



Effect of Profile Size and Material Properties on the Strength of the Single Axle Trailer Platform Design

Bahadır SAYINCI^{1a*} Ali TEKTAŞ^{1a} İsmet ASLAN^{1a}

^aDepartment of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mersin University, Yenışehir, Mersin- TURKEY

(*): Corresponding author, bsayinci@mersin.edu.tr

ABSTRACT

In this study, a trailer platform measuring 150×110 cm with a capacity of 700 kg was designed and the most suitable profile section dimensions and material were determined for low-cost production. 40×40×3 and 50×50×4 mm box profiles were used in the modelling. S355 (St52) steel in small section profile and S235 (St37) steel in large section profile was selected as Platform material. The analysis was conducted according to the finite element method and as a result of the static load analysis, stress value, displacement amount and safety coefficient data were reached in critical regions. According to research results, it was determined that the trailer with Profile section dimensions of 50×50×4 mm and made of S235 steel was more economical than the other. A leaf spring was used for the trailer's suspension arrangement and modelled on its commercially available counterparts in accordance with maximum load. As a result of load analysis, the greatest stress arising in the leaf spring was formed in the spring connections. In the study, the selection of axle, wheel hub, wheel, lever jack and coupling were made and the mass of each component was determined. Sheet metal, cabinet back cover, fasteners, etc. the total mass of the trailer, excluding components, was estimated at about 172 kg. In production, the market price of each part that makes up the trailer components, excluding resources, labour, taxes and transportation expenses, was investigated and the total cost of a single-axle trailer with a capacity of 700 kg was subtracted.

RESEARCH ARTICLE

Received: 03.10.2020

Accepted: 27.11.2020

Keywords:

- Finite element method,
- S235,
- S355,
- Trailer
- Agricultural machinery,
- Leaf spring

To cite: Sayinci B, Tektas A, Aslan I (2021). Effect of Profile Size and Material Properties on the Strength of the Single Axle Trailer Platform Design. Turkish Journal of Agricultural Engineering Research (TURKAGER), 2(1): 01-18.
<https://doi.org/10.46592/turkager.2021.v02i01.001>

Tek Dingilli Römork Platformu Tasarımında Profil Ölçüsü ve Malzeme Özelliklerinin Dayanıma Etkisi

ÖZET

Bu çalışmada 150×110 cm ölçülerinde 700 kg kapasiteli bir römork platformunun tasarımı yapılmış ve düşük maliyetli üretim için en uygun profil kesit ölçüleri ve malzemesi belirlenmiştir. Modellemede kare kesitli 40×40×3 ve 50×50×4 mm ölçülerinde kutu profiller kullanılmıştır. Platform malzemesi olarak küçük kesitli profilde S355 (St52) çeliği ve büyük kesitli profilde S235 (St37) çeliği seçilmiştir. Analizler sonlu elemanlar metoduna göre yapılmış ve statik yük analizi sonucunda kritik bölgelerde gerilme değeri, deplasman miktarı ve emniyet katsayısı verilerine ulaşılmıştır. Araştırma bulgularına göre profil kesit ölçüleri 50×50×4 mm olan ve S235 çeliğinden imal edilen römorkun diğerine göre daha ekonomik olduğu belirlenmiştir. Römorkun süspansiyon düzeninde yaprak yay kullanılmış ve maksimum yüke uygun olarak piyasada bulunan muadillerine göre modellenmiştir. Yük analizi sonucunda yaprak yayda ortaya çıkan en büyük gerilme yay bağlantılarında oluşmuştur. Çalışmada dingil, porya, jant, teker, kriko ve kaplin seçimi yapılmış ve her bir bileşenin ağırlığı belirlenmiştir. Sac levha, kabin arka kapağı, bağlantı elemanları vb. bileşenler hariç römorkun toplam ağırlığı yaklaşık 172 kg olarak hesaplanmıştır. Üretimde kaynak, işçilik, vergi ve nakliye giderleri hariç olmak üzere römork bileşenlerini oluşturan her bir parçanın piyasa fiyatı araştırılarak 700 kg kapasiteli tek dingilli römorkun toplam maliyeti çıkarılmıştır.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Alınış tarihi: 03.10.2020

Kabul tarihi: 27.11.2020

Anahtar Kelimeler:

- Sonlu elemanlar yöntemi,
- S235,
- S355,
- Tarım arabası,
- Tarım makineleri,
- Yaprak yay

Alıntı için: Sayıncı B, Tektaş A, Aslan İ (2021). Tek Dingilli Römork Platformu Tasarımında Profil Ölçüsü ve Malzeme Özelliklerinin Dayanıma Etkisi. Turkish Journal of Agricultural Engineering Research (TURKAGER), 2(1): 01-18.

<https://doi.org/10.46592/turkager.2021.v02i01.001>

Kısaltmalar

F_T	Römorkun çeki demirine bağlandığı noktadaki kuvvet değeri (N)	F'_A	Yaprak yaya gelen toplam kuvvet (N)
F_A	Römork lastiklerinin yere temas noktasındaki kuvvet değeri (N)	σ_e	Yaprak yayda oluşan eğme zorlama gerilmesi (MPa)
W_F	Römorkun platform ağırlığı (N)	σ_g	Yaprak yayı zorlayan değişken gerilme genliği (MPa)
W_D	Römorkun taşıyabileceği maksimum yük (N)	σ_{ort}	Yaprak yayda ortalama eğilme gerilme (MPa)
L_3	Römorkun ağırlık merkezinin uzaklığı (m)	R_{fet}	Tam değişken eğilme gerilme dayanımı (MPa)
L_4	Römorkun yük merkezinin uzaklığı (m)	R'_{fet}	Tam değişken eğilme yorulma dayanımı (MPa)
L_5	Römorkun aks uzaklığı (m)	K_b	Malzemenin boyut faktörü
L_1	Römorkun bağlantı kolu uzunluğu (m)	K_y	Malzemenin yüzey faktörü
L_2	Römorkun yükleme bölgesinin uzunluğu (m)	K_s	Sağlamlaştırma faktörü
2L	Yaprak yayın toplam uzunluğu (mm)	K_f	Yorulma dayanımı düşüş faktörü
F	Yaprak yayda bağlantı gözüne gelen kuvvet (N)	S	Emniyet katsayısı
n'	Ana yay sayısı	R_{feg}	Genel değişken gerilme genliği (MPa)
n	Yaprak yay sayısı	δ	Yaprak yayda meydana gelen çökme miktarı (mm)
C_o	Yay katsayısı	$\emptyset A$	Jant göbek çapı (mm)
b	Yaprak yayın lama genişliği (mm)	$\emptyset B$	Bijon eksen çapı (mm)
h	Yaprak yayın lama kalınlığı (mm)	H	Yay bağlantı uzaklığı (mm)
E	Elastisite modülü (MPa)	M	Metrik bijon ölçüsü
R_e	Akma dayanımı (MPa)	C	Aks mili kesit ölçüsü (mm)
R_m	Kopma dayanımı (MPa)	D	Dingil jant açıklığı (mm)

GİRİŞ

Traktörlerde yaygın olarak kullanılan en genel yük taşıma aracı römorklardır. Bağlantı şekli ve bağlantı noktası yönüyle farklı konstrüksiyonlara sahip römorkların geçmişten bugüne kadar ağır yüklerin ve özellikle tarım ürünlerinin taşınmasında yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu römorklar arazi araçları, kamyon, tır ve standart tarım traktörü gibi ağır yük taşıyan araçlara bağlandığı gibi küçük kapasiteli üretilerek otomobil, motosiklet ve mini bahçe traktörü gibi hafif araçlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Kara taşıtlarına taşıma ekipmanı olarak üretilen römork platformları gereksinimlere göre farklı tip ve kapasitelerde imal edilmektedir. Römork platformu üzerine karavanlar, yarı açık ya da kapalı karoser yapılar, asansörler ve araç, motosiklet ve tekne taşımacılığı için ilave çeki düzenekleri yerleştirilmektedir. Yükün cinsi ve miktarına bağlı olarak farklı tip, kapasite ve ölçülerde römork platformu tasarımları yapılabilmektedir. Bu tasarımlar römorkun kullanım alanına özgü gereksinimlerini karşılamaktadır.

