

Bahçe Traktörleri için Ön Koruyucu Mekanizması Tasarım ve İmalatı


Front Safety Mechanism Design and Manufacturing for Garden Tractors


Mehmet BAYKUT^{1*}, İbrahim YAVUZ², Şinasi DÜBÜŞ³, Sema ATEŞ⁴


Öz


Traktörler tarım sektöründe en yaygın kullanılan makinelerden biridir. Tarım sektöründe kazaların büyük bir bölümü traktörlerin devrilmesi ile oluşmaktadır. Devrildikten sonra sürücünün hayatta kalabilmesi için bazı pasif güvenlik tedbirlerinin alınması gerekmektedir. Özellikle kabinsiz traktörlerde ROPS (Roll-Over Protective Structure) adı verilen bu mekanizma ile devrilme esnasında sürücünün traktör altında kalması önlenmektedir. ROPS'lar farklı tasarımlarda olmakla birlikte yönetmelik gereği belirli standartlarda imalatı yapılması gerekmektedir. Yönetmelik gereği temel zorunluluk; öne monteli koruyucu yapının (ROPS) aktif konum ve pasif konumları sırasında operatörün (sürücünün) bu işlemleri gerçekleştirirken harcaması gereken kuvvetin belirli sınırlar altında olmasıdır. ROPS tasarımında; U koruma demirinin ROPS sol-sağ ayağa irtibatlanmasını sağlamak üzere en az bir mil bulunacak şekilde yapılmıştır. Böylece U koruma demirinin ROPS sol-sağ ayağa göre dönebilir şekilde irtibatlanması sağlanmaktadır. Tasarlanan öne monteli yardımcı destek sistemi olmayan koruyucu yapının üzerine yay mekanizması tasarımı ve imalatı eklenmiştir. Sisteme yerleştirilen yay sayesinde sürücünün bu işlem sırasında harcayacağı enerjiye destek görevi görerek, daha az kuvvet harcaması sağlanmıştır. Böylece bu mekanizma sayesinde ön koruyucu yapı, aktif konumdan pasif konuma geçirilirken veya tersi işlemlerde yönetmeliklerdeki sınır değerlerin altında kalacak seviyelerdeki kuvvetlere düşürülmüştür. Yönetmelikte ölçüm değerleri 1. Bölge, 2. Bölge, 3. Bölge için uygulanması gereken kuvvetler sırasıyla 100 N, 75 N ve 50 N olması gerekmektedir. Yay mekanizması olmayan tasarımda bu kuvvetler sırası ile 166.77 N, 156.97 N ve 127.53 N olarak ölçülmüştür. Elde edilen verilerin yönetmelikteki sınırların çok üzerinde olduğu görülmüştür. Yay mekanizmalı ölçümlerde ise sırası ile 83.39 N, 68.67 N ve 39.24 N olarak tespit edilmiş olup yönetmelik sınırları altına düşürülmüştür. Sonuç olarak ROPS mekanizmaları, yönetmelik gereksinimleri sağlanarak kullanıcılar için daha az zaman kaybı ve kuvvet gereksinimi sağlayan bir sistem haline dönüştürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tarım traktörleri, Yaylı koruyucu yapı, Ön Koruyucu yapı, Traktör güvenliği, ROPS tasarımı

^{1*}Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mehmet Baykut, Hema Endüstri A.Ş. Çerkezköy, Tekirdağ, Türkiye, mehmetbaykut@hattat.com.tr  OrcID: 0000-0003-0838-0741.

²İbrahim Yavuz, Afyon Kocatepe Üniv., Teknoloji Fak., Otomotiv Mühendisliği, Afyon, Türkiye, iyavuz@aku.edu.tr  OrcID: 0000-0002-4480-2342.

³Şinasi Dübüş, Hema Endüstri A.Ş. Çerkezköy, Tekirdağ, Türkiye, sinasidubus@hattat.com.tr  OrcID: 0000-0003-1561-5123.

⁴Sema Ateş, Hema Endüstri A.Ş. Çerkezköy, Tekirdağ, Türkiye, semaates@hattat.com.tr  OrcID: 0000-0002-2421-2935.

Atıf/Citation: Baykut, M., Yavuz, İ., Dübüş, Ş., Ateş, S. (2023). Bahçe Traktörleri için Ön Koruyucu Mekanizması Tasarım ve İmalatı. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2): 278-292.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır. Tekirdağ 2023.

Abstract

Tractors are one of the most widely used machines in the agricultural sector. Most of the accidents in the agricultural sector are caused by the overturning of tractors. In order for the driver to survive after a rollover, some passive safety measures must be taken. Especially in tractors without cab, this mechanism called ROPS (Roll-Over Protective Structure) prevents the driver from being under the tractor during tipping. Although ROPS are in different designs, they must be manufactured to certain standards in accordance with the regulation. The basic obligation as per the regulation; is that the force that the operator (driver) must spend while performing these operations during the active and passive positions of the front-mounted protective structure (ROPS) is under certain limits. In ROPS design; It is made in such a way that there is at least one shaft to connect the U protection bar to the ROPS left-right leg. Thus, it is ensured that the U protection bar is rotatably connected with respect to the ROPS left-right leg. Spring mechanism design and manufacturing has been added to the protective structure, which does not have a front-mounted auxiliary support system. Thanks to the spring placed in the system, less force is consumed by supporting the energy that the driver will spend during this process. Thus, thanks to this mechanism, the front protective structure has been reduced to levels that will remain below the limit values in the regulations while being switched from the active position to the passive position or vice versa. In the regulation, the measured values for the 1st Region, 2nd Region and 3rd Region should be applied to the forces 100 N, 75 N and 50 N, respectively. In the design without spring mechanism, these forces were measured as 166.77 N, 156.97 N and 127.53 N, respectively. It has been observed that the data obtained is well above the limits in the regulation. In the spring mechanism measurements, it was determined as 83.39 N, 68.67 N and 39.24 N, respectively, and it was reduced below the regulation limits. As a result, ROPS mechanisms have been transformed into a system that provides less time loss and force requirement for users by meeting the regulation requirements.

Keywords: Agricultural tractors, Spring protective structure, Front safety structure, Tractor safety, ROPS design

1. Giriş

Traktör, tarımsal işlemenin en önemli güç kaynağı ve tarımın lokomotifidir. Tarım sektöründe işlerin zamanında tamamlanması verim artışı ve ürün kalitesi açısından en önemli faktördür (Reynolds ve Groves, 2000); (Day ve ark., 2004); (Sanderson ve ark., 2006); (Sümer ve ark.,2008); (Rondelli ve ark., 2018). Tarımsal faaliyetlerde mekanizasyon işçilik ve zaman tasarrufu sağlar. İşlerin zamanında ve düzenli bir şekilde tamamlanmasında traktörlere ihtiyaç vardır. İhtiyaçların zamanında tamamlanması için traktörlerin kullanım esnasında sürücülerin güvenliklerinin alınması gerekmektedir. Taşıtlardaki güvenlik tedbirleri iki kısma ayrılır. Birincisi taşıt kaza yapmadan önce devreye giren aktif güvenlik sistemleri, diğeri ise kazadan sonraki güvenlik sistemi olan pasif güvenlik sistemleridir. Traktörlerde güvenlik sistemleri otomobillerden farklıdır. Traktör kazalarında en çok karşılaşılan durum devrilmelerdir. Bu sebeple devrilmelerde sürücünün hayatta kalabilmesi için koruyucu yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Sürücünün güvenliğini sağlayan ve ergonomik ihtiyaçlarına göre düzenlenmiş koruyucu yapı, traktör kadar önemlidir. 1960'lı yıllarda koruyucu yapılarla ilgili çalışmalar başlamış ve zamanla sürücünün güvenliği için bu mekanizmaların traktöre monte edilmesi Ülkemizde de zorunlu hale gelmiştir (Akyuz, 2017). Tarım sektöründe ortaya çıkan kazaların büyük çoğunluğunun traktörlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Traktör kabinleri, sürücülerini dış etkenlerden korurken sağlıklı bir şekilde tarımsal alanlarda çalışmalarını sağlamak için tasarlanmıştır (Akdemir ve ark., 2016). Fakat kabinli traktörler özellikle bahçelerde ağaçlara zarar vermelerinden dolayı her alanda kullanılamamaktadırlar.

