizi ile tamamen temsil edilmeyişi nedeniyle bu yöntemin uygulanmasında kabul edilebilir bazı sınır değerleri ortaya konulmasının çalışılmasını önermiştir. Ele alınan tüm metotlarda temel düşüncenin araca gelen yükün oluşturduğu spektrumlar ile korelasyonlar kurarak başarıya ulaşılabileceğini ileri sürmüştür. Yine aynı araştırmacı bir aracın ya da parçanın dayanım testleri normal koşullar altında yüklerin oluşturduğu spektrumlara benzeştirilerek sonucun tüm elemanları kapsamı sağlanabileceğini açıklamıştır. Özellikle araçların çalışma koşulları kullanım amaçları taşıdığı yük miktarları coğrafi ve iklimsel koşullar aracın servis hayatı açısından önemli bir parametre olduğunu ortaya koymuştur.

Bunun yanında araç kullanımı sürücü davranışları gibi yapısal davranışlar aracın dinamik özelliklerine ve tasarımını etkileyen kritik faktörler olarak belirterek çalışılan yol kalitesi ve tipide analiz işlemlerinde ele alınabilecek konular olduğunu tanımlamıştır. Bunu

da ortaya çıkartırken yapılacak bir anket çalışmasının kullanıcılar ile araç arasındaki ilgiyi ve bilgiyi çıkarmada önemli bir yöntem olduğunu da belirtmiştir. Böylece çok değişik parametrelerden gelen bilgilerin analizinde sonlu elemanlar yöntemini başarılı sonuçlar verebileceği bir örnek üzerinde ortaya konulmuştur.

Yurt ve Pınarbaşı (2010)'a göre, üretimde kullanılan yumuşak çelik, genellikle asidik çözeltiler ile temas halinde olmakta ve korozyonu önemli hale gelmektedir. Metallerin korozyonu endüstrinin en önemli sorunları arasındadır. Korozyon metallerin ömrünü azaltıp, maddi kayıplara neden olmakla birlikte insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkilemektedir. Korozyona uğrayan metallerin üzerinde biriken korozyon ürünlerinin ve istenmeyen maddelerin yüzeyden uzaklaştırılması, metalin işlenmesi ya da metalin yeni süreçlere hazırlanması amacıyla metal yüzeyi sülfürik asit veya hidroklorik asit ile temizlenmektedir.

Ancak asitle temizleme sürecinde metal korozyona uğrayacağından, asidik ortam korozyonu önem kazanmaktadır. Demir ve çeliğin asidik korozyonunu kontrol etmek için özellikle yapılarında azot, oksijen, kükürt ya da konjuge bir sistem içeren çok sayıda organik bileşik inhibitör olarak kullanılmakta olduğunu bildirir.

Çıplak (2009) su absorpsiyonu ve deniz suyu korozyonunun [0/0/90/45]s yönlenme açılı ve fiberglas takviyeli epoksi kompozitin hasar tepkisi üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırmıştır. Cıvatalı kompozit bağlantı tabakalarının hasar tepkisi için iki geometrik parametre seçilmiştir. Bu parametreler sırasıyla 1'den 5'e kadar ve 2'den 5'e kadar değişen, delik merkezinin tabaka kenarına olan uzaklığının delik çapına oranı (E/D) ve tabaka kalınlığının delik çapına oranı (W/D) şeklindedir. İlk olarak suda bekletilmemiş durumdaki numuneler, daha sonra ise suda 200 gün boyunca bekletilen numune grubu test edildi. Pimli ve cıvatalı bağlantılar için deneyler bazı parametreleri kullanarak yapıldı. Numuneler 0, 3 Nm ve 6 Nm değerindeki önmomentler altında test edildi. Deneyler numuneler üzerinde hasar oluşuncaya kadar sürdürüldü. Deneyler sonunda çıkartılan yatak mukavemeti uzama diyagramları üzerinden yorumlar yapılmıştır. Deneylerin sonucu olarak elde edilen hasar yüklerini ve çeşitlerini içeren tablolar ile suda bekletilen ve bekletilmeyen ön moment uygulanmış numuneler için hasar karşılaştırmalarını gösteren tablolar verilmiştir. Sonuçlar ön moment uygulanmış kompozit numunelerin deniz suyunda bekletilmesinin hasar yükü üzerinde dikkate değer bir düşüğe neden olduğunu bildirmiştir.

Çelik ve ark. (2007)'nin yaptıkları çalışmada kulaklı pulluklara alternatif olarak kullanılan çizel, kısmen derin toprak işleme için kullanılan dar uç demirli bir alettir. Birincil toprak işleme aletlerinden olan çizeller toprağı keskin kenarları boyunca keserek ve toprağı devirmeden işleyen alet grubunda yer alır. Bu çalışmada 7 ayaklı bir çizel aletinin yapısal ve

işlevsel elemanlarının toprak işleme sırasındaki çalışma koşulları 3 boyutlu simüle edilmiştir. Modelleme sonrası bir sonlu elemanlar yöntemi paket yazılımı ile çizelin çalışması sırasında yapısında meydana gelen gerilme dağılımları incelenmiştir. Simülasyon sonrası çizel aleti, kullanılan malzemenin akma mukavemeti değeri baz alınarak değerlendirilmiş ve hasara uğramadan çalışabildiği gösterilmiştir. Kısmi bölgelerde ve civata-somun bağlantılarında gerilme yığılmalarına rastlanmıştır. Bu bölgeler gerçekleştirilen simülasyon ile ayrı ayrı gösterilmiş ve özellikle gövde ve diğer bağlantı-destek elemanlarının çalışma emniyet katsayıları hesaplanmıştır.

Dağ ve ark. (2007)'nin bildirdiğine göre, Hidromek Ltd. şirketi tarafından imal edilmekte olan HMK220LC-2model 22 ton kapasiteli bir ekskavatör bomunun parametrik üç boyutlu sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Bu model kullanılarak ekskavatör bomu üzerinde istenilen noktalarda eşdeğer Von Mises gerilme dağılımı hesaplanabilmektedir. Ekskavatör kepçesinin sabit büyüklükte çevrimsel yüke maruz kaldığı varsayılarak değişik noktalar için yorulma hesaplamaları yapılmıştır. Dayanıklılık sınırı ve Goodman yaklaşımının kullanıldığı yorulma hesaplarında farklı tasarım geometrileri için yorulma ömründe meydana gelen farklılıklar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar farklı dayanıklılık sınırı kullanılarak yapılan hesapların ömür hesaplamalarında birbirine yakın yüzde artışlar verdiğini ortaya koymaktadır.

Kalkan (2007)'nin yaptığı araştırmaya göre, günümüz toplumunun en büyük problemlerinden biri trafikteki güvensizliktir. Bu bakımdan insan hayatının güvenliği için, taşıtlar trafiğe çıkmadan önce çeşitli statik ve dinamik deneylere tabi tutulmaktadır. Ulusal ve uluslararası standartlara göre, herhangi bir kaza durumunda sürücü güvenliğinin sağlanması amacıyla tarım traktörlerinde güvenlik kabinleri veya güvenlik çemberlerinin kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. Ayrıca traktör güvenlik kabinleri, sağlamlıklarının test edilmesi amacıyla standartlarla belirlenen çeşitli statik yükleme ve dinamik çarpma testlerine tabi tutulmaktadır. Ancak bu test koşullarının oluşturulması için gerekli olan donanım, personel ve ilk örnek maliyetleri çok yüksektir ve çok uzun zaman almaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bu testler bilgisayar ortamında yapılabilmektedir. Bu yöntem kullanılarak güvenlik kabinin her hangi bir uzvunun yük altındaki davranışı ve bu davranışın tüm model üzerine etkisi kolaylıkla incelenebilmektedir. Bu sayede yatırım maliyetleri ve uygun kabinin tasarımı için harcanan zaman oldukça kısalmaktadır. TS.3416 ve A.İ.T.M.Y.' de açıklanan statik yükleme deneyinin uygulama yöntemi ve geçerlilik koşulları açıklanarak, bu deneylerin

benzetiminde kullanılacak model için ki Eğimli ve Çok Noktalı Kısmi Doğrusal malzeme eğrileri oluşturuldu. Deneysel yük-esneme eğrisi bilinen güvenlik kabini taşıyıcı sisteminin ANSYS sonlu elemanlar modeli oluşturularak sınır koşulları tanımlandı ve kabin taşıyıcı sisteminin nonlineer malzeme ve geometrik analizleri 8 aşamada yapıldı. Kabin tarafından yutulan enerji ve plastik deformasyon miktarları baz alındığında sonuçlar birbirine oldukça uyumlu çıktığını bildirmiştir.

Karalı (2007)'nin yaptığı çalışmada, derin sac çekme işlemi esnasında kalıp boşluğu miktarının çekilen kap üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Problemin çözümü için MSC-Marc sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Çözüm zamanını kısaltmak amacıyla sonlu eleman modeli aksenal simetrik olarak oluşturulmuştur. Malzeme olarak Al 99,5 sac malzeme tercih edilmiştir. Kalıp boşluğu için ön görülen değer aralığı alt ve üst sınırlardan bir miktar genişletilerek yeni bir değer aralığı tanımlanmıştır. Bu aralığa uygun beş farklı değer belirlenmiştir. Bu boşluklar altında yapılan çekmelerle elde edilen kapların cidar kalınlık dağılımındaki değişimler incelenmiştir. Kalıp boşluğuna bağlı olarak kap tabanında ve köşe bölgelerinde incelemelerin olduğu gözlenmiştir. İmal edilecek kaptan beklenen özelliklere bağlı olarak kalıp boşluğu seçiminin önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Derin çekilerek üretilen kaplarda cidar incelmesinin minimum ve düzgün bir şekilde olması arzu edilen bir sonuçtur. Bu sonucu etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Bu çalışmada, zimba ile matris arasındaki boşluğun kap tabanında ve köşe bölgelerdeki incelmeye olan etkileri araştırılmıştır. Çekme boşluğu sac kalınlığına ve malzemesine bağlı olarak değişmekle beraber sabit bir büyüklüğe sahip değildir. Bu büyüklük bir aralığı temsil etmektedir. Dolayısıyla yapılan bu çalışma göstermektedir ki bu aralıktaki değerlerden en büyüğünün seçilmesi cidar kalınlık dağılımı açısından en iyi sonucu verdiğini bildirmiştir.

Malgaca ve Karagülle (2007)'nin yaptıkları çalışmaya göre 3 serbestlik dereceli kütle yay sisteminin aktif titreşim kontrolü üç farklı yöntemle ele alınmıştır. İlk yöntemde, hareket denklemleri elde edildikten sonra analitik çözüm Laplace yöntemi ile bulunur. İkinci yöntemde, ANSYS programında sonlu elemanlar modeli ve aktif titreşim kontrolü gerçekleştirilir. Son yöntemde ise, çözüm entegre yaklaşım ile yapılır; ANSYS de kurulan modelin sonlu eleman matrisleri elde edildikten sonra kontrol kısmı MATLAB/Simulink programında gerçekleştirilir. Sonlu eleman matrisleri ANSYS programında bir çıktı dosyasına yazdırılır. Harwell-Boeing biçimindeki bu matrisler MATLAB programı ile kütle ve rijitlik matrislerine dönüştürülür. Sistemin dinamik denklemleri durum değişkenleri biçiminde düzenlenir. Aktif kontrolün etkisini göstermek amacıyla sönüm ihmal edilir. Performans kriteri olarak uç noktadaki son kütlelerin yer değiştirmesinin dinamik cevabı PID kontrolün

değişik katsayıları için değerlendirilir. Zeminden adım giridiyle zorlanan sistem için, üç yöntemin sonuçları birbirleriyle karşılaştırılır. Bu çalışmada dikkate alınan üç yöntemin yaklaşık olarak aynı sonuçları verdiği gözlemlenir. ANSYS gibi sonlu elemanlar programlarına kontrol algoritmaları entegre edilerek aktif titreşim kontrolü gerçekleştirilir. Entegre analiz ile elde edilen sonuçlar, karmaşık sistemlerin sonlu eleman modelleriyle kontrol algoritmalarının bütünleştirilebileceğini ortaya çıkarır.

Erkoç ve ark. (2006)'nın yaptıkları çalışmada, endüstride en çok kullanılan makina elemanlarından biri olan millerdeki gerilmelerin bilgisayar yardımıyla incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için örnek bir mil ele alınmış ve önce bilgisayar destekli tasarım (CAD) programında katı modellemesi yapılmış ve daha sonra sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi yapılmıştır. Ele alınan milde kama ile bağlanmış bir dişli çarkın bulunduğu ve milin giriş kısmında da bir kama yuvası bulunduğu göz önüne alınmıştır. CAD yazılımı ile katı modellemesi yapılmış olan mile ait dosya, IGES ara yüzü kullanılarak sonlu elemanlar programına transfer edilmiştir. Sonlu elemanlara bölündükten sonra malzeme özellikleri, sınır şartları ve yükler verilerek problem çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar analitik yolla elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Mil geometrisinin basit olmamasından dolayı, milin tamamındaki gerilmelerin analitik yollarla bulunması mümkün değildir. Fakat sonlu elemanlar metodu sayesinde milin tamamındaki gerilmeler kolaylıkla bulunmuştur. Mil üzerinde σ_x gerilmelerinin dağılımı incelendiğinde dişli çarktan sonraki kademenin alt bölgesinde maksimum çekme gerilmesi, üst bölgesinde maksimum basma gerilmesi ortaya çıkmıştır. Maksimum eğilme momentinin dişlinin bulunduğu yerde olmasına rağmen maksimum eğilme gerilmesi fatura bölgesinde ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi de milin çapındaki düşmedir. Dişli çark kama bölgesinde σ_x gerilmelerinin dağılımı incelendiğinde kama yuvası yan yüzeyine uygulanan basıncın yuva dibinin köşesinde gerilme konsantrasyonuna sebep olduğu ve bölgenin alt kısmında çekme gerilmeleri üst kısmında basma gerilmeleri ortaya çıktığı görülmektedir. Mil üzerinde eşdeğer gerilmelerin dağılımı incelendiğinde maksimum eşdeğer gerilmelerin dişli çark kama bölgesinde kama yuvası yan yüzeyi ile yuva tabanının kesiştiği kısımda meydana geldiği görülmüştür. Bu husus en zayıf bölgenin burası olduğunu gösterir. Milin dişli çark kama bölgesinin altındaki ve üstündeki eşdeğer gerilmelerin de birbirine hemen hemen eşit değerlerde olduğu görülmüştür. Gerilme analizi yapılan mile ait boyuna kesitte de görüleceği gibi y-eksenine paralel yönde maksimum çökme, iki yatağın arasında meydana gelmiş ve milin giriş ucu pozitif yer değiştirme yapmıştır. Dişli çark kama bölgesinde milin üstündeki σ_x basma gerilmelerinin, milin altındaki σ_x çekme gerilmelerine değer olarak hemen hemen eşit

olduğu görülmüştür. Üzerinde tambur-kasnak, kasnak ve dişli çark, aynı veya farklı tipte dişli çarklar ve kasnaklar vb. gibi makina elemanları bulunan her türlü tasarlanmış miller için genişletilebilir. Ayrıca kompozit malzemedan üretilmiş bir mil için de yapılabileceğini bildirmişlerdir.

Karamangil (2007) yapmış olduğu çalışmada, bir taşıtın tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli noktalardan biri tasarımı yapılan taşıt elemanlarının kendilerinden beklenen mukavemet değerlerini sağlaması olduğunu belirterek etki eden kuvvet ve momentler altında çözüme denge denklemleri yardımıyla ulaşılmamasının zorluğundan bahsetmiş, sonlu elemanlar analizinin kolay ve bilgisayar destekli tasarım sistemleriyle entegre edilebilmesi nedeniyle özellikle otomotiv sanayinde yoğun bir şekilde kullanıldığını açıklamıştır. Böylece taşıtları oluşturan parçaları test işlemine tabi tutulmadan yorulma analizlerinin yapılabileceği ve bunun sonunda daha imal edilmeden yorulma davranışlarının izlenebileceğini açıklamıştır.

Taşıtlarda en büyük sorunun tekrarlı yüklemelere maruz kalan malzemelere mukavemeti azalttığı, sonuçta malzemenin akma ve kopma mukavemetlerinin çok altındaki gerilme değerlerinde bile kırılma ile karşı karşıya kalılabileceğini belirtmiştir. Özellikle yorulmaya dayalı kırılmanın malzemenin neresinde ve ne zaman oluşacağını kestirmenin mümkün olmayacağı ve özellikle bu konuda yeni çalışmalara halen devam ettiğini ortaya koyarak yorulma faktörünün karmaşık bir olay olduğunu çözümünde yeni metotların kullanılmasının yararlı olduğunu belirtmiştir. Geliştirilen ürünlerin imal edilip teste tabi tutulması hem zaman kaybına neden olmakta hem de ürün maliyetleri arttırmakta oluşu nedeniyle günümüz tasarım yaklaşımında sonlu elemanlar yöntemiyle yorulma analizi yapılarak parçanın optimum şeklinin belirlenmesi ve fiziksel test ile en son aşamada işlem yapılarak zamandan ve ürün maliyetinde tasarrufa gidilebileceğini açıklamıştır.