İmalattan önce oluşturulan modeller üzerinde simülasyon çalışmaları yapılarak makine parçaları için seçilen malzemelerin uygunluğu, kuvvetlerin etkisinde kalan parçaların mekaniksel davranışları, oluşturulan yapı için ağırlık tahminleri ve bunların maliyet analizleri yapılabilmektedir. Bu amaçla kullanılan sonlu elemanlar yönteminde büyük bir sistem çok sayıda küçük elemana bölünerek kuvvet etkisinde kalan her bir eleman için gerilme ve deplasman analizleri yapılabilmektedir ([Erkoç ve ark., 2006](#); [Şahin ve ark., 2018b](#)). Uygulanan kuvvetin büyüklüğüne bağlı olarak sonlu elemanlar yöntemiyle yapının kritik bölgeleri iyileştirilerek taşıyabileceği maksimum yük tahminlenebilmektedir. Belirli bir emniyet katsayısıyla model üzerinde yapılan analizlerin neticesinde tasarım optimizasyonu gerçekleştirilmekte ve zamandan tasarruf edilirken imalat kayıpları azaltılarak üretimdeki maliyet düşürülmektedir ([Şahin ve ark., 2018a](#)).

Tarım makinelerinin büyük bir kısmı dinamik yüklerin etkisi altında değişken zorlanmalara maruz kaldığından işleyici organların farklı yük koşullarında mukavemet yönünden incelenmesi, doğru malzeme seçimi ve konstrüksiyon açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda çeşitli toprak işleme makineleri ([Zeytinoğlu, 2002](#); [Akinci ve ark., 2005](#); [Mandal ve ark., 2005](#); [Gürsel ve Köftelioğlu, 2006](#); [Gök ve ark., 2012](#); [Çelik ve ark., 2007](#); [Polat ve ark., 2012](#); [Makange ve ark., 2015](#); [Topakci ve ark., 2008](#); [Şahin ve ark., 2018a, 2018b](#); [Topakci ve ark., 2010](#)); hasat makineleri ([Bahadır ve ark., 2009](#)) ve tarım arabaları ([Zeytinoğlu, 2006](#)) için mukavemet analizleri yapılmış ve yük etkisi altında gerilme ve deplasman davranışları incelenmiştir. Dünya genelinde römork imalat sektörü geniş bir yelpazede çok amaçlı olarak yürütülmekte ve bu alanda da çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. [Posiadala ve Ladra \(2018\)](#), tarafından yürütülen araştırmada kullanım amacı geniş olan bir araç römorku modellenmiş ve mukavemet analizleri yapılmıştır. Model üzerinde farklı malzemeler kullanılarak uygunluğu test edilmiştir. [Zeytinoğlu \(2006\)](#), tarım arabalarında değişken yüklere maruz kalan çeki halkasının kalınlık ölçüsünü düşürmek için St37 (S235) yapı çeliğinin uygun olduğunu belirtmiştir. [Aksoy \(2014\)](#), bir ticari yarı römork akaryakıt tanker şasisinin yorulma karakteristiklerini incelemiştir. Araştırmada yoldan dolayı dinamik yüklenmeler nedeniyle oluşan titreşimlerin yorulmaya olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmada doğal frekans analizleri ve statik analiz senaryoları oluşturulmuş ve model üzerindeki kritik bölgeler tespit edilmiştir. [Karaçay ve Aktürk \(2002\)](#)'nin çalışmalarında araçların seyir karakteristiklerinin modellenmesinde kullanılan yarım

araç modeli esas alınarak değişen römork ağırlığı ve emniyetli taşıma kapasitesi arasındaki ilişki gerçek yol karakteristiği koşullarında araştırılmıştır. [Patel ve ark. \(2014\)](#), tarafından yapılan çalışmada hacmi 3 m³ olan bir traktör römorku modellenmiş ve değişen kesit ve malzemeler için statik analiz yapılmıştır. [Tolun \(2014\)](#) yarı römork şasilerinde kullanılan kaynak işlemi ve uygulamalarının zamanla römork şasilerinde meydana getirdiği bazı problemleri ele almıştır. Araştırmasında römork şasilerinde uygun kaynak türünün belirlenmesi ve dinamik yükler altında kaynağın tepkileri belirlenmiştir. [Güven \(2011\)](#), araştırmasında römorklarda yaygın olarak kullanılan yaprak yaylı süspansiyonların yapısı, araçlara montajı ve yaprak yay çelikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yaprak yaylar geometri, yay katsayısı, yük, gerilme ve sürüş kalitesi açısından incelenmiş ve bilgisayar ortamında analizleri gerçekleştirilerek bir araç için optimum yaprak yay tasarımı yapılmıştır.

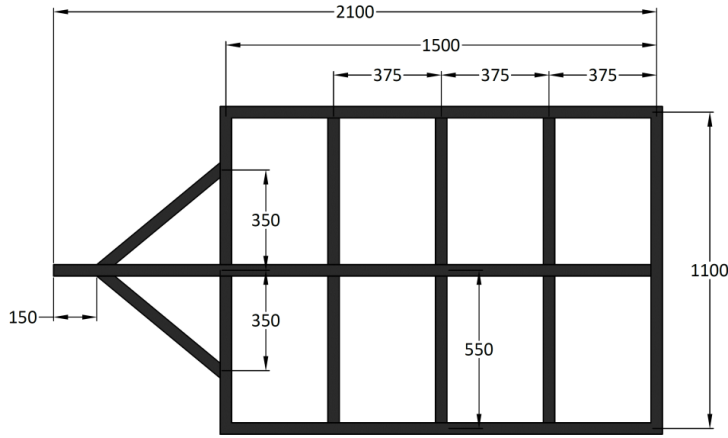
Çekilir tip bir römorkun ana şasi platformu, hareketli aksamın en önemli bileşeni olup yapının omurgasını oluşturmaktadır. Römork platformunun ana bileşenleri olan dingil (aks), teker, porya, süspansiyon ve kabinin platformun konstrüksiyonuna ve taşıma yüküne uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak kullanılan kriko ve kaplin bağlantısı taşıma römorkunun yardımcı bileşenlerini oluşturmaktadır. Bu kapsamda imalatı yapılan römork platformlarında hem ölçü hem de malzeme bakımından standart profiller kullanıldığından gerekli mukavemet sınırlarını karşılayan düşük maliyetli üretilere rastlanmamıştır. Bu gerekçeyle yürütülen çalışmada amaç;

- i) Düşük maliyetli üretim için küçük kapasiteli çekilir tip bir römork platformunda kesit ölçüleri ve mukavemet sınıfı farklı profil çeliklerinin uygunluğunu araştırmak;
- ii) Sonlu elemanlar yöntemiyle römork platformunun statik koşullarda kritik gerilme ve deplasman değerlerini belirlemek, bunların yerini saptamak ve güvenilirliğini ortaya koymak,
- iii) Römork platformu için en uygun yaprak yay, aks, porya, jant, lastik teker, kaplin ve krikoyu belirlemek,
- iv) Üretim maliyetini ortaya çıkarmaktır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Platformun Ölçüsü ve Profil Malzemesi

Römork platformu tasarımında ölçüleri 40×40×3 mm ve 50×50×4 mm olan profiller kullanılmıştır. Platform malzemesi olarak küçük kesitli profilde S355 (St52) çeliği ve büyük kesitli profilde S235 (St37) çeliği seçilmiştir. Platform tasarımının genel ölçüleri mevcut üretimi yapılan römorkların genel ölçüleri referans alınarak belirlenmiştir. Çalışmada maksimum 700 kg kapasiteli bir römork platformunun imalatı hedeflenmiştir. Genel ölçüleri 110×150 cm olan römork platformunun ölçüleri Şekil 1’de gösterilmiştir.

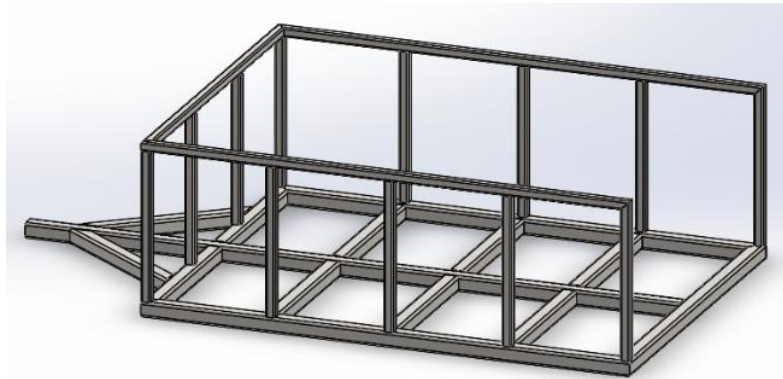


Şekil 1. Römork platformunun ölçüleri.

Figure 1. Trailer platform dimensions.

Platformun Kabin Profilleri

Römork platformunun kabini için standart olarak 30×30×2.5 mm ölçülerinde S235 kalite kutu profil seçilmiştir (Şekil 2). Yüksekliği 50 cm olarak tasarlanmış ve platformun ön ve yan kenarlarına yerleştirilmiştir. Bu amaçla ön ve yan kenarlar için tasarlanan kabin için toplam 11 metre uzunluğunda profil kullanılmış olup platform üzerinde yaklaşık 20 kg yük oluşturmuştur.



Şekil 2. Platformun kabin profilleri.

Figure 2. Platform cabin profiles.

Yükleme ve Sınır Koşulları

Platform, çeki demiri bağlantı noktası ve aks hizasında iki eklem bölgesi olmak üzere toplam üç noktadan sabit geometriye sahiptir. Römork platformuna toplam 7000 N'luk yük uygulanmıştır.

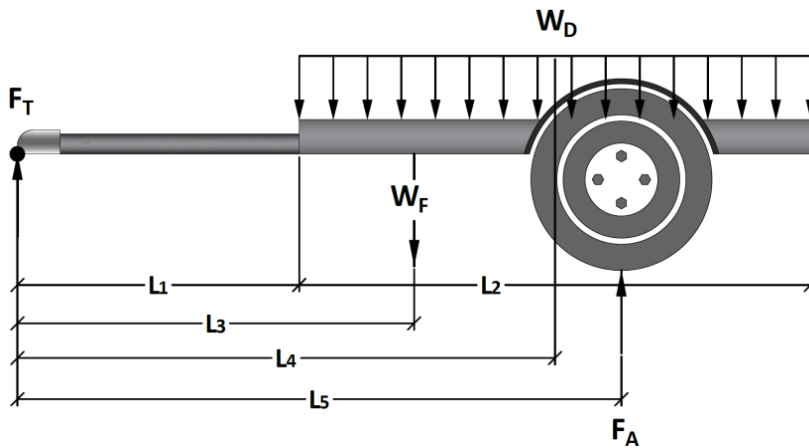
Tatbik edilen toplam yükün 5000 N'luk kısmı platformun yükleme bölgesine yayılı olarak uygulanmıştır. Römork seyir halindeyken uygun olmayan yol koşullarında (engebe, patika yol vb.) sağa-sola salınım yapabilmektedir. Bu nedenle platform kabini çevresine uygulanan bu yayılı yük değeri, statik dengede oluşacak bozulmalardan dolayı kabin çevresine etkiyen maksimum yük değeri olarak kabul edilmiştir.

Araç seyir halindeyken ani fren sonucu, toplam yükün 1/3'lik kısmının orta profile etki edebileceği öngörülmüştür. Bu durumda platformun ortasında bulunan ve römork ile araç arasında bağlantı sağlayan profile parabolik dağılmış halde geri kalan 2000 N'luk yük yayılı olarak uygulanmıştır. Römorkün kendi ağırlığından kaynaklanan

yerçekimi kuvveti ayrıca tanımlanmıştır. Ölçüleri ve mukavemet sınırları birbirlerinden farklı çelik malzemeler tanımlanarak tasarlanan römork platformları belirlenen statik yük koşulları altında SolidWorks yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda modele ait gerilme, deplasman ve emniyet katsayısı değerleri elde edilmiş ve ağırlıkları tahmin edilerek karşılaştırılmıştır. Ayrıca piyasa araştırması yapılarak römork platformunun malzeme maliyeti ortaya çıkarılmıştır.

Dingilin Yeri ve Yük Dağılımı

Tek dingilli römorklarda üç temas noktası bulunmaktadır. Bunlardan biri römorkun çeki demiri bağlantı noktası, diğeri ise dingile (aks mili) bağlı olan tekerleklerdir. Bu gibi yük taşımada kullanılan araçlarda dingilin yeri, römorkun temas noktalarına gelen kuvvetin büyüklüğünü değiştirdiğinden büyük önem arz etmektedir. Bir römork platformuna etkiyen kuvvetler Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Römork platformuna etki eden yükler.
Figure 3. Loads affecting the trailer platform.

Römorkta etki denge kuvvetleri Eşitlik (1)'de verilmiştir.

$$F_T + F_A = W_F + W_D \quad (1)$$

Katı modeli oluşturulan römork platformu üzerinden W_F ve W_D yükleri belirlenmiştir. Bu yükler aynı zamanda römorkun ve yüklenen ağırlığın temas noktalarına etkiyen F_T ve F_A kuvvetlerinin toplamını vermektedir. Hesaplamalarda römorkta etki eden toplam kuvvetin %20'sinin çeki noktasına etki ettiği kabul edilerek F_T kuvveti hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak lastiklerin yere temas noktasındaki F_A kuvveti belirlenmiştir. Bu kuvvet değerleri esas alınarak römorkun çeki bağlantı noktasına göre moment alınmış ve Eşitlik (2) elde edilmiştir.

$$F_A \cdot L_5 = W_F \cdot L_3 + W_D \cdot L_4 \quad (2)$$

L_3 ve L_4 uzunlukları katı model üzerinden ölçülmüştür. Buna göre L_5 mesafesini hesaplamak için moment eşitliğinden yararlanılmış ve römorkun çeki demirine bağlandığı noktadan itibaren dingilin (aks) yeri belirlenmiştir.

Yaprak Yay Seçimi

Diğer yay tipleriyle karşılaştırıldığında satın alma maliyetinin düşük olması, ağır yük altında çalışabilmeleri ve ağır işlerde yaygın olarak tercih edilmelerinden dolayı römorkun hareketli aksamında konvansiyonel tip yaprak yay kullanılmıştır.

Mevcut üretimler arasından seçilen yaprak yayın teknik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Yay malzemesi olarak 51CrV4 yay çeliği seçilmiştir. Yaprak yay profilinin kesit geometrisi dikdörtgen olup 50×7 mm ölçülerinde lamadan üretilmiştir. Mevcut üretimler arasında uzunluğu ($2L$) 700 mm olan bir yaprak yay seçilmiştir. Ana yay sayısı (n) 1 adet olup üzerinde toplam 5 adet yaprak yay (n) bulunmaktadır. Yük etkisi altında yaprak yayda oluşan deplasman miktarı yay katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle yaprak yay katsayısı (C_o) Eşitlik (3) kullanılarak hesaplanmıştır (Can, 2020).