Traktörlerin devrilmesi bu kazaların %50 den fazlasını oluşturmaktadır (Marshall ve ark., 1996); (Jawa ve ark., 2013); (Rondelli ve ark., 2018). Traktör devrilmesi ile sonuçlanan kazaların %36'lık bir kısmı ölüm ile sonuçlanmaktadır (Hard ve ark., 2002). Devrilme sonucu ortaya çıkan kazalar sadece ölüm ya da yaralanmaların yanında, makine hasarına ve zaman kaybına da sebep olmaktadır (Silleli, 2006). Öz, 2005 yılında yapmış olduğu çalışmada; kabinli traktör oranını %34, güvenlik çemberine (Roll-Over Protective Structure - ROPS) sahip traktör oranını ise %14 olarak tespit etmiştir. Bunlara ek olarak traktörlerinde daha önce güvenlik çemberi bulunan fakat çeşitli nedenlerle çıkarılanların oranını ise %54 olarak tespit etmişlerdir. Çiftçilerin yaklaşık %80'i traktörlerindeki ROPS'ların olması sebebi ile ağaç altına giremedikleri için bu kısımları söktüklerini ifade etmişlerdir (Öz, 2005).

Emniyet kemeri ile birlikte kullanıldığı takdirde ölüm oranını azalttığı bilinmektedir. Yaygın olarak kullanılan farklı tiplerde koruyucu yapı bulunmaktadır (Yasartekin, 2019). Bunlar; Kafes yapı (*Şekil 1a*), kabin (*Şekil 1b*) ve öne veya arkaya monte edilen ROPS (*Şekil 1c*, *Şekil 1d*) adı verilen koruyucu yapılarıdır.



Figure 1. Tractor ROPS; (a) four-post frame, (b) cabin, (c) rear two-posts, (d) front-folding two-posts (Rondelli et al., 2018)

Şekil 1. Traktör ROPS'ları; (a) dört direkli çerçeve, (b) kabin, (c) arka iki direk, (d) önden katlanabilir iki direk (Rondelli ve ark., 2018).

Kabin; devrilme veya takla (yuvarlanma) durumunda kullanıcının herhan bir yere çarparak hasar görmesini engellemektedir (Gölbaşı, 2002). Ancak tarımsal çalışmalar her durumda kabinli traktör kullanımına uygun değildir. Örneğin; meyve bahçelerinde kabinli bir traktör ağaç dallarına zarar verebilmektedir. Kabinsiz traktörler için güvenlik tedbiri olarak kullanılan ROPS mekanizması devrilme sonucunda oluşan kaza durumunda ölümlerin önlenmesinde en iyi yöntemdir. Bu tip sistemler ihtiyaca bağlı olarak bir koruma modu (dik konum aktif konum) ve bir tarla modu (yatay konum, pasif konum) arasında yer değiştirebilmektedir. Bu sayede özellikle bahçe tipi tarlalarda iş verimliliğini arttırırken riskli yerlerde ise koruma moduna (aktif konum) alınarak güvenlik sağlanmaktadır (*Şekil 2*).

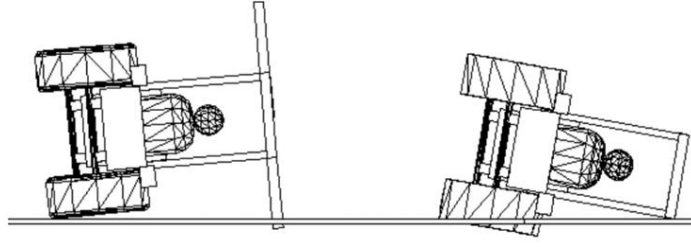


Figure 2. Living area for the driver after the rollover (Silleli, 2006)

Şekil 2. Devrilme sonucunda sürücü için yaşam alanı (Silleli, 2006)

Traktörler için hem ülkemizde hem de tüm dünyada yasal düzenlemeler ve yönetmelikler bulunmaktadır. Yönetmeliklerdeki testleri ve şartları sağlanmadan VE tip onay belgesi alınmadan traktörler tescil edilememektedir. Ülkemizde kullanılan geçerli traktör yönetmeliği 2003/37/AT' dir (BSTB, 2008); (BSTB 2013); (BSTB, 2014). Bu yönetmelik 01.07.2021 tarihinde AB/167/2013 olarak değiştirilmiştir (BSTB, 2013). İlgili yönetmelikte Koruyucu yapıların kaldırılması ve indirilmesi sırasında harcanan kuvvet maksimum değer olarak sınırlandırılmıştır. Yönetmelikte devrilme önleyici sistemin aşağı yukarı hareketini kolaylaştırılması (daha az kuvvet harcayarak aşağı yukarı hareketinin sağlanması) istenilmektedir. Bu çalışmanın amacı yönetmelikler gereği daha az kuvvet ile hareket ettirilebilen öne monte edilen koruyucu yapıların kaldırma ve indirme mekanizması geliştirilmesidir.

2. ROPS ile İlgili Yönetmelik (AB/167/2013- AB/1322/2014)

Bu yönetmelik traktörün devrilmesi durumunda sürücüye emniyet sağlamak üzere, traktör üzerine sabitlenen ROPS sol-sağ ayakları ile koruyucu yapı demiri irtibatlanarak devrilmeye karşı koruma sağlayan bir birinci konum (aktif konum) ve bahçe işlemesine (pasif konum) imkân sağlayan ikinci konum arasında hareketlendirilebilen devrilme koruma tertibatı hakkındadır. Bahçe içerisinde ağaç aralarına girilirken zarar vermemek için kapalı konuma getirilmektedir. Araziden çıkıldıktan sonra tekrar aktif (yukarı konumlu) hale getirilmesi gerekmektedir (Şekil 3).



Figure 3. Examples of ROPS in Open and closed positions (Anonim 2022)

Şekil 3. Açık ve kapalı konumdaki ROPS örnekleri (Anonim 2022)

Bu çalışmanın önceki tasarımlarda bu mekanizmayı hareket ettirmek için sadece insan gücünden faydalanılan ROPS ların daha az kuvvet ile hareket ettirilmesini amaçlamaktadır. Fakat günümüzde geçerli olan yönetmelik güncellenmiş olup burada kullanılan kuvvetin azaltılmasına yönelik bazı yaptırımlar eklenmiştir. ROPS ların, AB/167/2013- AB/1322/2014 yönetmelikleri kapsamında aktif halden pasif hale veya pasif halde aktif hale getirirken ki kuvvet gereksinimlerini sağlanması gerekmektedir (Şevçik, 2019).

AB 167/2013 yönetmeliği kapsamında traktör üzerinde bulunan koruyucu yapının (ROPS) sürücü tarafından kolayca indirip kaldırabilir hale getirilmesi istenmektedir. Tasarım konusu devrilme koruma sistemi traktör üzerinde U şekilli demire sahiptir. Bu U koruma demiri devrilerek yatay konuma getirilebilmektedir. Bu işlem yapılırken bir sönmüleme elemanı kullanılabilir. Tasarımda herhangi bir problem yaşanmaması için ROPS yönetmeliği ile ilgili gerekli şartlar ile ilgili bilgiler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.1. ROPS Yönetmeliği ve çalışma şartları

ROPS'lar kilitleme sistemi, kavrama alanı, kavrama alanının erişilebilir parçası, sıkıştırma noktası, kesme noktası kısımlarından meydana gelir.

