Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 10(1): 21-27, 2022
DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i1.21-27.4705

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology

Available online, ISSN: 2148-127X | www.agrifoodscience.com | Turkish Science and Technology Publishing (TURSTEP)

Computerized Analysis of the Roll Over Protective Structure Designed for Safe Worker Transport with Agricultural Trailers

Maksut Barış Eminoğlu[1,a], Uğur Yegül[1,b,*], Burak Şen[2,c]

[1]*Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Faculty of Agriculture, Ankara University, 06110 Ankara, Turkey*
[2]*Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Technology, Niğde Ömer Halisdemir University, 51240 Niğde, Turkey*
[*]*Corresponding author*

ARTICLE INFO

Research Article

Received : 21/09/2021
Accepted : 04/12/2021

Keywords:
Transportation in agriculture
Safety
Agricultural worker
Designing
Stress

ABSTRACT

It is crucial to transport agricultural workers safely to the field or orchard to carry out agricultural activities. In our country, although it is not recommended in terms of security, transporting agricultural workers to field, vineyard-orchard is usually carried out with agricultural trailers. There are traffic regulations about transporting agricultural workers with agricultural trailers. However, both non-compliance with the regulations and the accidents that occur during the transport of workers with agricultural trailers that do not have a safe transport arrangement can result in severe injuries and loss of life. In this research, two different roll-over protection structure (ROPS) of the demountable-mountable seating arrangement models are designed for the safe transportation of agricultural workers. Developed models are analyzed using ANSYS software in terms of total deformation and stress parameters in the computer environment.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(1): 21-27, 2022

Tarım Arabaları ile Güvenli İşçi Taşınması Amacıyla Tasarlanan Yuvarlanmaya Karşı Koruyucu Yapının Bilgisayar Ortamında Analizi

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş : 21/09/2021
Kabul : 04/12/2021

Anahtar Kelimeler:
Tarımda ulaşım
Güvenlik
Tarım işçisi
Tasarım
Gerilme

ÖZ

Tarımsal faaliyetlerin yürütülebilmesi için tarım işçilerinin güvenli bir şekilde tarla ya da bahçeye taşınması oldukça önemlidir. Ülkemizde güvenlik açısından önerilmemekle birlikte tarım işçilerinin tarla ya da bağ-bahçeye taşınmaları genellikle tarım arabaları ile gerçekleştirilmektedir. Tarım arabaları ile işçi taşınabilmesi için ülkemizde belirlenen trafik yönetmelikleri bulunmaktadır. Ancak gerek yönetmeliklere uyulmaması ve gerekse emniyetli taşıma düzeneği olmayan tarım arabaları ile işçi taşınması sırasında meydana gelen kazalar ciddi yaralanmalar ve can kaybı ile sonuçlanabilmektedir. Bu çalışmada; güvenli işçi taşınması için tasarlanan, tarım arabasına sökülüp takılabilir, oturma düzeneğine ait iki farklı yuvarlanmayı önleyici yapı tasarlanarak modellenmiştir. Geliştirilen modeller bilgisayar ortamında ANSYS paket programı kullanılarak toplam deformasyon ve gerilme parametreleri yönünden analiz edilmiştir.

[a] *eminoglu@agri.ankara.edu.tr* *http://orcid.org/0000-0003-3264-3636*
[b] *yegul@ankara.edu.tr* *http://orcid.org/0000-0001-8105-1106*
[c] *bsen@ohu.edu.tr* *http://orcid.org/0000-0003-2139-4080*

This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Tarım işletmelerinde; yetiştirilen ürünlerin tarladan işletme merkezine, pazara, gübrenin tarlaya götürülmesi, yemlerin taşınması, işçilerin tarlaya götürülüp getirilmesi gibi işler tarım arabaları ile yapılmaktadır. Tarım arabaları, her tarımsal işletmede bulunan ve taşıma işlerinin büyük kısmının yapıldığı araçlardır. Özellikle tarım işçilerinin işletme merkezinden araziye taşınmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Ülkemizde TÜİK' in 2020 verilerine göre 1.218.758 adet kayıtlı tarım arabası bulunmaktadır (Anonim a, 2020).

Tarım alet ve makinalarının yıllık çalışma sürelerinin verildiği bir çalışmada tarım arabalarının yıllık çalışma sürelerinin 300 h/yıl değeri ile traktörden sonra bir tarım işletmesinde en çok kullanılan ekipman olduğu belirtilmiştir (Anonim b, 2021).