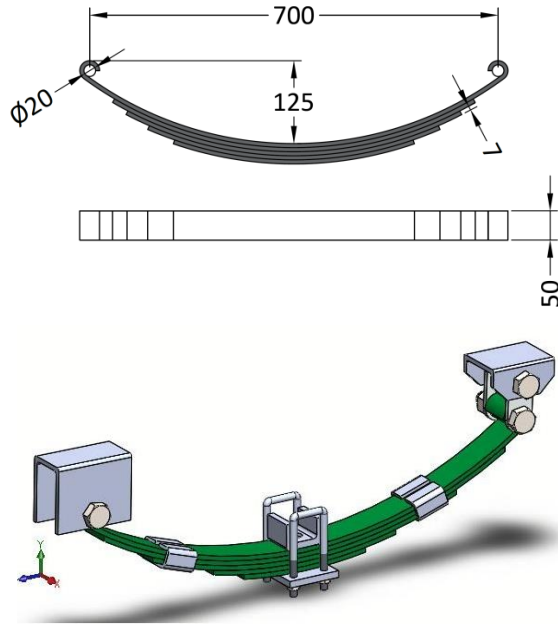
$$C_o = 3/(2 + n/n) \quad (3)$$

Çizelge 1. Yaprak yayın teknik özellikleri.

Table 1. Specifications of leaf spring.

Teknik özellikler	Değer
Yaprak yay lama sayısı (n)	5
Ana yay sayısı (n)	1
Yay uzunluğu ($2L$), mm	700
Lama genişliği (b), mm	50
Lama kalınlığı (h), mm	7
Yay malzemesi	51CrV4
Elastisite modülü (E), MPa	210000
Akma dayanımı (R_o), MPa	1200
Kopma dayanımı (R_m), MPa	1350

Römork platformu için kullanılacak yaprak yay ve bağlantı elemanlarının montaj çizimi için ölçüler, piyasada bulunan yaprak yay üreticilerinin tasarladıkları yay modellerinden alınmıştır. Yaprak yayın bazı ölçüleri ve montaj modeli Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Yaprak yayın montaj çizimi ve bazı ölçüleri.

Figure 4. Assembly drawing of leaf spring and some dimensions.

Yaprak yay ile ilgili tüm hesaplamalarda [Can \(2020\)](#) tarafından bildirilen hesap ilkeleri, çizelge ve grafikler kullanılmıştır. Buna göre yük etkisi altında yayda oluşan eğme zorlama gerilmesi (σ_e) Eşitlik (4) kullanılarak belirlenmiştir.

$$\sigma_e = F \cdot L \cdot 6 / (n \cdot b \cdot h^2) \quad (4)$$

Taşıt platformu hareket halinde iken statik çökme miktarı kadar ilave bir çökme daha oluşmaktadır. Bu durum yay üzerinde statik gerilme kadar değişken gerilme genliğinin oluşmasına neden olduğundan eğilme gerilmesinin artmasına neden olmaktadır. Yayı zorlayan değişken gerilme genliği (σ_g) Eşitlik (5) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_g = \sigma_e / 2 \quad (5)$$

Ortalama eğilme gerilme değeri (σ_{ort}) olarak Eşitlik (6) kullanılarak bulunmuştur.

$$\sigma_{ort} = \sigma_e + (\sigma_e / 2) \quad (6)$$

Yaprak yaylar hareketsiz halde statik zorlama etkisi altında iken hareket halinde tam değişken zorlama etkisi altında eğilmeye maruz kalmaktadır. Eğilme durumunda tam değişken eğilme gerilme dayanımı (R_{fet}) Eşitlik (7) kullanılarak belirlenmiştir.

$$R_{fet} = 0.44 \cdot R_m \quad (7)$$

Yaprak yayın tam değişken eğilme yorulma dayanımı (R'_{fet}), malzemenin boyut faktörüne (K_b), yüzey faktörüne (K_y), sağlamlaştırma faktörüne (K_s) ve yorulma dayanımı düşüş faktörüne (K) bağlı olarak Eşitlik (8)'den hesaplanmıştır.

$$R'_{fet} = K_b \cdot K_y \cdot K_s \cdot R_{fet} / K_f \quad (8)$$

Yaprak yayın eğilme etkisi altında genel değişken gerilme genliği (R_{feg}) Eşitlik (9) ve emniyet katsayısı (S) Eşitlik (10) kullanılarak bulunmuştur.

$$R_{feg} = R'_{fet} \cdot [1 - (\sigma_{ort}/R_m)^2] \quad (9)$$

$$S = R_{feg} / \sigma_g \quad (10)$$

Yaprak yayda meydana gelen çökme miktarı (δ) Eşitlik (11) kullanılarak hesaplanmıştır.

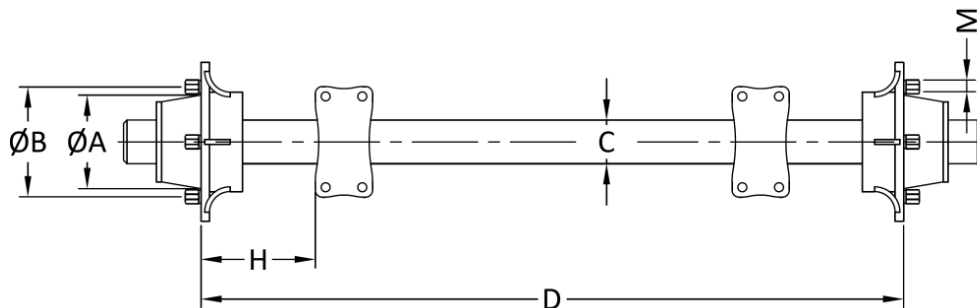
$$\delta = 4 \cdot F \cdot L^3 \cdot C_o / E \cdot n \cdot b \cdot h^3 \quad (11)$$

Yaprak Yay için Yük Analizi

Katı modeli oluşturulan yaprak yay için malzeme tanımlaması yapılmıştır. Analiz için yaprak yayın her iki bağlantı (göz) kısmı sabitlenmiş geometri olarak belirlenmiştir. Uygulanan kuvvet, yaprak yay merkez civatası doğrultusunda olup üst yatay düzleme dik konumdadır. Kuvvet değeri olarak F_A değerinin yarısı (3100 N) alınmıştır. Model üzerinde mesh oluşturmak için eğrilik tabanlı mesh seçeneği seçilmiştir. Analiz sonucunda yaprak yayda oluşan von mises gerilmeleri, deplasman miktarları ve emniyet katsayısı değerleri elde edilmiş ve kritik bölgeler model üzerinden incelenmiştir.

Dingil ve Porya Seçimi

Römorkun taşıdığı yükün dingil üzerinde etki ettiği noktalar önemli olup kendi üzerinde taşıdığı yükü doğrudan karşılaması gerekmektedir. Şekil 5'te dingil üzerinde yaprak yayların bağlantı noktalarındaki H mesafesi arttıkça dingilin güvenli taşıma kapasitesi azalmaktadır. Tek dingilli olarak tasarlanan römork platformunun genişlik ölçüsü ve taşıma kapasitesi dikkate alınarak standart üretimi yapılan frensiz tip bir dingil için seçim yapılmış ve özellikleri çizelge halinde belirtilmiştir. Porya seçimi dingil ölçüleri dikkate alınarak yapılmıştır (Cayirova, 2019).



Şekil 5. Dingil - porya ölçüleri ve yaprak yay bağlantı noktası (Cayirova, 2019).

Figure 5. Axle - wheel hub dimensions and leaf spring port (Cayirova, 2019).

Jant ve Lastik Seçimi

Porya için belirlenen jant göbek çapı (OA), bijon ekseni çapı (OB), bijon sayısı ve bijon ölçüsü (M) değerleri dikkate alınarak jant seçimi yapılmıştır. Lastik seçimi, jant özelliklerine göre belirlenmiştir.

Toplam Genişlik ve Yerden Yüksekliğin Belirlenmesi

Dingil, lastik ve jantın katı modeli oluşturulmuş ve montaj çizimler üzerinden römorkun en büyük genişliği, platform tabanının yerden yüksekliği, yaprak yayın montaj yeri ve yay açıklığı belirlenmiştir.

Kriko ve Kaplin Seçimi

Tek dingilli römorkların çeki demirine kolay monte edilebilmesi ve park konumunda dengede kalabilmesi için kriko kullanılmaktadır. Kriko seçiminde platformun yerden yüksekliği ve çeki demirine transfer olan ağırlık değerleri kullanılmıştır. Römorku çeki demirine bağlamak için kullanılan kaplinin seçimi için römorkun maksimum taşıma kapasitesi dikkate alınmıştır.

Toplam Ağırlığın Belirlenmesi

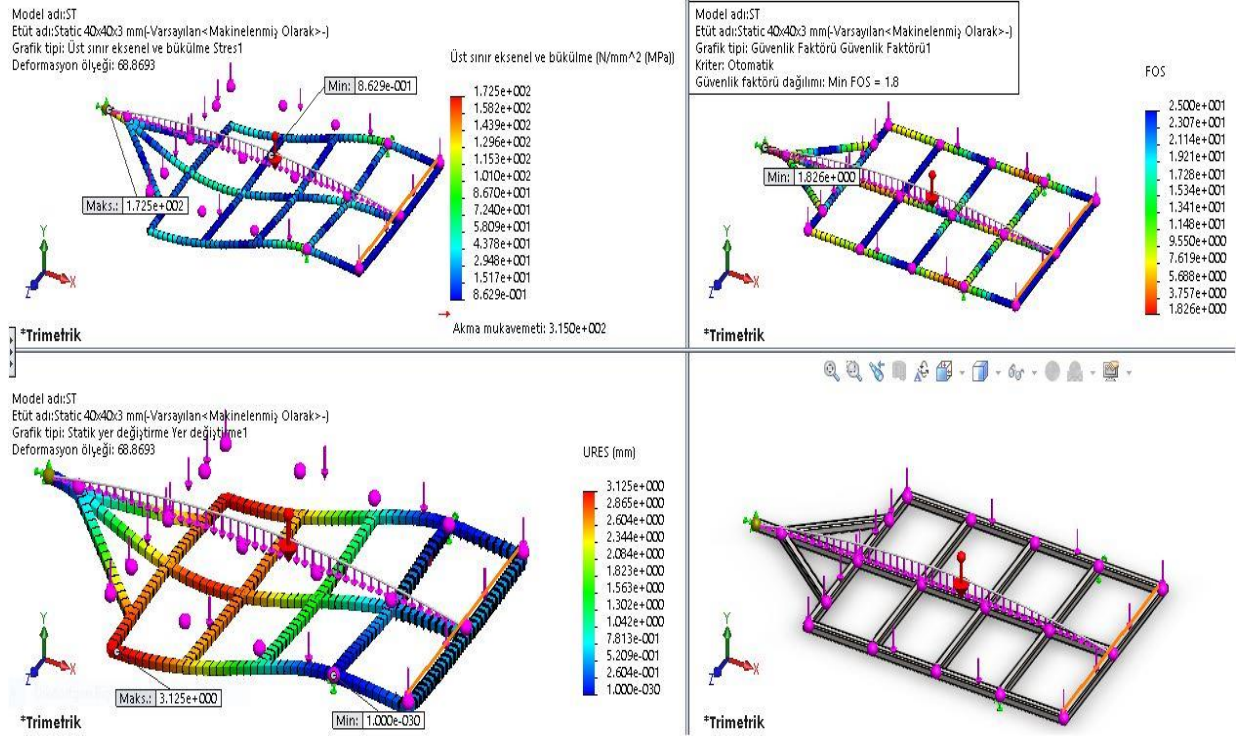
Römork platformunu oluşturan tüm bileşenlerin ağırlıkları tespit edilmiş ve toplam ağırlık hesaplanmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

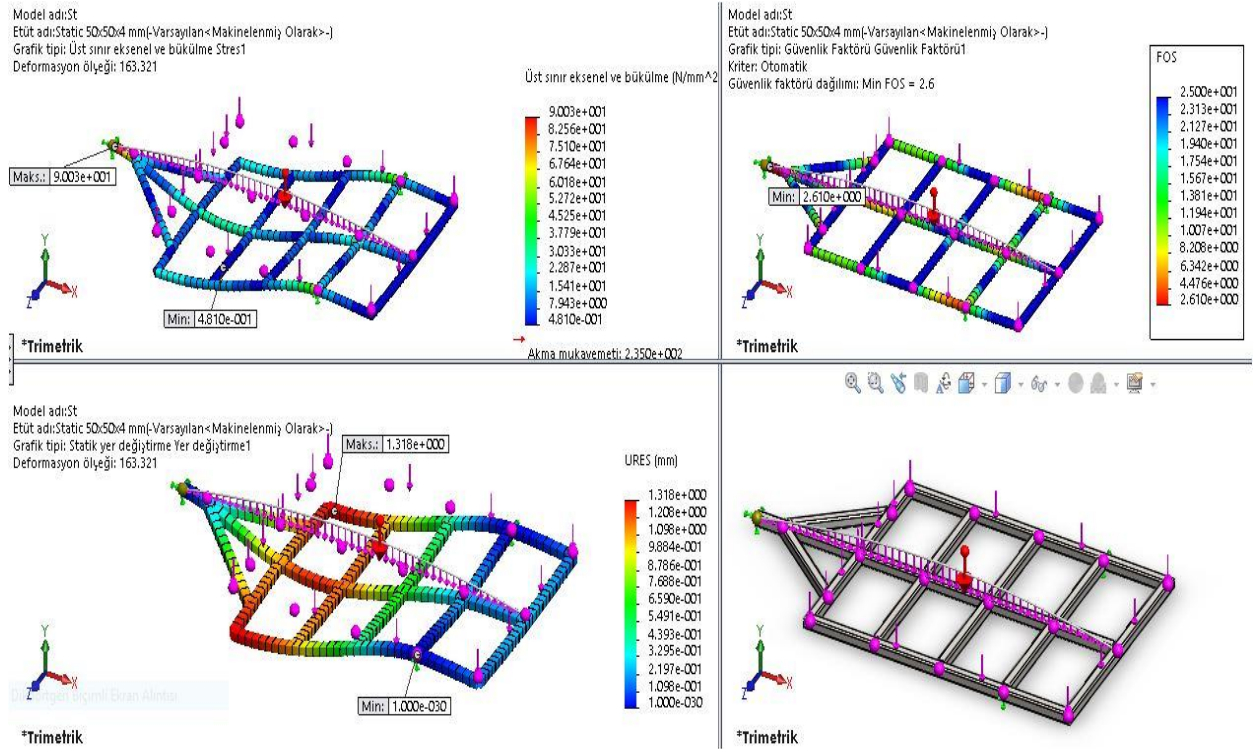
Römork Platformu Statik Yük Analizi

Farklı çelik malzemelerden tasarlanan römork platformunun tam yükleme koşullarında oluşan gerilme ve deformasyon analizi sonuçları S355 çeliği için Şekil 6a'da ve S235 çeliği için Şekil 6b'de gösterilmiştir. Kesit ölçüleri farklı her iki platformda maksimum gerilme çeki noktasında oluşmuştur. En fazla deplasman ön platformun yan kanatlarında gerçekleşmiştir. Her iki malzeme için en büyük gerilme ve deplasman değerleri $40 \times 40 \times 3$ mm kesitli S355 çeliğinde saptanmıştır. Malzemenin mukavemet sınırı dikkate alındığında en yüksek emniyet katsayısı S235 çeliğinde belirlenmiştir.

Statik yükleme sonucunda elde edilen değerler Çizelge 2'de özet halinde karşılaştırmalı olarak verilmiştir. S355 çeliğinde oluşan maksimum gerilme S235 çeliğine göre yaklaşık 2 kat; deplasman miktarı ise yaklaşık 2.4 kat daha fazla oluşmuştur. S235 çeliğinde belirlenen emniyet katsayısı S355'e göre daha yüksektir. S235 çeliğinden üretilen römork platformunun kütleli ağırlığının S355'e göre 1.5 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Maliyet açısından yapılan karşılaştırmada mukavemet sınıfı yüksek olan S355 çeliğinin birim fiyatı diğerine göre daha yüksek olduğundan üretim maliyeti 2.6 kat artmıştır.