Zeytinoğlu (2006)'nun yaptığı araştırmaya göre, çekilerek çalıştırılan tarım alet ve makinalarının ve tarım arabalarının çeşitli tarım faaliyetlerinde sıkça kullanıldığı bilinmektedir. Bu tip araçların çeki oku ucunda yer alan çeki halkası, bir pim vasıtasıyla Traktör gibi çekici bir aracın çeki demirine bağlanmaktadır. Böyle bir bağlantıda traktörün hareket etmesi ve fren yapmasıyla çeki halkası dinamik olarak çekiye ve basıya zorlanmaktadır. Zorlanmalara ilişkin gerilmelerin belirlenmesi amacıyla, araştırmada 3.5 tonluk tek dingilli bir tarım arabasının çeki halkası incelemeye alınmıştır. İlk olarak çeki halkasının çeki kuvveti ve düşey reaksiyon kuvveti belirlenmiş daha sonra bu kuvvetlere göre çekme ve kesme gerilmeleri belirlenerek mukavemet analizi yapılmıştır.

Fetvacı ve İmrak (2004)'ın dişdibi gerilmelerinin analizi için düz dişli çarkların sonlu eleman modellenmesi çalışmasında modellemede sağladığı kolaylıklar sonlu elemanlar metodunun dişli çarkların gerilme analizinde kullanılmasını sağlamışlar ve düz dişli çarkların temas simülasyonu için sonlu elemanlar modellenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında bilgi verilmiştir. Kavramadaki dişli çiftindeki dişdibi gerilmelerinin incelenmesine imkan sağlayan dişli çark sonlu eleman modeli elde edilmiş ve literatürdeki modellerle karşılaştırılmıştır.

Sonlu elemanlar metodu modellemede sağladığı kolaylıklar ile dişli çarkların gerilme analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, diş dibi gerilmesinin analizi için sonlu eleman modellenmesinde takip edilen adımlar açıklanmış, geliştirilen model analiz edilmiş ve diğer araştırmacıların modelleri ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen model ile Tobe ve arkadaşlarının kullandığı modelle elde edilen neticelerle % 0.296 – 0.591 arasında değişen, Chabert ve arkadaşlarının kullandığı modelle elde edilen neticelerle % 0.611 – 2.951 arasında değişen farklar oluşmuştur. Tobe ve arkadaşlarının kullandığı eleman tipinden kaynaklanan fark kabul edilebilir miktardadır. Chabert ve arkadaşlarının kullandığı eleman tipinin formülasyonu ve sınır şartlarının çözüm bölgesine yakınlığı belirgin farklara neden olmuştur. Bu şekilde tek bir dişten oluşan model yerine, kök bölgesinin tamamen izole edildiği modellerin kullanılması yerinde olacaktır sonucuna ulaşmışlardır.

Özer ve Özbay (2004)'ın bildirdiğine göre, düzlemsel yüklenmiş ortasında dairesel delik bulunan kompozit plakta oluşan elastik gerilmelerin analizi yapılmıştır. Dairesel deliği bulunan plak, bir kenarı boyunca uniform aksenal düzlemsel yüklemeye maruz bırakılmış ve deliğin kenarları boyunca herhangi bir yükleme uygulanmamıştır. Alüminyum metal-matriksli kompozit plak, simetrik ve antisimetrik olarak farklı oryantasyon açılarında takviyelendirilmiş 4 ortotrop tabakanın yapıştırılması ile oluşturulmuştur. Elastik gerilmelerin analizi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bilgisayar programı (FORTRAN) yardımı ile yapılmıştır.

Yılmaz ve Uzun (2002)'un yaptıkları çalışmaya göre, 304L ve 316L tipi östenitik paslanmaz çelik malzemeler, hem TIG hem de MIG kaynak yöntemleri kullanılarak, yatay pozisyonda ve küt alın tarzında birleştirilmişlerdir. TIG ile yapılan birleştirmelerde 304L için ER 308L ve 316L için ER 316L ilave metalleri kullanılmış, her iki paslanmaz çeliğin MIG kaynağında ise, ER 316LSi gaz altı ilave metali tercih edilmiştir. MIG ve TIG yöntemleri ile birleştirilen kaynaklı bağlantıların çekme mukavemeti, sertlik ve çentik darbe özellikleri incelenmiştir.

Kaynak ile birleştirilmiş numunelerin mikro yapı karakterizasyonu yapılmıştır. TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen paslanmaz çelik parçaların, akma ve çekme mukavemet değerleri ile çentik darbe deneyinde elde edilen kırılma enerjisi değerleri, MIG yöntemi ile birleştirilen eşdeğer parçaların bu özellikleri karşılaştırıldığında, TIG ile birleştirilen parçalardan elde edilen değerlerin daha yüksek olduğu tespit edildiği bildirilmiştir.

Çalışma kapsamında tarım arabaları sadece tarımla uğraşan, kırsal kesimin yaşamış olduğu bölgelere yönelik bir araştırma olsa da kentlerde çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Dolayısıyla bu ekipmanda meydana gelebilecek hasarlar nüfusumuzun büyük bir kesimini etkileyebileceği düşünülebilir. Bu hasarların meydana geliş sebebi üretim hatalarından olabileceği gibi kullanım hatalarından da kaynaklanabilmektedir. Hasarların meydana geliş şekilleri araştırılarak, çözüm sonuçları bulmaya çalışmak, böylece hem ülke hem bireylerin uğrayacağı maddi zararları önlemeye çalışmak bu çalışmanın amaçlarındandır. Ayrıca meydana gelebilecek hasarların başta insan olmak üzere bütün canlılara verebileceği zararları önleyebilecek çözümler bulmak amaçlandığını bildirmiştir.

Zeytinoğlu (2002)'nin bildirdiğine göre, traktörün üç nokta askı sistemine bağlı olarak çalışan asılır tip bir kulaklı pullukta mukavemete maruz kalan en önemli organdan biri, pulluk kulak elemanlarını taşıyan deveboynudur. Deveboynu demiri, değişik toprak koşullarında ve değişik çalışma hızlarında çeki kuvvetine bağlı olarak farklı yükler ile yüklenmektedir. Bu nedenle mukavemet açısından incelenmesi gereken son derece önemli bir organ olup pulluk imalatında bunun mukavemetinin önceden bilinmesi gerekmektedir. Mukavemeti belirlenen bir deve boynu demir için, optimum boyutta bir seçim ile, girdi olarak pulluğun imalat maliyeti düşebilecek ve ağırlığı daha az olan bir pulluk ile çalışma, güç ihtiyacını azaltabilecektir. Bu çalışmada, asılır tip tek kulaklı bir pulluğa ait, toplam çeki kuvveti değeri, literatür değerlerine dayanılarak seçilen çeki kuvveti değerlerine göre, sonlu elemanlar yöntemi ile tek kulaklı pulluğa ait bir deve boynu organının mukavemet analizi yapılmıştır. St 37 yapı çeliğinin dinamik zorlanma koşulları için 7kg/mm^2 emniyetli gerilme değerinden (Harzadın, 1969), daha küçük değerdedir. Sonuç olarak, bu tip yapı organı mukavemet analizlerinde, yer değiştirmelere bağlı, aksel gerilme analizlerinin, ilk analiz olarak ele alınması doğru olacaktır. Araştırma sonucu toplam gerilme değerine göre, tek kulaklı pulluklar için bu tip malzeme ve bu boyutta seçilen deveboynu demir, mukavemet açısından emniyetli olduğunu bildirmiştir.

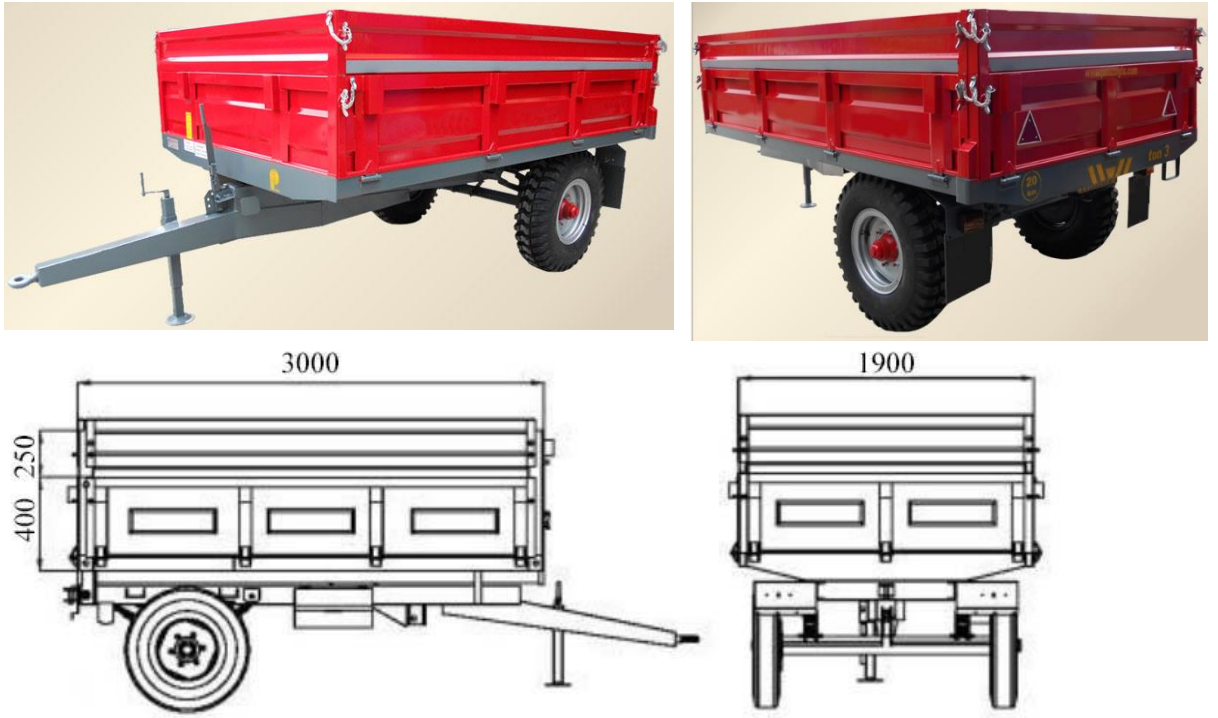
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 MATERYAL

Sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak yapacağımız hasar analizinde tarım alet ve makineleri içerisinde en çok kullanılan tarım arabaları ve bu tarım arabaları içerisinde de tek dingilli 3 tonluk sac kasa tarım arabası materyal olarak seçilmiştir. Yine tezimizde tasarım amaçlı CAD programı olarak ANSYS ve istatistiki değerlendirme amaçlı SPSS paket programı kullanılmıştır. Bunlarla ilgili teknik özellikler aşağıda sunulmuştur.

3.1.1 TARIM ARABASININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Tezimizde hasar analizine tabi tutulacak tarım arabası olarak 3 tonluk tek dingilli sac kasalıdır.(Şekil3.1.1.1)



Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 3 to the text that you want to appear here..1 3 Tonluk Tarım Arabasının Teknik Resmi ve Gerçek Görüntüsü

Ele aldığımız tarım arabasının fonksiyonelliğini ortaya koyan belli başlı teknik özellikler çizelge 3.1.1. de verilmiştir. Yine ele alınan tarım arabasına ait fonksiyonel teknik özellikler çizelge 3.1.1.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1.1 Tarım Arabasının Fonksiyonel Teknik Özellikleri (Dilmaç ve Ark., 1995)

Q (Kg)		G ₀ (Kg)	G ₀ /Q (%)	l _k (mm)	b _k (mm)	h _k (mm)	z (m ²)	v (m ³)	h _b (mm)	β (°)	u (mm)	l (mm)	u ₁ (mm)	u – u ₁ (mm)	b (mm)
3 0 0 0	n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	\bar{x} den sapma	-215	-7,17	-136	-70	-44	-0,45	-0,31	-73	-6,50	-106	-260	-51	-70	-55
	\bar{x}	1215	40,50	3036	1770	394	5,38	2,13	1033	45,50	906	3280	671	235	1485
	\bar{x} den sapma	+415	+13,83	+114	+57	+62	+0,45	+0,47	+77	+17,50	+184	+110	+29	+155	+35
	S	197,97		94,70	63,83	34,26	0,30	0,27	46,79	8,25	98,76	108,32	30,61	76,05	30,41
	%Cv	16,29		3,12	3,61	8,69	5,67	12,55	4,53	18,15	10,90	3,30	4,56	32,36	2,05

Q: Anma Yüğü, G₀: Boş Ağırlık, G₀/Q:Boş Ağırlık/Anma Yüğü, l_k: Kasa Uzunluğu, b_k: Kasa Genişliği, h_k: Kasa Yüksekliği, z: Kasa Taban Alanı, v: Kasa Hacmi, h_b: Kasa Tabanı Yerden Yüksekliği, β: Kasa Devirme Açısı, u: Aks Arka Kapak Uzunluğu, l: Aks Çeki Halkası Uzaklığı, u₁:Aks Devirme Pimi Uzaklığı, u – u₁: Devirme Pimi Arka Kapak Uzaklığı, b: İz Genişliği

Çizelge 3.1.2 TS 585'e Göre Tarım Arabası Standart Özellikleri (TSE, 1990)

Faydalı Ağırlık (Kg)	Döner Tertibatı Yarıçapı (En Az) (mm)	Çelik Bilye Çapı (En Az) (mm)	Taban Sacı (mm)	Kapak Sacı (mm)	En Küçük Kasa Hacmi (m ³)	Uzunluk (mm)		Genişlik (mm)		İzgenişliği (mm) ±50
						Min.	Max.	Min.	Max.	
2000	325	12	2	2,4	1,6	3000	3500	1500	1700	1500
2500	325	12	2	2,4	2,0	3250	3750	1700	1900	1500
3000	375	12	2	2,4	2,4	3500	4000	1700	1900	1500
4000	375	12	2	2,4	3,2	3700	4250	1900	2100	1500 Veya 1800
5000	425	14	2	2,4	4,0	4250	5000	1900	2100	1500 Veya 1800
6000	425	14	2	2,4	4,8	4700	5350	1900	2100	1500 Veya 1800

3.1.2 Kullanılan Paket Programlar

3.1.2.1 CAD Programı

Kullanılan CAD programı ANSYS programı ile birlikte çalışabilecek özelliktedir. Bildiği gibi CAD herhangi bir araştırma geliştirme veya tasarım probleminin çözülmesinde, grafik özellikler kullanılarak iki veya üç boyutlu çizimlerin ve tasarımların, bilgisayar yardımı ile oluşturulmasına dayanan çalışma yöntemleri bütünüdür. CAD sistemi esas olarak tasarımcının üretkenliğini arttırmak, tasarım kalitesini geliştirmek ve üretime veri tabanı oluşturmak için kullanılmaktadır. CAD sisteminin en etkili özelliklerinden birisi de sonlu eleman yöntemidir. Bu metotta nesne, düğümlerde toplanan ve birbirine bağlı bir şebeke oluşturan çok sayıda sonlu elemana ayrılır ve hesaplama kabiliyeti yüksek bir bilgisayar vasıtasıyla tüm nesne, her bir düğümde yorulma, çekme, ısı transfer ve diğer karakteristikler hesaplanarak analiz edilebilir. Sistemdeki bütün düğümlerin birbirleri ile ilgili davranışları belirlenerek tüm nesnenin davranışlarına ulaşmak mümkündür.

CAD sistemlerinden sağlanan faydalar; minimum temin zamanı sağlamak, mühendislik personelinin ihtiyaçlarını azaltmak, daha önce yapılan tasarımlar üzerinde ortaya çıkan müşteri taleplerini kolaylıkla yerine getirmek, piyasanın ihtiyaçlarına daha hızlı yanıt vermek, gerekli veri tabanı oluşturulduktan sonra benzer yeni mamuller üretmek için gereken proje zamanlarını en aza indirerek, pazar rekabetinde avantaj sağlamak, çizim hatalarını minimuma indirmek, daha iyi bir fonksiyonel analiz sağlayıp prototip test sayısını azaltmak, maliyetler hakkında daha iyi bilgi sağlamak, kompleks parçaların incelenmesine yardımcı olmak diye genel olarak sıralanabilir.

CAD bünyesinde bulunan ANSYS paket programı mühendislerin akışkanlar mekaniği, titreşim, mukavemet ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan interaksyonunu simüle etmekte kullanılan genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımlarından biridir.

Böylece tezimi bünyesinde gerçekleştirilmesi istenen testlerin ve çalışma şartlarının simüle edilmesi mümkün olmuştur. Yine bu programda bilgisayar ortamındaki 3 boyutlu simülasyonlar neticesinde yapıların zayıf noktalarının belirlenmesi ve iyileştirilmesi ile kullanım ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve olası problemlerin öngörülmesi olanaklı hale gelmesi sağlanmıştır. ANSYS yazılımı hem dışarıdan CAD verilerini alabilmekte hem de içindeki işlem seçenekleri ile geometri oluşturulmasına müsaade etmektedir. Yine aynı

işlemci içinde hesaplama için gerekli olan sonlu elemanlar modeli başka bir adıyla mesh de oluşturulabilmektedir. Yükler ve mesnet veya uç koşulları (boundary conditions, restraints) tanımlanmasını müteakiben ve gerçekleştirilen analiz neticesinde, sonuçları hem sayısal hem de grafiksel olarak elde etmek mümkündür. (Li, 1994; Gallego et al., 2004). Dolayısıyla bir ürünün kaliteli ve en düşük maliyetli olması için gerekli tasarım koşulları bu program yardımıyla bulunabilmektedir.

3.1.2.2 SPSS Paket Programı

Tezimizde kullanılan SPSS istatistiksel analize yönelik bir bilgisayar programıdır. Bu yazılım temel işlevi olan istatistiksel analiz yanında, veri yönetimi ve veri dokümantasyonu gibi işlemler yapabilmesi önemli özelliklerindedir. Tezimizde ele aldığımız tarım arabasının meshlenerek oluşturulan verilerinin fazlalığı bu paket programını güvenilir bir sonuç vermesi için kullanılması zorunlu hale getirmiştir.