Tarım arabaları ile tarım işçilerinin ulaşımında meydana gelen kazalar zaman zaman can kaybı ve ağır yaralanmalar ile sonuçlanabilmektedir. Tarım arabası kazalarının genellikle kullanım esnasında; devrilme, tarım arabasından düşme veya çarpma şeklinde olduğu belirtilmiştir. Tarım arabası ile çalışmada gerçekleşen kazaların nedenleri; %18,22 uygun olmayan arazi/yol şartları, %13,57 operatörün kullandığı tarım arabası ile ilgili teknik bilgi eksikliği, %12,79 operatör haricindeki kişilerin emniyet kurallarına uymaması, %12,21 uygun olmayan şekilde yük ve yolcu taşınması, %12,02 diğer nedenler ve %11,24 operatörün dikkatsizliği olarak sıralanmıştır. Kazazedelerin olaydan etkilenme durumlarının ele alındığı 714 tarım arabası kazasında kazazedelerin; %33,61'i hafif yaralanmış, %20,31'i hayatını kaybetmiş, %9,80'i ağır yaralanmış, %4,48'i kısmen fiziksel engelli, %0,98'i tamamen fiziksel engelli ve %31,51'i hiç etkilenmemiştir (Gölbaşı 2002).

Tarım makinaları kullanımındaki risk algılarını belirlemek için yapılan bir çalışmada, 38 kişi ile yüz yüze yapılan anketlere göre; en riskli değerlendirilen makineler genel olarak traktörler ve tarımsal taşıma vasıtaları (tarım arabaları/römorklar, ot toplama, yem taşıma, dağıtma römorkları vb.) olarak belirlenmiştir. (Yurtlu ve ark. 2012).

Söke, Menemen, Manisa, Salihli ve Saruhanlı bölgelerinde traktör sahibi olan ve traktörü bizzat kullanan çiftçilerden tesadüfi örnekleme yolu ile seçilen 250 çiftçi ile yüz yüze görüşerek yapılan bir araştırmanın sonucunda; traktör ve beraberindeki alet ve makinalar arasında tarım arabaları ile yapılan kazaların tüm kazaların %33'ü gibi büyük bir kısmını oluşturduğu belirlenmiştir. Tarım arabası üzerinde insan taşımanın ülkemizde oldukça yaygın durumda olduğu ve ankete katılanların neredeyse tamamının bu yönde cevap verdikleri belirtilmiştir. Kırsal yörelerde yeterli denetim olmaması nedeniyle bu tür kazaların önüne geçilemediği vurgulanmıştır (Öz, 2005).

Alfaro ve ark. (2010), 4 farklı traktör modelinde yuvarlanmaya karşı koyucu yapıları test emek için ANSYS paket programı ile sonlu elemanlar analizi yöntemini kullanmışlardır. Solidworks paket programı ile traktörlere ait ROPS ve kabinler modellenmiştir. Hazırlanan üç boyutlu modeller, ANSYS paket programında referans kuvvet ve enerji değerleri ile analiz edilmiş ve OECD Kod4 testi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçları değerlendirdiklerinde sonlu elemanlar yönteminin yuvarlanmaya karşı koyucu yapıların tasarımında kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Mangoda ve ark. (2007) traktörlerde kullanılan yuvarlanmaya karşı koyucu yapıların hesaplarını kolaylaştırmak için "ESTREMA" isimli bir program geliştirmişlerdir. Bu program hesaplama yapabilmek için; traktör kütlesi, koltuk referans noktasından arka aksa yatay ve düşey mesafe, vida ölçüleri, ROPS alt yüzeyi ile traktörün zemini gibi bilgileri bir forma işlenmesini gerektirmektedir. Program bu bilgiler in yardımıyla test sırasında emilecek enerjiyi, imal edilecek ROPS' un kiriş uzunluklarını ve momentleri hesaplamaktadır. Bu yöntemle ölçüleri belirlenen bir ROPS traktöre monte edilmiş ve OECD Kod 4 testlerine sokulmuştur. Sonuç olarak program ile parametreleri belirlenen ROPS'un testlerde güvenlik kriterlerini karşıladığı belirtilmiştir. Bu programla hesaplamaları yapılan ve imal edilen bir yuvarlanmaya karşı koyucu yapının onay testlerinden geçtiğini belirtmişlerdir.

Yaptığımız araştırmada, traktörlerin devrilmesi sonucu karşılaşılabilecek kayıpları önlemek için geliştirilen yuvarlanmaya karşı koyucu yapı, tarım arabası ile insan taşınmasını güvenli hale getirebilmek için emniyet kemerine sahip bir oturma düzeni ile birlikte tarım arabasına uyarlanmıştır. Yapılan tasarımın gerilme ve deformasyon açısından değerlendirilebilmesi için ANSYS paket programı ile sonlu elemanlar analizi yapılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Tarım Arabası

Yapılan tasarımda modellenen tarım arabası, iki dingilli, lastik tekerlekli, çeki oku bulunan, fren tertibatına sahip tarım traktörü ile çekilen, yük taşıyan motorsuz bir taşıttır (Kadayıfçılar, 1993). Gerçekleştirilen çalışma ile uzunluğu 4000 mm, genişliği 1900 mm ve kasa tabanının yüksekliği 1200 mm, kasa kapaklarının yüksekliği 800 mm olan iki dingilli 4 ton yük taşıma kapasitesine sahip bir tarım arabası CATIA paket programı kullanılarak modellenmiştir (Şekil 1).