(a) Mukavemet sınıfı S355 ve kesit ölçüsü 40×40×3 mm kare kutu profil-Tam yükleme



(b) Mukavemet sınıfı S235 ve kesit ölçüsü 50×50×4 mm kare kutu profil-Tam yükleme

Şekil 6. Statik yükleme şartlarında iki farklı malzeme ve kesit ölçüsü için römork platformunda oluşan gerilme, emniyet katsayısı ve deplasman analizi sonuçları.

Figure 6. Results of stress, safety coefficient and displacement analysis on trailer platform for two different materials and cross-section dimension under static loading conditions.

Çizelge 2. S355 ve S235 malzemelerinin statik analiz ve maliyet açısından karşılaştırılması.

Table 2. Static analysis and cost comparison of S355 and S235 materials.

Malzeme sınıfı	S355	S235
Kesit ölçüleri (mm)	40×40×3	50×50×4
Akma dayanımı (MPa)	315	235
Maksimum gerilme (MPa)	172.5	90.0
Maksimum deplasman (mm)	3.125	1.318
Emniyet katsayısı	1.83	2.60
Ağırlık (kg)	40	60
Kullanılacak profil uzunluğu (m)	12	12
Birim fiyat (\$ m ⁻¹)	9.5 \$*	3.7 \$*
Toplam fiyat (\$)	114 \$*	44 \$*

*: Nakliye ve vergi giderleri dahil edilmemiştir. 16 Nisan 2020 tarih ve 31101 sayılı Resmi Gazeteye göre T.C. Merkez Bankası Dolar Kuru (1 ABD Doları = 6.85 TL) esas alınmıştır.

Dingil Bağlantısı ve Yük Dağılımı

Katı modeli oluşturulan römork platformu üzerinden $W_F = 800$ N ve $W_D = 6867$ N olarak belirlenmiştir. Römorkun ve yüklenen ağırlığın temas noktalarına etki eden toplam kuvvet $F_T + F_A = 800 + 6867 = 7667$ N olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda römorka etki eden toplam kuvvetin ancak %20'sinin çeki noktasına etki ettiği kabul edildiğinden $F_T = 7667 \cdot \%20 = 1533.4$ N'luk kuvvetin transfer edildiği belirlenmiştir. Buna göre lastiklerin yere temas noktasında $F_A = 7667 - 1533.4 = 6133.6$ N'luk bir kuvvetin etkili olduğu bulunmuştur. Uzunluk değerleri katı model üzerinden $L_3 = 1.20$ m ve $L_4 = 1.35$ m olarak belirlenmiştir. Çeki bağlantı noktasına göre alınan moment eşitliği kullanıldığında römorkun çeki demirine bağlandığı noktadan itibaren aks mesafesi $L_5 = 800 \cdot 1.2 + 6867 \cdot 1.35/6133.6 = 1.7$ m olarak hesaplanmıştır.

Yaprak Yay için Hesaplamalar

Yaprak yaya gelen toplam yük (F_A'), 6133.6 N olup tek bir yay gözüne gelen kuvvet $F = F_A'/4 = 6133.6/4 \cong 1535$ N olarak hesaplanmıştır. Yük etkisi altında yayın deplasman (çökme) miktarı, yay katsayısına (C_o) bağlı olarak değiştiğinden bu katsayı $C_o = 1.36$ olarak bulunmuştur.

Yaprak yayda oluşan eğilme gerilmesi $\sigma_e = 1535 \cdot 350 \cdot 6/(5 \cdot 50 \cdot 7^2) = 263$ MPa olarak belirlenmiştir. Yayı zorlayan değişken gerilme genliği $\sigma_g = 263/2 = 131.5$ MPa olarak hesaplanmış ve ortalama eğilme gerilmesi $\sigma_{ort} = 263 + (263/2) = 394.5$ MPa olarak bulunmuştur.

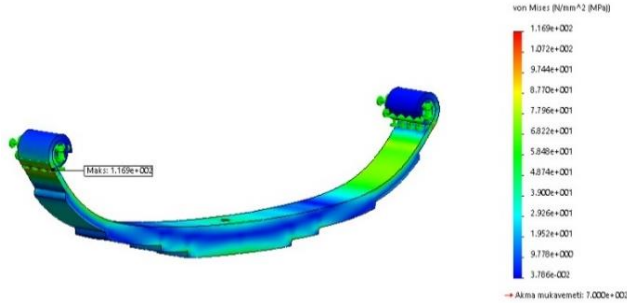
Eğilme durumundaki yaprak yayın tam değişken eğilme dayanımı $R_{fet} = 0.44 \cdot 1350 = 594$ MPa olarak belirlenmiştir. Numune ölçüsü 10 mm'ye kadar olan malzemelerde K_b faktörü 1; soğuk çekilmiş malzemelerde K_y faktörü 0.65; sağlama için herhangi bir dayanım artırıcı işlem yapılmadığından K_s faktörü 1 ve yaprak yaylar için önerilen yorulma dayanımı K_f faktörü 1.5 alınmıştır. Buna göre tam değişken eğilme yorulma dayanımı $R'_{fet} = 1 \cdot 0.65 \cdot 1 \cdot 594/1.5 = 257.4$ MPa olarak hesaplanmıştır.

Yaprak yayın eğilme etkisi altında genel değişken gerilme genliği $R_{feg} = 257.4 \cdot [1 - (394.5/1350)^2] = 235.4$ MPa ve emniyet katsayısı $S = 235.4/131.5 = 1.8$ olarak bulunmuştur. Bu koşullarda yaprak yayda meydana gelen çökme miktarı $\delta = 4 \cdot 1535 \cdot 350^3 \cdot 1.36/210000 \cdot 5 \cdot 50 \cdot 7^3 = 21.88$ mm olarak belirlenmiştir.

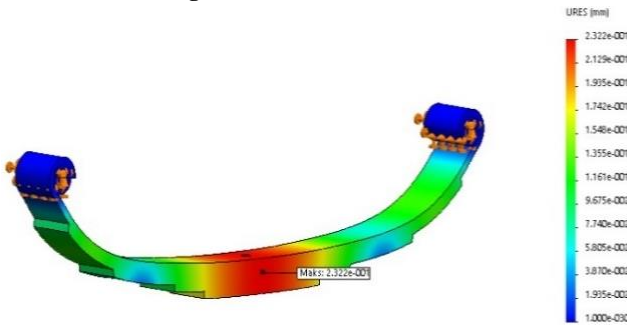
Römorkun taşıyacağı maksimum yük ve platformun kendi ağırlığının etkisiyle yaprak yayda meydana gelen gerilme ve deplasman değerleri hesaplanmış olup emniyet katsayısına göre seçilen yaprak yayın uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Yaprak Yay için Yük Analizi

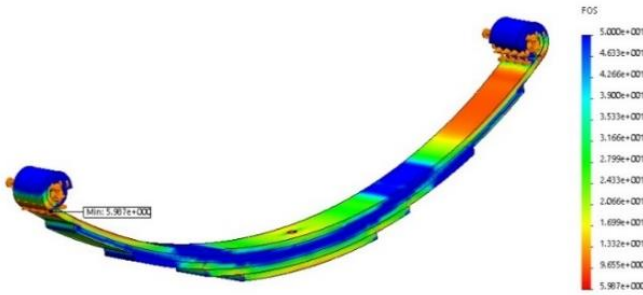
Analiz sonucunda yaprak yayda oluşan gerilme, deplasman ve emniyet katsayısı değerleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



(a) Von misses gerilmesi



(b) Deplasman



(c) Emniyet katsayısı

Şekil 7. Yaprak yayda yük analizi sonuçları.

Figure 7. Results of load analysis for leaf spring.