Kilitleme sistemi; alçaltılmış veya yükseltilmiş konumlara ROPS'ları elle veya otomatik olarak kilitlemek için takılan bir cihazdır.

Kavrama alanı; operatöre kaldırma/alçaltma operasyonlarını yürütmesi için izin verildiğinde, ROPS'a takılan ek bir kol ve/veya ROPS'un bir kısmı olarak imalatçı tarafından tanımlanır.

Kavrama alanının erişilebilir parçası; ROPS'un kaldırma/alçaltma operasyonları esnasında operatör tarafından kullanılan alanı ifade eder. Bu alan, kavrama alanının genişlik kesitlerinin geometrik merkezine göre tanımlar.

Sıkıştırma noktası; kişilerin veya vücutlarının bazı kısımlarının sıkışmasına neden olabilecek şekilde parçaların birbirine veya sabit parçalara göre hareket ettiği güvensiz noktadır.

Kesme noktası; kişilerin veya vücutlarının bazı kısımlarının sıkışmasına veya kesilmesine neden olabilecek şekilde parçaların birlikte veya diğer parçalarla birlikte hareket ettiği güvensiz bölgedir (BSTB, 2012); (BSTB, 2014); (OECD-Code 4, 2021); (OECD-Code 7, 2021).

2.2 Elle çalışan katlanabilir ROPS ve test öncesi koşullar

Elle kullanma, koruyucu çubuğun kavrama alanında bir veya daha fazla kavramayla ayaktaki operatör tarafından kullanılır. Bu alan, operatörün yaralanmasına neden olması olası keskin kenar, keskin açılar ve kaba yüzeyler olmaksızın tasarlanmak zorundadır. Kavrama alanı, açıkça ve kalıcı olarak saptanmalıdır (*Şekil 4*).

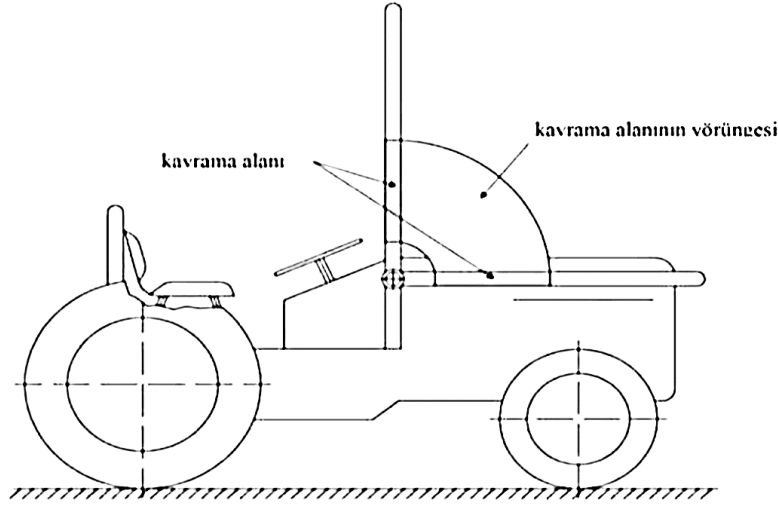


Figure 4. Grip area

Şekil 4. Kavrama alanı

Kavrama alanında, koruyucu çubuk veya ek kolların yapısal bir parçası olabilir ve bu traktörün bir veya her iki tarafında bulunabilir. Koruyucu çubuğu yükseltecek veya alçaltacak elle kullanma, operatöre kesme, sıkıştırma veya kontrol edilemez hareket alanları oluşturmamalıdır.

Farklı miktarlarda izin verilebilir kuvvetli üç erişilebilir bölge, operatörün yer değiştirmesini veya konumunu sınırlayan traktörün dış kısımlarına teğet dik düzlemler ve zeminin yatay düzlemine göre tanımlanır. *Şekil 3'* de bu erişilebilir bölge gösterilmektedir.

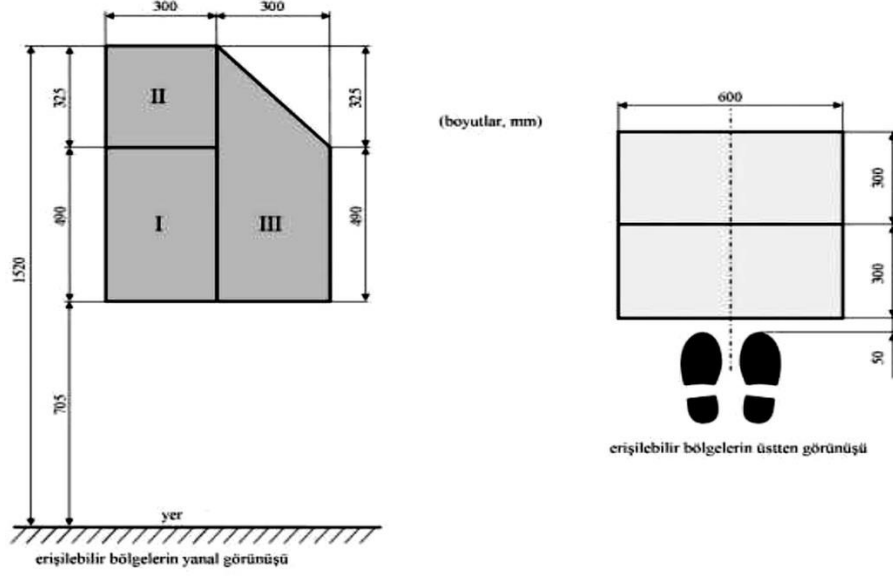


Figure 5. Accessible area

Şekil 5. Erişilebilir bölgeler

Şekil 5'te gösterilen "I bölge" konfor bölgesi, "II bölge" vücudu öne eğmeksizin erişilebilir bölge, "III bölge" ise vücudu öne eğmeyle erişilebilir bölge olarak sınıflandırılmıştır. Operatörün konumu ve hareketi, engellerle sınırlanır. Bunlar traktör parçalarıdır ve engelin dış kenarlarına teğet dik düzlemlerle tanımlanır. Operatör, koruyucu çubuğu elle kullanma esnasında ayağını hareket ettirmeye gerek duyulursa, bir engelin üstesinden gelmek için koruyucu çubuğun yörüngesine paralel bir düzlem içinde veya yalnızca önceki düzleme paralel diğer düzlem içinde yer değiştirmeye izin verilir. Genel yer değiştirme, koruyucu çubuk yörüngesine dik ve paralel hatların sıkı bir kombinasyonu olarak kabul edilir. Bir dik yer değiştirme, operatörün koruyucu çubuğa yaklaşması koşuluyla kabul edilir. Erişilebilir alan, farklı erişilebilir bölgelerin dış çevresi olarak kabul edilir.

Testin amacı, koruyucu çubuğu kaldırmak veya alçaltmak için gerekli kuvveti ölçmektir. Test, statik durumda yapılır: koruyucu çubuğunun ilk (başlangıç) hareketi yoktur. Koruyucu çubuğunu kaldırmak veya alçaltmak için gerekli kuvvetin her bir ölçümü, kavrama alanının genişlik kesitlerinin geometrik merkezinden geçen ve koruyucu çubuk yörüngesine doğrudan teğet olarak yapılır. Farklı erişilebilir bölgelerin teğet eğrisi veya erişilebilir bölge içinde yerleştiğinde kavrama alanının, erişilebilir olduğu düşünülür (Şekil 6) (BSTB, 2012); (BSTB, 2014); (OECD-Code 4, 2021); (OECD-Code 7, 2021).