Karayolları Trafik Yönetmeliği

Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Trafik Yönetmeliği'nin kamyon, kamyonet ve römorklarla yolcu taşınabilmesi esaslarının belirtildiği 130. maddesinde "kamyon, kamyonet, römork ve yarı römorklarda yük üzerinde insan taşınması yasaktır." ifadesi yer almakla birlikte "gerekli hallerde kamyon, kamyonet, römork ve yarı römorklarla;

- Araçların İmal, Tadil ve Montajı Hakkındaki Yönetmelikte belirtilen ölçülere uygun oturma yerleri yapılması,
- Kasa kenarlarının düşmeyi önleyecek şekilde kapalı ve üzerinin örtülü olması,
- Şartıyla taşıma sınırının her tonu için 2 yolcu taşınabilir.
- Kısa mesafelerde işçi taşınmasında kullanılacaklar için, kasanın yanı ve arka kapaklarının 90 cm. yükseklikte ve sağlam şekilde kapalı olması, karoser zemininden itibaren en az 120 santimetre yüksekliğinde elle tutulacak sağlam bir korkuluğunun bulunması şartı ile taşıma sınırının her tonu için ayakta 2 yolcu (işçi) taşınabilir. Bu amaçla kullanılan araçların üzeri açık olabilir.

- Yükle birlikte yolcu ve hizmetlilerin taşınmasında aşağıdaki esaslara uyulması mecburidir.
- Yüklerin sağlam olarak yerleştirilmiş ve bağlanmış olması,
- Kasanın yan ve arka kapaklarının kapalı olması,
- Yolcuların kasa içinde ayrılacak bir yerde oturtulması,
- Yüklerin üzerine hiçbir şekilde yolcu bindirilmemesi,

Şartıyla yükle birlikte yolcu taşınabilir." denilmektedir (Anonim c, 1997).

Tasarımda göz önüne aldığımız tarım arabası 4 ton taşıma kapasitesine sahip olduğu için toplamda sekiz tarım işçisinin oturabileceği iki model üzerinde durulmuştur.



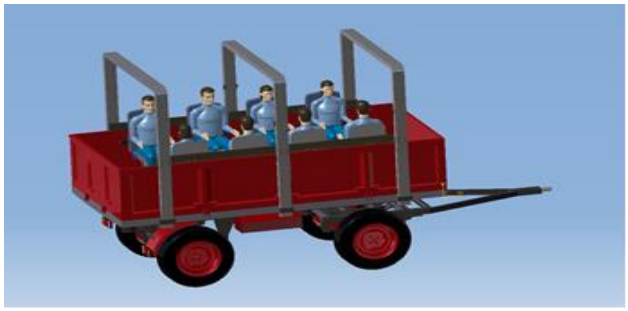
Şekil 1. İki dingilli tarım arabası
Figure 1. The two-axle agricultural trailers



Şekil 2. Yuvarlanmayı önleyici yapı (ROPS)
Figure 2. Rollover protection structure (ROPS)



Şekil 3. Koltuğun genel görünüşü
Figure 3. General view of the seat



Şekil 4. Model 1'in izometrik görünüşü
Figure 4. Isometric view of Model 1

Emniyet Kemeri

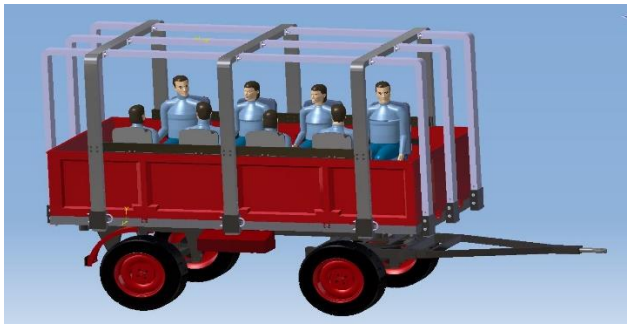
Emniyet kemeri, frenleme veya çarpışma anında sürücü veya yolcu üzerine etkiyen kuvvetin, kemer aracılığıyla vücuda yayılarak etkisiz hale getirilmesini sağlayarak bu şekilde vücudu koltuğa sabitlemektedir. Sonuçta çarpmalardan kaynaklanan yaralanma ve ölümler bir nebzede olsa önlenmiş olur. Yapılan tasarımda tarım arabasına monte edilecek her koltuk için birer adet emniyet kemeri de bulunmaktadır. Özellikle yolcuların devrilme ve ters dönme sırasında koltuklarında; onlar için tasarlanan güvenli alanda kalmaları emniyet kemerinin kullanılması ile mümkün olmaktadır.