3.2 YÖNTEM

Tezimizde tarım arabalarının uygulama koşulları öncelikle yapılan bir anket çalışması ile belirlenerek hasar ve hasara neden olan faktörlerin ortaya çıkarılması mümkün kılınmıştır. Daha sonra bu veriler ve ele alınan 3 tonluk tarım arabasının teknik verileri birlikte yorumlanarak sonlu elemanlar analizine tabi tutulmuştur.

3.2.1 Uygulama Verileri Dikkate Alınarak Yapılan Anket çalışmaları

Hasar analizinde en önemli noktalardan biri doğru değişkenlerin bulunabilmesidir. Bu amaçla kullanılan değişkenler imalat ile ilgili değişkenler ve son tüketici ile ilgili değişkenler olmak üzere iki alanda derlenmiştir. Gerek çok sayıda ve farklı özelliklerde imalathane varlığı ve gerekse de son tüketicilerinden veri toplamanın zorluğu tarım arabaları ile ilgili istatistikleri doğru bir şekilde değerlendirmeyi güçleştirmektedir.

Sektörde üretim yapan firmaların kurumsal kimliklerini yeterince oluşturamamaları, atölye olarak üretim yapmaları, işyeri sahibi ve çalışanların aldıkları eğitim, ekonomik durumları göz önüne alındığında her ne kadar tasarım için bilgisayar ve internet kullanılsa bile görmedikleri, tanımadıkları kişi veya kurumlarla bilgi paylaşmayı reddetmeleri nedeniyle anket yapabilmek için üreticiyle birebir görüşmek zorunluluktur. Bu kapsamda Balıkesir, Çanakkale, Bursa, Eskişehir, Kocaeli, Sakarya, İzmir ve Manisa illerinde tarım arabası üreten imalatçılar ve çiftçiler ile birebir görüşerek anketler doldurulmuştur. (Kullanılan anket ekte sunulmuştur.)

Anket verilerinin iyiliği, güvenilirliği ve analizleri SPSS programı yardımı ile değerlendirilmiştir.

3.2.2 ANSYS Analiz Programı Kullanılarak Sonlu Elemanlar Analizinin Gerçekleştirilmesi

ANSYS analiz programı belli bir algoritmaya göre çalışır. Bu algoritma gözetilerek önce yorulma analizi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle ele alınan 3 tonluk tek akslı tarım arabasının CAD programı yardımı ile 3 boyutlu resmi çizilmiştir. (Şekil 3.2.2.1) Buradaki amaç römorkun hareket simülasyonunun yapılarak maksimum kuvvetlerin hangi konumlarda gerçekleştiğini incelemek ve tespit edilen maksimum kuvvetler ile yorulma analizini gerçekleştirmektir.



Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 3 to the text that you want to appear here..1 3
Tonluk Tarım Arabasının CAD Çizimi

Diğer yandan yorulma analizinin asıl amacı malzemenin ömrü süresince hangi sayıda bir çevrime dayanabileceğini analiz etmektir. Yorulma analizinde genel olarak 3 ana yöntem mevcuttur. Bunlar gerinme – ömür (Strain Life), gerilme - ömür (Stress Life) ve kırılma mekaniği (Fracture Mechanics) 'dir. Ansys Workbench Fatigue (yorulma) Modülü bu yöntemlerden ilk ikisi olan gerinme – ömür ve gerilme – ömür'ü kullanıcıya sunmaktadır.

Gerinme - ömür yaklaşımı günümüzde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmakta ve yorulmanın düşük çevrim sayılarını analiz eden, tipik olarak çatlak başlangıcını kapsayan bir yöntemdir. Diğer yandan gerilme - ömür ise parçanın toplam ömrü ile ilgilendiği için çatlak başlangıcını ve çatlak ilerleyişini kapsamamaktadır. Analizler çevrim sayılarına göre sınıflandırılacak olursa gerinme - ömür düşük sayılı çevrimler için kullanılır. Bu nedenle Low Cycle Fatigue (LCF), Düşük Çevrimli Yorulma olarak bilinir ve aynı zamanda yüksek sayıdaki çevrimler içinde kullanılabilir. LCF çoğu zaman 10^5 ve daha düşük çevrimleri kapsamaktadır. Gerilme - Ömür (Stress-Cycle Curves) diyagramına dayanır ve genellikle yüksek çevrimleri kapsadığından dolayı High Cycle Fatigue (HCF), Yüksek Çevrimli Yorulma olarak adlandırılır. 10^5 ve üzeri çevrimleri kapsamaktadır. Kırılma Mekaniği (Fracture Mechanics) farz edilen bir kusur veya boyutu bilinen bir hasar ile başlar ve çatlağın ilerlemesini incelediği için bazen “Çatlak Ömrü” (Crack Life) olarak adlandırılabilir. Çatlağın büyüme hızı, çatlağın ömür prosesindeki bölgeler ve kritik çatlak boyu hakkındaki bilgileri kapsar. Yaptığımız bu çalışmada çatlak başlangıcı (Crack Initiation) ve çatlak ömrü

(Crack Life) parçanın toplam ömrüne eşit olarak ele alınarak parçanın toplam ömrü saptanmaya çalışılmaktadır.

Bu amaçla yapılması gereken hesaplamalar şöyledir;

- 1) Rijid dinamik hareket analizi,
- 2) Statik analiz ile genel durumun görülmesi,
- 3) Amacımız gereken bölgelerde yorulma analizini çıkarmaktır.

Bu yazılımın kullanılmasında aşağıdaki işlem aşamaları gerçekleştirilmiştir.

Yapının veya Çözüm Bölgesinin Elemanlara Ayrılması

Sonlu elemanlar yönteminde ilk aşama, yapıyı veya çözüm bölgesini alt bölümlere yani sonlu elemanlara ayırmaktır. Ayırma işleminde uygun sonlu elemanlar kullanılarak, elemanların sayısı, düzeni ve tipi tespit edilmektedir. Basit geometriler ya da az miktarda eleman için manuel olarak uygulanabilen bu modelleme işlemi, kompleks geometriler veya çok miktarda eleman için bu şekilde uygulanabilmesi imkansız hale geldiğinden bu işlem için ön işlemci adı verilen programlar kullanılmıştır.

Eleman katılık matrislerinin ve yük vektörlerinin bulunması

Tarım arabası genelde bakıldığında karmaşık bir yapı içinde yorumlanabilir. Kompleks bir yapının herhangi bir yük altındaki deplasmanının kesin olarak tahmin edilmesi imkânsız olduğu için, bir eleman için, bilinmeyen çözümü yaklaşık olarak ifade edilebilecek uygun bir deplasman modeli seçilmiştir. Bu model hesaplamalar bakımından basit ancak bazı yakınsama gereksinimlerini de yerine getirmektedir. Genellikle bu model bir polinom şeklinde olmaktadır. Denge denklemleri veya varyasyonel prensipler ve yaklaşık deplasman modeli kullanılarak eleman katılık matrisleri ve yük vektörleri bulunmuştur.

Yapının veya Çözüm Bölgesinin Sonlu Elemanlar Model'inin Elde Edilebilmesi İçin Elemanların Birleştirilmesi

Yapının çok sayıda elemandan oluşması nedeni ile her bir eleman için bulunmuş olan katılık matrisleri, yük vektörleri ve denge denklemleri uygun bir şekilde birleştirilmiş ve genel denge denklemleri elde edilmiştir.

1. Bilinen Yüklerin (Kuvvet ve/veya Moment) Uygulanması
2. Yapının Nasıl Desteklendiğinin Belirtilmesi
3. Bilinmeyen düğüm noktası deplasmanlarının bulunması
4. Eleman gerilme ve birim uzamalarının hesaplanması

Genel denge denklemleri problemin uç şartları uygulanarak düzeltilmiş ve daha sonra düğüm noktalarının deplasmanları çözülmüştür.

Düğüm noktalarının deplasmanları ile katı hal mekaniği ve yapısal mekaniğin ilgili denklemleri kullanılarak eleman birim uzamaları ve gerilmeleri hesaplanmıştır.

Bir sonlu elemanlar programının çıktısı, yukarıda hesaplanan değişkenlerin düğüm noktalarındaki veya elemanlarındaki değerlerinden meydana gelmektedir. Bu değerlerin anlaşılmasının ve değerlendirilmesinin basit geometriler veya az sayıda eleman için kolay olmasına karşın, kompleks geometriler veya çok sayıda eleman için bu iş güçleşmekte ve sonuçlar kullanıcıya kolay anlaşılabilir bir şekilde, mesela grafik metotlar ile son işlemci olarak adlandırılan bilgisayar programları kullanılarak sunulmaktadır.

Analiz Tipi Seçimi

Yorulma sonuçlarının bağlı olduğu girdiler şöyledir;

- Stress-Strain Life Seçilmesi (Fatigue Analysis Type)
- Yükleme Durumu Seçilmesi (Loading Type)
- Ortalama Gerilme Etkileri (Mean Stress Effects)
- Çok Eksenli Gerilme Düzeltme (Multiaxial Stress Correction)
- Yorulma Değişimi (Fatigue Modification Factor)

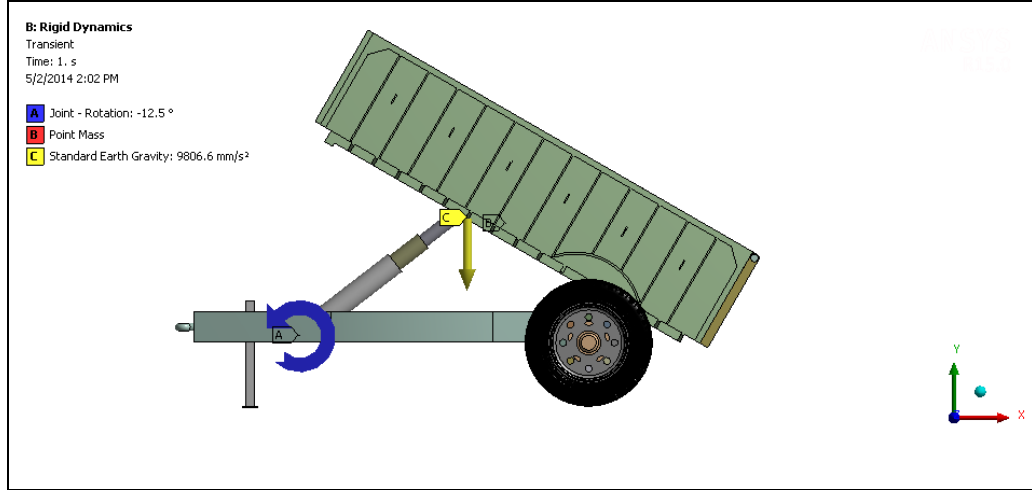
Yükleme Durumu Seçimi

Tarım arabalarının elemanlarının ömrü ile alakalı olan bu çalışmada yorulma analizi, gerilme - ömür metodu ile uygulanacaktır. Muhtemel yükleme durumları şu şekildedir;

- Sabit Genlik, Orantılı Yükleme (Constant Amplitude, Proportional Loading)
- Sabit Genlik, Orantısız Yükleme (Constant Amplitude, Non-Proportional Loading)
- Değişken Genlik, Orantılı Yükleme (Non-Constant Amplitude, Proportional Loading)
- Değişken Genlik, Orantısız Yükleme (Non-Constant Amplitude, Non-Proportional Loading)

Ele almış olduğumuz tarım arabasını CAD çizimi üzerinde kuvvetlerin maksimum olduğu koşullar tespit edilmiştir. Bu maksimum olduğu koşullarda bağlantı noktalarında malzemenin de önemli olduğu görülmüş, buna bağlı olarak kullanılan malzemelerin özellikleri Çizelge 3.2.2.1 de belirtilmiştir.

Yorulma analiz gerçekleştirilmeden önce statik analiz ile parçalardaki genel gerilme dağılımları hesaplanmıştır. Bu gerilme dağılımları sonucunda maksimum gerilmelerin olduğu parçalar tespit edilerek bunlar üzerinde yorulma analiz yapılmıştır.

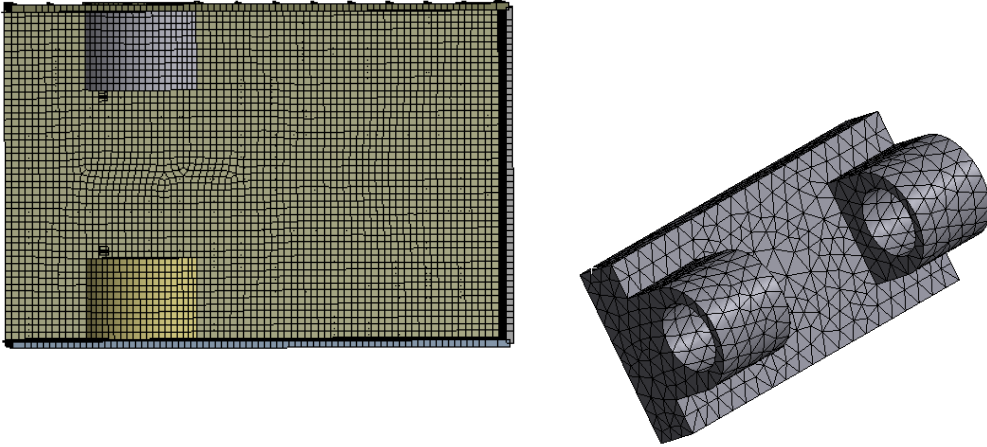


Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 3 to the text that you want to appear here..2
Sayısal hesaplama için geliştirilmiş sayısal model

Çizelge 3.2.2.1 St37 Malzeme Özellikleri

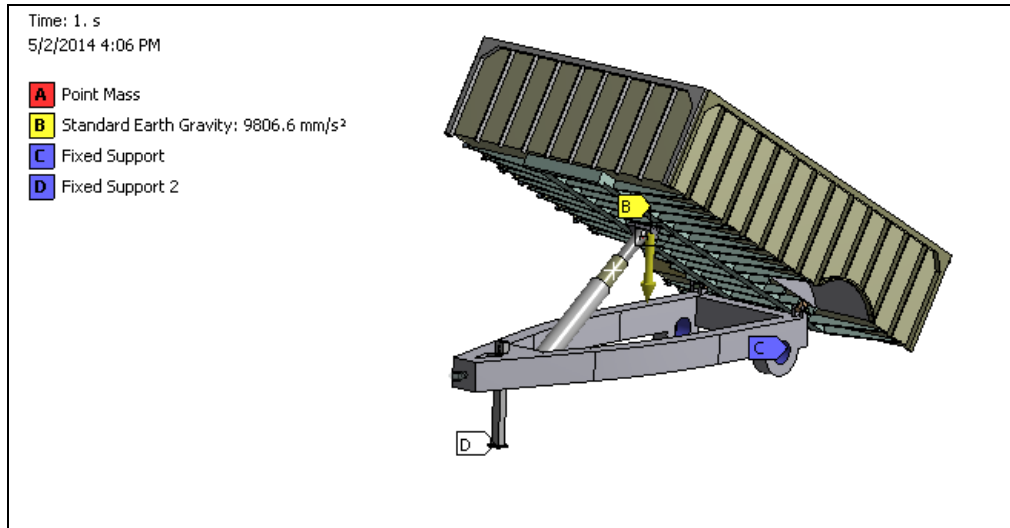
Malzeme	St37
Yoğunluk (kg/m ³)	7850
Poisson Oranı	0,3
Young Modülü (Mpa)	200000
Akma Gerilmesi (Mpa)	250

Statik analiz için geliştirilen simülasyon modeli için sac elemanlar öncelikle kabuk (shell) elemanlar ile modellenmiştir. Bunun dışındaki parçalar ise katı (solid) elemanlar ile modellenmeye uygun olduğu için katı olarak modellenmesi yapılmıştır. Şekil 3.2.3.1’de görüldüğü gibi 3 tonluk bir ağırlık uygulanarak rijit dinamik analizden elde edilen kritik konuma göre yükleme yapılmıştır.



Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 3 to the text that you want to appear here..3 X Kabuk (shell) ve Katı (solid) modelleri

X Kabuk (shell) ve Katı (solid) elemanlar için örnek noktalarından serbestlik derecesi sıfır olacak şekilde mesnetlenmiştir. Lastikler statik analiz için hem çözüm zamanını arttırması hem de amacımız lastiklerde durumu incelemek olmadığı için kritik bölgelere odaklanılmıştır. Burada aynı zamanda tarım arabasını oluşturan parçaların ağırlıkları da hesaba katılmıştır.



Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 3 to the text that you want to appear here..4 Statik analiz modeli ve yükleme koşulları

Bunun yanında CAD programı içerisinde çizilmiş model baz alınarak dinamik kuvvette en büyük etki altında kalan elemanın piston olduğu düşüncesiyle pistonun her iki bağlantı noktası hareket analizi yapılarak dinamik simülasyon oluşturulmuştur. Bu simülasyonda pistonun kasa ile bağlantısında hareketin düşey, pistonun şase ile bağlantısında

hareketin dönüsel olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak simülasyonun oluşumunda seçilen kuvvetler bu noktalar için tanımlanmıştır.

3.2.3 Yorulma Analizi

Statik analiz ile elde edilen sonuçlar tek gerilme durumu için hesaplanmıştır. Yorulma analizi ise zamana bağlı değişen kuvvetlerin uygulanması sonucunda oluşan hasar durumunu incelemek için kullanılmaktadır.

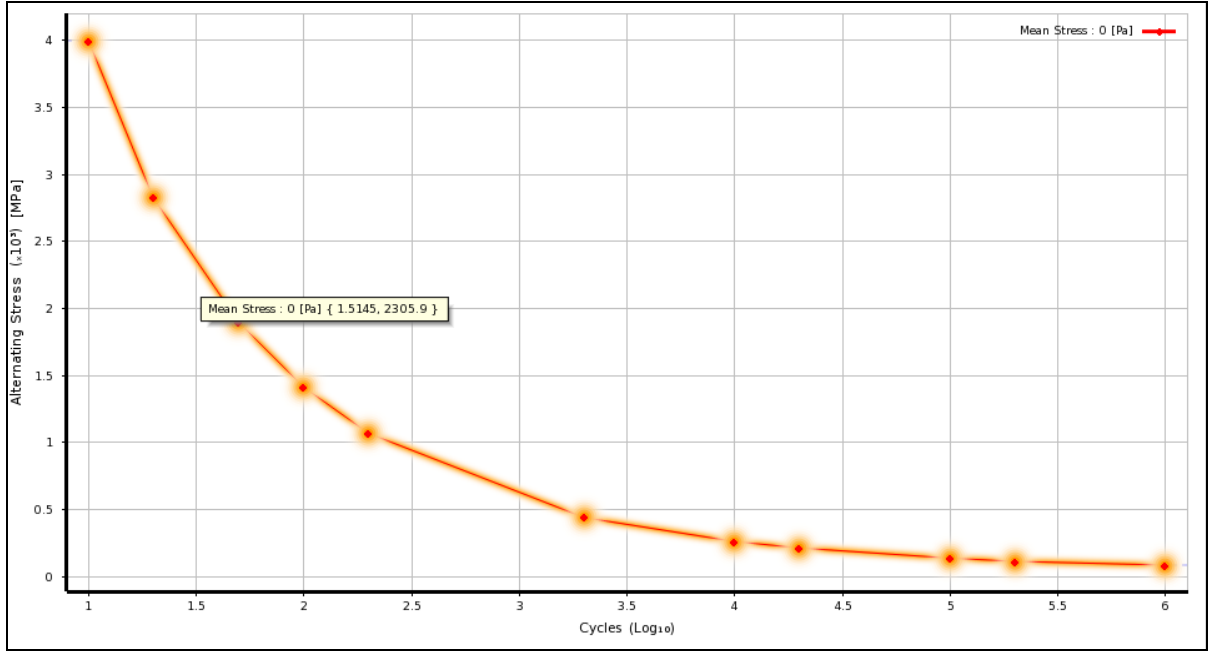
Yorulma analiz yapılırken Çizelge 3.2.3.1'deki yorulma çevrim diyagramı malzeme seçilmiştir.

Çizelge Error! Use the Home tab to apply Başlık 3 to the text that you want to appear here..1
Yorulma çevrim diyagramı

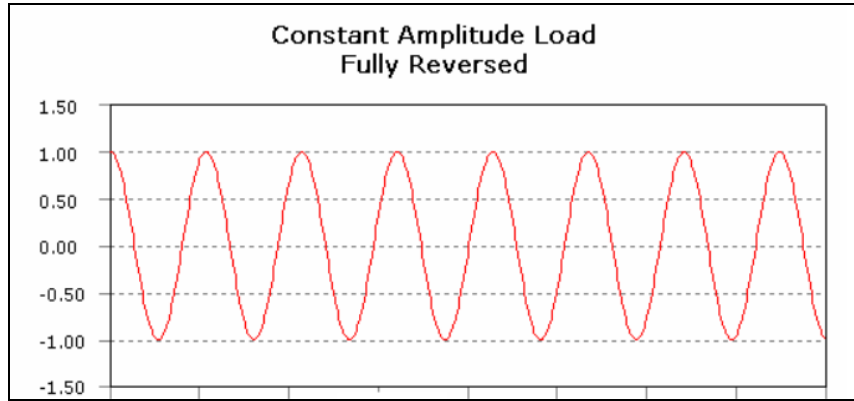
Cycles	Alternating Stress (MPa)
10	3999
20	2827
50	1896
100	1413
200	1069
2000	441
10000	262
20000	214
1E+05	138
2E+05	114
1E+06	86.2

Burada tam değişken sabit frekanslı yük durumu incelenecektir. Tam değişken sabit frekanslı yükün yükleme tipi aşağıdaki grafikten görülebilir. Gerilim düzeltme teorisi olarak Soderberg kullanılmıştır.

Gerber, Goodman ve Soderberg kriterleri, bir malzemeye herhangi bir σ_{ort} gerilme uygulandığında ne kadar bir gerilme genliği uygulanabileceğini hesaplamak için kullanılmaktadır. Değişken gerilme genliği sıfır olduğu durumda (malzeme tamamıyla statik zorlanır) malzemeyi kıran gerilme çekme dayanımı değeri olur. Gerber Kriterinde, akma sınırı hasar kabul edilmekte olduğu için sünek malzemelerde kullanıldığında sonsuz dayanım için doğru olmaz. Gevrek malzeme ve süreli yorulma hesapları için kullanılabilir. Goodman Kriteri ise, Gerber kriterine benzemektedir. Dayanım bölgesinin bir bölümünü attığı için daha güvenli hesap yapılmış olur. Soderberg Kriteri deney sonuçlarından uzaktır. Ancak sünek malzemelerin sonsuz dayanım hesapları için uygun olabilmektedir.



Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 3 to the text that you want to appear here..1
Malzemeye ait yorulma çevrim diyagramı



Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 3 to the text that you want to appear here..2
Tam değişken sabit frekanslı yükleme

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1 Anket Sonuçları

Tarım sektörü, Tarım alet ve makinaları İmalat Sanayi sektörünce üretilen ürünlerin pazarı durumunda olması dolayısıyla, tarım sektöründe ortaya çıkan pozitif veya negatif değişimler doğrudan bu sektöre yansımaktadır. Bu sektördeki gelişmeler de dolaylı biçimde tarım sektörünü etkilemektedir. Bir başka deyişle anılan iki sektör arasında korelasyon bulunmaktadır. Bu sebeple sektörün, tarım sektörü dikkate alınmadan, bağımsız olarak incelenmesi ve planlanması düşünülmemelidir.

Bir lmn güvenirliği, ne kadar hatasız olduğunu gösterdiği gibi aynı zamanda ölüm aracının zaman ve değişik maddeler karşısında tutarlı bir ölüm yaptığını belirtmektedir. Bu nedenle yaptığımız çalışmanın ne kadar güvenilir olduğunu analiz etmemiz gerekir.

Yapmış olduğumuz güvenirlik analizi sonucunda alpha kat sayımız 0,6228 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç anketimizin güvenilir olduğunu ortaya koysa da değerleri negatif çıkan soruları ankettten çıkarıp öyle değerlendirmemiz gerekmektedir. Dolayısıyla gerekli sorular çıkarılıp tekrar güvenirlik analizi yapmamız gerekir. Değerleri negatif çıkan sorular çıkarılıp tekrar güvenirlik analizi yaptığımızda 0,6228 olan alpha kat sayımızı 0,7587'ye yükselterek güvenirliğini artmıştır.

Çizelge 4.1.1 İmalatçılar Anketi Güvenirlik Analizi

R E L I A B I L I T Y A N A L Y S I S - S C A L E (A L P H A)				
Item-total Statistics	Scale	Scale	Corrected	Alpha
	Mean	Variance	Item-	if Item
	if Item	if Item	Total	if Item
	Deleted	Deleted	Correlation	Deleted
Ü1.1	85,8095	31,3619	,0000	,6231
Ü1.2	85,7619	31,4905	-,0719	,6263
Ü1.3	85,0000	32,1000	-,1974	,6374
Ü1.4	85,4762	29,9619	,2206	,6125
Ü2.1	85,4762	29,5619	,2983	,6069
Ü2.2	85,4762	31,2619	-,0247	,6294
Ü2.3	84,8095	31,3619	,0000	,6231
Ü2.4	84,8095	31,3619	,0000	,6231
Ü3.1	84,9524	30,5476	,1730	,6168
Ü3.2	85,0952	22,2905	,6216	,5352
Ü3.3	83,6190	28,0476	,7397	,5820
Ü3.4	82,3333	25,9333	,5249	,5698
Ü4	85,6190	29,7476	,3309	,6071
Ü5	85,4762	30,5619	,1061	,6205
Ü6	84,8095	31,3619	,0000	,6231
Ü7.1	84,8095	31,3619	,0000	,6231
Ü7.2	84,9524	32,7476	-,3690	,6439
Ü7.3	85,4286	30,1571	,1751	,6156
Ü7.4	85,3333	30,7333	,0646	,6237
Ü7.5	85,3810	31,7476	-,1125	,6362
Ü7.6	85,0476	33,3476	-,4317	,6526
Ü7.7	85,0000	31,2000	,0000	,6263
Ü7.8	84,9048	32,2905	-,2981	,6374
Ü7.9	84,8095	31,3619	,0000	,6231
Ü7.10	84,8095	31,3619	,0000	,6231
Ü8	85,7143	31,5143	-,0719	,6280
Ü9	85,7143	31,5143	-,0719	,6280
Ü10.1	85,3333	29,9333	,2083	,6131
Ü10.2	85,3333	29,9333	,2083	,6131
Ü10.3	85,4762	31,2619	-,0247	,6294
Ü10.4	85,0476	29,0476	,4515	,5981
Ü10.5	85,5714	30,3571	,1693	,6163
Ü10.6	85,1429	28,8286	,4434	,5964
Ü10.7	85,0476	29,7476	,2991	,6081
Ü10.8	85,0000	29,3000	,4362	,6008
Ü10.9	84,9048	30,2905	,2963	,6121
Ü11.1	84,9524	29,8476	,3537	,6073
Ü11.2	85,2381	29,7905	,2374	,6109
Ü11.3	85,0476	29,6476	,3206	,6067
Ü11.4	84,9048	30,2905	,2963	,6121
Ü11.5	84,8095	31,3619	,0000	,6231
Ü14.1	85,6190	31,4476	-,0549	,6294
Ü14.2	85,1905	31,3619	-,0444	,6312
Ü14.3	85,3810	30,7476	,0635	,6237
Ü14.4	85,1905	29,9619	,2115	,6130
Ü14.5	84,9524	30,3476	,2242	,6141
Ü14.6	85,2857	31,2143	-,0200	,6298
Ü14.7	85,1905	31,9619	-,1506	,6385
Ü16	84,1905	29,9619	,1052	,6232
Ü17	84,4286	24,6571	,3131	,6039

Reliability Coefficients	
N of Cases =	21,0
N of Items =	50
Alpha =	0,6228

Çizelge 4.1.2 İmalatçılar Anketi Güvenirlik Analizi

R E L I A B I L I T Y A N A L Y S I S - S C A L E (A L P H A) Item-				
total Statistics	Scale	Scale	Corrected	Alpha
	Mean	Variance	Item-	if Item
	if Item	if Item	Total	if Item
	Deleted	Deleted	Correlation	Deleted
Ü1.1	65,1905	37,2619	,0000	,7593
Ü1.4	64,8571	35,5286	,2605	,7529
Ü2.1	64,8571	34,9286	,3678	,7482
Ü2.3	64,1905	37,2619	,0000	,7593
Ü2.4	64,1905	37,2619	,0000	,7593
Ü3.1	64,3333	36,3333	,1851	,7561
Ü3.2	64,4762	27,1619	,6407	,7201
Ü3.3	63,0000	33,5000	,7729	,7340
Ü3.4	61,7143	30,6143	,6093	,7263
Ü4	65,0000	35,5000	,3337	,7506
Ü5	64,8571	36,6286	,0684	,7612
Ü6	64,1905	37,2619	,0000	,7593
Ü7.1	64,1905	37,2619	,0000	,7593
Ü7.3	64,8095	35,4619	,2619	,7528
Ü7.4	64,7143	36,8143	,0299	,7634
Ü7.7	64,3810	37,0476	,0107	,7623
Ü7.9	64,1905	37,2619	,0000	,7593
Ü7.10	64,1905	37,2619	,0000	,7593
Ü10.1	64,7143	35,2143	,2940	,7513
Ü10.2	64,7143	35,3143	,2771	,7521
Ü10.4	64,4286	34,7571	,4497	,7455
Ü10.5	64,9524	36,5476	,0993	,7594
Ü10.6	64,5238	33,9619	,5447	,7402
Ü10.7	64,4286	35,0571	,3897	,7479
Ü10.8	64,3810	34,8476	,4741	,7454
Ü10.9	64,2857	36,0143	,3205	,7526
Ü11.1	64,3333	35,4333	,3982	,7491
Ü11.2	64,6190	35,8476	,1906	,7561
Ü11.3	64,4286	35,9571	,2129	,7550
Ü11.4	64,2857	36,0143	,3205	,7526
Ü11.5	64,1905	37,2619	,0000	,7593
Ü14.3	64,7619	36,2905	,1169	,7594
Ü14.4	64,5714	35,7571	,2112	,7551
Ü14.5	64,3333	36,0333	,2555	,7538
Ü16	63,5714	35,7571	,1081	,7637
Ü17	63,8095	30,2619	,3010	,7699

Reliability Coefficients	
N of Cases	= 21,0
N of Items	= 36
Alpha	= 0,7587

Tarım arabalarının hasar nedeni üretim hatalarından kaynaklandığı kadar, son kullanıcı olan çiftçilerin kullanım hatalarından da kaynaklanabilmektedir. Bu anketimizin güvenilirlik analizini yaptığımız zaman alpha katsayımız 0,005 olarak hesaplanmıştır ki anketimizin güvenilirliğini olumsuz etkilemektedir. Ancak sorulara genellikle aynı cevapların verilmiş olması bu değerin düşük çıkmasına neden olmuş olabilir. (Çizelge 4.1.3)

Çizelge 4.1.3 Son Kullanıcı (Çiftçi) Anketi Güvenirlilik Analizi

R E L I A B I L I T Y A N A L Y S I S - S C A L E (A L P H A)				
Item-total Statistics	Scale	Scale	Corrected	Alpha
	Mean	Variance	Item-	if Item
	if Item	if Item	Total	if Item
	Deleted	Deleted	Correlation	Deleted
T1	294,6538	68267,1023	-,0047	,0050
T2	294,2692	68272,4317	-,0344	,0051
T3.1	295,1923	68265,6326	,0000	,0050
T3.2	295,2692	68248,1210	,1247	,0047
T3.3	295,2308	68264,9559	,0063	,0050
T3.4	295,3077	68259,6326	,0352	,0049
T3.5	295,4231	68191,3921	,3350	,0039
T3.6	295,3462	68250,7140	,0781	,0048
T3.7	295,5385	68255,0859	,0413	,0048
T3.8	295,6923	68293,3413	-,1065	,0054
T3.9	295,2692	68252,7812	,0913	,0048
T3.10	295,2308	68254,8588	,1063	,0048
T4	296,0769	68261,4309	,0244	,0049
T5	295,0385	68257,8237	,0179	,0049
T6	295,1538	68503,9761	-,3397	,0086
T7	296,1154	68286,7050	-,1511	,0053
T8	291,6538	68272,6169	-,0105	,0052
T9	295,3077	68265,1471	,0014	,0050
T10.1	295,5769	68242,4212	,0899	,0046
T10.2	295,3846	68255,7730	,0469	,0048
T10.3	295,4231	68246,4600	,0859	,0047
T10.4	295,8462	68260,3256	,0203	,0049
T10.5	295,3846	68247,6176	,0863	,0047
T10.6	295,2692	68244,8588	,1480	,0047
T10.7	295,1923	68265,6326	,0000	,0050
T10.8	295,4231	68257,4115	,0364	,0049
T10.9	295,1923	68265,6326	,0000	,0050
T10.10	295,1923	68265,6326	,0000	,0050
T11.1	296,0385	68195,6878	,3687	,0039
T11.2	295,8462	68154,7722	,4432	,0033
T11.3	295,8846	68210,1225	,2283	,0042
T11.4	295,5000	68201,5728	,2636	,0040
T11.5	295,6154	68197,0545	,2635	,0040
T11.6	295,7692	68188,9171	,2949	,0038
T11.7	295,3077	68267,7879	-,0135	,0050
T11.8	295,2308	68268,9171	-,0329	,0050
T11.9	295,1923	68265,6326	,0000	,0050
T12	295,8462	68268,0149	-,0105	,0050
T14	294,7308	68179,4608	,1933	,0037
T15	88,5385	12,9888	,1804	-,4711
T16	295,3846	68234,2584	,1509	,0045
T17.1	295,8462	68241,9955	,0937	,0046
T17.2	295,5000	68309,3010	-,1810	,0056
T17.3	295,4615	68212,9888	,2253	,0042
T18	290,6923	68476,0209	-,1915	,0082
T22	295,6154	68259,5011	,0132	,0049

Reliability Coefficients	
N of Cases =	104,0
N of Items =	46
Alpha =	0,0050

Öte yandan tarım arabasına yük kapasitesinin üzerinde yükleme yaptıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. (Çizelge 4.1.4) Kapasite üzerinde yükleme, tarım arabası hasarlarına neden olan en önemli etken olabileceği düşünülebilir.

Çizelge 4.1.4 Römork Kapasite Üzerinde Yükleme Dağılımı

	N	%
Evet	92	92
Hayır	8	8
Bilmiyorum/Fikrim Yok	0	0
Toplam	100	100

Aynı şekilde yüksek yükleme kapasitesine sahip donanım seçimi tarım arabası imalatında kullanılan malzeme seçiminde de etkili bir rol oynamakta, malzeme olarak sac tercihi %58 olurken, ağacı tercih edenler %12’de kalmaktadır. Diğer seçeneği %31 olarak gerçekleşmesinin nedeni birden fazla tarım arabasına sahip olup, hem sac hem ağaç tarım arabasına sahip olan çiftçiler olabileceği düşünülmektedir. (Çizelge 4.1.5) Sac malzemenin daha az bakım gerektirmesi, onarımının daha kolay ve ucuz olması ve daha dayanıklı olması nedeniyle de tercih edilmiş olabilir. Ağaç malzeme kullanarak tarım arabası üreten imalathane sayısının düşüklüğü, bu üretimin zorluğu, dolayısıyla bu ürüne ulaşımın zorluğu da bir başka etken olarak kabul edilebilir.

Çizelge 4.1.5 Tarım Arabası Üretim Malzemesi Tercihi

	N	%
Sac	60	58
Ağaç	12	12
Diğer	32	31
Toplam	104	100

Tarım arabası sahibi çiftçilerin ekipmanlarını 3. şahıslarla %92 gibi yüksek bir oranda paylaşma eğilimine sahiptir.(Çizelge 4.1.6) 3. şahısların zaman baskısıyla beraber ekipmanı daha hor kullanmaları neticesinde hasarlara neden olabilmektedir.

Çizelge 4.1.6 Tarım Arabası Sahiplerinin Ekipmanı 3. Şahıslarla Paylaşma Dağılımı

	N	%
Evet	96	92
Hayır	8	8
Toplam	104	100

Tarım arabasının son kullanıcısı olan çiftçilerin kullanmakta oldukları tarım arabalarının ortalama yaşlarına bakıldığında %54 oranında 5 yaşından büyük ekipmanların kullanmakta oldukları görülmektedir. (Çizelge 4.1.7) Bakımları doğru yapılmayan, kapasitesi üzerinde yüklenen tarım arabaları 15-20 yıl kullanıldığında, değişen standartlardan, gelişen teknolojiye, getirilen yeni güvenlik kurallarından uzak trafikte tehlikeli seyreden, riskli ekipmanlara dönüşmektedirler.

Çizelge 4.1.7 Ortalama Römork Yaşı Dağılımı

	N	%
1'den Küçük	8	8
1	0	0
2	12	12
3	12	12
4	12	12
5	0	0
5'den Büyük	56	54
Toplam	104	100

Yeni ekipman satın alırken çiftçilerin %24'ü fiyatına dikkat ederken, %20'si sağlamlığına ve yedek parçasının kolay bulunmasına dikkat etmektedirler. (Çizelge 4.1.8)

Çizelge 4.1.8 Yeni Ekipman Seçiminde Dikkat Edilen Kriterler

	EVET		HAYIR		TOPLAM	
	N	%	N	%	N	%
Yedek Parça Fiyatının Ucuz Olmasına	40	38	64	62	104	100
Sağlamlığına	20	19	84	81	104	100
Fiyatına	24	23	80	77	104	100
Hepsine	68	65	36	35	104	100
Yedek Parçasının Kolay Bulunmasına	20	19	84	81	104	100
Bilmiyorum/Fikrim Yok	8	8	96	92	104	100
Markasına	24	23	80	77	104	100

Birçok iş için kullanılan tarım arabalarında hasar için önemli bir etken olmayacağı düşünülen %31 oranında ki insan taşıma alışkanlığı ölümcül sonuçlara neden olabileceği için çözüm bulunması gereken önemli konulardan biridir. Tarım arabasında hasara neden olabilecek etken olarak hayvan gübresi, sentetik gübre taşınması ve toprak taşıma önem arz edecek şekilde taşınmaktadır.(Çizelge 4.1.9) Taşınan toprağın yapısının, biyolojik aktivitesinin, rutubetinin, pH'nın, sıcaklığının ve oksijen konsantrasyonunun korozitif etkileri

olduğu kadar, hayvan gübresinin içeriğinde bulunan kimyasal maddelerde metal korozyonuna ve korozyon dolayısıyla hasarlara sebep olmaktadır. (Anonim, 2013)

Çizelge 4.1.9 Römork Kullanım Dağılımı

	Evet		Hayır		Toplam	
	N	%	N	%	N	%
Hayvan Gübresi Taşıma	88	85	16	15	104	100
Sentetik Gübre Taşıma	68	65	36	35	104	100
Hasat Edilen Ürünü Taşıma	72	69	32	31	104	100
İnsan Taşıma	32	31	72	69	104	100
Toprak Taşıma	44	42	60	58	104	100
Yem Taşıma	60	58	44	42	104	100
Hayvan Taşıma	12	12	92	88	104	100
Orman İşleri	4	4	100	96	104	100
Bilmiyorum/Fikrim Yok	0	0	104	100	104	100

Bir başka korozitif etmen ise rutubetin, kükürt oksitlerin (SO₂), toz, is gibi katı partiküllerin ve sıcaklığın etkisiyle atmosferik ortamdır. (Anonim, 2013) Tarım arabalarının kullanılmadıklarında %65'in tarla veya arsalarda bırakıldığı düşünülürse tarım arabalarında hasara neden olabilecek etkenlerden biri olarak düşünülebilir. (Çizelge 4.1.10) Ayrıca tarla veya arsaya bırakılan ekipmana diğer tarım alet ve makinaların veya trafikte seyreden diğer araçların çarpmasıyla da hasar oluşabileceği ihtimal dahilinde olacaktır.

Çizelge 4.1.10 Tarım Arabası Park Etme Yeri Dağılımı

	N	%
Tarla/Arsa'da Bırakıyorum	68	65
Kapalı Garaj/Depoya Bırakıyorum	36	35
Toplam	104	100

Oluşan hasarların onarılmasında çiftçilerin %72'si tarım arabasını kaynakçıya götürürken, %23'ü kendi tamir etmektedir. (Çizelge 4.1.11) Onarım esnasında kullanılan kaynak hızı, kaynak ağzı, kaynak teli, koruyucu gaz karışım oranı ve malzeme kalınlığı yapılan kaynağın kalitesini etkileyeceğinden, dolayısıyla onarımın başarısını belirlemektedir.

Çizelge 4.1.11 Hasarların Tamir Ettirme Dağılımı

	N	%
Kendim veya Bir Yakınım	24	23
Yetkili Servis	8	8
Kaynakçı	72	69
Toplam	104	100

Korozotif ortamlardan olan atmosferik ortam tarım arabalarında hasarın meydana gelişinde önemli yer tutmaktadır. Çiftçilerin %65'ine göre tarım arabasında hasarın meydana gelmesinde doğal koşullar, yani atmosferik ortam rol oynamaktadır. (Çizelge 4.1.12) Tarla yüzeyinin uygun olmayışı ve bir başka tarım alet ve makinasının çarpmasıyla da hasar meydana gelmektedir.

Çizelge 4.1.12 Tarım Arabasında Hasarın Meydana Geliş Şekli

	Evet		Hayır		Toplam	
	N	%	N	%	N	%
Doğal Koşullardan	68	65	36	35	104	100
Tarla Vb Uygun Olmayışından	32	31	72	69	104	100
Bir Başka Tarım Alet Ve Makinası Çarpmadan	28	27	76	73	104	100

Bu hasarlar en çok %35 oranında hidrolik sistem elemanlarında, %19 oranında kasa kapaklarında, %15 oranında bağlantı okunda, %12 oranında ise makas ve dingil sistemlerinde meydana gelmektedir.(Çizelge 4.1.13) Burada bahsedilen hasarların korozyondan ziyade başka bir tarım alet ve makinasına çarpma veya aşırı yükleme nedeniyle ortaya çıkma ihtimali daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.1.13 En çok hasar gören organların dağılımı

	N	%
Elektrikli Aksam	0	0
Kasanın Ana Şasileri	8	8
Makas Sistemleri	12	12
Kasanın Tümü	0	0
Kasa Dikmeleri	0	0
Bağlantı Oku	16	15
Hidrolik Sistem Elemanları	36	35
Dingil	12	12
Kasa Kapakları	20	19
Toplam	104	100

Satın alınan tarım arabası üzerinde kullanım amacına uygun değişiklikler yapılabilmektedir. Kimi zaman bu değişiklikler daha fazla yükleme yapmaya yönelik olabilmektedir. (Çizelge 4.1.14)

Çizelge 4.1.14 Tarım Arabasında Yapılan Değişiklikler

	N	%
Cevapsız	64	62
Kapak Yükseltme	20	20
Ağaçtan Sacı Çevirme	4	4
Arka Kapağın Yana Açılması	4	4
Dingil Değişimi	4	4
Helezon İçin Kapak Yaptırdım	4	4
İlave Ve Makas Değişimi	4	4
Toplam	104	100

Bu değişiklikler için sac, ağaç veya tel kafes kullanılmaktadır. (Çizelge 4.1.15)

Çizelge 4.1.15 Tarım Arabasında İlave Kasa Uzantısı Kullanımı ve Malzeme Seçimi

	N	%
Hayır	32	31
Evet, Sac	28	27
Cevapsız	16	15
Evet, Ağaç	16	15
Evet	8	8
Evet, Tel Kafes	4	4
Toplam	104	100

Yapılan değişiklikler neticesinde yükleme kapasitesi artan tarım arabasının başta tekerleklerinde olmak üzere çeşitli arızalar meydana gelmektedir. Çiftçilerin %62'si tekerlek arızasıyla karşılaşırken, %19'u karşılaşmamaktadır. (Çizelge 4.1.16)

Çizelge 4.1.16 Tarım Arabası Tekerlerinde Hasarla Karşılaşılma Dağılımı

	N	%
Evet	64	62
Hayır	20	19
Bilmiyorum/Fikrim Yok	20	19
Toplam	104	100

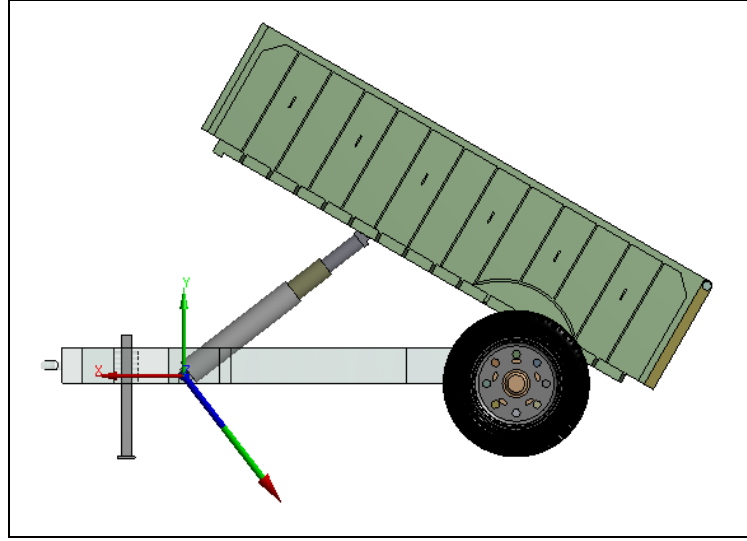
Tekerlek arızaları bilye dağılması, lastik patlaması ve jant eğilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. %38 oranıyla en fazla bilye dağılması yaşanırken, %31 lastik patlaması, %12 ise jant eğilmesi yaşanmaktadır. Kapasitesi üzerinde fazla yüklemeye dikkat edilmediğinde ana şasenin hasar görmesi dahi mümkün olabilir. (Çizelge 4.1.17)

Çizelge 4.1.17 Tarım Arabası Tekerinde Oluşan Teker Hasarları

	N	%
Bilye Dağılması	40	38
Boş	36	35
Lastik Patlaması	32	31
Jant Eğilmesi	12	12

4.2 ANSYS Analiz Sonuçları

Zamana bağlı olarak yapılan analizlerde piston bağlı noktalarında oluşan kuvvetler kritiktir.(Şekil 4.2.1) Bu bölgelerde meydana gelen maksimum kuvvetler Çizelge 4.2.1’de görülmektedir.

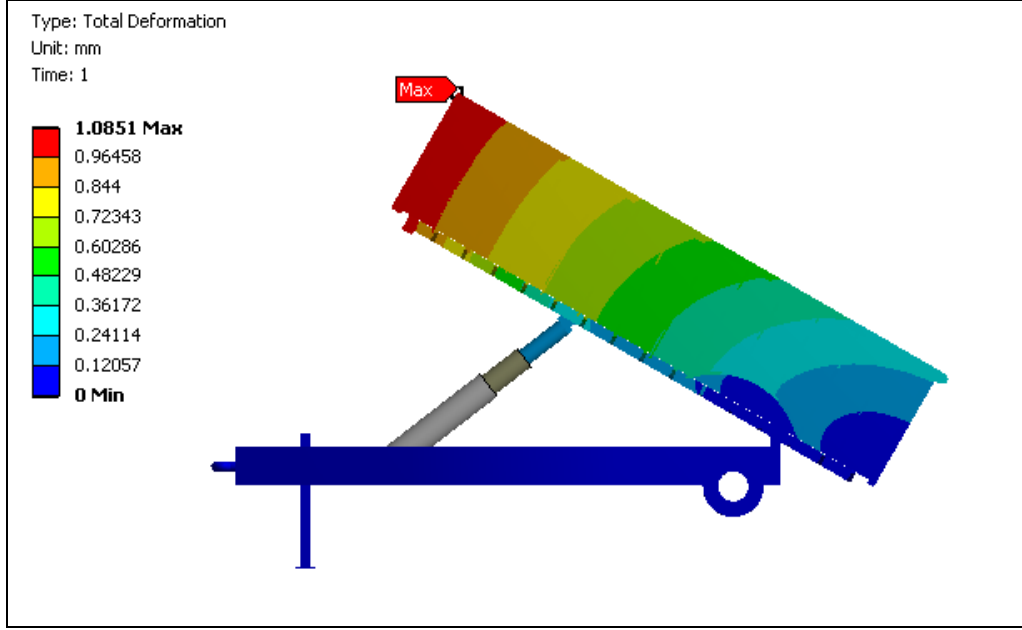


Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..1 Rijid Dinamik Analiz Sonuçları

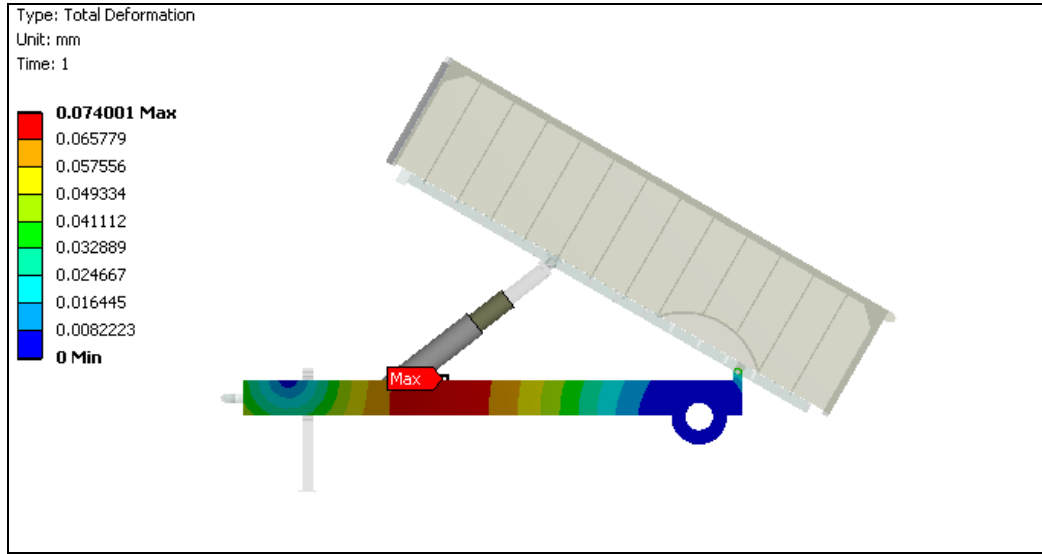
Çizelge 4.2.1 Rijid dinamik hareket simülasyonu sonucu hesaplanan kuvvetler

EKSEN	KUVVET (N)
X	13902
Y	18006
Z	0
BİLEŞKE KUVVET	47874

Statik analiz modeline göre Şekil 4.2.2 'de görüldüğü gibi 3 tonluk yük altında toplam yer değiştirme (deformasyon miktarı) 0,99 mm olmaktadır. Şasede meydana gelen toplam deformasyon miktarı ise 0,07 mm olmaktadır. (Şekil 4.2.3)