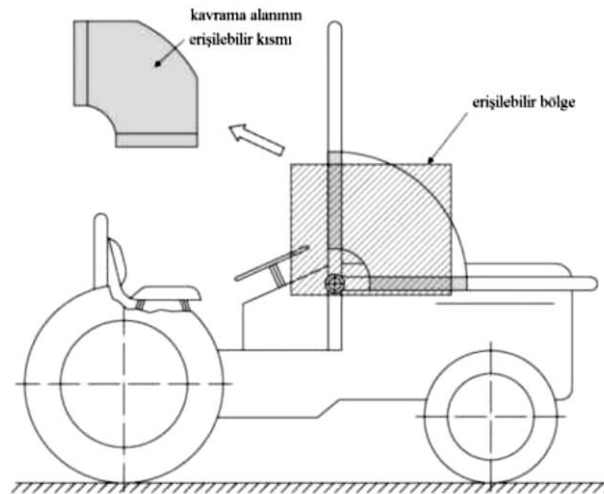


Figure 6. Accessible part of the grip area

Şekil 6. Kavrama alanının erişilebilir kısmı

2.3 Elle kilitleme sistemi

Üst/alt konumuna ROPS'u kilitlemek için kullanılan cihazlar pimler ise, serbest şekilde takılır veya çıkarılabilir olmalıdır. Bunu yapmak için, koruyucu çubuk üzerine bir kuvvet uygulamaya gerek varsa, kriterlere uygun tasarlanması gerekir. Diğer tüm kilitleme cihazları için, özellikle sıkıştırma veya kesme tehlikelerini önleyen kuvvet ve şekli ilgilendiren ergonomik bir yaklaşıma göre işlenmesi gerekir (BSTB, 2012); (BSTB, 2014).

2.4 Otomatik kilitleme sistemi

Elle kullanılan katlanabilir ROPS'la takılan bir otomatik kilitleme sistemi, ROPS'un dayanım testi yapılmadan önce ön teste tabi tutulur. Koruyucu çubuk, üst konumdan dik kilitli konum ve arkaya getirilir. Bu işlem 500 kez tekrarlanarak ön test tamamlanır. Döngü işlemi herhangi bir mekanizma ile (hidrolik, basınçlı veya elektrikli tahrik ediciler) veya manuel olarak yapılabilir. Her iki durumda da, kuvvet, kavrama alanı boyunca geçen ve koruyucu çubuğun yörüngesine paralel bir düzlem içinde uygulanır ve koruyucu çubuğun açılma hızı, 20 derece/saniyeden az ve kabaca sabittir. 500 döngüden sonra, koruyucu çubuk, üst konumda olduğunda uygulanan kuvvet, izin verilen kuvvetlerin %50'den fazlasını geçemez. Koruyucu çubuğun kilidinin açılması, kullanım kılavuzunu izleyerek yapılır. 500 döngünün tamamlanmasından sonra, kilitleme sistemi üzerinde hiçbir bakım veya ayar yapılmaması gerekir. Yönetmeli gereği ilk test otomatik olarak katlanabilir ROPS sistemlerine de uygulanabilir ve imalatçı tarafından yapılabilir. Bu tür bir durumda, imalatçı, testin, test prosedürüne göre yapılmış olduğunu ve 500 döngünün tamamlanması sonrasında kilitleme sisteminde hiçbir bakım veya ayar olmadığını belirten bir sertifikayı teknik servise sağlar. Teknik servis alt konumdan üst kilitli konum ve geriye bir döngüyle cihazın performansını kontrol etmesi gerekmektedir (BSTB, 2014); (OECD-Code 7, 2021).

3. Materyal ve Metot

Tasarımın kapsamı, ön koruma demiri yay mekanizması ile katlanma özelliğini iyileştirmektir. Mevcut sistemde mekanizmada herhangi bir yardımcı kuvvet bulunmayıp tüm ağırlık sürücünün kol kuvveti ile yapılmaktadır. Yeni yönetmelik gereği harcanan bu kuvvet belirli sınırlar altında olması gerekmektedir. Bu sebeple ön koruyucu mekanizmaya bir torsiyon yay eklenerek bu kuvvetin azaltılması düşünülmüştür. ROPS tasarımı geçmeden ihtiyacı karşılayabilecek yay hesabı yapılmıştır. Yapılan hesaplamalara uygun olarak yay mekanizması ROPS tasarımına eklenmiş ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

3.1 Torsiyon Yay Tasarımı

Torsiyon yaylar (kurma yay), alaşımli metallere, dikdörtgen veya yuvarlak malzemeden helisel olarak sarılmış ve yay uçlarına şekil verilerek kollar oluşturulmuştur. Bu yaylar genellikle mekanizmalarda miller için hareket verici olarak kullanılmaktadırlar. Açılma yönünde depolanan enerjiyi depolamaktadırlar. Bu sebeple çalışmada bu tür yay kullanılmasının uygun olacağı kanısına varılmıştır. Torsiyon yaylarda, malzeme elastik bölgede kalmak şartıyla, yay ekseninden belirli bir "R" mesafesinde, teğetsel olarak etkileyen bir "F" kuvvetinin oluşturduğu "M" moment etkisiyle yay sıkıştırıldıktan sonra depolanan enerji ihtiyaç olduğunda geri alınabilir.

Torsiyon Yay (Kurma Yay) hesaplamalarında kullanılan kısaltmalar ve simgeler:

d : Yay telinin çapını (mm),

D_i : Yay iç çapını (mm),

$D_m = D_i + d$ Yayın ortalama çapını (mm),

$D_m = D_i + (2 \times d)$ Yay dış çapını (mm),

$w = \frac{D_m}{d}$: Yay indeksi

M_1 "Birinci momenti ifade eder (Nmm)". Birinci moment tesir mesafesinin eksene uzaklığı R (mm) ile teğetsel birinci kuvvet F_1 (N)'nin çarpımına eşittir.

M_2 : İkinci momenti ifade eder (Nmm). İkinci moment ise benzer şekilde tesir mesafesinin eksene uzaklığı R (mm) ile teğetsel ikinci kuvvet F_2 (N)'nin çarpımına eşittir.

A_1 : Moment altında (M_1) sıkışan yayın uç kısımları (Yay bacakları) açılma strok (derece),

α_2 : Moment altında (M_2) sıkışan yayın uç kısımları (Yay bacakları) açılma strok (derece),

α_h : Moment farkından (M_2-M_1) oluşan açısız strok farkı (derece),

δ_0 : Yay yüksüz iken yayın uç kısımları (Yay bacakları) arasındaki açıyı,

δ_1 : Moment altında (M_1) sıkışan yayın uç kısımları (Yay bacakları) arasındaki açıyı (derece),

δ_2 : Momenti (M_2) altında yayın uç kısımları (Yay bacakları) arasındaki açıyı (derece),

Yayı etkileyen moment sebebi ile yayın kesitinde oluşan ($\sigma_{iç}$) iç gerilme:

$$\sigma_{iç} = \frac{32 \times M}{\pi \times d} \quad (Nmm^{-1}) \quad (Eş.1)$$

Moment farkından dolayı (α_h) strok farkı olan yay rijitliği hesabı (Rende, 2017):

$$c = \frac{M_1 - M_2}{\alpha_h} \quad \left(\frac{Nmm}{derece} \right) \quad (Eş.2)$$

3.2 Torsiyon Yay Moment – Açısız Strok Diyagramı

Her iki yay ucu radyal bükülmüş Torsiyon Yaylarının İç büküm radius $r \geq d$ olması gerekir. Yay İndeksi sebebi ile Düzeltme Katsayısı “kw”

$$kw = \frac{w+0,07}{w-0,75} \quad (Eş.3)$$

Uç kısımları radyal bükülmüş olan yaylar için (r/d) oranı sebebi ile Düzeltme Katsayısı “krd”

$$krd = \frac{2 \times \frac{r}{d} + 1,07}{2 \times \frac{r}{d} + 0,25} \quad (Eş.4)$$

Maksimum İç Gerilmenin (σ_{max}) hesabı için, yayın çalışma şekline göre seçim yapılır.

a) Statik Çalışma: Yay 10000 çevrimden fazla çalışmayacaksa veya çalışma kuvveti “F” sabit ise Gerilme Düzeltme Faktörü “1” ($k=1$) alınır.

b) Dinamik Çalışma: Yay çalışma şartları zor ise 10000000 çevrim ömrü alınır. Bu durumda Gerilme Düzeltme Faktörü (k) için hesaplanan “kw” veya “krd” sonuçlarından büyük olan alınır.