Yuvarlanmaya Karşı Koyucu Yapı (ROPS)

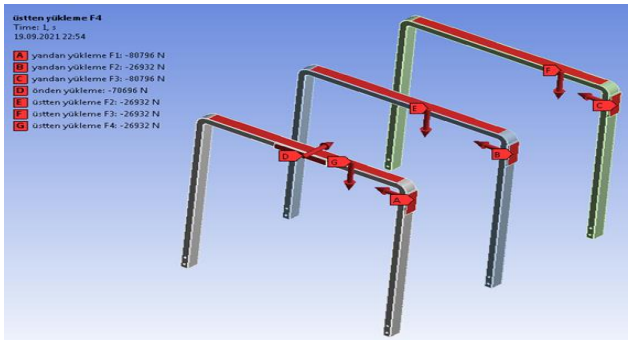
Yuvarlanmaya karşı koyucu yapı ilk olarak 1950'li yıllarda İsveç'te geliştirilmiştir (Silleli, 2006). Traktör devrilmelerinde can kaybını önlemeyi ve traktör sürücüsüne güvenli bir bölge sağlamayı amaçlayan bu yapı tarım arabasının olası bir devrilme sonucunda ters dönerek yuvarlanmasını önlemek amacıyla düşünülmüştür. Bu yapıların test prosedürleri OECD 'nin tarım ve orman traktörlerinin testleri için belirtilen Kod4 direktifinde açıklanmaktadır (Anonymous a, 2014). Yapılan tasarımda yer alan yuvarlanmaya karşı koruyucu yapı ile oturma düzeni kullanacak işçilerin, OECD KOD4 direktifinde belirtilen kriterler doğrultusunda; tarım arabasının devrilmesi veya yuvarlanması durumunda güvenli bölgede kalmaları; tarım arabası kazalarında karşılaşılan yolcunun zemin ile tarım arabasının kasası arasında ezilmesi durumuna karşı bir önlem almak amaçlanmıştır. (Şekil 2). Yuvarlanmaya karşı koruyucu yapılar, tarım arabasının ana şasesine kaynak ile monte edilen kutu profillere cıvata ile bağlanacak şekilde tasarlanmıştır.

Oturma Düzeni

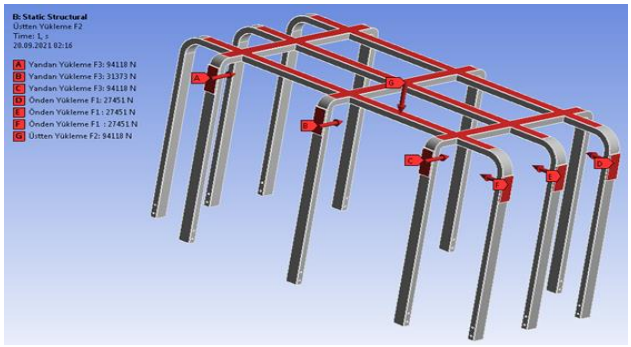
Ek koltuklar ile ilgili EN 15694-2009 nolu standartda traktörler için ek bir koltuk için en az 400 mm genişlik, en az 300 mm derinlik ve sırt desteği için en az 200 mm yüksekliğe sahip olması gerekliliği belirtilmiştir (Anonymous b, 2012). Yapılan tasarımda koltuk ölçüleri belirlenirken Kayış ve Özok'un (1989) yaptıkları araştırmada elde ettikleri; otururken omuz yüksekliği, otururken kalça baldır uzaklığı, otururken diz altı yüksekliği ve omuz genişliği değerleri kullanılmıştır. Bu değerler sırasıyla sırtlık yüksekliği, oturak uzunluğu, oturak yüksekliği ve sırtlık genişliği için kullanılmıştır. Sırtlık yüksekliği ve genişliği için ortalaması ve standart sapması verilen değerlerin normal dağılımı için en büyük %95'lik bölgesi dikkate alınmıştır. Oturak uzunluğu ve oturak yüksekliği için ise verilen değerlerin normal dağılımı için en küçük %5'lik bölgesi dikkate alınmıştır. Şekil 3'te seçilen değerler ve koltuğun hangi ölçüsü için kullanıldıkları milimetre biriminden verilmiştir. Koltukların her iki yanında özellikle arazide yol alınırken oturanların elleriyle tutarak koltuklarda daha rahat oturmalarını sağlayacak tutamaklar bulunmaktadır. Oturma düzeni, profil ve plakalarla yuvarlanmayı önleyici yapılara civatalar ile monte edilecek şekilde tasarlanmıştır. Oturaklar arasında 300 mm mesafe bulunmaktadır. Tarım arabası ile yolcu taşınmadığında sökülerek ürün ve malzemelerin taşınmasına olanak sağlayacaktır. Oturaklarda kullanılacak emniyet kemerinin tipi devrilme sonucu tarım arabasından dışarı savrulmayı önlemek amacıyla dört nokta emniyet kemeri olarak seçilmiştir.



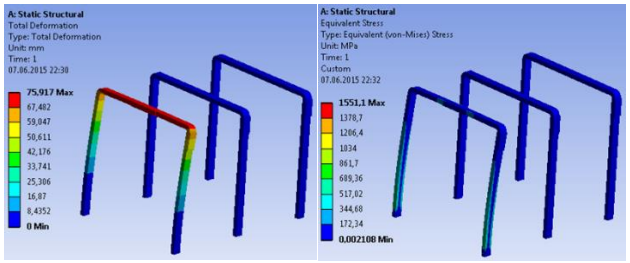
Şekil 5. Model 2'nin izometrik görünüşü
Figure 5. Isometric view of Model 2



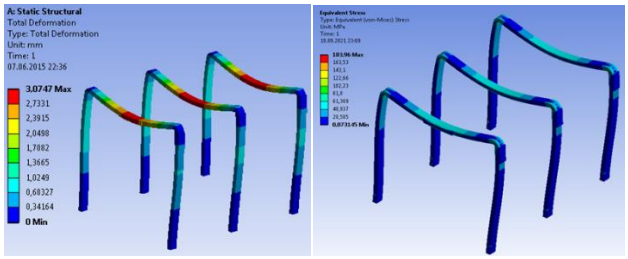
Şekil 6. Model 1'e etkiyen kuvvetler
Figure 6. Model 1 to the effect that forces



Şekil 7. Model 2'ye etkiyen kuvvetler
Figure 7. Model 2 to the effect that forces



Şekil 8. Model 1'in önden yüklenmesi
Figure 8. Front loading of Model 1



Şekil 9. Model 1'in üstten yüklenmesi
Figure 9. Top loading of Model 1

Katı Modelleme

Tarım arabası ile yolcu taşınması amacıyla geliştirilen iki modelin çizimleri CATIA R21 bilgisayar paket programı ile yapılmıştır. Model 1'de yuvarlanmaya karşı koyucu yapılar yalnızca tarım arabasının uzun ekseni boyunca 1400 mm aralıkla yerleştirilmiştir (Şekil 4).

Model 2' de ise yuvarlanmaya karşı koyucu yapılar tarım arabasının uzun ekseni boyunca 1400 mm, kısa ekseni boyunca 740 mm aralıkla yerleştirilmiş; üst çatı kısmında eşit aralıklarla yerleştirilen destek parçaları ile koruyucu bir kafes yapı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 5).

Her iki model de de yuvarlanmayı önleyici yapılar 140×80×8 mm ölçülerinde dikdörtgen profil şeklinde modellenmiştir.

Sonlu Elemanlar Analizi

Her iki model, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz için oturma düzenleri ve bağlantı elemanlarının yüzey çakışmalarından kaynaklı hatalara sebep olmaması için yalnız yuvarlanmaya karşı koyucu yapıları analiz edecek şekilde basitleştirilmiştir.

Basitleştirilen katı modeller hazırlandıktan sonra ANSYS 15.0 paket programı kullanılarak analizin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle st37 yapı çeliği malzeme olarak program tarafından belirlenmiştir. Bu yapı çeliğine ait özellikler Çizelge 1' de görülmektedir.

Daha sonra modellerin analizi için alt parçalar (mesh) ve düğüm noktalarına (nod) ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Alt parçalara ayırma işleminde analizin doğruluğunu arttırmak için istatistiki değerlerin uygunluğu kontrol edilmiştir. Çizelge 2' de modellerin bu alt parçalarına ait özellikler verilmiştir.

Modeller alt parçalara ve düğüm noktalarına ayrıldıktan sonra her bir model bağlantı elemanlarının yer aldığı 20 mm çapındaki deliklerden sabitlenmiş ve yerçekimi kuvveti tanımlanmıştır.

Analiz sırasında uygulanacak kuvvetlerin belirlenmesi için tarım arabasının maksimum yüklü ağırlığı Model 1 için 4118 kg, Model 2 için ise 4797 kg olarak belirlenmiştir. Tarım arabaları kazaları incelendiğinde; kazaların devrilme ve yuvarlanma şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Kazaların gerçekleştiği eğimlerin yüksek olması devrildikten sonra yuvarlanmaya neden olabilmektedir. Bu kaza olasılıkları arasında yana devrilme ve ters dönme en çok karşılaşılabilecek durunlar olarak akla gelmektedir. Geriye devrilmelerin ancak yüksek eğimli bir arazide, çeki demirinin traktör ile bağlantısı kopması sonucu meydana gelebileceği düşünülerek; yuvarlanmayı önleyici yapılara OECD' nin tarım ve orman traktörleri testleri için belirtilen Kod 4 direktifi göz önüne alınarak üç eksenden kuvvet uygulanmıştır.