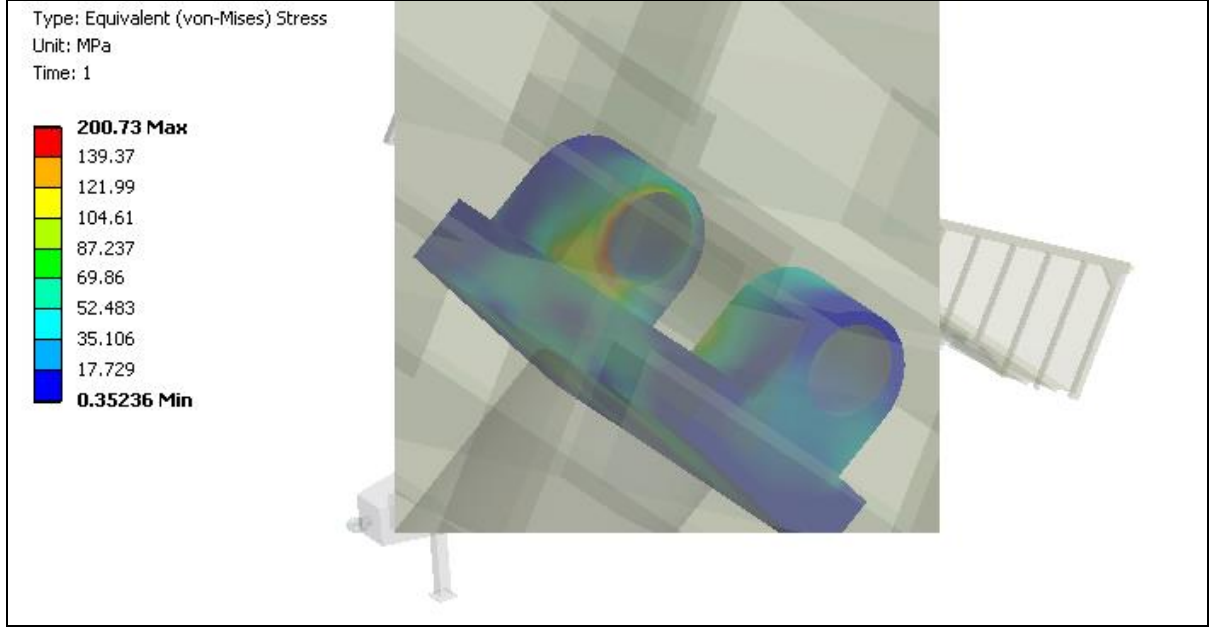


Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..2 Toplam yer değıştirme



Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..3 Şasede meydana gelen toplam yer değıştirme

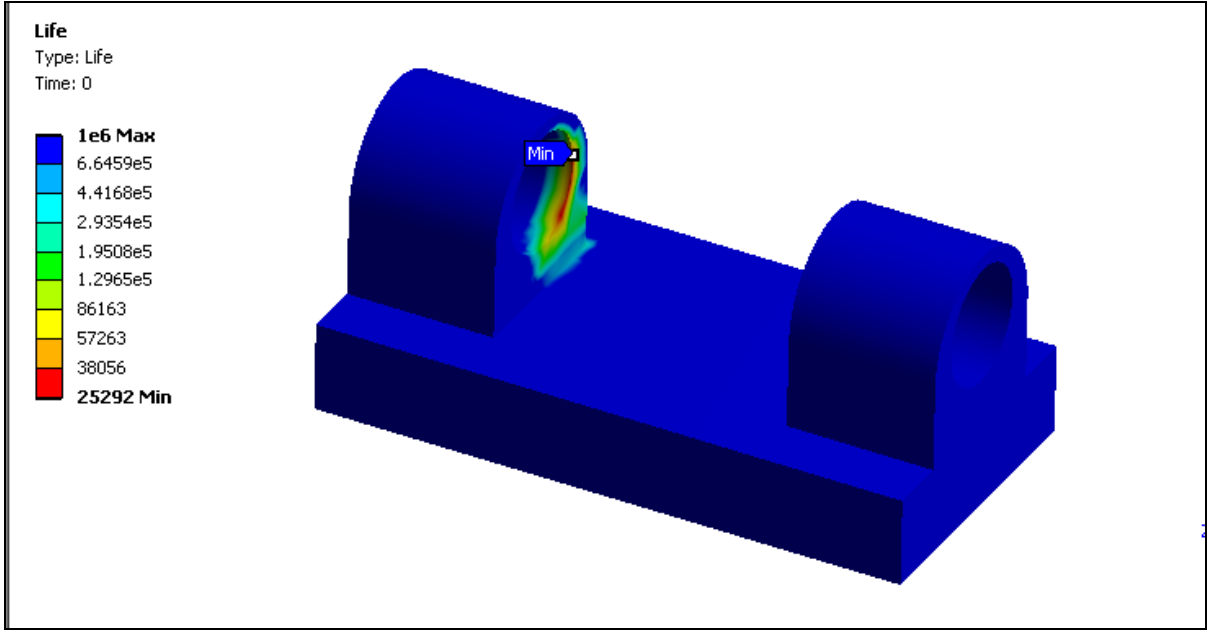
Bu yükler altında meydana gelen ve yorulma analizinde kullanılacak olan maksimum gerilme miktarı piston üst bağlantı noktası için maksimum 200 Mpa düzeyinde olmaktadır. (Şekil 4.2.4) Alt bağlantı noktasında ise Şekil 4.2.4 'de görüldüğü gibi maksimum gerilme 114Mpa düzeyinde olmaktadır.



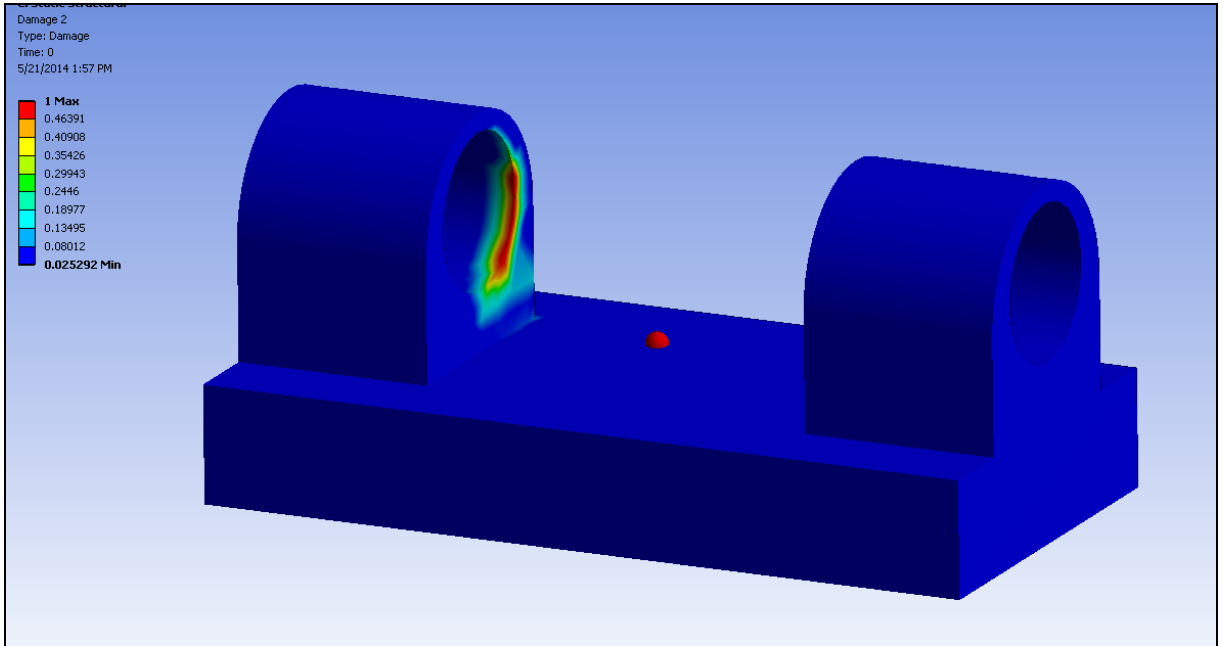
Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..4
Piston üst bağlantı noktasında meydana gelen gerilme

Tarım arabasında kritik nokta olarak ele alınan piston üst bağlantı noktasındaki yorulma denemeleri sonuçları Şekil 4.2.5’de, hasar Şekil 4.2.6’da verilmiştir. Piston üst bağlantı noktası için minimum tekrar sayısı Şekil 4.2.7’de görüldüğü gibi 25292 olduğu görülmüştür. Piston üst bağlantı noktası için 25292 tekrar sayısı yorulma hasarının başlayacağı nokta olarak tespit edilmiştir. Piston üst bağlantı noktasındaki iki eksenlilik Şekil 4.2.8’de verilmiştir.

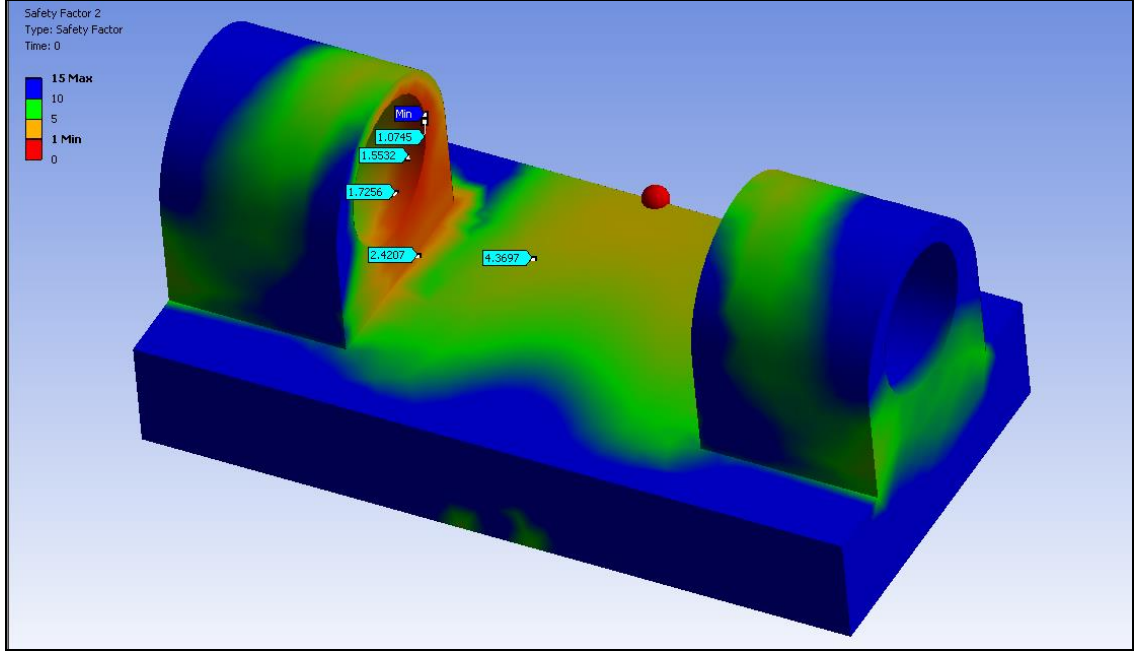
Sistemin genel durumundan maksimum gerilmelerin asıl yükü taşıyan piston bağlantı noktalarında oluştuğu görülmektedir. Bu bölgedeki sonuçlara bakıldığında statik durumdaki gerilmeler kullanılan malzemenin maksimum akma gerilmesini aşmamaktadır. Fakat yorulma analizinde elde edilen minimum çevrim sayılarına ulaşıldığında güvenlik katsayısı azalmakta ve yorulma hasarı başlamaktadır.



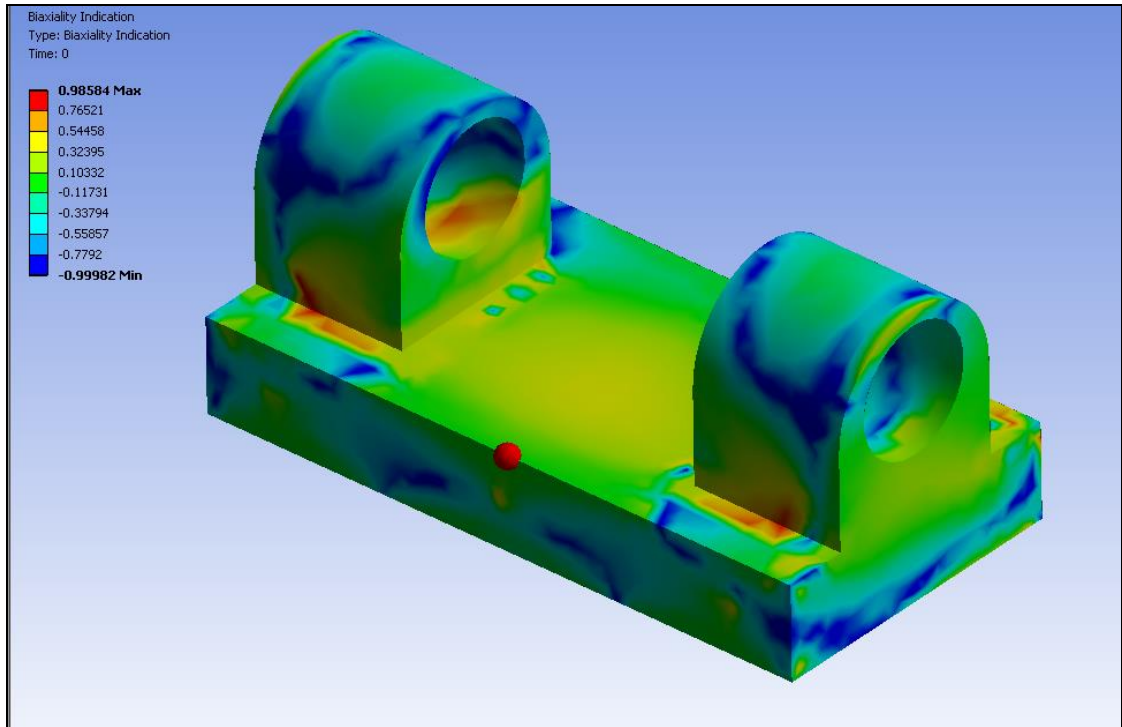
Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..5
Piston üst bağlantı noktası için tekrar sayısı



Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..6
Piston üst bağlantı noktası hasar



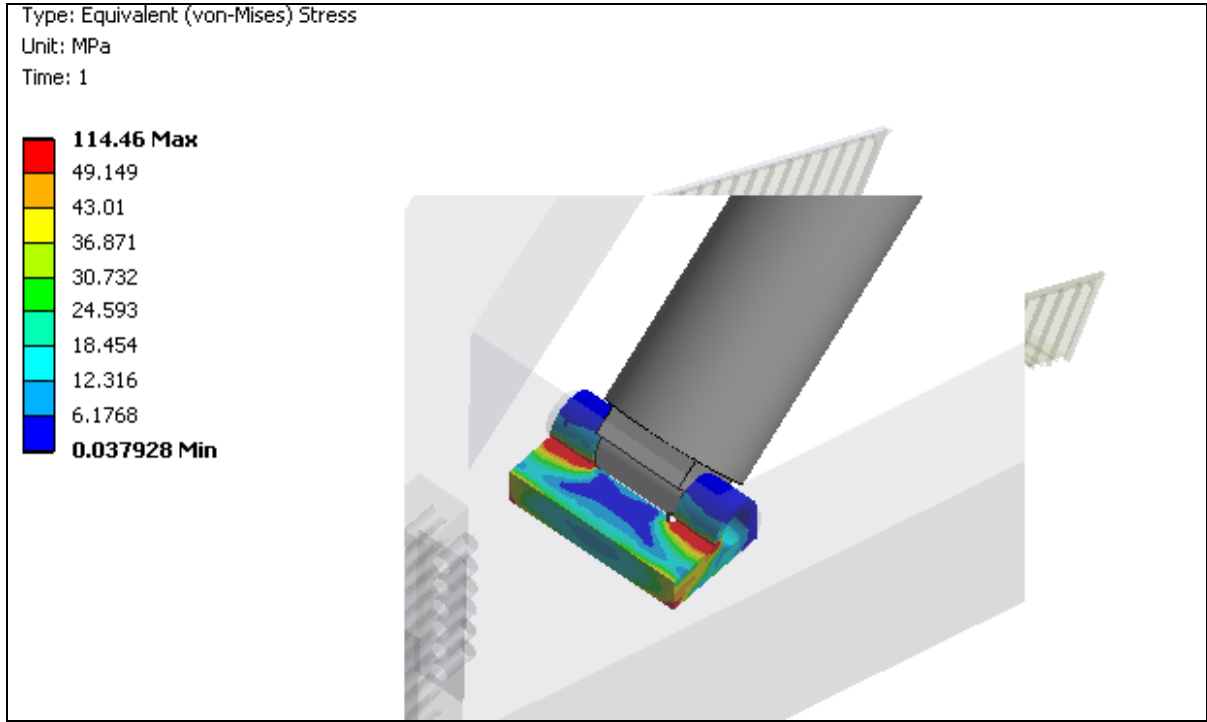
Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..7
Piston üst bağlantı noktası 25292 tekrardaki güvenlik katsayısı



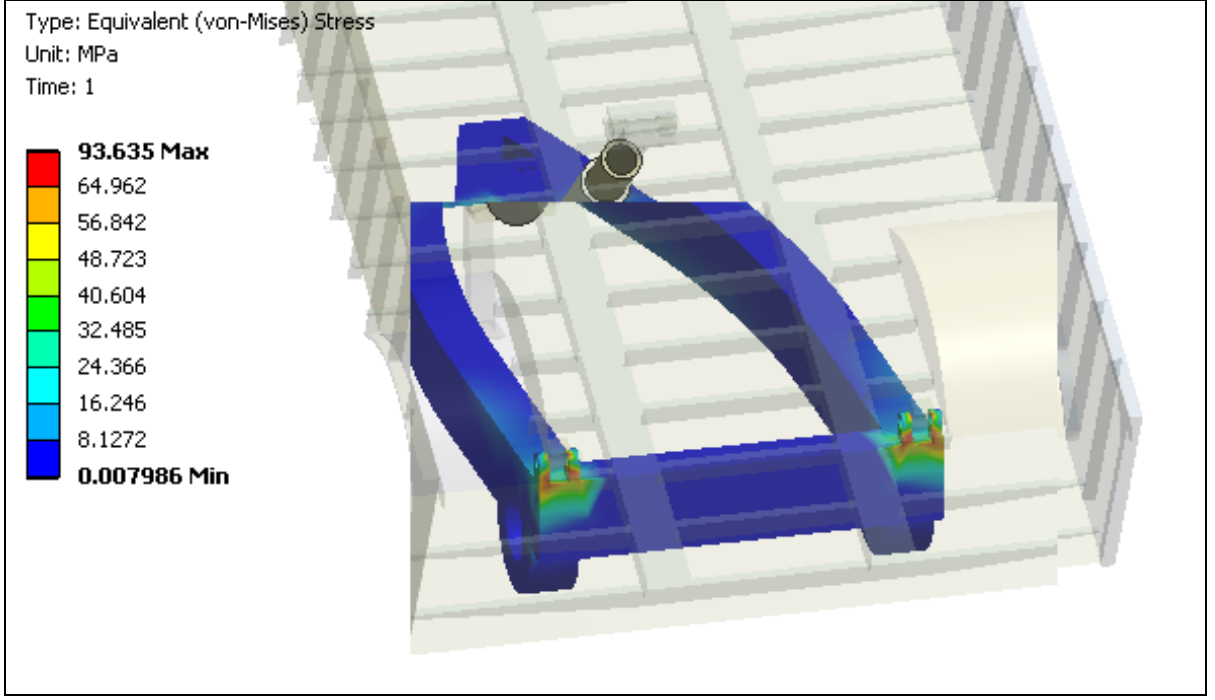
Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..8
Piston üst bağlantı noktası iki eksenlilik

Uygulanan 3 Ton yük altında meydana gelen ve yorulma analizinde kullanılacak olan maksimum gerilme miktarı piston alt bağlantı noktası için maksimum 114 Mpa düzeyinde olduğu görülmektedir. (Şekil 4.2.9) Şase arka bağlantı noktalarında meydana gelen

maksimum gerilme miktarı Şekil 4.2.10'da sunulduğu gibi 93 Mpa düzeyinde olduğu görülmüştür.

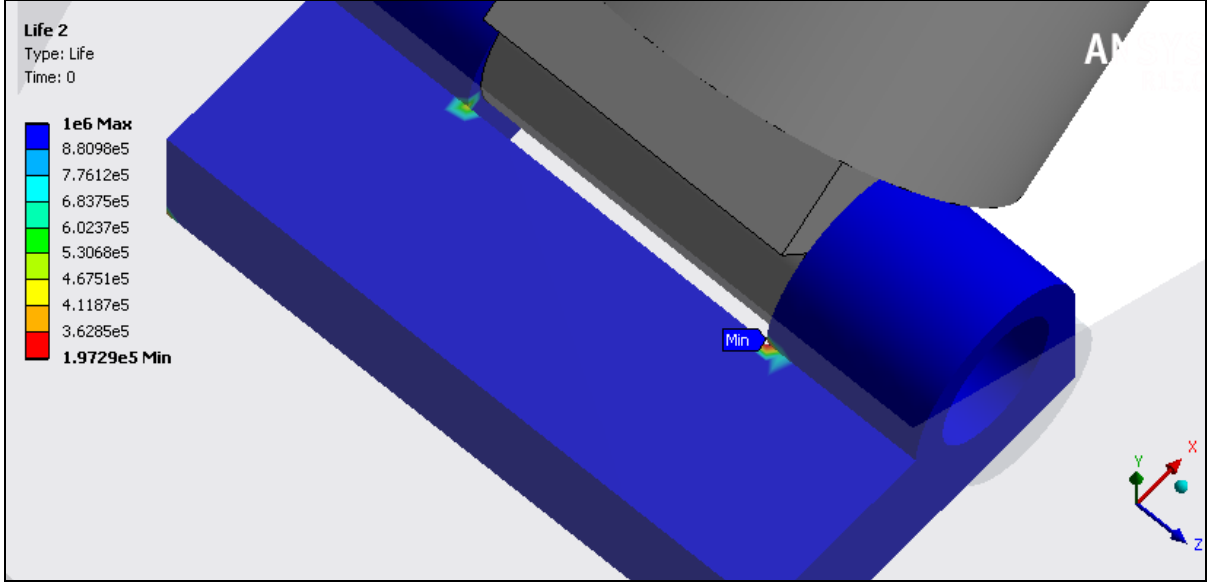


Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..9
Piston alt bağlantı noktasında meydana gelen gerilme

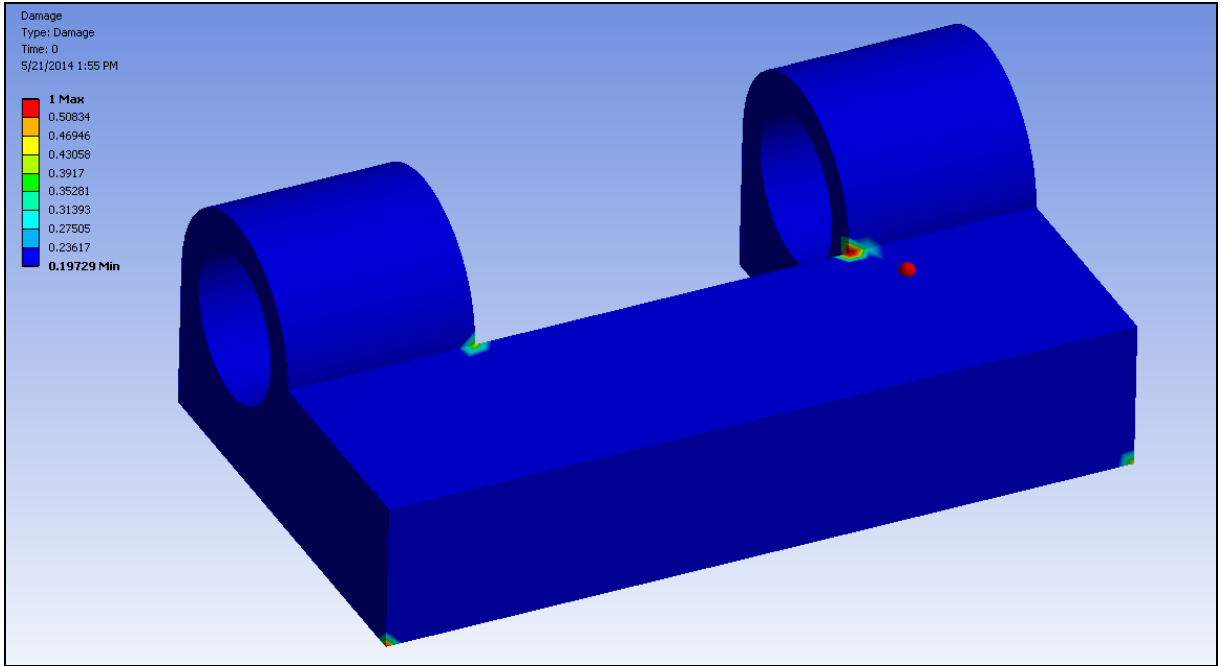


Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..**10**
Şase arka bağlantı noktalarında meydana gelen gerilme değeri

Piston alt bağlantı noktası için minimum tekrar sayısı Şekil 4.2.11’de görüldüğü gibi 197290 olduğu görülmüştür. Piston alt bağlantı noktası için 197290 tekrar sayısı yorulma hasarının başlayacağı nokta olarak tespit edilmiştir. (Şekil 4.2.12)



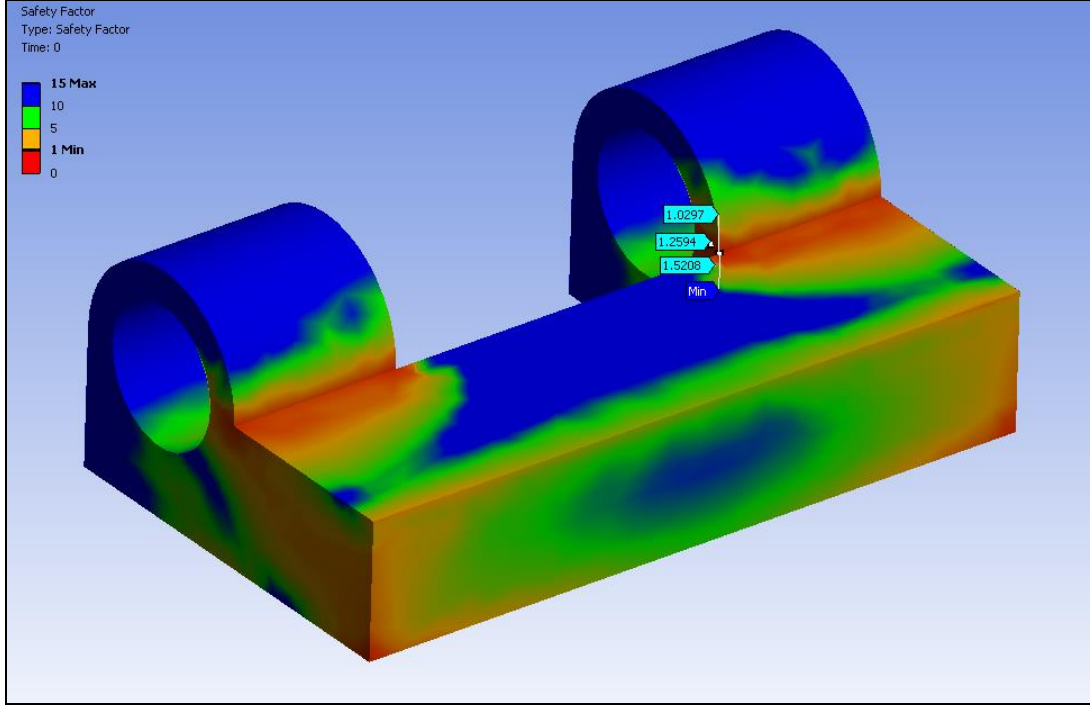
Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..11
Piston alt bağlantı noktası için tekrar sayısı



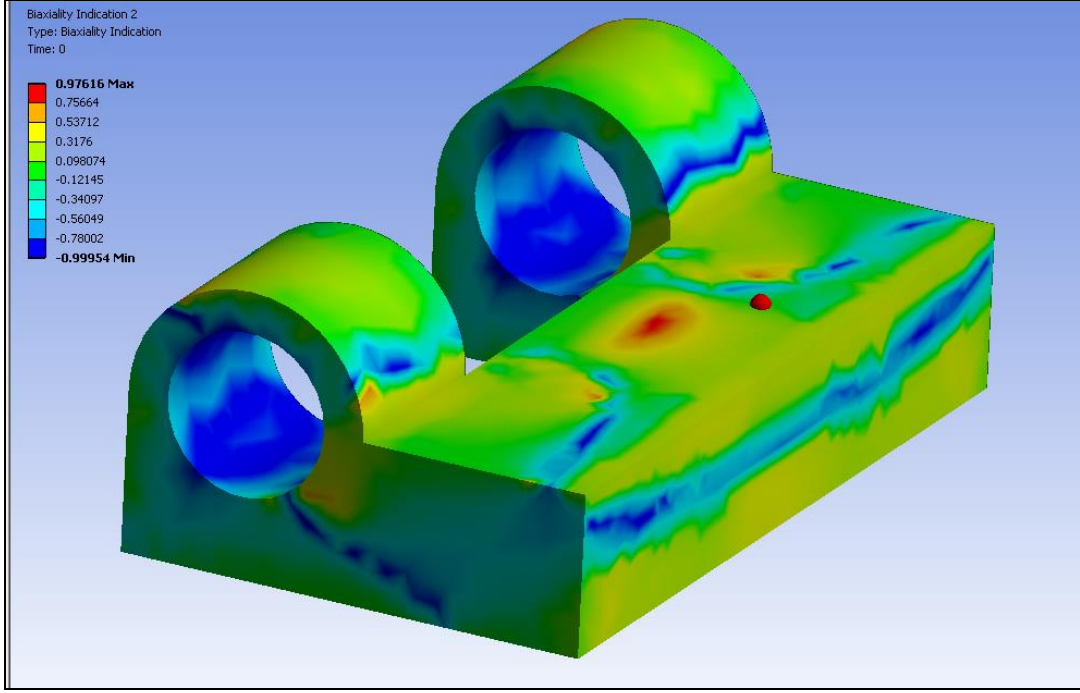
Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..12
Piston alt bağlantı noktası 197000 tekrardaki hasar

Şekil 4.2.13 ve Şekil 4.2.14'te görüldüğü gibi yorulma ile ilgili malzeme özellikleri tek eksenli gerilmeler altında belirlenir. Bu sonuç kullanıcıya bütün model üzerindeki gerilme

durumları ve bunların yorumlanması hakkında bilgi verir. Tek eksenli gerilmeler “0”, kayma gerilmeleri “-1” ve çift eksenli gerilmeler “1” ile temsil edilir.

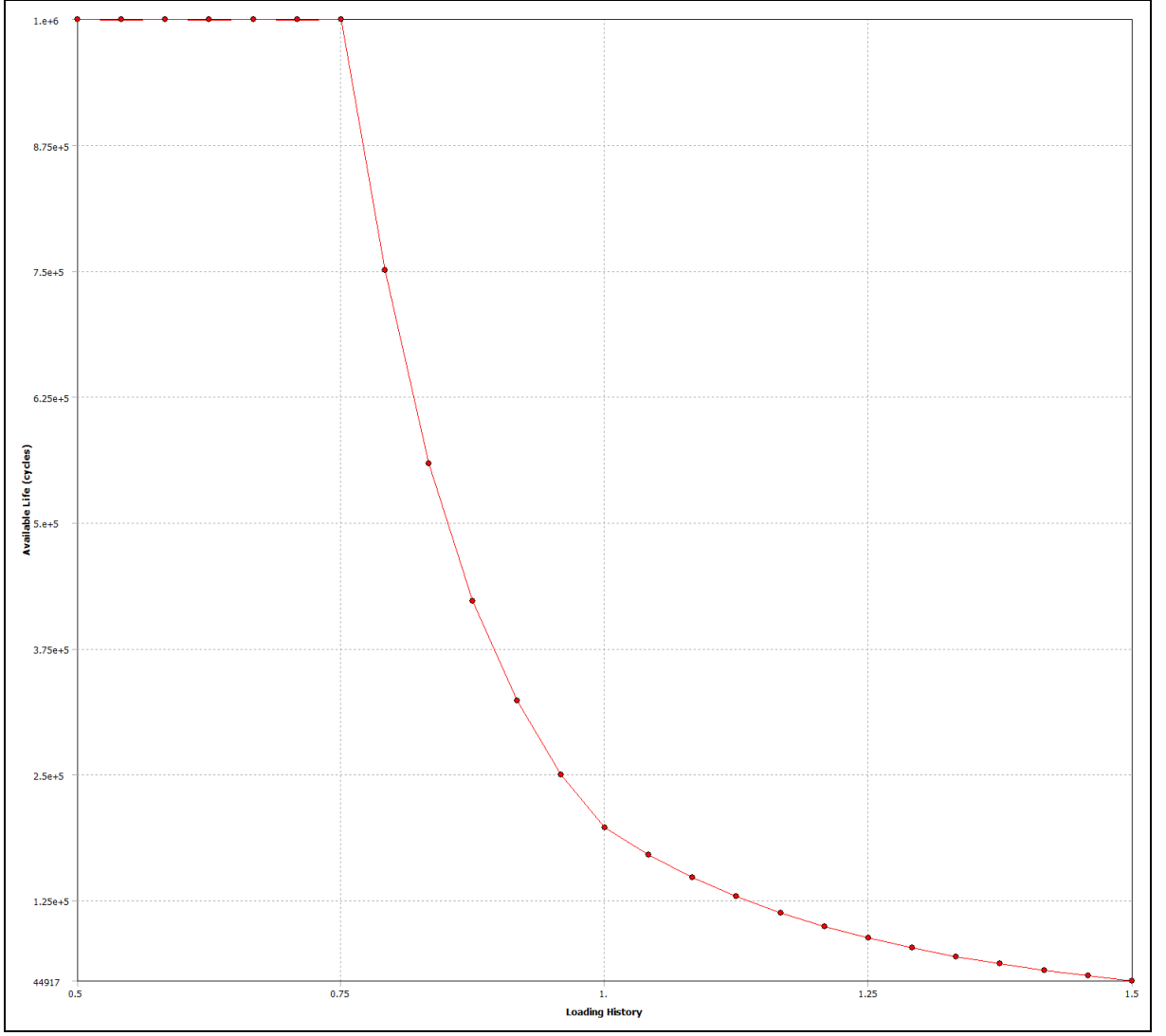


Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..13
Piston alt bağlantı noktası 197290 tekrardaki güvenlik katsayısı

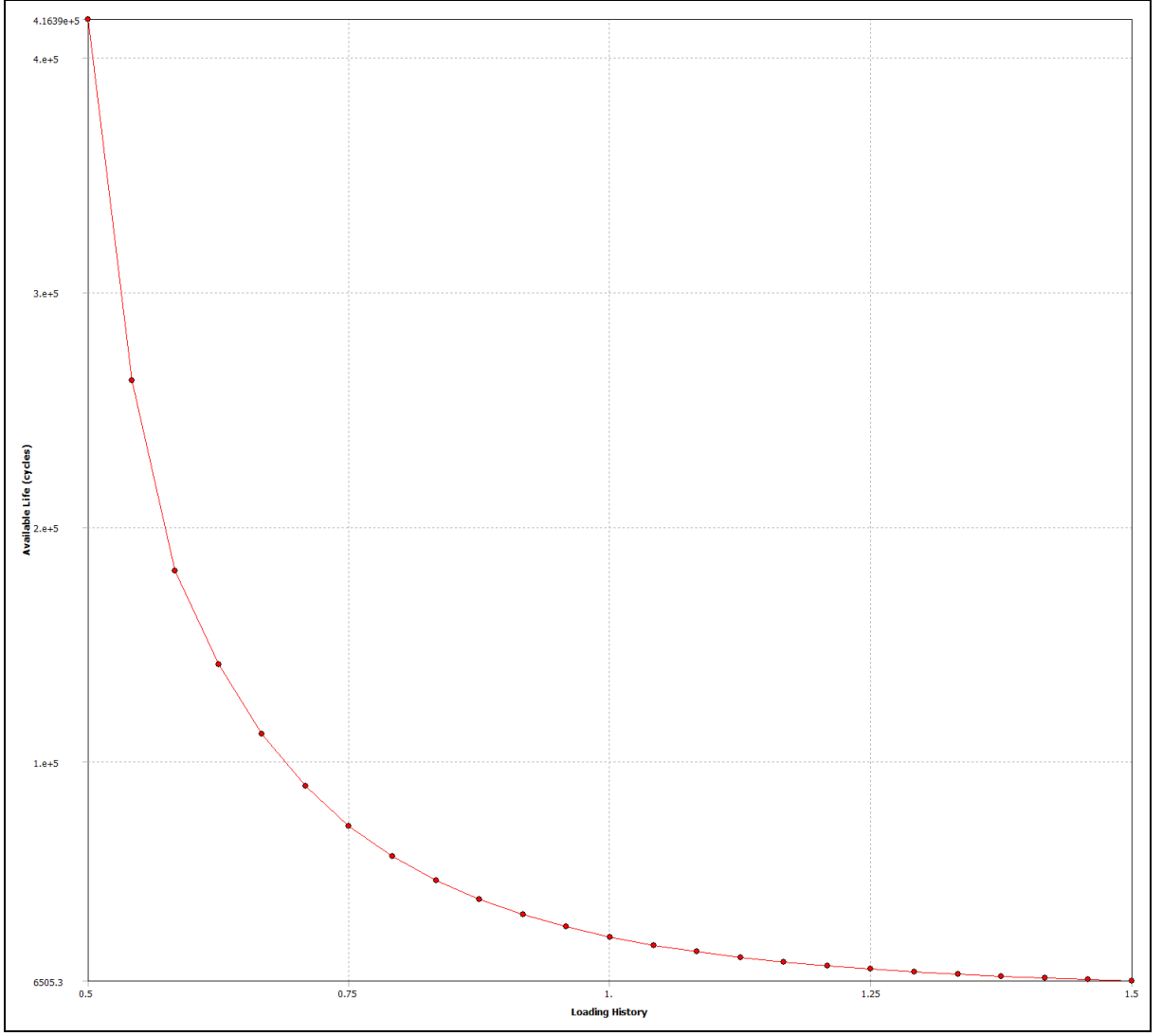


Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..14
Piston altt bağlantı noktası iki eksenlilik

Şekil 4.2.15 ve Şekil 4.2.16’da yorulma hassasiyeti (fatigue sensitivity), yorulma sonuçları kritik bölgelerdeki yüklemenin bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiğini göstermiştir. Hassasiyet ömür, hasar veya güvenlik faktörü için bulunmuştur.



Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..15
Piston alt bağlantı noktası yorulma hassasiyeti



Şekil Error! Use the Home tab to apply Başlık 2 to the text that you want to appear here..16
 Piston üst bağlantı noktası yorulma hassasiyeti

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Mühendislik alanında yapılan çalışmaların gösterdiğine göre matematiksel denklemlerin çözümü zor ve kompleks olan problemler ANSYS sonlu eleman yazılımı ile modellenerek çözüme daha kısa sürede ulaşmak mümkün olabilmektedir. Bu nedenle bu yazılımın tarımın çeşitli alanlarındaki problemlerin analiz ve çözümlemesinde de kullanmak yararlı olacaktır. Ayrıca yapılan çalışmalar, ANSYS sonlu eleman yazılımı kullanarak problemlerin başarılı bir şekilde çözülmesinin ele alınan sorunun çok iyi derecede modellenmesine bağlı olduğu gösterilmiştir. ANSYS uygulamaları çözülmesi zaman alan sorunların çözülmesinde pratik ve maliyetlerin düşürülmesi bakımından daha avantajlıdır. Dolayısıyla tarımsal alana yönelik kompleks mühendislik problemlerin çözümünde ANSYS önemli bir yazılımdır.

ANSYS Workbench, her bir sonlu elemanın çözümünü ayrı ayrı değerlendirir. Ağ örgü boyutu arttığında koşturulan analizin süresinin kısaldığı gözlemlenebilir. Yani ağ örgü boyutu azaldıkça paket programın çözmesi gereken denklem sayısında artış olacaktır. Başka bir deyişle, ağ örgü sayısı arttıkça problemin serbestlik derecesi artmaktadır. Bu durumda, problem için daha doğru sonuçlar elde edilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen yorulma analizi, modellemenin doğru olarak yapılması şartı ile gerçekle örtüşen neticeler verecektir. Bu neticeler sayesinde, malzemenin ömrü için gerekli ön bilgiye sahip olunacak ve gerek duyulan emniyet katsayıları da hesaba katılarak malzemenin optimum süre boyunca yararlanılmıştır.

Sistemin genel durumundan maksimum gerilmelerin asıl yükü taşıyan piston bağlantı noktalarında olduğu görülmektedir. Bu bölgedeki sonuçlara bakıldığında statik durumdaki gerilmeler kullanılan malzemenin maksimum akma gerilmesini aşmamaktadır. Fakat yorulma analizinde elde edilen minimum çevrim sayılarına ulaşıldığında güvenlik katsayısı azalmakta ve yorulma hasarı başlamaktadır.

Bu çalışmada, ANSYS Workbench 14.0 versiyonu ile bilgisayar ortamında 3 boyutlu katı modelleme ile, ayrıntılarına girilmeden önemli düzenek ve ana parçalarıyla, konvansiyonel bir tarım arabası modeli tasarlanabilmiş, 3 boyutlu olarak lineer olmayan hesaplama yöntemi kullanılarak çözdürülmüştür. Tasarlanan tarım arabasının hareketli parça ve mekanizmalarının gerçeğe yakın bir şekilde çalışma hareketlerini yapabilmek yeteneğine sahip olduğu görülmüştür. Yapılan analizlerde üst ve alt piston bağlantı noktalarının en yüksek gerilme ve değiştirme değerlerinin olduğu kritik noktalar belirlenmiştir. Gerilmenin

en yüksek olduğu noktadaki, güvenlik katsayısı değerleri bulunmuştur. Analizler sonunda çıkan, üst ve alt piston bağlantı noktalarına ait güvenlik faktörü başka bir deyişle güvenlik katsayısı değerlerinin genel makine tasarımında kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmüştür. Buna karşın,

3 boyutlu katı modelleme kullanılarak oluşturulan mekanizma ve makinelerin, bilgisayar ortamında sonlu elemanlar metodu ile kinematik analizlerinin yapılabilmesi, tarım arabası gibi parçalı ve maliyetli makinelerin prototip üretiminden önce tasarımcılara ve imalatçılara büyük ölçüde zaman tasarrufu kazandırmasıyla birlikte maliyetlerinin de düşürülmesinde rol oynayacak niteliktedir.

Bu çalışmada sahada yapılan anket çalışmalarından elde edilen veriler ile masa başında bilgisayar yardımıyla hesaplanan değerlerin örtüştüğü görülmektedir. İki verinin de ortak olarak hidrolik sistem elemanlarını işaret etmesi burada gerçekten giderilmesi gereken sorunların olduğunu göstermiştir. Yukarıda değinilen kritik noktalarda güçlendirmelerin yapılmasıyla Türk mallarının kalitesi daha yükseltilerek ihracat noktasında tercih edilen ve aranan kaliteli ürün imal edilmesi sağlanmış olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Ahmadzadehrishehri, G. (2013). Modifications on A-F Hardening Rule to Assess Ratcheting Response of Materials and Its Interaction with Fatigue Damage under Uniaxial Stress Cycles, Doctor of Philosophy, Mechanical Engineering, Ryerson University, Toronto, Ontario, Canada.
- Akıncı, İ. (2003). Antalya İli Sulu Tarım Tarla İşletmelerinde Mekanizasyon Planlamasına Yönelik Temel İşletmecilik Verileri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16 (1), 61-68.
- Anonim, (2013). Korozotif Ortamlar, Sakarya Üniversitesi, https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/2013/318/376916955_2._hafta.pdf (erişim tarihi: Nisan 2013).
- Beneš, Š., Kruis, J. (2015). Efficient Methods To Visualize Finite Element Meshes, Advances in Engineering Software, Vol. 79, Page 81-90.
- Bircan. A. (2011). Makina Parçalarının Hasar Analizi / Failure Analysis Of Machine Parts, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Bötke, A. (2012). Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) Nedir?, <http://artunbotke.com/2012/02/25/sonlu-elemanlar-analizi-fea-nedir-ben-ne-is-yapiyorum/> (Erişim Tarihi, 12.09.2012)
- Çakır, T., Yalçın, H., Aykas, E., ve Dereli, İ. (2009). Organik Tarımda Koruyucu Toprak İşleme Yöntemleri ve Uygulanabilirliği, 1. GAP Organik Tarım Kongresi, Şanlıurfa, 17-20 Kasım.
- Çelik, H.K. (2013). Tarım Makineleri Tasarımında Yapısal Optimizasyon Tekniklerinin Uygulanması Üzerine Bir Araştırma: Tamburlu Çayır Biçme Makinesi Örneği / Research On The Implementation Of Structural Optimization Techniques in Agricultural Machinery Design: Case Study For A Rotary Drum Mower Machine, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Antalya.
- Çelik, H.K., Topakcı, M., Yılmaz, D., Akıncı, İ. (2007). Çizelin Yapısal ve İşlevsel Elemanlarında Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Mukavemet Analizi, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi 3 (2), 111 – 116.
- Çetinkaya, C. (2011). Klasik Bir Biçerdöverin Sarsak Mekanizmasının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Kinematik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Ankara.
- Çıplak, E. (2009). Failure Analysis Of Composite Bolted Joints Under Corrosive Effects / Korozif Etkiler Altında Kompozit Cıvatalı Bağlantıların Hasar Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Dağ, S., Fıçıcı, F., Geniş, K. (2007). İş Makinalarında Kırılma ve Yorulma Problemlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Mühendis ve Makine Dergisi Cilt 48, Sayı 571 : 3-5, Ankara.

- Dartar, İ. (2007). Türkiye'nin Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi İle Haritalanması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana.
- Demirci, H.İ., Gökçe, H. (2010). Sac Metal Parçalarda Bağlama Noktalarının Bulunmasında Bilgisayar Destekli Optimizasyon Süreci, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 7, No: 1: 19 – 33.
- Erdem, M.E. (2013). Failure Analysis Of Thick Composites / Kalın Kompozitlerin Hasar Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Erkoç, C.N., Dağhan, B., Kaya, S. (2006). Bir Cad Programı ile Katı Modellenmiş Bir Milde Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 8 Sayı: 3 S. 65-74, İzmir.
- Fetvacı, M.C., İmrak, C.E. (2004). Dişdibi Gerilmelerinin Analizi İçin Düz Dişli Çarkların Sonlu Eleman Modellenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 19, No 2:199-203, Ankara.
- Gallego, E., Goodey, R.J., Ayuga, F., Brown, C.J., (2004). Some practical features in modelling silos with finite elements. An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 044150.
- Gökdoğan, O. (2005). Eğirdir İlçesi Tarım İşletmelerinin Mekanizasyon Düzeyi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Isparta.
- Göktoğa, M.U. (2012). Simulation Of Conjugate Heat Transfer Problems Using Least Squares Finite Element Method / En Küçük Kareler Sonlu Eleman Yöntemi Kullanılarak Eşlenik Isı Transferi Problemlerinin Benzetimi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Güç, H. (2012). Kompozit Plakların Klasik Kabuk Ve Sürekli Kabuk Sonlu Eleman Modelleri İle Hasar Analizi / Failure Analysis in Composite Plates Using Classical And Continuum Shell Finite Element Models, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Harzadin, G., Yurdakonar.,S. (1969). Makine Elemanları (Çeviri), Cilt-I, Matbaa Teknisyenleri Koll. Şti. İstanbul.
- Işık, E., Güler, T., ve Ayhan, A. (2003). Bursa İline İlişkin Mekanizasyon Düzeyinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 17: 125-136.
- Kalkan, E. (2007). Traktör Güvenlik Kabini Statik Yükleme Deneylerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Karalı, M. (2007). Derin Sac Çekme İşleminde Kalıp Boşluğunun Cidar Kalınlık, Teknolojik Araştırmalar Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı 1: 55-60.
- Karpat, F., Doğan, O., Yüce, C., Kaya, N., Yavuz, N., Cengiz, G. (2014). Traktör Debriyajı Parmak Mekanizmasının Analizi, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 26–27 Mayıs, Bursa.

- Kaplan, G. (2013). Esnek Mekanizmaların Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi / Investigation Of Compliant Mechanisms By Using Finite Element Method, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Kasap, A. ve Özgöz, E. (2006). Tokat İlinin Tarımsal Mekanizasyon Durumu Ve Farklı Toprak İşleme Sistemlerinin Uygulanabilirliği, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 23: 45-51.
- Kayalı, E.S. (1997). “Hasar Analizine Giriş”, Bölüm 1, Hasar Analizi Seminer Notları, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, İstanbul.
- Kutlak, H., Uygur, İ. (2014). Ticari Araç Sac Salıncak Düzeninin Sonlu Elemanlar Metodu İle Yorulma Analizi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 2, Sayfa 235–250, Düzce.
- Li, H.Y., (1994). Analysis of steel silo structures on discrete supports, Department of Civil Engineering & Building Science, The University of Edinburgh, Ph. D. Thesis, 244p.
- Malgaca, L., Karagülle, H. (2007). Mekanik Sistemlerin Sonlu Elemanlar Modelleriyle Aktif Titreşim Kontrolünün Entegrasyonu, 13. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Cilt 1 : 69 – 75, Sivas.
- Onan, C. (2013). Boruların Dış Yüzeyindeki Hareketli Sıvı Filminden Olan Isı Ve Kütle Transferinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Orçen, G. (2011). Pim Bağlantılı Tabakalı Kompozit Malzemelerde Hasar Analizi / Failure Analysis Of Pinned Joint Laminated Composite Materials, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Özdemir, Ö.N. (2009). Sonlu Elemanlar Yönteminde Yorulma Mekaniği ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Özdemir, T. (2013). Motor Biyel Kolunun Baş Kısmının Kırılmasının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Nümerik Analizi Üzerine Bir Çalışma / A Study On Engine Connecting Rod Head Section's Fracture Splitting Examination By Using Finite Element Method, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Özer, D., Özbay, M.,(2004). Düzlemsel Yüklenmiş Ortasında Dairesel Delik Bulunan Kompozit Plakta Oluşan Elastik Gerilmelerin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 19, No 1:51-57, Ankara.
- Saral, A., Vatandaş, M., Güner M., Ceylan, M. ve Yenice, T., (2009). Türkiye Tarımının Makinalaşma Durumu, http://www.zmo.org.tr/resimler/ekler/2004314aa49d953_ek.pdf?tipi=14andsube= (erişim tarihi, Aralık 2009)
- Şenalp, A. Z., (2013). Sonlu Elemanlar Analizinin temelleri, Gebze ileri teknoloji enstitüsü, <http://www.scribd.com/doc/190114494/1-SEY-Giri%C5%9F> (erişim tarihi, Aralık 2013)
- Şenel, H., (2006). Doğu Akdeniz Bölgesinde Yaygın Traktörlerin Teknik Özellikleri ve Kullanıcı Değerlendirmeleri, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı,
Kahramanmaraş.

- Tolun, F., Eren, İ., (2014). “Lowbed Şasisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Yapısal Analizi ve Kritik Gerilme Bölgesinin Tespiti,” Mühendis ve Makina, cilt 55, sayı 651, s. 50-56.
- Topcu, M., Taşgetiren, S., (1998). Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu, PAÜ Mühendislik Fakültesi Matbaası, Ders Kitapları Yayın No: 007, Denizli.
- Zeytinoğlu, M. (2006). Sonlu Elemanlar Yöntemiyle 3.5 Tonluk Tek Dingilli Bir Tarım Arabasına Ait Çeki Halkasının Gerilme Analizi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi Sayı 2, Cilt 21, Sayfa 21-24, Bursa.
- Zeytinoğlu, M. (2002). Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Pulluk Deveboynunun Mukavemet Analizi Üzerine Bir Araştırma, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi Sayı 2, Cilt 16, Sayfa 169 - 176, Bursa.

ÖZGEÇMİŞ

17 Eylül 1982 'de Bandırma'da doğdu. Okul hayatına Antalya/Gazipaşa'da başladı. Bandırma Şehit Mehmet Güneç Lisesi'nden mezun olduktan sonra, Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Bitkisel Üretim Bölümünü kazandı. 2006 yılında lisans mezuniyetinden hemen sonra Namık Kemal Üniversitesi Tarım Makinaları Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2009 yılından beri Namık Kemal Üniversitesi Biosistem Mühendisliği Bölümünde Doktora öğrenimini sürdürmektedir. Yükseköğrenim hayatı boyunca ulusal ve uluslararası şirketlerde çeşitli kademelerde görev almıştır.