Çalışma yerine ve durumuna göre seçim yapıldıktan sonra $M_{max} = M_2$ momenti altında yay da oluşan maksimum İç Gerilme (σ_{max}) hesaplanır.

$$\sigma_{max} = k \times \sigma \quad (Nmm^{-2}) \quad (Eş.5)$$

$$\sigma_{max} = \frac{32 \times k \times M_2}{(\pi \times d)^3} \quad (Nmm^{-2}) \quad (Eş.6)$$

Standart yay üretiminde kullanılan tel malzemelerinin çekme mukavemetleri ($R_m=N/mm^2$) çaplarına göre tablolarda verilmektedir. Fakat yaylar, elastik deformasyon bölgesinde çalışmak zorundadırlar. Bu nedenle seçilen yay malzemesi çalışma esnasında daima Akma Dayanımının (σ_{akma}) altında kalmak zorundadır.

Pratik olarak: $\sigma_{akma} = 0,70 \times R_m$ alınabilir. Sonrasında; “ $\sigma_{max} < \sigma_{akma}$ ” olacak şekilde tel çapı ve malzemesi seçilir.

Son olarak:

$$d = \left(\frac{32 \times k \times M_2}{p \times \sigma_{akma}} \right)^{1/3} \quad (Eş.7)$$

sağlanması gerekmektedir (Rende, 2017).

3.3 ROPS Kuvvet ölçüm standartları

Koruyucu çubuğunu kaldırmak veya alçaltmak için gerekli kuvvet, kavrama alanının erişilebilir kısmı içinde olan Şekil 7’de verilen noktalarda ölçülür.

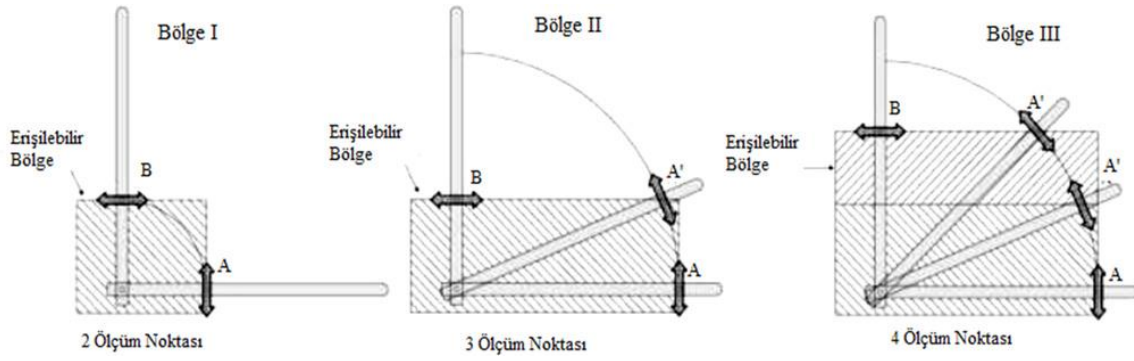


Figure 7. Points where force requirement will be measured

Şekil 7. Kuvvet gereksiniminin ölçüleceği noktalar

Birinci ölçüm, koruyucu çubuk tam olarak indirildiğinde kavrama alanının erişilebilir kısmının ucunda yapılır (A noktası). İkincisi, kavrama alanının erişilebilir kısmının üstüne kadar koruyucu çubuğunun döndürülmesi sonrasında A noktasına göre tanımlanır (A' noktası). İkinci ölçümde, koruyucu çubuk tam olarak kaldırılmazsa, bir ek nokta, koruyucu çubuk tam kaldırıldığında kavrama alanının erişilebilir kısmının ucunda ölçülür (Nokta B). İlk iki ölçüm arasında, birinci noktanın yörüngesi, Bölge I ve Bölge II arasındaki sınırdan geçerse, kesişme noktasında bir ölçüm yapılır (A'' noktası). Gerekli noktalardaki kuvveti ölçmek için, kuvveti ölçmek üzere ya koruyucu çubuğu indirmek veya kaldırmak için gerekli torku ölçmek veya doğrudan değeri ölçmek mümkündür (BSTB, 2012); (BSTB, 2014).

4. Araştırma Sonuçları

Bulgular kısmı üç aşamada incelenmiştir. Birinci kısım mevcut ROPS için ihtiyaç olan yardımcı kuvvetin belirlenmesi ve buna uygun yay hesaplamaları, ikinci kısım elde edilen yay verilerine göre yeni ROPS tasarım aşamalarını, üçüncü kısım ise imalatı yapılmış yeni mekanizmanın ölçümleri ve yönetmelik ile kıyaslamalarını kapsamaktadır.

4.1. Yay hesaplamaları

Yay mekanizmasında kullanılacak olan yay olarak torsiyon yay tipi (temperlenmiş yaylık çelik tel) kullanılmış ve torsiyon yay hesaplamaları doğrultusunda *Tablo 1*'deki veriler elde edilmiştir.

Tablo 1. Torsiyon yay tasarımı ile elde edilen veriler

Table 1. Data obtained with torsion spring design

Mevcut Yaysız ROPS Kola Gelen Kuvvet (N)	Yol (mm)	İki Koldaki Moment (Nmm)	7.5 kg'ı karşılamak için gerekli moment (Nmm)	Tek Koldaki Moment (N.mm)	7.5 kg gereksinimini sağlama için ihtiyaç olan yay çapı (mm)
130	1411	183430	105825	38802.5	7.22

Tablo 1'deki veriler kullanılarak tasarıma yay kontrolleri yapılmış olup ortaya çıkan yay kullanılarak iyileştirme sağlanmıştır. Böylelikle kola gelen yaklaşık 170N kuvvet, 7mm çapındaki yay yardımıyla 80N civarına düşürülmüştür (*Şekil 8*). Elde edilen bulgular *Tablo 2*'de verilmiştir.

Tablo 2. Yay kontrol verileri

Table 2. Spring control data

Çap mm	Ortalama Çap mm	Sarım sayısı	Esneklik katsayısı	Açı	Moment (N.mm)	Max Gerilme (N/mm ²)	Tablodaki Gerilme (N/mm ²)	Emniyetli Gerilme (N/mm ²)
7	28	8	602.57	80	48205.97	1432.28	1760	1408

Buna göre yeniliği, U koruma demirinin, birinci konumdan (aktif konum) bahsedilen ikinci konuma (pasif konum) geçirilirken en azından kısmen yavaşlatılabilesine imkan vermek üzere; bir ucundan ROPS sol-sağ ayaklara, diğer ucundan U koruma demirine ilişkilendirilebilen kurma yay içermesi ve bahsedilen kurma yayın U koruma demirinin döndürülmesiyle oluşan kinetik enerjiyi sönmüleyecek şekilde konfigüre edilmiş olmasıdır. Böylece U koruma demirinin ROPS sol-sağ ayaklara göre döndürülürken kullanıcı üzerine ağır yük binmesi engellenerek ergonomik bir kullanım sağlanmış olmaktadır.



Figure 8. Springless ROPS mechanism force measurements

Şekil 8. Yaysız ROPS mekanizması kuvvet ölçümleri

Şekil 8’de sırası ile bölgelerden kuvvet ölçümleri “kg” cinsinden ölçülüp yer çekimi ivmesi ile çarpılarak yönetmelikteki birime (N) çevrilmiştir. Ölçümler en az üç kez tekrarlanarak alınmış ve ortalama değerleri hesaplanmıştır. Ölçümler yönetmelikte belirtilen bölgelerden sırası ile alınmıştır. Ölçüm değerleri 1. Bölge, 2. Bölge, 3. Bölge olarak sırası ile 17 kg (166.77 N), 16kg (156.97 N) ve 13 kg (127.53 N) olarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler yönetmelikteki sınırların çok üzerinde olduğu görülmüştür.