Yuvarlanmaya karşı koruyucu yapıya önden uygulanan kuvvet değeri (F_1):

$$F_1=1{,}75\times M \text{.....(N)} \quad (1)$$

M: Tarım arabasının ön görülen maksimum yüklü ağırlığı (N)

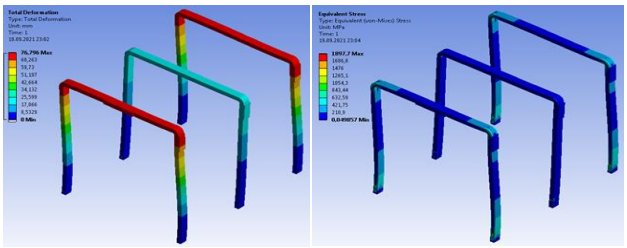
Yuvarlanmaya karşı koruyucu yapıya üstten uygulanacak kuvvet (F_2):

$$F_2=2\times M \text{.....(N)} \quad (2)$$

Yuvarlanmaya karşı koruyucu yapıya yandan uygulanacak kuvvet(F_3):

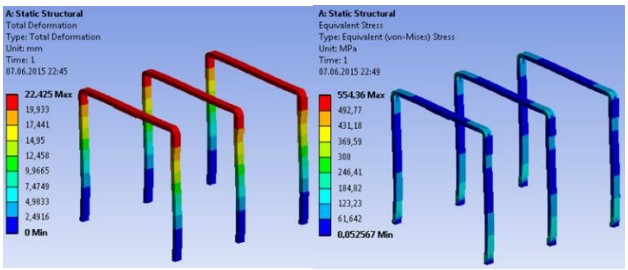
$F_3=2\times M$……(N) (3)

Yana devrilme durumunda iki farklı senaryo göz önüne alınmıştır. 1. senaryoda yandan yüklemede önce ilerleme yönündeki ya da ilerleme yönünün tersindeki yuvarlanmaya karşı koyucu yapının zeminle temas ettiği durumda; önce zemin ile temas eden yapıya F_3 kuvvetinin tamamı ve ortadaki yapıya $1/3F_3$ kuvveti uygulanmıştır. 2. senaryoda ise yuvarlanmaya karşı koyucu üç yapının da aynı anda zeminle temas ettiği varsayılmış ve üç yapıya da ayrı ayrı $1/3F_3$ kuvveti uygulanmıştır. Bu kabulleri göz önüne aldığımızda bilgisayar ortamında tasarımı yapılan model 1'e uygulanan kuvvetlerin yönü ve değerleri Şekil 6'da, model 2'ye uygulanan kuvvetlerin yönü ve değerleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



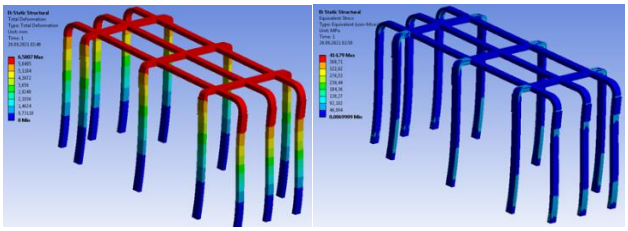
Şekil 10. Model 1'in 1.senaryoya göre yandan yüklenmesi

Figure 10. Sideloading of Model 1 according to scenario 1



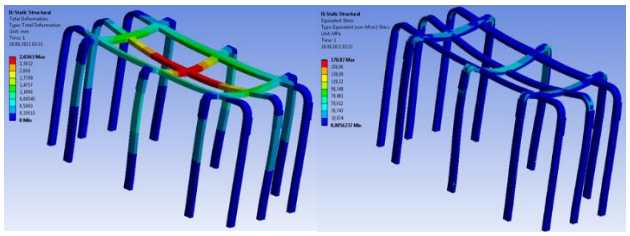
Şekil 11. Model 1'in 2.senaryoya göre yandan yüklenmesi