Analiz sonuçlarına göre statik yükte maksimum gerilme kuvveti en uzak noktada, yani yay bağlantı gözlerinin arka kısmında oluşmuş olup değeri 116.9 MPa'dır. Maksimum gerilmenin bulunduğu noktada emniyet katsayısı 5.98 ile en küçük değeri almıştır. Maksimum deplasman, kuvvetin etki ettiği nokta olan merkez civatası bölgesinde görülmüş ve miktarı 23.2 mm olarak okunmuştur. Genel anlamda sonuçların analitik çözüme göre farklı çıkmasının nedeni; analitik çözümde değişken gerilme değerlerinin dikkate alınmasından kaynaklanmaktadır. Model üzerinde yükleme koşulları statik olup yaprak yayın uygunluğu konusunda fikir vermektedir. Analitik çözüm ile beraber düşünüldüğünde seçilen yaprak yayın römorkun maksimum yük kapasitesine uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

Dingil ve Porya Seçimi

Platform genişliği 1100 mm ve taşıma kapasitesi 700 kg olarak tasarlanan tek dingilli römork için seçilen dingil ve poryanın özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir. Dingil ve porya seçimi [Çayırova \(2019\)](#)'nın ait ürün kataloğundan yapılmıştır.

Çizelge 3. Frensiz tip dingilin bazı ölçüleri.

Table 3. Some dimensions of non-brake type axle.

Dingil/Porya	Özellik/Tanım	Ölçü
Dingil	Aks mili kesiti (C), mm	50 (Kare kesit)
	Yay bağlantı uzaklığı (H), mm	180
	Dingil jant açıklığı (D), mm	1250
	Taşıma kapasitesi, kg	900
Porya	Jant göbeği çapı (A), mm	Ø58
	Bijon eksen çapı (B), mm	Ø98-149
	Bijon sayısı (adet)	3-4
	Bijon ölçüsü (M, metrik)	M12

Jant ve Lastik Seçimi

Poryanın teknik özellikleri dikkate alınarak belirlenen jant ve lastiğin ölçüleri Çizelge 4'te belirtilmiştir. Jant ve lastik seçimi [Çayırova \(2019\)](#)'nın ürün kataloğundan yapılmıştır.

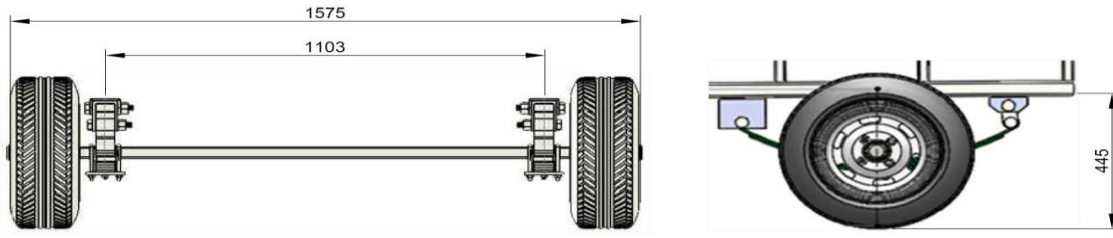
Çizelge 4. Jant ve lastik özellikleri.

Table 4. Specifications of rim and wheel.

Jant/lastik	Tanım	Ölçü/Özellik
Jant	Jant ebadı	4.50×13
	Tipi	Dubleks
	Bijon sayısı	4
	Porya göbeği, mm	58
	Bijon merkezi çapı, mm	98
	Dış çap, mm	330
	Genişlik, mm	114
	Göbek kalınlığı, mm	4
Lastik	Kasnak kalınlığı, mm	3
	Ölçüsü	165/80 R13
	Tip (Grup)	Radyal
	Dış çap, mm	594
	Genişlik, mm	165
	Hız, km h ⁻¹	190
	Yük, kg	487

Toplam Genişlik ve Yerden Yüksekliğin Belirlenmesi

Katı modeli çizilen dingil, porya, jant, lastik ve yaprak yayın montaj görünüşleri Şekil 8'de verilmiştir. Montajdan sonra römorkun en büyük genişliği 1575 mm ve platformun yerden yüksekliği 445 mm olarak ölçülmüştür. Yaprak yayların montajı yapıldıktan sonra aralarındaki açıklık 1103 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. Dingil, porya, jant, lastik ve yaprak yayların bazı montaj ölçüleri.

Figure 8. Some mounting dimensions of axle, wheel hub, rim, wheel and leaf springs.

Kriko ve Kaplin Seçimi

Römorkun çeki demirine transfer olan ağırlığı 1535 N ve platformun yerden yüksekliği yaklaşık 450 mm olduğundan bu değerlere uygun kriko seçimi yapılmıştır. Kaplin seçiminde römorkun 700 kg'lık maksimum taşıma kapasitesi dikkate alınmıştır. Kriko ve kaplin seçimi [Çayirova \(2019\)](#)'nın ürün kataloğundan yapılmış ve özellikler Çizelge 5'te verilmiştir.

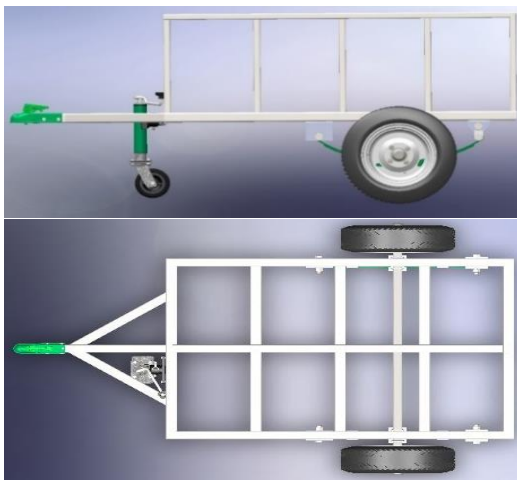
Çizelge 5. Kriko ve kaplinin özellikleri.

Table 5. Specifications of jack and coupling.

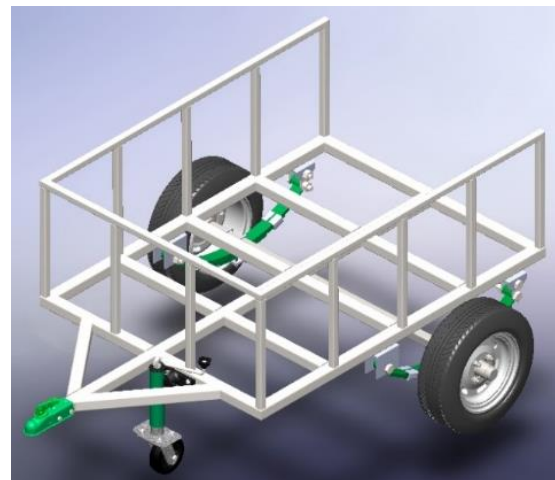
Kriko/kaplin	Tanım	Ölçü
Kriko	Strok boyu, mm	500
	Toplam uzunluk, mm	930
	Statik yük, kg	200
	Kapasite, kg	800
Kaplin	Uzunluk, mm	266
	Kapasite, kg	1400

Tek Dingilli Römorkun Montaj Görünümü

Taşıma kapasitesi 700 kg olan römorkun yürür aksamı, çeki demiri ve krikosuyla birlikte montaj görünümü Şekil 9'da gösterilmiştir. Römork platformu 50 cm kabin yüksekliğine sahip olup taşıyıcı yapı elemanlarından oluşan bir model oluşturulmuştur.



(a) Yan ve üst görünüm



(b) İzometrik görünüm

Şekil 9. Tek dingilli römorkun montaj görünümü.

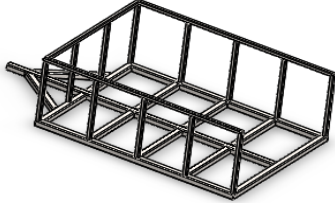
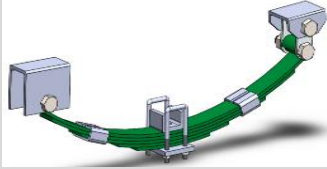


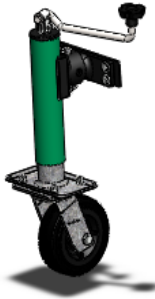
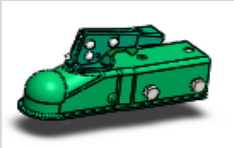
Figure 9. Mounting views of single axle trailer.

Toplam Ağırlık ve Maliyet

Römork platformunu oluşturan tüm bileşenler için piyasa araştırması yapılarak ağırlık ve satın alma fiyatları Çizelge 6'da belirtilmiştir. Buna göre toplam ağırlık 171.5 kg ve toplam ürün fiyatı 367.4 \$ olarak hesaplanmıştır. Platformun kütleli ağırlığına civata ve somunlar, kaynak, sac levhalar, arka kabin kapağı, menteşe, pim, zincir vb. bileşenler dahil edilmemiştir. Ayrıca toplam ürün fiyatına işçilik bedeli, boya, kaynak gideri, vergi ve nakliye gibi giderler eklenmemiştir.

Çizelge 6. Römork platformu bileşenlerinin ağırlığı.

Table 6. Mass of trailer platform components.

Bileşenler	Görsel	Sayı	Ağırlık (kg)	*Fiyat (\$)
Römork platformu		1	82	56.2 \$
Yaprak yay ve bileşenleri		2	27	46.7 \$
Dingil ve porya		1	24	62.8 \$
Jant ve lastik		2	29	138.7 \$
Kriko		1	8	42.3 \$
Kaplin		1	1.5	20.7 \$
Toplam			171.5 kg	367.4 \$

*: 16 Nisan 2020 tarih ve 31101 sayılı Resmî Gazete'ye göre T.C. Merkez Bankası dolar kuru (1 ABD Doları = 6.85 TL) esas alınmıştır.

SONUÇ

Mukavemet sınıfı açısından iki farklı malzeme kullanılarak yapılan römork platformu tasarımında gerilme ve deplasman değeri en yüksek S355 çeliğinde belirlenmiştir. Emniyet açısından S235 çeliğinden üretilen platformun emniyet katsayısının statik yüklenme durumunda yeterli düzeyde olduğu kanaatine varılmıştır. Kesit ölçüleri 50×50×4 mm olan S235 çeliğinin malzeme maliyeti 40×40×3 mm ölçülü S355'e göre daha düşük bulunmuştur.

Bu çalışmada 700 kg taşıma kapasiteli tek dingilli bir römorkun düşük maliyette imalatı için statik yüklenme durumunda gerekli hesaplama ve analizleri yapılmış, yürür aksam için temel bileşenler ortaya konmuş ve mukavemet açısından kritik bölgelerde gerilmeyi emniyetle karşılayacak nitelikte kontroller yapılmıştır. Römork platformunun dinamik zorlanma koşullarında değişken yükler için ayrıca yorulma analizlerinin yapılması ve bağlantı yerlerinde kaynak hesaplamalarının yapılması gerekmektedir. Römork platformunun kullanım alanı geniş olduğundan bu alanda yapılacak çalışmaların imalat sektörüne katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve makale olarak yazılması konusunda herhangi bir çıkar çatışması içerisinde olmadıklarını beyan ederler.

YAZAR KATKISI

Yazarlar, makalenin altta belirtilen iş planına göre yürütüldüğünü beyan ederler.

Bahadır Sayıncı: Araştırmanın planlanması; tasarım parametreleri ve sınır şartlarının belirlenmesi, malzeme seçimi, makalenin yazılması

Ali Tektaş: Tasarım ve analiz; mühendislik hesaplamaları, literatür tarama, piyasa araştırması

İsmet Aslan: Tasarım ve analiz, mühendislik hesaplamaları, literatür tarama, piyasa araştırması

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü lisans öğrencilerinin bitirme tezi çalışmasıdır.

KAYNAKLAR

- Akinci İ, Yılmaz, D and Çanakcı M (2005). Failure of a rotary tiller spur gear. *Engineering Failure Analysis*, 12: 400–404.
- Aksoy M (2014). *Ticari yarı römork tanker şasi yorulma dayanımının gerçek yol sinyalleri ile bilgisayar ortamında incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, s. 170, Sakarya.
- Bahadır M, Şeflek AY, Çarman K and Sonmete MH (2009). Stress analysis of the drum shaft used in threshing machines machines by finite element method. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 5(2): 161-165.
- Can AÇ (2020). *Makine Elemanları Tasarımı*. Güncellenmiş 3. Baskı. Google Play e-kitap, s.179.
- Çayırova (2019). Römork ve Treyler Ekipmanları Ürün Kataloğu. <https://www.cayirova.com.tr>, Konya, s.188 (20/09/2020).
- Çelik HK, Topakçı M, Yılmaz D ve Akıncı İ (2007). Çizelin yapısal ve işlevsel elemanlarında sonlu elemanlar yöntemi ile mukavemet analizi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3(2): 111-116.

- Erkoç CN, Dağhan B ve Kaya S (2006). Bir CAD programı ile katı modellenmiş bir milde sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(3): 65-74.
- Gök K, Aydın M ve Gök A (2012). Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çapa makinesi bıçağının statik analizi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9(4): 45-51.
- Gürsel KT ve Köftelioğlu EY (2006). İki soklu kulaklı pulluk elemanlarının yapısal analizi. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3: 46-55.
- Güven N (2011). *Bir ticari aracın süspansiyon sistemi için yaprak yay tasarımları geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, s. 81, İstanbul.
- Karaçay T ve Aktürk N (2002). Bir römorkun tasarımında gelişigüzel titreşimlerin etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(1): 11-31.
- Makange NR, Parmar RP and Tivari VK (2015). Stress analysis on tine of cultivator using finite element method. *Trends in Biosciences* 8(15): 3919- 3923.
- Mandal SK, Bhattacharya B and Mukherjee S (2013). Optimization of design parameters for rotary tiller's blade. *Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee, India, Dec 18-20*.
- Patel DP, Parmar TD and Prajapati A (2014). Static analysis 3 cubic meter tractor trailer. *International Journal for Research in Technological Studies*, 1(6): 2348-1439.
- Polat O, Balıkoğlu F ve Arslan N (2012). Tiller tipi külvitator ayaklarının bilgisayar destekli yorulma analizi, 3. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 29-30 Kasım 2012, 321-329. Balıkesir.
- Posiadala B and Ladra P (2018). Modeling and strength analysis of the prototype of the multi-tasking car trailer. *MATEC Web of Conferences* 157: 01014.
- Şahin A, Altuntaş E ve Güleç U (2018a). Bazı firmalarca külvitatorlar için üretilen dar uç demirlerinin farklı yüklenmeler altında deformasyon davranışının sonlu elemanlar analizi ile belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* 33: 131-141.
- Şahin A, Altuntaş E ve Güleç U (2018b). Külvitator kazayağı uç demirlerinin sonlu elemanlar metodu (sem) ile mukavemet özelliklerinin belirlenmesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 32(3): 257-265.
- Tolun YB (2014). *Yarı römork taşıtları ve bu taşıtların üretiminde kullanılan kaynak işleminin ve uygulamalarda karşılaşılan hataların incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, s. 81, Balıkesir.
- Topakci M, Celik HK, Yılmaz D and Akıncı I (2008). Strees analysis on transmission gears of a rotary tiller using finite element method. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2): 155-160.
- Topakci M, Celik HK, Canakci M, Rennie AEW, Akıncı I and Karayel D (2010). Deep tillage tool optimization by means of finite element method: Case study for a subsoiler tine. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2): 531-536.
- Zeytinoğlu M (2002). Sonlu elemanlar yöntemi ile pulluk deveboynunun mukavemet analizi üzerine bir araştırma. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2): 169-176.
- Zeytinoğlu M (2006). Sonlu elemanlar yöntemiyle 3.5 tonluk tek dingilli bir tarım arabasına ait çeki halkasının gerilme analizi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(21): 21-24.