4.1 ROPS Mekanizması Tasarım Aşamaları

Şekil 9’da tasarım bir devrilme koruma tertibatı ile ilgilidir. Buna göre bahsedilen devrilme koruma tertibatı (1) özellikle tarım traktörlerinde kullanılmaktadır. Bahsedilen devrilme koruma tertibatı traktörün herhangi bir sebeple yan yatması veya devrilmesi durumunda sürücünün korunmasını sağlayacak şekilde konfigüre edilmektedir. Bunun yanı sıra devrilme koruma tertibatının devrilme koruma özelliği ihtiyaca göre pasif hale de getirilebilmektedir. Bunları sağlamak üzere devrilme koruma tertibatı U koruma demirine (10) ve ROPS sol-sağ ayağa (20) sahiptir. Bahsedilen ROPS sol-sağ ayak (20) esasen devrilme koruma tertibatının traktör üzerinde sabit bir şekilde irtibatlandığı kısımdır. U koruma demiri (10) ise ROPS sol-sağ ayak (20) üzerinde en azından kısmen dönme serbestliğine sahip olabilecek şekilde irtibatlanan kısımdır. U koruma demiri (10) esasen “U” şekilli bir profil (11) olup traktörde sürücüye yakın gelecek şekilde konumlanabilmektedir. U koruma demirinin (10) ROPS sol-sağ ayağa (20) göre dönme serbestliğine sahip olması ile devrilme koruma tertibatı (1) bir birinci konum (I) ve bir ikinci konum (II) arasında yer değiştirebilmektedir (Bülbül, 2006); (Yahsi, 2019).

İkinci konum ise (II) devrilme koruma tertibatının devrilme veya yan yatma durumlarına karşı koruma özelliğinin pasif hale getirilmiş olduğu konumdur. Bu konumdayken U koruma demiri (10) esasen ROPS sol-sağ ayak (20) etrafında döndürülerek yaklaşık olarak yere paralel bir konuma getirilmektedir. İkinci konum (II) birinci konuma (I) göre traktörün daha emniyetsiz olduğu konumdur. Fakat bu konum özellikle bahçelerde traktörün ağaçlar altına rahatça girebilmesi ve ağaç dallarının birinci parça (10) tarafından zarar görmesinin engellenmesi amacıyla tercih edilebilmektedir.

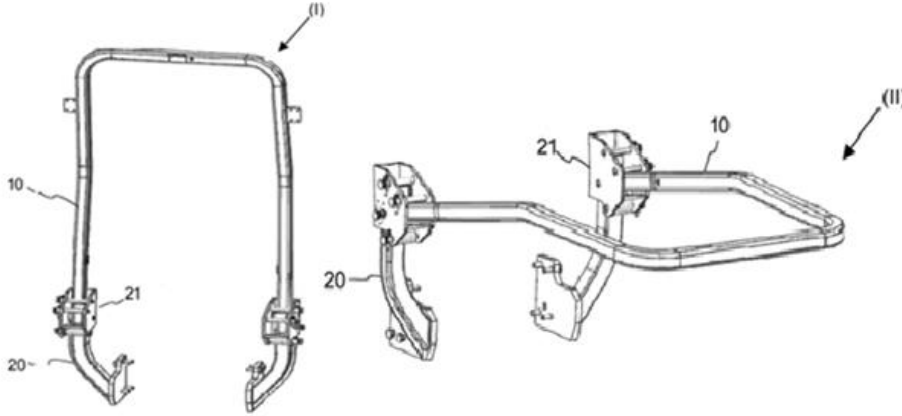


Figure 9. Active and passive position perspective view of the rollover protection device

Şekil 9. Devrilme koruma tertibatının aktif ve pasif konum perspektif görünümü

Devrilme koruma tertibatında U koruma demirinin (10) ROPS sol-sağ ayak (20) üzerinde birinci konumdan (I) ikinci konuma (II) geçirilmesi sırasında kullanıcı üzerine binen yükün azaltılması istenmektedir. Bu durum bir taraftan kullanıcının konforunu iyileştirirken hem de yönetmelikler gereği bir şart haline gelmiştir.

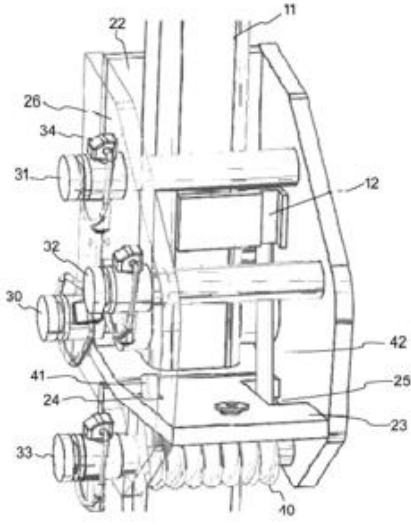
ROPS sol-sağ ayağın (20) U koruma demiri (10) ile birleşim yerinde en az bir eklem elemanı (21) bulunmaktadır. Bahsedilen eklem elemanı (21) tercihen ROPS sol-sağ ayak (20) üzerinde sağlamış bir birleştirme elemanı olup şekli ve üzerinde bulunan delikleri sayesinde U koruma demirinin (10) hareketine imkân vermektedir.

Şekil 10' da tasarım konusu devrilme koruma tertibatında bulunan eklem elemanının perspektif görünümü verilmiştir. Birinci yaslanma duvarı (22) ve ikinci yaslanma duvarının (23) yanlarından aralarında boşluk olacak şekilde birer yanak (26) kısmı bulunmaktadır. Bahsedilen yanak (26) kısımları arasında U koruma demirinin (10) profili (11) konumlanabilmektedir. Profilin (11) konumlanabilmesine imkân üzere yanak (26) arasında uzanan bir mil (30) bulunmaktadır. Bahsedilen mil (30) vasıtasıyla profil (11) birinci yaslanma duvarı (22) ve ikinci yaslanma duvarı (23) arasında hareket ettirilebilmektedir. Yanaklar (26) arasında bir ikinci mil (31) ve bir üçüncü mil (32) de bulunmaktadır. Bahsedilen ikinci mil (31), U koruma demirini (10) birinci konumda (I), üçüncü mil (32) ise U koruma demirini (10) ikinci konumda (II) tutabilmektedir.

Ayrıca yanaklar (26) arasında dördüncü mil (33) uzanmaktadır. Dördüncü mil (33) etrafında en az bir kurma yay (40) konumlanmaktadır. Kurma yay (40) diğer bir adı ile torsiyon yay tercihen helisel olarak sarılmış ve uçlarında şekil verilmiş birinci uç (41) ve ikinci uç (42) bulunan yay çeşididir. Kurma yay (40); bahsedilen birinci uç (41) ve bahsedilen ikinci uç (42) birbirine göre döndürülmesi ile kinetik enerjiyi potansiyel enerji olarak depolamaktadır.

Tüm bu yapılarla beraber; traktörlerde kullanılan bir devrilme koruma tertibatının (birinci konumdan (I) bir ikinci konuma (II) geçirilirken pratik ve emniyetli bir hareket mekanizmasının elde edilmesi sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra birinci parçanın (10) ikinci konuma (II) geçirilirken ki hareketi en azından kısmen sönmülenerak kullanıcı için ergonomik ve emniyetli bir yapı elde edilmiş olmaktadır. Bunun yanı sıra önceden belirlenen yönetmelik kurallarına uygun bir yapının teknikte bilinen bir kurma yayın (40) kullanılması ile çözülmüş olmaktadır.