Figure 11. Sideloading of Model 1 according to scenario 2



Şekil 12. Model 2'nin önden yüklenmesi

Figure 12. Front loading of Model 2



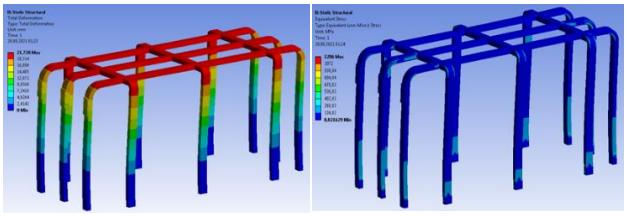
Şekil 13. Model 2'nin üstten yüklenmesi

Figure 13. Top loading of Model 2

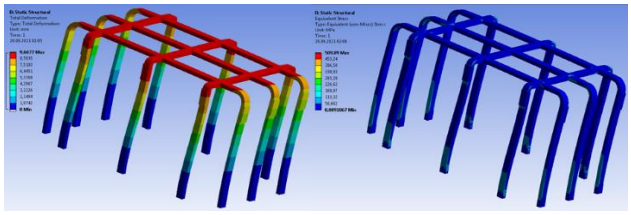
Bulgular ve Tartışma

Yapılan analizler sonucunda Model 1'in önden yüklenmesiyle meydana gelen toplam deformasyon ve gerilmenin oluştuğu bölgeler Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8' de görüldüğü gibi Model 1'in önden yüklenmesi durumunda tasarlanan yuvarlanmaya karşı koruyucu yapının toplam deformasyonu 75,9 mm ve ortaya çıkan en yüksek gerilme değerinin 1551,1 MPa olduğu görülmektedir. Model 1'in üstten yüklenmesiyle meydana gelen toplam deformasyon ve gerilmenin oluştuğu bölgeler Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 9' da görüldüğü gibi Model 1'in üstten yüklenmesi söz konusu olduğunda tasarlanan yuvarlanmaya karşı koruyucu yapının toplam deformasyonu 3,1 mm ve ortaya çıkan en yüksek gerilme değerinin 183,9 MPa olduğu görülmektedir. Model 1'in 1. senaryoya göre yandan yüklenmesiyle meydana gelen toplam deformasyon ve gerilmenin oluştuğu bölgeler Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10'da görüldüğü gibi Model 1'in birinci senaryoya göre yandan yüklenmesi durumunda tasarlanan yuvarlanmaya karşı koruyucu yapının toplam deformasyonu 76,8 mm ve ortaya çıkan en yüksek gerilme değerinin 1898 MPa olduğu görülmektedir. Model 1'in 2. senaryoya göre yandan yüklenmesiyle meydana gelen toplam deformasyon ve gerilmenin oluştuğu bölgeler Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekil 11'de görüldüğü gibi Model 1'in ikinci senaryoya göre yandan yüklenmesi durumunda tasarlanan yuvarlanmaya karşı koruyucu yapının toplam deformasyonu 22,4 mm ve ortaya çıkan en yüksek gerilme değerinin 554 MPa olduğu görülmektedir.

Yapılan analizler sonucunda Model 2'nin önden yüklenmesiyle meydana gelen toplam deformasyon ve gerilmenin oluştuğu bölgeler Şekil 12'de gösterilmiştir. Şekil 12'de görüldüğü gibi Model 2'nin önden yüklenmesi durumunda tasarlanan yuvarlanmaya karşı koruyucu yapının toplam deformasyonu 6,5 mm ve ortaya çıkan en yüksek gerilme değerinin 415 MPa olduğu görülmektedir. Model 2'nin üstten yüklenmesiyle meydana gelen toplam deformasyon ve gerilmenin oluştuğu bölgeler Şekil 13'de gösterilmiştir. Şekil 13'de görüldüğü gibi Model 2'nin üstten yüklenmesi durumunda tasarlanan yuvarlanmaya karşı koruyucu yapının toplam deformasyonu 2,7 mm ve ortaya çıkan en yüksek gerilme değerinin 179 MPa olduğu görülmektedir. Model 2'nin 1. senaryoya göre yandan yüklenmesiyle meydana gelen toplam deformasyon ve gerilmenin oluştuğu bölgeler Şekil 14'de gösterilmiştir. Şekil 14'de görüldüğü gibi Model 2'nin birinci senaryoya göre yandan yüklenmesi durumunda tasarlanan yuvarlanmaya karşı koruyucu yapının toplam deformasyonu 21,7 mm ve ortaya çıkan en yüksek gerilme değerinin 1206 MPa olduğu görülmektedir. Model 2'nin 2. senaryoya göre yandan yüklenmesiyle meydana gelen toplam deformasyon ve gerilmenin oluştuğu bölgeler Şekil 15'te gösterilmiştir. Şekil 15'te görüldüğü gibi Model 2'nin ikinci senaryoya göre yandan yüklenmesi durumunda tasarlanan yuvarlanmaya karşı koruyucu yapının toplam deformasyonu 9,7 mm ve ortaya çıkan en yüksek gerilme değerinin 510 MPa olduğu görülmektedir. En yüksek gerilme değeri 1898 MPa ve en yüksek deformasyon değerleri 76,8 mm değerlerinin görüldüğü Model 1'in yandan birinci senaryoya göre yüklendiği durumda gözlemlenmiştir (Çizelge 3).



Şekil 14. Model 2'nin 1. senaryoya göre yandan yüklenmesi
Figure 14. Sideloading of Model 2 according to scenario 1



Şekil 15. Model 2'nin 2. senaryoya göre yandan yüklenmesi
Figure 15. Sideloading of Model 2 according to scenario 2

Çizelge 1. Yapı çeliğine ait özellikler
Table 1 Properties of structural steel

Yoğunluk (kg/mm^3)	Sıkıştırma dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Kopma dayanımı (MPa)
7,85 × 10^6	250	250	460

Çizelge 2. Alt parçalara ait özellikler
Table 2 Features of subparts

Katı model	En küçük kenar uzunluğu (mm)	Alt Parça sayısı	Düğüm noktası sayısı
Model 1	5	40773	81975
Model 2	5	86077	166224

Çizelge 3 Analizler sonucunda elde edilen değerler
Table 3 The values obtained as a result of the analyzes

			Model 1	Model 2
Üstten Yükleme		Maksimum Deformasyon (mm)	3,1	2,7
		Sistemdeki maksimum gerilme (Mpa)	183,9	179
Önden yükleme		Maksimum Deformasyon (mm)	75,9	6,5
		Sistemdeki maksimum gerilme (Mpa)	1551	415
Yandan yükleme	Senaryo 1	Maksimum Deformasyon (mm)	76,8	21,7
		Sistemdeki maksimum gerilme (Mpa)	1898	1206
	Senaryo 2	Maksimum Deformasyon (mm)	22	9,7
		Sistemdeki maksimum gerilme (Mpa)	554	510

Bilgisayar ortamında yapılan analizler sonucunda tasarlanan modellerin tarım arabası ile işçilerin güvenli taşınması konusunda temel bir model olabileceği görülmüştür. Benzer çalışmalar bilgisayar ortamında yapılan analizlerin statik dayanım testlerine yakın sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak modellerdeki en düşük gerilme ve deformasyon değerleri ise üstten yüklenme gözlemlenmiştir. Özellikle önden yükleme ve yandan yüklenme durumlarında Model 2'nin daha düşük deformasyon ve gerilme değerlerinde olduğu görülmektedir. Yandan yükleme durumunda ise kuvvet değerlerinin daha yüksek olduğu 1. senaryoda deformasyon ve gerilme değerleri her iki yuvarlanmaya karşı koruyucu yapı modeli için de 2. senaryodan daha yüksek bulunmuştur. Her iki yuvarlanmaya karşı koruyucu yapının modelinde tüm yükleme durumları göz önüne alındığında gerilme değerleriyle doğru orantılı olarak deformasyonun değiştiği görülmektedir (Çizelge 3).

Sonuç

Bu çalışmada, traktörlerde kullanılması için tasarlanan yuvarlanmayı önleyici yapıları (ROPS) temel alarak tarım arabalarında güveli bir şekilde tarım işçilerinin taşınmasını sağlayacak iki farklı yuvarlanmaya karşı koruyucu yapı tasarlanmıştır. Tasarlanan modeller sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, tasarlanan modellerin tarım arabaları ile işçi taşınmasına güvenli bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Yapılan analizler sonucunda Model 2'nin daha düşük deformasyon ve gerilme değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Analizler değerlendirildiğinde Model 2'nin daha güvenli ve daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Tasarlanan modeller, tarım arabası ile işçi taşınmasına güvenli bir alternatif olarak gözükse de son kullanıcıya ulaştırılmadan önce modelin imal edilip OECD'nin tarım ve orman traktörlerinin denenmesi esaslarına göre test edilmesi gerekmektedir. Bu test sonucunda yuvarlanmaya karşı koyucu yapının sağlamlığının onaylanması durumunda kullanılması önerilmektedir.

Kaynaklar

Alfaro JR, Arana I, Arazuri S, and Jare´n C. 2010. Assessing the safety provided by SAE 2194 Standard and Code 4 Standard code for testing ROPS, using finite element analysis. Biosystems Engineering 105:189-197.

Anonymous a. 2014. OECD Standard Code for The Official Testing of Protective Structures on Agricultural and Forestry Tractors (Static Test).

Anonymous b. 2012. EN 15694:2012, Agricultural and forestry tractors - Passenger seat - Requirements and test procedures.

Anonim a. 2020. TÜİK, 2020 Yılı Tarım arabası (römork) sayıları, Web sitesi: https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr, Erişim tarihi: 20.04.2021

Anonim b. 2021. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Prof. Dr. Serdar Öztekin, Tarımsal Mekanizasyon 1-Ders Notu, Web sitesi: https://tarimmakinalari.cu.edu.tr/storage/Serdar%20%C3%B6ztekin%20ders%20notu/Tar%C4%B1msal%20Mekanizasyon%201.pdf, Erişim tarihi: 07.09.2021

Anonim c. 1997. Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Trafik Yönetmeliği, Erişim adresi: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=8182&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5 (Erişim Tarihi: 28.08.2021)

Gölbaşı M. 2002. Tarım Alet-Makine ve Traktörlerin Kullanımından Kaynaklanan İş Kazaları Nedenlerinin ve Tahmini Kaza Maliyetleri İndeksinin Belirlenmesi, Doktora Tezi (Yayımlanmamış) Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 236 sayfa.

Kayış B, Özok F. 1989. Türk Erkek Toplumunun Antropometrik Ölçülerinin Belirlenmesi. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Rapor No: a 71.

Mangoda J, Jare´n C, Arana JI, Arazuri S, Arnal P. 2007. Design Calculations on Roll-over Protective Structures for Agricultural Tractors. Biosystems Engineering 96:181-191.

Öz E. 2005. Ege Bölgesi'nde Meydana Gelen Traktör Kazalarının Tarımsal İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 42(2):191-202.

Silleli HH. 2006. Traktör Sürücüsü Önüne Takılan Koruyucu Yapılarda Sürücü Güvenliğini ve Sürüş Performansını Arttıracak Bir Sistemin Geliştirilmesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 2(1):41-48

Yurtlu YB, Demiryürek K, Bozoğlu M, Ceyhan V. 2012. Çiftçilerin Tarım Makineleri Kullanımına İlişkin Risk Algıları, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 49(1):93-101.