Tasarlanıp imalatı yapılan mekanizmanın katı model ve imalat sonundaki traktör üzerindeki görünüşleri Şekil 11'de verilmiştir.



1	Devrilme Koruma Tertibatı	30	Birinci Mil
10	Birinci Parça	21	İkinci Mil
11	Profil	32	Üçüncü Mil
12	Dayanak	33	Dördüncü Mil
20	İkinci Parça	34	Pim
21	Eklem Elemanı	40	Kurma Yay
22	Birinci Yaslanma Duvarı	41	Birinci Uç
23	İkinci Yaslanma Duvarı	42	İkinci Uç
24	Birinci Açıklık	(I)	Birinci Konum
25	İkinci Açıklık	(II)	İkinci Konum
26	Yanak		

Figure 10. Perspective view of the joint element in the rollover protection device

Şekil 10. Devrilme koruma tertibatında bulunan eklem elemanının perspektif görünümü

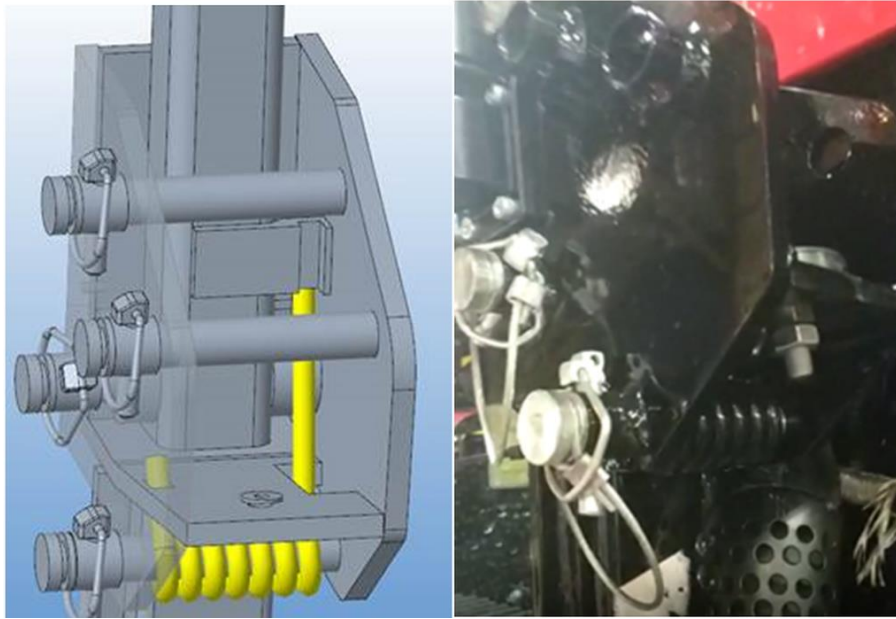


Figure 11. Images of the spring protective structure on the solid model (a) and the tractor (b)

Şekil 11. Yaylı koruyucu yapının katı model (a) ve traktör üzerindeki görüntüleri (b)

4.3 Tasarım ve İmalat Sonundaki Ölçümler

Şekil 12'de yay mekanizmalı ölçüm önceki ölçüm ile aynı sıralamada ve aynı bölgelerden yapılmıştır. Ölçüm değerleri 1. Bölge, 2. Bölge, 3. Bölge olarak sırası ile 8 kg (83.39 N), 7 kg (68.67 N) ve 4 kg (39.24 N) olarak ölçülmüştür. Elde edilen verilerin yönetmelikteki sınırların altında kaldığı görülmüştür.

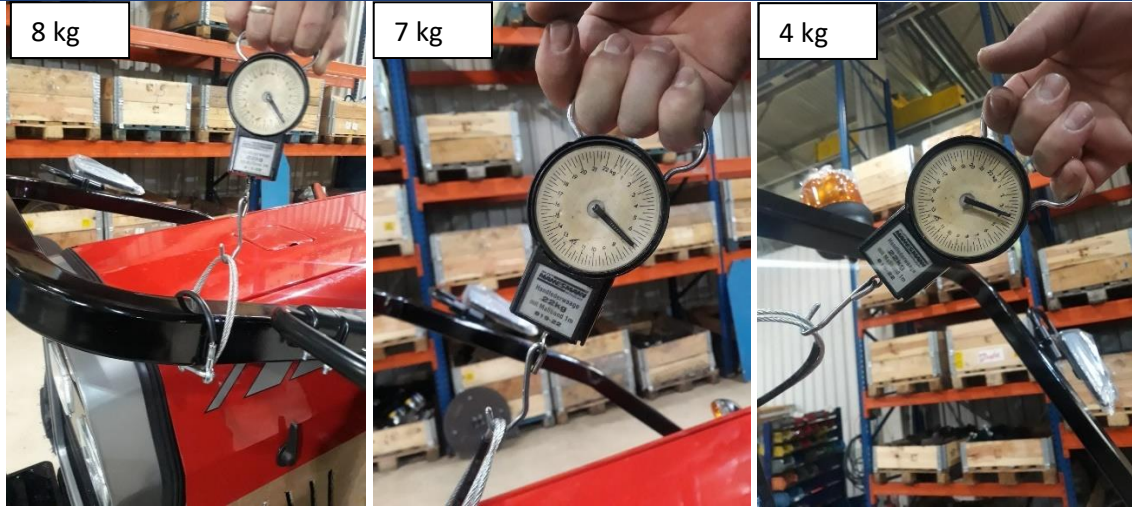


Figure 12. Spring ROPS mechanism force measurements

Şekil 12. Yaylı ROPS mekanizması kuvvet ölçümleri

ROPS'un çalıştırılması için kabul edilebilir kuvvet, Tablo 3'de görüldüğü gibi erişilebilir bölgeye bağlıdır. Bu kabul edilebilir kuvvetlerin %25'inden daha fazla olmayan bir artışa, koruyucu çubuk tam indirildiğinde ve tam kaldırıldığında izin verilir. Bu doğrultuda yapılan tasarım sonucunda elde edilen verilerin yönetmelik sınırları içinde kaldığı görülmüştür.

Tablo 3. İzin verilen kuvvetler ve deney sonucundaki verilerin kıyaslanması

Table 3. Comparison of allowable forces and test results

Bölge	Bölge I	Bölge II	Bölge III
Kabul edilebilir kuvvet (N)	100	75	50
Yaysız Ön ROPS (N)	166.77	156.97	127.53
Yaylı Ön ROPS (N)	83.39	68.67	39.24

Bahsedilen eklem elemanı üzerinde U koruma demirinin birinci konumda (pasif konum) dayandırıldığı yaslanma duvarı ve ikinci konumda (aktif konum) dayandırıldığı yaslanma duvarına sahip olmasıdır. Böylece U koruma demirinin eklem elemanı üzerine irtibatlanabilmesi ve dönerken hareketinin sınırlandırılabilmesi için mekanik şartlar uygun hale getirilmektedir.

Tasarımın bir diğer özelliği, kurma yayının birinci ucu U koruma demiri üzerine sabitlenirken, ikinci ucu ROPS sol-sağ ayaklar üzerindeki parçaya temas edebilir olmasıdır. Böylece yayın bir ucundan U koruma demirine yaslandırılırken diğer ucundan da tarafından ROPS sol-sağ ayaklarındaki parça ile sıkıştırılabilmektedir.

Yapılan tasarım ile birinci parça üzerinde kurma yayının temas edebildiği en az bir dayanak bulunmasıdır. Böylece kurma yayının birinci parça tarafından sıkıştırılabilmesi sağlanmaktadır.

5. Sonuçlar

Bu çalışma ile mevcut sistem üzerine iyileştirme ve bir tasarım yapılarak yönetmelik gereksinimlerinin sağlanması, konfor ve ergonomi kazandırması amaçlanmaktadır. Bu amaçla öne monteli koruyucu yapıları traktörler için kullanıcılar en az kuvvet gereksinimleri ve yönetmelik şartları sağlanması ile bahçe işlerinde koruyucu yapıyı aktif ve pasif duruma getirebileceklerdir. Geliştirilen ve tasarım olarak ortaya çıkan bu tasarımın uygulanması ile daha güvenli bir sistem elde edilmiştir. En önemlisi ise güvenlik ve yönetmelik gereksinimleri sağlanarak kullanıcıların ölümcül kazalardan korunması sağlanacaktır.

ROPS tasarımında; U koruma demirinin ROPS sol-sağ ayağa irtibatlanmasını sağlamak üzere en az bir mil bulunacak şekilde yapılmıştır. Böylece U koruma demirinin ROPS sol-sağ ayağa göre dönerken şekilde irtibatlanması sağlanmaktadır.

Yayın ROPS sol-sağ ayakta sabitlenen ucu, U koruma demirine sabitlenen ucunun esneyebilmesine imkân verecek şekilde boyutlandırılmıştır. Böylece kurma yayın U koruma demiri tarafından sıkıştırılabilmesi sağlanmaktadır.

Bahçe traktörleri için yapılan tasarım ile devrilme esnasında sürücüyü koruyacak yapı daha kullanışlı hale getirilmiştir. Bu gelişmenin koruyucu yapının aktif olarak kullanımını teşvik edeceği ve böylece meydana gelecek traktör kazalarında ölüm oranının daha aşağı çekilebileceği düşünülmektedir.

ROPS Ölçüm değerleri yönetmelik kapsamında kaldırma kuvveti olarak 1. Bölge, 2. Bölge, 3. Bölge 100 N, 75 N ve 50 N olması gerekmektedir. Yay mekanizması olmayan tasarımda sırası ile 166.77 N, 156.97 N ve 127.53 N olarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler yönetmelikteki sınırların çok üzerinde olduğu görülmüştür. Yay mekanizmalı ölçümlerde ise sırası ile 83.39 N, 68.67 N ve 39.24 N olarak tespit edilmiş olup yönetmelik sınırları içerisine düşürülmüştür.

Güvenlik tedbirlerinin (ROPS) kaldırmasının zor olması sebebi ile sürücüler tarafından çıkarıldığı literatür çalışmalarında görülmüştür. Yapılan bu tasarım ile daha az bir kuvvet ile mekanizma çalıştırılabildiği için bu durumda azaltılabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Hattat Traktör ve Hema Endüstri'nin destekleri kapsamında gerçekleşmiştir. 2020/19846 sayılı Patent Başvurusu içerisinden bilgiler kullanılmıştır. Çalışmanın gerçekleştirilmesinde verilen tüm destekler için teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Akdemir, S., Öztürk S. ve Poyraz, Ü. (2016). Bir traktör kabininde ortam şartlarının yaz koşullarında HAD ile belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2):46-54.
- Akyuz, A. S. (2017). Koruyucu yapı tipinin traktör gürlü ve titreşim karakteristikleri üzerine etkisinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(2):43-53.
- Anonim (2022). Hattat B3000 Serisi. <https://www.hattattraktor.com/traktorler/hattat-traktor/hattat-bahce>, (Erişim Tarihi: 13.07.2022).
- BSTB (2008). Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, AB/2003/37, Tarım veya Orman Traktörleri, Bunların Römorkları ve Birbirine Değiştirilebilir Çekilen Makinaları ile Sistemleri, Aksamları, Ayrı Teknik Üniteleri ile İlgili Tip Onay Yönetmeliği.
- BSTB (2012). Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, AB/2009/75, Tekerlekli Tarım veya Orman Traktörlerinin Devrilmeye Karşı Koruyucu Yapısı ile İlgili Tip Onay Yönetmeliği.
- BSTB (2013). Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, AB/167/2013 Tarım ve Orman Araçlarının Tip Onay ve Piyasa Gözetimi ve Denetimi Hakkındaki Yönetmelik.
- BSTB (2014). Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, AB/1322/2014 Yapım ve Genel Gereklilikleri Hakkında Tarım ve Orman Araçlarının Tip Onayı ile İlgili Yönetmelik.
- Bülbül, H. (2006). *Ankara'nın bazı ilçelerinde tarım alet ve makinaları ile çalışmada gerçekleşen iş kazalarının incelenmesi üzerine bir araştırma*. (Yüksek Lisans). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Ankara.
- Day, L., Rechner, G. and Lough, J. (2004). An Australian experience with tractor rollover protective structure rebate programs: Process, impact and outcome evaluation. *Accident Analysis & Prevention*, 36(5): 861-867.
- Gölbaşı, M. (2002). *Tarım alet-makine ve traktörlerin kullanımından kaynaklanan iş kazaları nedenlerinin ve tahmini kaza maliyetleri indeksinin belirlenmesi*. (Doktora Tezi) Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Ankara.
- Hard, D., Myersand, L. J. R. ve Gerberich, S. G. (2002). Traumatic Injuries in Agriculture. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 8:51-65.
- Jawa, R. S., Young, D. H., Stothert, J. C., Yetter, D., Dumond, R., Shostrom, V. K., Cemaj, S., Rautiainen, R. H. and Mercer, D. W. (2013). Farm machinery injuries: The 15-year experience at an urban joint trauma center system in a rural state. *Journal of Agromedicine*, 18(2):98-106.
- Marshall, S. W., Clarke, J., Langley, J. D. and Cryer, P.C. (1996). Overview of injury on New Zealand farms. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 2(4):175-190.
- OECD-Code 4 (2021). Standard Code for The Official Testing of Protective Structures on Agricultural and Forestry Tractors.
- OECD-Code 7 (2021). Standard Code for The Official Testing of Rear Mounted Roll-over Protective Structure on Narrow-track Agricultural and Forestry Tractors.
- Öz, E. (2005). Ege Bölgesi'nde meydana gelen traktör kazalarının tarımsal iş güvenliği açısından değerlendirilmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(2):191-202.
- Rende, H. (2017). Makine Elemanları Cilt 1, Birsen Yayınevi, 3. Baskı, 350s.
- Reynolds, S. J. and Groves, W. (2000). Effectiveness of rollover protective structures in reducing farm tractor fatalities. *American Journal of Preventive Medicine*, 18:63-69.
- Rondelli, V., Casazza, C. and Martelli, R. (2018). Tractor rollover fatalities, analyzing accident scenario. *Journal of Safety Research*, 67:99-106.
- Sanderson, W. T., Madsen, M. D., Rautiainen, R., Kelly, K. M., Zwerling, C., Taylor C. D., Reynolds, S. J., Stromquist, A. M., Burmeister, L. F. and Merchant, J. A. (2006). Tractor overturn concerns on Iowa: Perspectives from the Keokuk county rural health study. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 12(1):71-81.
- Ševčík, L., (2019). Protective Elements of Agricultural Electric Vehicles, *In Proceeding Of 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering*. 17-20 September, Prague, Czech Republic.
- Silleli, H. H. (2006). Traktör Sürücüsü ve Önüne Takılan Koruyucu Yapılarda Sürücü Güvenliğini ve Sürüş Performansını Artıracak Bir Sistem Geliştirilmesi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2(1): 41-48.
- Sümer, S. K., Say, S. M. ve Özpınar S. (2008). Çanakkale ilinde kullanılmış traktör fiyatlarının değerlendirilmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5(3):253-266.
- Yasartekin, M. (2019). *Yuvarlanmaya karşı koruyucu yapılara (ROPS) uygulanan simülasyon tekniklerinde etkili parametrelerin belirlenmesi* (Doktora Tezi) Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Yahsi, M. (2019) *Bir yuvarlanmaya karşı koruyucu yapının (YKEY) performansının sonlu elemanlar analizi, tasarım optimizasyonu ve fiziksel testler ile korelasyonu* (Yüksek Lisans) Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa.