

Araştırma/Research

Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 33 (2018)
ISSN: 1308-8750 (Print) 1308-8769 (Online)
doi: 10.7161/omuanajas.385380

Bazı firmalarca kültivatörler için üretilen dar uç demirlerinin farklı yüklenmeler altında deformasyon davranışının sonlu elemanlar analizi ile belirlenmesi

Aslan Şahin, Ebubekir Altuntaş*, Umut Güleç

Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü
*Sorumlu yazar/corresponding author: ebubekir.altuntas@gop.edu.tr

Geliş/Received 29/01/2018

Kabul/Accepted 26/04/2018

ÖZET

Bu çalışmada, A, B, C ve D firmalarının imal ettikleri kültivatör dar uç demirlerinin 6 farklı yük altında gerilme ve deformasyonları sonlu elemanlar metodu (SEM) ile SolidWorks Simulation Sonlu Elemanlar Kodu kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada, 6 farklı statik yüklenme senaryosu (S1, S2, S3, S4, S5 ve S6) uygulanmış ve sırasıyla 500 N, 1000 N, 1500 N, 2000 N, 2500 N ve 3000 N olarak dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, S6 yüklenme kuvveti altında kültivatör dar uç demirlerinde meydana gelen eşdeğer gerilme değerleri 145.948 MPa'dan 242.729 MPa'ya kadar, deformasyonlar (yer değiştirmeler) ise 0.539 mm'den 0.889 mm'e kadar değişmiştir. Minimum yüklenme durumu (500 N) için sırasıyla B dar uç demirinde (49.006 MPa) ve C dar uç demirinde (36.742 MPa), diğer dar uç demirlerine göre daha yüksek ve daha düşük eşdeğer gerilme değerleri bulunmuştur. Maksimum yüklenme durumu (3000 MPa) için ise sırasıyla B dar uç demirinde (242.729 MPa) ve A dar uç demirinde (145.948 MPa), diğer dar uç demirlerine göre daha yüksek ve daha düşük eşdeğer gerilme değerleri bulunmuştur. Deformasyon (yer değiştirme) açısından, minimum yüklenme durumu (500 N) için sırasıyla B dar uç demirinde (0.146 mm) ve C dar uç demirinde (0.086 mm), diğer dar uç demirlerine göre daha yüksek ve daha düşük deformasyon değerleri bulunurken, maksimum yüklenme durumu (3000 MPa) için ise sırasıyla B dar uç demirinde (0.889 mm) ve C dar uç demirinde (0.539 mm) değerleri ile diğer dar uç demirlerine göre daha yüksek ve daha düşük deformasyon değerleri bulunmuştur. A, B, C, D dar uç demirleri için maksimum yüklenme durumu için 145.948-242.729 MPa aralığındaki eşdeğer gerilme değerleri, uç demiri malzemelerinin akma gerilme değerleri olan 460.0-591.4 MPa aralığındaki değerlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tanımlanan yüklenme koşullarında dar uç demirleri için plastik deformasyon hasarı görülmemiştir.

Anahtar Sözcükler:
Toprak işleme makineleri
Bilgisayar destekli tasarım/mühendislik
Sonlu elemanlar analizi
Gerilme analizi
deformasyon

Determination of deformation behaviour of the cultivator narrow shares manufactured by the different firms under various loading conditions by means of finite element analysis

ABSTRACT

In this study, the stresses and deformations (displacements) of the cultivator narrow shares manufactured by different firms (A, B, C, and D) applied under 6 different loads were investigated using the SolidWorks Simulation Finite Element Code with the finite element method (SEM). The six different static loading scenarios and forces (S1, S2, S3, S4, S5, and S6; S1=500 N, S2=1000 N, S3=1500 N, S4=2000 N, S5=2500 N, S6=3000 N) were applied to the cutter blade of cultivator shares, respectively. According to the results of this study, the maximum equivalent stress and the deformations (displacements) occurring on cultivator narrow shares under S6 loading force varied from 145.948 to 242.729 MPa and from 0.539 to 0.889 mm, respectively. For the minimum load scenario (500 N), there are higher and lower equivalent stress values at B narrow share (49.006 MPa) and C narrow share (36.742 MPa) than the other narrow shares, respectively. For maximum load scenario (3000 MPa), the higher and lower equivalent stress values were found in B narrow share (242.729 MPa) and A narrow share (145.948 MPa), respectively than the other narrow shares. In terms of deformation (displacement), for the minimum load scenario (500 N), there are higher and lower deformation values in B narrow share (0.146 mm) and C narrow share (0.086 mm)) than the other narrow shares, respectively, while for the maximum load scenario (3000 N), there are higher and lower deformation

Keywords:
Tillage tools
Computer aided design/engineering,
Finite element analysis
Stress analysis
deformation

values were found in B narrow share (0.889 mm) and C narrow share (0.539 mm), respectively, than the other narrow shares. Equivalent stress values in the range of 145.948-242.729 MPa for A, B, C, D narrow shares were found to be lower than the yield stress values of 460.0-591.4 MPa. No plastic deformation damage was observed for the narrow shares under defined loading scenarios.

1. Giriş

Teknolojik bilgiye ulaşma ve bilgiyi kullanma ve bu konudaki hızlı değişimler, tarım makinaları imalat sektörünü de olumlu şekilde etkilemiştir. Ülkemizde, tarım makinaları imalatçıları, bu teknolojiyi kullanmada yetersiz kaldığı gibi, Ar-Ge çalışmalarında da oldukça yetersiz düzeyde bulunmaktadır. İmalatçı firmaların pazarlama sorunlarına çözüm bulamama, rekabet politikaları ve kaliteyi uygulayamama, yanında gelecekteki üretim planlarını da tam anlamıyla yapamadığı görülmektedir (Arın ve ark., 2010).

Toprak işleme aletlerinin işleyici organı olan uç demirinin sürtünmesine; malzeme özellikleri, toprak tipi, toprak özellikleri, yüzey özellikleri, ilerleme hızı ve yüklenme durumu vb. birçok faktör etkilidir (Metinoğlu ve ark., 2006). Kültivatör uç demirleri, sertlik, yapılış, boyut-tolerans ve malzeme yönünden TS 2384 standardına göre yapılmalıdır (Babacan, 1995). Çalışma koşullarında işlevlerini yerine getirebilmesi yanında, toprak işleme etkinliği ve performansı açısından da kültivatör uç demirlerinin malzeme özellikleri ve mukavemet özelliklerinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Kültivatör uç demirleri; kazayağı, dar, üçgen vb. farklı geometrilerde imal edilmekte, bu amaçla, eski kamyon makasları, hurda gemi sacları ve imalat çeliği dışında imalatçılar tarafından ıslah ve sementasyon çelikleri de kullanılabilir (Güleç, 2012). Kültivatör uç demirleri; çeki, bası, kesme, eğilme, burulma kuvvetlerine karşı dirençli olmalıdır. İmal edilen farklı geometri ve malzemedeki tarımsal alet-makinalarının mukavemet ve deformasyon davranışlarının, bilgi teknolojisi ve ilgili yazılım programlarının kullanımları ile hesaplanabilmesi ve yorumlanabilmesi mümkündür.

Toprak işleme aletleri ve özellikle kültivatör çatı, ayak, uç demiri vb. parçalarının çalışma koşullarında oluşabilecek kuvvet, gerilme ve yer değiştirmeleri; tarım makinaları imalatına yönelik tasarımcılar tarafından çalışma şartları simüle edilerek tasarlanıp analiz edilerek değerlendirilebilmektedir. Simülasyonla tahmini hesaplamaların yapılmasıyla, tasarımcılar, imalat esnasında mevcut araştırma sonuçlarını kullanarak ekipman üzerinde imalat optimizasyonunu yapabilmektedir. Bir matematiksel model olan ve karmaşık geometrik şekilli cisimlerin gerilme analizlerini, statik ve dinamik yükler altında yer değiştirmelerin değerlendirmesini yapabilen Sonlu Elemanlar Metodu (SEM), tarım makinaları imalat sektöründe kullanılabilir (Makange ve ark., 2015). Kültivatör imalatında olabilecek yanlış konstrüksiyon ve malzeme kullanımının önüne geçilmesi, daha uzun ve verimli çalışan makina ve parçaların SEM yardımıyla tasarlanması ve

optimizasyonu mümkün olabilmektedir. İmalatta sağlanan tasarım optimizasyonu, ülke ekonomisine önemli katkılar sağlanabilecek ve imalattaki kayıpların önüne geçebilmesi de mümkün olabilecektir.

Sonlu Elemanlar Metodu (SEM)'nin bir çok tarım alet-makinasında mukavemet analizi için kullanıldığı görülmektedir. Örneğin; pulluk deve boynu (Zeytinoğlu, 2002; Gürsel ve Köftelioğlu, 2006), dipkazan (Çelik ve ark. 2008), yaylı tip toprak işleme aleti ayakları (Polat, 2012), çapa makinası bıçağı (Gök ve ark., 2012) ve rotovator bıçakları (Mandal ve ark., 2013) verilebilir. Buna ilaveten, Akinci ve ark. (2005), rototillerin transmisyon dişlisini, Çelik ve ark. (2009), paletli traktör bıçağının destek aksının hasar analizini; Çelik (2012), tamburlu çayır biçme makinasının gerilme dağılımları ve deformasyon davranışlarını; Argun (2011), ön yüklemeli bağlantılarda kullanılan gerilme üçgenini SEM kullanarak araştırmış; Bahadır ve ark. (2009), harman makinasında kullanılan batör milinin gerilme analizini; Görürlyılmaz (2009), traktör kabinlerinin statik yüklemeye denemesini simüle etmişler, Zeytinoğlu (2006), tarım alet - makinalarının çeki okundaki çeki halkasının zorlanmalara ilişkin gerilmelerini analiz etmişlerdir.

Kültivatör konusunda Makange ve ark. (2015), Çelik ve ark. (2007), Polat (2012), Polat ve ark. (2012) tarafından SEM ile mukavemet analizlerine yönelik çalışmalar da mevcuttur. Farklı malzemelerden, farklı geometri ve ölçüdeki kültivatör uç demirlerinin SEM ile mukavemet analizlerinin birlikte incelendiği çalışmalara literatürlerde rastlanılmamıştır. Bu amaçla bu çalışmada, yöre çiftçileri tarafından kullanılan ve Amasya ve Çorum illerinde bulunan tarım makinaları imalatçıları tarafından yapılan dar uç demirli kültivatörlerin SolidWorks 3D parametrik katı modelleme yazılımı ile katı modelleri oluşturularak, Solidworks Simulation SEM kodu/yazılımı ile tanımlanan 6 farklı yük altında gerilme ve deformasyon davranışları incelenmiştir.

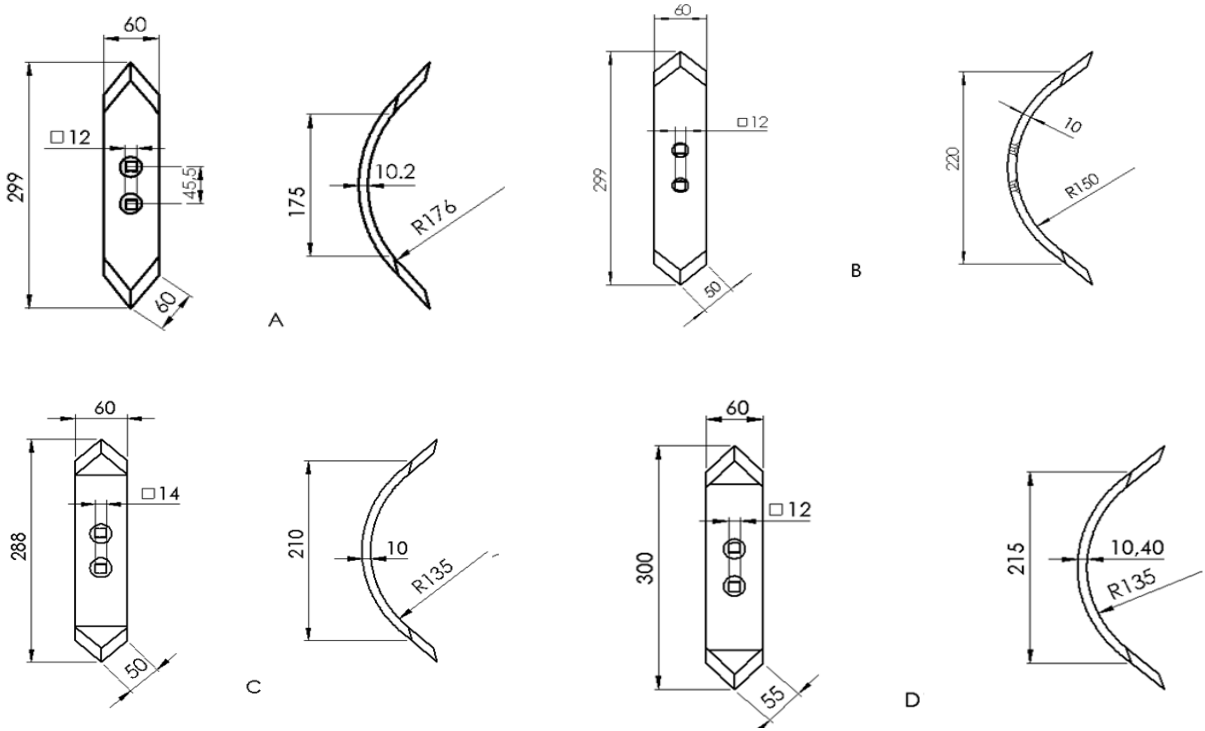
2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, Güleç (2012) tarafından yapılan tezde yer alan Amasya ve Çorum yöresinde kültivatör imalatı yapan 4 farklı imalatçının imal ettikleri dar uç demirleri araştırma materyali olarak kullanılmıştır. Çalışmada, araştırma materyali olarak kullanılan dar uç demirlerine ait teknik ölçüler ve malzeme özellikleri sırasıyla Çizelge 1 ve Şekil 1'de verilmiştir (Güleç, 2012). Kültivatör dar uç demirlerinin mukavemet analizleri için sonlu elemanlar metodu uygulamasındaki yapılan işlem aşamaları; üç boyutlu modelleme (Şekil 2) ve malzeme tanımlama, uç demirlerinin mukavemet analizi ve analiz

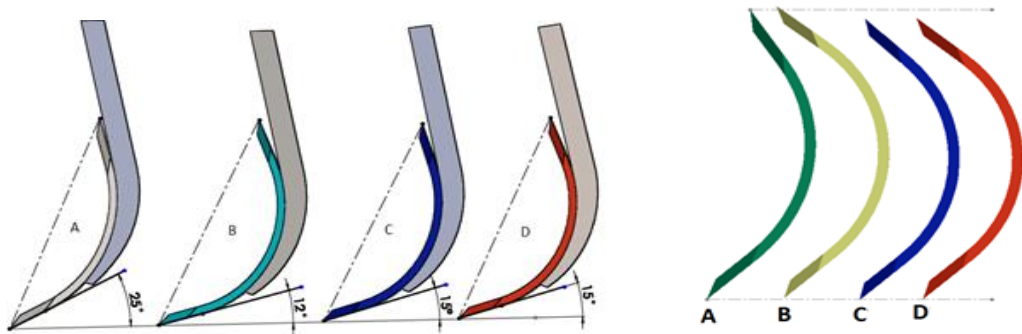
Çizelge 1. Araştırmada kullanılan kültivatör dar uç demiri malzeme kodları ve malzeme özellikleri

Firma	Malzeme No ve tipi (DIN)	Malzeme Özellikleri				
		Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Yoğunluk (kg/m ³)	Poisson oranı
A	1.7035 41 Cr4 Islah Ç.	571.0	815.7	214	7850	0.28
B	1.0501 C35 Islah Ç.	591.4	713.7	214	7850	0.28
C	1.7035 41 Cr4 Islah Ç.	571.0	815.7	214	7850	0.28
D	1.1540 * C50 Islah Ç.	460.0	460.0	214	7850	0.28

(*): Malzeme kodu ve malzeme özelliklerine ait değer katalogtan alınmıştır. Diğer malzemeler, SolidWorks program kütüphanesinden alınmıştır.



Şekil 1. A, B, C, D firmalarının imal ettiği kültivatör dar uç demirlerinin konstrüktif özellikleri



Şekil 2. Kültivatör dar uç demirlerinin katı model çizimleri ve aralarındaki şekilsel ve açısız farklar

sonuçların değerlendirilmesi şeklindedir (Solidworks, 2016).

Katı modellemesi yapılan kültivatör dar uç demirlerinin Solidworks 3D parametrik katı modelleme yazılımı (Solidworks Simulation sonlu elemanlar kodu/yazılımı) ile farklı çalışma koşulu ve yüklenme durumları için literatür çalışmaları incelenmiş olup 6 farklı yüklenme senaryosu oluşturulmuştur. Bu amaçla, simülasyonda sırasıyla malzeme seçimi, bağlantı elemanları, yüklenme koşulları ve sonlu elemanlara ayırma işlemleri statik analiz ortamında tanımlanmıştır.

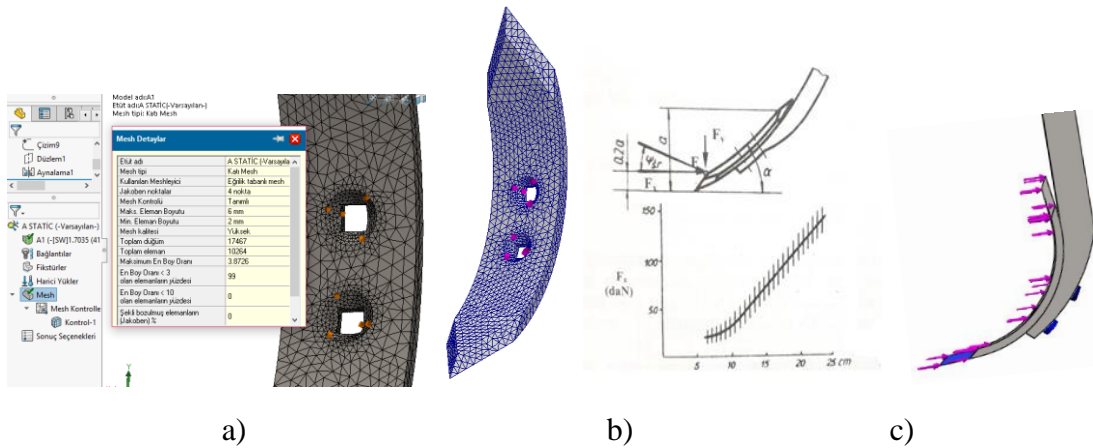
Dar uç demirlerinin statik analiz işleminde, kültivatör ayak bağlantısı için uç demirlerinin delik ölçülerine uygun olan 7/16 inç (11 mm) ölçüsünde havşa başlı özel bıçak civatası (DIN 605) kullanılmış olup, 30 N m döndürme momenti dikkate alınmıştır. Literatürler incelenerek, kültivatörde bir uç demiri için uygulanan yük (çeki kuvveti); toprak yapısı ve çeki hızına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği için farklı yüklenme senaryosu koşulları için sırasıyla; S1=500 N, S2=1000 N, S3=1500 N, S4=2000 N, S5=2500 N, S6=3000 N yükler çalışmada dikkate alınmıştır (Alkan ve Bayhan, 2003; Gürsel ve Köftecioglu, 2006; Çelik ve ark. 2007; Çelik ve ark. 2008; Topakci ve ark. 2010; Shinde ve ark. 2011; Gök ve ark. 2012; Polat ve ark. 2012; Shinde ve Kajale, 2012; Mandal ve ark. 2013; Makange ve ark., 2015).

Çalışmada, kültivatör dar uç demirleri modellerinin sonlu elemanlara küçük elemanlara bölünmesi yani modelin en uygun olan küçük parçalara ayrılması (ağ oluşturma, meshleme) dikkate alınmıştır. Sonlu eleman boyutu (elemanlara ayırma büyüklüğü), analiz sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir (Yaman ve ark. 2011). Çalışmada standart meshleme yerine eğrilik tabanlı mesh yapısı kullanılmıştır. Eğrilik tabanlı meshler, yüksek eğrilik alanlarında otomatik olarak (mesh kontrolüne gerek kalmadan) daha fazla eleman oluşturmaktadır (SolidWorks, 2014). Ağ oluşturma

işlemi, düğüm noktalarının ve elemanların koordinatlarını oluşturur. Klasik sonlu elemanlar analizinde, sonuçların doğruluğu ve gerçekliğe yakınlığı çoğunlukla eleman sayısına bağlıdır. Eleman sayısı arttıkça, sonuçlar daha gerçeğe yakın çıkar (Argun, 2011). Çalışmada, gerilme değişimlerinin yüksek ve sık olduğu bölgelerde eleman sayısı artırılarak elde edilen sonucun hassasiyeti artırılmıştır (Argun, 2011; Ekinci, 2011). İncelenen dar uç demirlerinde kullanılan meshleme metodu ise dört üçgen yüzlü (Tetrahedrons) yapı olup, A dar uç demirinin meshleme işlemi sonucunda, 10264 eleman ve 17467 düğüm noktası oluşturulmuştur (Şekil 3a).

Yüklenme senaryo koşullarında yapılacak gerilme analizlerinde, kültivatör sabit ayağı için 30x30x200 mm ölçülerinde bir parça kullanılmış olup bu parça, analiz çalışmalarının dışında tutulmuş ve değişmez şekil olarak tanımlanmıştır. Analiz sonuç resimlerinde, bağlantı deliklerinde oluşan gerilmelerin görülebilmesi ve değerlendirilebilmelerin yapılması için civata gösterimleri gizlenmiştir.

Kültivatörle çalışmada bileşke toprak direncinin düşey bileşeni (F_y), ayağı toprağa doğru batmaya zorlayarak iş derinliğini arttırmaya çalışır. Yatay bileşen (F_x) ise uç demirinin ilerlemesini güçleştirir. Bileşke toprak direncinin yatay bileşeni, çeki kuvveti tarafından karşılanır (Gökçebay, 1986) (Şekil 3 b). Her bir kültivatör dar uç demiri için 6 farklı yüklenme senaryosu (S1, S2, S3, S4, S5, S6), ilerleme yönünün tersi yönünde ve ayağa bağlı uç demirlerinden uygulanacak şekilde yapılmıştır. Kültivatörlerin çalışması sırasında uç demiri göğüs açısından kaynaklanan yatay yöndeki kuvvetlere oranla düşey yöndeki kuvvetlerin çok küçük olmasından dolayı gerilme ve yer değiştirme analizinde, düşey yöndeki kuvvetler ihmal edilmiş ve yatay yöndeki kuvvet bileşeni çeki kuvveti olarak dikkate alınmıştır (Şekil 3c).



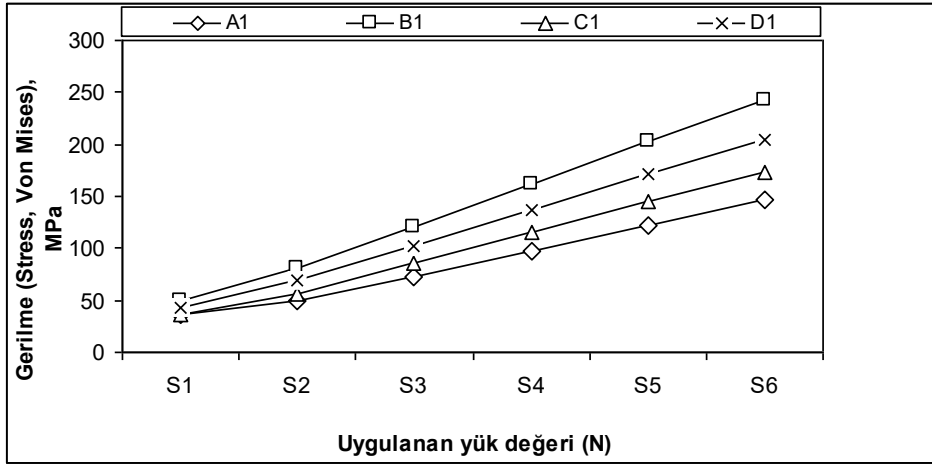
Şekil 3. Kültivatör dar uç demirlerinde Meshleme çalışması ve kuvvet dağılımları

3. Bulgular ve Tartışma

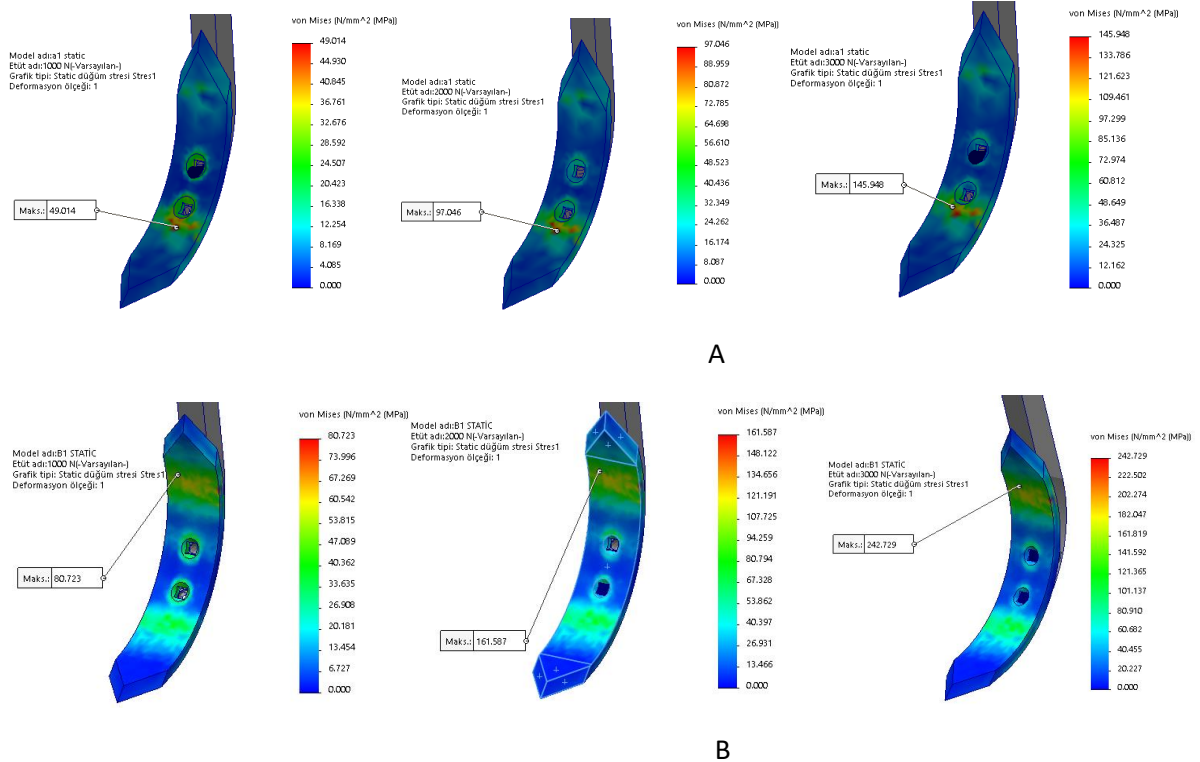
3.1. Gerilme analiz sonuçları

A, B, C ve D firmalarının kültivatör dar uç demirlerinin çalışma koşullarının simüle edildiği 6 farklı yüklenme senaryosu durumu için, analizler ayrı ayrı yapılmış olup, firmalara ait dar uç demiri için tüm yüklenme durumları analiz edilmiştir. S2, S4 ve S6

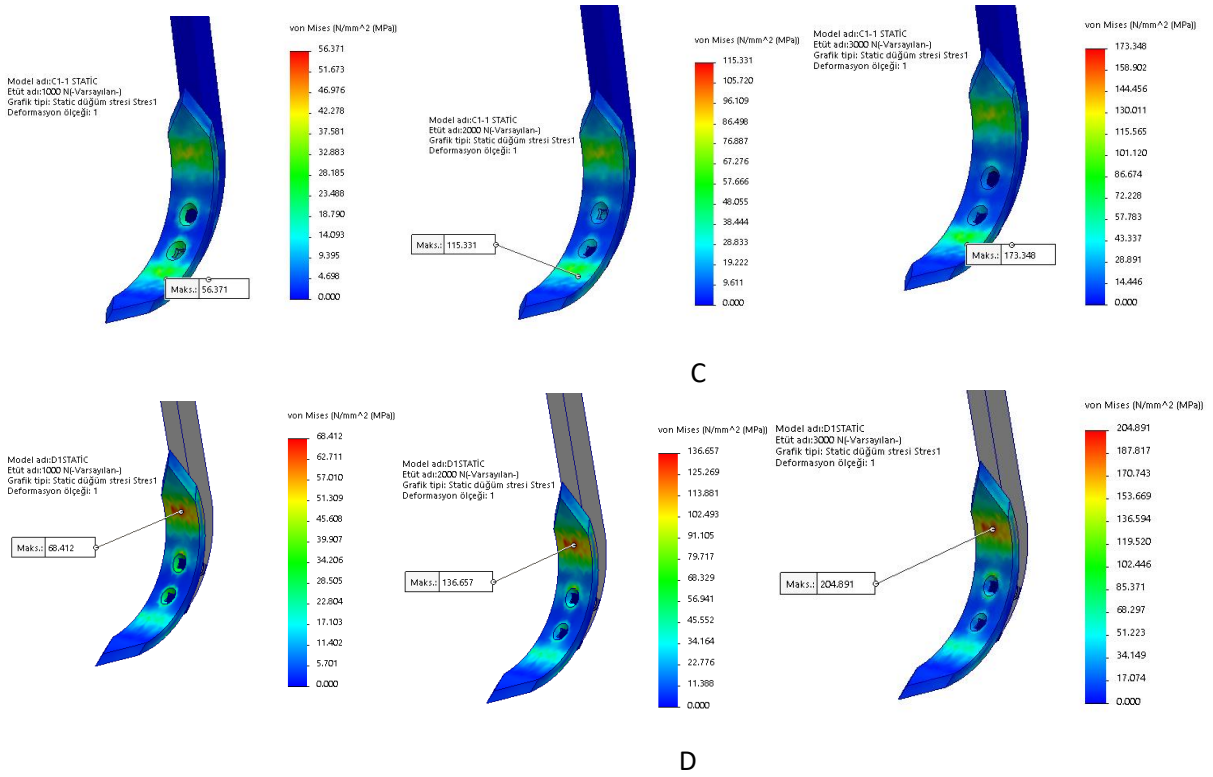
yüklenme koşullarında dar uç demirinin statik gerilme analiz sonucu maksimum değerler sırasıyla A dar uç demiri için sırasıyla 49.014 MPa, 97.046 MPa ve 145.948 MPa; B uç demiri için sırasıyla 80.723 MPa, 161.587 MPa ve 242.729 MPa; C uç demiri için sırasıyla 56.371 MPa, 115.331 MPa ve 173.348 MPa; D uç demiri için sırasıyla 68.412 MPa, 136.657 MPa ve 204.891 MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 4, Şekil 5).



Şekil 4. Kültivatör dar uç demirlerinin 6 farklı statik yüklenme senaryosundaki maksimum gerilme analiz sonuçları



Şekil 5. A, B, C ve D firmalarına ait dar uç demiri için S2, S4, S6 yüklenme senaryolarındaki gerilme analiz sonuçları



Şekil 5 (Devamı) . A, B, C ve D firmalarına ait dar uç demiri için S2, S4, S6 yükleme senaryolarındaki gerilme analiz sonuçları

Yüklenme artışlarına bağlı olarak A, B, C ve D dar uç demirlerinde gerilme değerlerinde bir artış sözkonusu olmuştur. Her bir firmaya ait dar uç demiri için yüklenmelerde maksimum gerilmelerin her üç yüklenme senaryo koşulları için uç demirinin A ve C dar uç demirinde iç bükey alt bölgelerinde olduğu görülmüştür. B ve D dar uç demirinde ise maksimum gerilmelerin olduğu bölgeler her üç yüklenme koşulu için uç demirinin iç bükey üst bölgeleridir. A dar uç demirinde, yüklenmelerde, maksimum gerilmelerin her üç yüklenme koşulu için uç demirinin sabit ayağa bağlantı alt civata deliği bölgesinde olduğu görülmüştür. Çelik ve ark. (2007), 7 ayaklı bir çizelin 3450 N'luk yük altındaki gerilme dağılımlarını belirledikleri çalışmasında, maksimum gerilmelerin çizelin yapısal olarak ön ayak bağlantı kelepçelerindeki civata (M20 8.8) bölgesinde olduğunu ve burada meydana gelen gerilmenin civata malzemesi açısından akma mukavemet değerinin altında olduğunu açıklamışlardır. Aynı araştırmacılar, maksimum eşdeğer gerilme değerinin çizelin ön bağlantı civatası bölgesinde 119.540 MPa, bağlantı kelepçesi için 93.647 MPa ve çizel ayağı için 107.800 MPa olarak belirlediğini açıklamışlardır.

B dar uç demirinde, yüklenmelerde maksimum gerilmelerin meydana geldiği bölgelerin, her üç yüklenme koşulu için uç demirinin iç bükey (kavis) üst bölgeler olduğu görülmüştür. Bu gerilme değerinin diğer uç demirlerine göre bakıldığında, en yüksek gerilme değerinde olduğu görülmektedir. Yüklenme artışına bağlı olarak C dar uç demirinde, maksimum

gerilmelerin olduğu bölgelerin her üç yüklenme koşulu için uç demirinin iç bükey alt bölgeler olduğu gözlenmiştir. Yüklenme artışına bağlı olarak D dar uç demirinde ise maksimum gerilmelerin olduğu bölgelerin her üç yüklenme koşulu için uç demirinin iç bükey üst bölgeler olduğu tespit edilmiştir.

A, B, C ve D dar uç demiri tiplerinin farklı geometri, açı ve şekilde olduğu, uç demirlerine maksimum düzeyde uygulanan S6 statik yüklenme sonucu oluşan maksimum gerilme değerlerin sırasıyla 145.948 MPa, 242.729 MPa, 173.348 MPa ve 204.891 MPa olduğu bulunmuştur (Şekil 4, Şekil 5). B uç demiri, diğer uç demirlerine göre maksimum S6 yük koşulunda en fazla gerilme (242.729 MPa) değerine maruz kalmıştır. B uç demirinin gerilme değerine, D uç demiri (204.891 MPa) değeriyle yakınlık göstermiştir. Kültivatör uç demirlerine ait malzeme özelliklerinde yer alan akma gerilme değerlerine bakıldığında, en düşük akma gerilme değerinin D uç demirinde 460 MPa değerinde olduğu, B uç demirinde 591.4 MPa ile en yüksek değerde, A ve C dar uç demirlerinde ise 571.00 MPa değerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 1). Çalışmada analiz edilen dar uç demirlerinin S6 maksimum yüklenme koşulundaki maksimum gerilme sonuçları Çizelge 1'de verilen akma gerilme sınırı değerlerinin altında bulunmuştur. Yüklenme sonucu parçada meydana gelen maksimum gerilme ($\sigma_{\text{eşdeğer}} = \sigma_{\text{Maks}}$) her zaman, malzemenin akma dayanımından ($\sigma_{\text{akma}} = \sigma_y$) belirli bir oranda küçük olmalıdır. Bu oran güvenli çalışma katsayısı (GÇK, Emniyet katsayısı) olarak

aşağıdaki tanımlanan bir katsayı ile belirlenmektedir (Yayla 2001; Çelik, 2012).

$$G\check{C}K = \frac{\text{Malzeme Akma Dayanımı}}{\text{Maksimum Eşdeğer Gerilme Değeri}}$$

Emniyet katsayısı sonuçlarına göre, maksimum yüklenme senaryosunda bulunan değerler; A, B, C ve D dar uç demirleri için sırasıyla 3.91, 2.44, 3.29 ve 2.46 olarak hesaplanmış ve çalışma şartlarına göre uç demiri malzemelerinin genel değişken ve değişken zorlamalara maruz kaldığı belirlenmiştir (Kulaksız, 2003; Kaymaz ve ark., 2017). Çalışmada incelenen her bir dar uç demirinin eşdeğer gerilme değerleri incelendiğinde, Çizelge 1’de verilen dar uç demirleri malzemelerinin akma mukavemeti değerlerinden daha düşük sonuçlar vermiş olup, farklı yüklenme çalışma koşullarında dar uç demirlerinin hasara uğramadan çalışabileceği sonucuna varılmıştır.

Ayrıca, dar uç demirlerine farklı yüklenmeler sonrası meydana gelen eşdeğer gerilme (stress) ile yüklenme kuvvetleri arasındaki ilişkiler regresyon analizleriyle de incelenmiştir (Çizelge 2). Eşdeğer gerilme ile yüklenme kuvvetleri arasındaki ilişkiler lineer olarak tanımlanmış ve istatistiksel olarak önemli çıkmıştır. Çalışmada, uygulanan yük (kuvvet) ve eşdeğer gerilmeler arasında regresyon katsayısı değerleri $R^2=99.16-99.86$ aralığında bulunmuştur. Kültivatör dar uç demirlerinin eşdeğer gerilme değerleri ile uygulanan kuvvet değerleri arasındaki regresyon analizleri sonucu bulunan ilişkiyle ilgili olarak; Gök ve ark. (2012), çapa makinası bıçağı üzerine uygulanan 5 farklı yük ile meydana gelen gerilmeler arasındaki ilişkileri üstel olarak ifade etmişler, sonuçların istatistiksel olarak önemli olduğunu, uygulanan kuvvet ve gerilme arasında belirtme katsayısı değerinin ise $R^2=98.45$ olarak bulunduğunu açıklamışlardır.

A, B, C ve D dar uç demirlerinin yük (kuvvet) değerlerine göre gerilme değerlerinde artışlar gözlenmiştir. En düşük gerilme değerinin maksimum yük koşulunda A dar uç demirinde olduğu, en yüksek gerilme değerinin ise B dar uç demirinde olduğu gözlenmiştir. Gerilme değerlerinin her bir dar uç demirinde farklı sonuçlar vermesi, dar uç demirlerinin tamamının ıslah çeliği olmasına rağmen, uç demirlerinin

farklı şekil ve geometrisinden kaynaklandığı söylenebilir.

Çelik ve ark. (2007), 7 ayaklı bir çizelin 3450 N’luk yük altında gerilme dağılımlarının akma mukavemeti sınırları altında olduğunu, tüm çizel konstrüksiyonu için maksimum eş değer gerilme değerini çizel ayak ön bağlantı civatasında (M14 8.8) ve 167.17 MPa gerilme değerinde olduğunu açıklamışlardır. Çelik ve ark. (2007)’nin bulduğu sonuç, bu çalışmada elde edilen 145.948 MPa - 242.729 MPa gerilme değerleri aralığındadır. Topakci ve ark. (2010), dipkazanların optimum geometri parametrelerini belirlemek amacıyla sonlu elemanlar analiziyle dipkazanın gerilme dağılımlarını simüle etmişlerdir. Analiz sonucunda, maksimum eşdeğer gerilme değerini 432.49 MPa olarak elde ederlerken, optimizasyon çalışmasına göre 346.61 MPa değerinin optimal geometri ve maksimum eşdeğer gerilme değerini oluşturduğunu açıklamışlardır. Gök ve ark. (2012), çapa makinası bıçağı üzerine uygulanan 5 farklı yük altındaki gerilme ve deformasyonlarını AnsysWorkbench programıyla incelemişler, çapa makinası bıçağının kesme yüzeyine 700 N kuvvet yüklenmesi durumunda gerilme değerinin 555 MPa olduğunu, bu değer kullanılan malzemenin akma dayanımını aştığını ve bu değerden sonra malzemede kalıcı bir deformasyonun olabileceğini açıklamışlardır.

Sonlu elemanlar metodu ile rototiller döner bıçaklarının gerçek çalışma şartlarının simülasyonu ile eş değer gerilme ve deformasyon analizleri incelenerek, rototiller bıçaklarının gerilme ve yer değiştirme analizleri incelendiğinde, maksimum gerilme ve deformasyonun bıçak ağzında meydana geldiği; 35 BG ve 45 BG traktör güçleri için gerilmelerin sırasıyla 417.03 MPa ve 503.21 MPa olduğu Shinde ve ark. (2011) tarafından açıklanmıştır. Yukarıdaki verilen literatürlere göre, çapa makinası ve rototiller için elde edilen maksimum eşdeğer gerilme değerlerinin bu çalışmada bulunan değerlere göre daha yüksek değerlerde olduğu, aksine çizel için verilen eşdeğer gerilme değerlerinin daha yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir. Bu açıdan, denemesi yapılan ve simüle edilen tarım alet-makinalarının eşdeğer gerilme değerinin değişmesine; uygulanan yüklenme kuvvetlerinin yanında farklı geometri, şekil ve malzeme özelliklerinin de etkili olduğu söylenebilir.

Çizelge 2. A, B, C, D firmalarına ait kültivatör dar uç demirlerinin uygulanan yükler ile maksimum eşdeğer gerilme sonuçları arasındaki lineer regresyon eşitlikleri

Dar uç demiri	Regresyon denklemi	Regresyon katsayısı (R^2), (%)
A	$\sigma_{\text{eşdeğer}} = 8.6580 + 22.447 F^*$	99.16
B	$\sigma_{\text{eşdeğer}} = 5.5378 + 39.241 F$	99.86
C	$\sigma_{\text{eşdeğer}} = 4.2739 + 27.938 F$	99.68
D	$\sigma_{\text{eşdeğer}} = 5.8183 + 32.911 F$	99.82

* F: uygulanan kuvvet (yük)

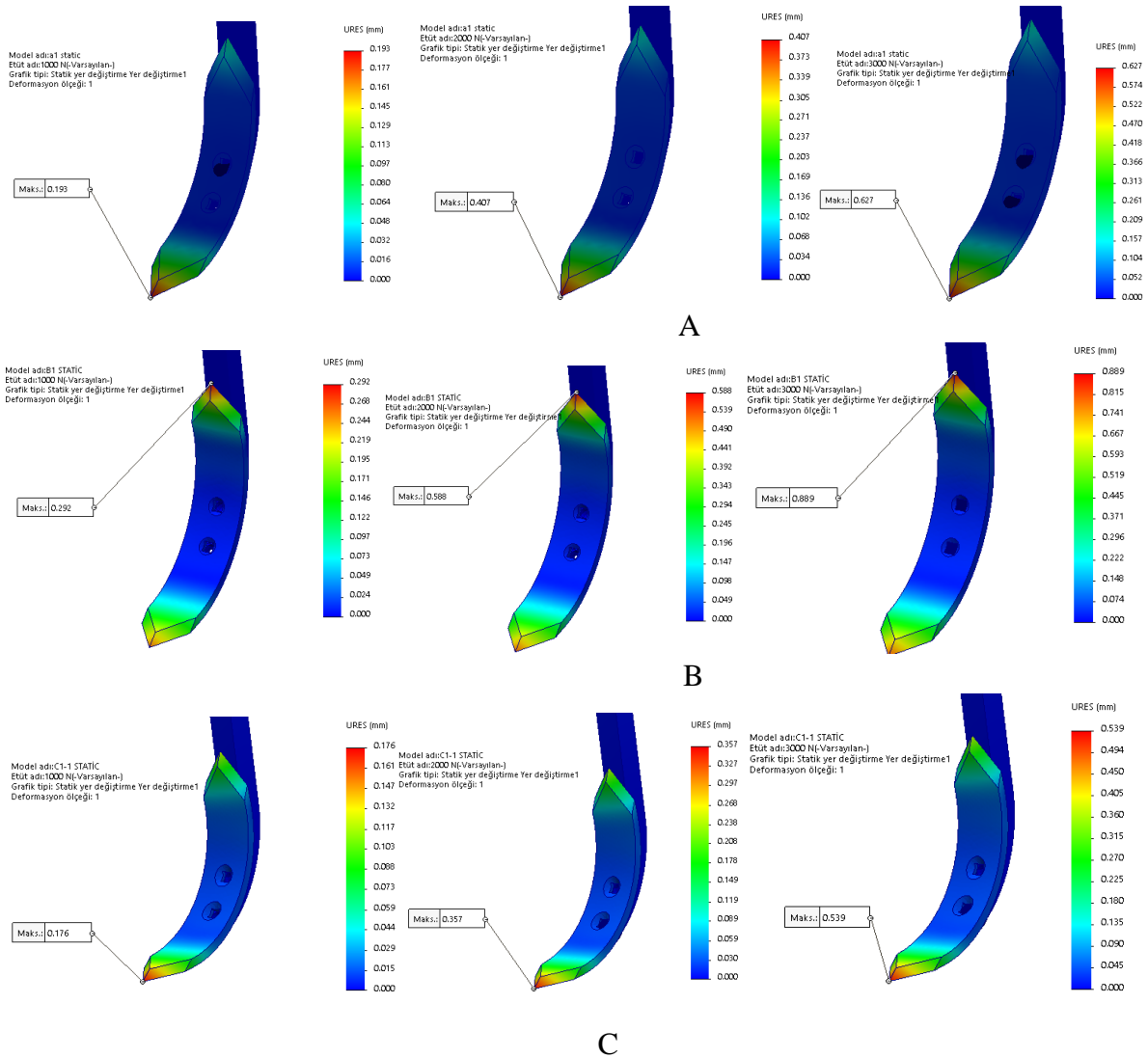
3.2. Yer değiştirme (deformasyon) analizi sonuçları

A, B, C ve D imalatçı firmalarının imal ettikleri kültivatör dar uç demirlerinin çalışma koşullarının

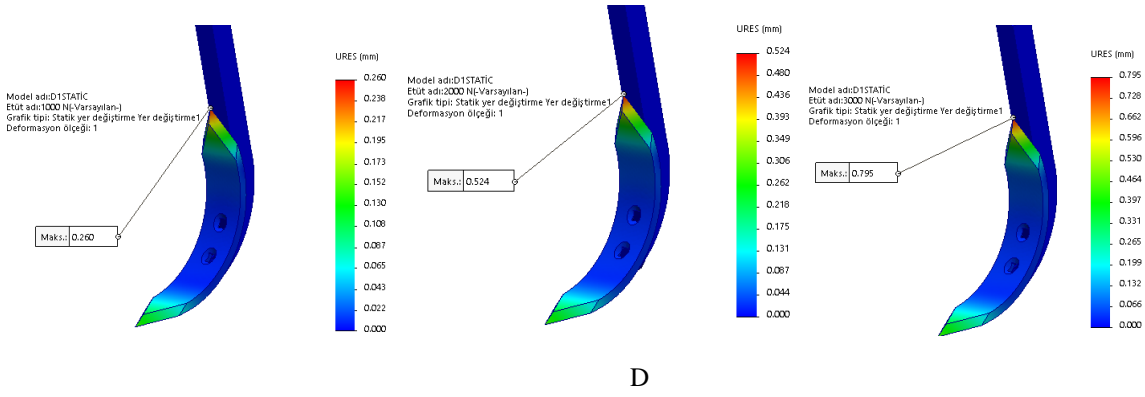
simüle edildiği durumlardaki her bir yüklenme (S1, S2, S3, S4, S5, S6) senaryosu durumu için yer değiştirmeler analiz edilmiş (izelge 3) ve şekilsel sonuçlar S2, S4 ve S6 yüklenme durumlarındaki şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 3. Kültivatör dar uç demirlerinin 6 farklı statik yüklenme senaryosundaki maksimum yer değiştirme analiz sonuçları

Yük (kuvvet) (n)	Yer değiştirme (maksimum yer değiştirme, ures) mm			
	A	B	C	D
S1	0.093	0.146	0.086	0.130
S2	0.193	0.292	0.176	0.260
S3	0.298	0.431	0.260	0.391
S4	0.407	0.588	0.357	0.524
S5	0.516	0.738	0.448	0.659
S6	0.627	0.889	0.539	0.795



şekil 6. Farklı firmaların dar uç demirlerine gelen S2, S4 ve S6 yüklenme senaryolarındaki statik yer değiştirme analiz sonuçları



Şekil 6 (Devamı). Farklı firmaların dar uç demirlerine gelen S2, S4 ve S6 yüklenme senaryolarındaki statik yer değiştirme analiz sonuçları

S2, S4 ve S6 yüklenme koşullarında A dar uç demirinin statik yer değiştirme analiz sonucu maksimum yer değiştirme değerleri sırasıyla 0.193 mm, 0.407 mm ve 0.627 mm olarak belirlenirken, B dar uç demirinin statik analiz sonucu yer değiştirme değerleri sırasıyla 0.292 mm, 0.588 mm ve 0.889 mm; C dar uç demirinin statik analiz sonucu yer değiştirme değerleri sırasıyla 0.176 mm, 0.357 mm ve 0.539 mm; D dar uç demirinin statik analiz sonucu yer değiştirme değerleri ise sırasıyla 0.260 mm, 0.524 mm ve 0.795 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 6). 4 farklı firmanın imal ettikleri dar uç demirlerinde yüklenme senaryosunda kuvvet artışına bağlı olarak uç demirlerinin herbirinde yer değiştirme değerlerinde bir artış görülmüştür.

A dar uç demirinde, yük uygulamalarında, maksimum yer değiştirmelerin olduğu bölgelerin her üç yüklenme koşulu (S2, S4, S6) için uç demirinin alt kavis uç bölgesi olduğu gözlenmiş, B dar uç demirinde yüklenmelerde, maksimum yer değiştirmelerin olduğu bölgelerin ise her üç yüklenme koşulu için uç demirinin iç bükey üst kavis bölgesi olduğu görülmüştür. C dar uç demirinde yüklenmelerde, maksimum yer değiştirmelerin olduğu bölgelerin her üç yüklenme koşulu için uç demirinin iç bükey alt kavis uç bölgesi olduğu görülürken, D dar uç demirinde ise, farklı yüklenmelerde, maksimum yer değiştirmelerin olduğu bölgelerin her üç yüklenme koşulu için uç demirinin iç bükey üst kavis bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

A, B, C ve D dar uç demiri tiplerine sahip farklı geometri, açısı ve şekildeki kültivatörlerin uç demirlerinin maksimum düzeyde uygulanan S6 statik yüklenme sonucu oluşan ortalama yer değiştirme (URES) değerleri sırasıyla 0.627 mm, 0.889 mm, 0.539 mm ve 0.795 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 6). B uç demiri, diğer uç demirlerine göre maksimum S6 yük koşulunda en fazla gerilme (242.729 MPa) değerine sahip olduğu gibi, en fazla yer değiştirme (0.889 mm) değerine sahiptir. B uç demirinin yer değiştirme değerine D uç demiri 0.795 mm değeriyle yakın değer gösterirken, yer değiştirmenin maksimum olduğu bölgeler açısından da benzerlik göstermektedir. C dar uç demiri ise, en düşük yer değiştirme değerine sahip olan uç demiridir.

Farklı yüklenmeler ile meydana gelen yer değiştirmeler (deformasyon) arasındaki ilişkilere ait regresyon analizleri Çizelge 4'te verilmiş olup, sonuçlar istatistiksel olarak önemli çıkmıştır. Kuvvet ve deformasyon arasında regresyon katsayısı $R^2=99.97-99.99$ aralığında bulunmuştur. A, B, C ve D dar uç demirlerinin yük (kuvvet) değerlerine göre yer değiştirme (deformasyon) değerlerinde genel olarak artışlar gözlenmiştir. Gök ve ark. (2012), çapa makinası bıçağı üzerine uygulanan 5 farklı yük altında oluşan yer değiştirmelerde, yüklenme kuvveti ve yer değiştirme arasındaki regresyon ilişkisini üstel olarak belirlemiş, ilişkinin istatistiksel olarak önemli olduğunu ve uygulanan kuvvet ve deformasyon arasındaki belirtme katsayısının ise $R^2 = 98.46$ olduğunu ifade etmişlerdir.

Çizelge 4. A, B, C, D firmalarına ait kültivatör dar uç demirlerinin uygulanan kuvvet (yükler) ile maksimum yer değiştirme sonuçları arasındaki lineer regresyon eşitlikleri

Dar uç demiri	Regresyon denklemi	Regresyon katsayısı (R^2), (%)
A	$D_f = -0.091 + 0.1071 F^*$	99.97
B	$D_f = -0.007 + 0.1489 F$	99.97
C	$D_f = -0.068 + 0.0908 F$	99.97
D	$D_f = -0.0057 + 0.1330 F$	99.99

* F: uygulanan kuvvet (yük)

A, B, C ve D dar uç demirlerinin yük (kuvvet) değerlerine göre yer değiştirme (deformasyon) değerlerinde artışlar gözlenmiştir (Çizelge 3). Dar uç demirleri için en düşük yer değiştirme değerlerinin S6 yüklenme sonucu C dar uç demirinde olduğu ve en yüksek yer değiştirme gerilme değerinde olduğu gibi B1 dar uç demirinde olduğu gözlenmiştir. Yer değiştirme (deformasyon) değerlerinin her bir dar uç demirinde farklı sonuçlar vermesi, dar uç demirlerinin tamamının ıslah çeliği olarak belirlenmiş olmasına rağmen, uç demirlerinin farklı şekil ve geometrisinden kaynaklandığı söylenebilir. Topakci ve ark. (2010), dipkazanların optimum geometri parametrelerini belirlemek amacıyla yaptıkları sonlu elemanlar analizinde, maksimum eşdeğer yer değiştirme değerini 18.116 mm olarak elde etmişlerdir. Maksimum gerilmenin kullanılan malzeme akma noktasının üzerinde çıkmış olduğundan uç demirinde plastik deformasyonun meydana geldiğini açıklamışlardır. Maksimum gerilmenin dipkazanın çatıya bağlantı noktalarında, deformasyonun ise uç demiri uç kısmında oluştuğunu açıklamışlardır. Shinde ve ark. (2011), rototiller döner bıçakları için sonlu elemanlar metodu ile gerçek çalışma koşullarını simüle ederek gerilme ve deformasyon analizlerini yapmışlardır. Rototillerin genel yapısal durumu ve özel olarak bıçaklar için değerlendirmede; maksimum deformasyon Vektör Sum değerinin bıçak ağzında maksimum olduğunu, 35 BG ve 45 BG traktör güçleri için sırasıyla 6.757 mm ve 7.893 mm bulurken, maksimum deformasyon değerlerinin bıçak ağzında meydana geldiğini açıklamışlardır. Çalışmada, dar uç demirindeki yer değiştirme değerlerin, A ve C uç demirlerinin daha çok toprağa battığı ve toprağı patlattığı uç kısımda meydana gelirken, B ve D dar uç demirlerinde ise yer değiştirme değerlerinin diğer uç demirlerine göre daha fazla gerilmeye maruz kalıp, yer değiştirmelerin uç demirinin bağlantılara en uzak noktada oluştuğu gözlenmiştir.

4. Sonuç

Çalışmada, kültivatör dar uç demirleri olarak farklı geometri, açı ve şekilde olan A, B, C ve D uç demiri tiplerinin S6 (3000 N) en yüksek statik yüklenme sonucu oluşan maksimum eşdeğer gerilme değerleri, 145.948 MPa-242.729 MPa aralığında bulunmuştur. Çalışmada analiz edilen dar uç demirlerinin S6 yüklenme koşulundaki maksimum gerilme sonuçları uç demirleri malzemelerinin akma gerilme sınırı değerlerinin altında bulunmuştur. S6 statik yüklenme sonucu oluşan yer değiştirme değerleri ise 0.539 mm-0.889 mm aralığında bulunmuştur. Dar uç demirlerinin yüklenme değerlerine göre yer değiştirme değerlerinde de eşdeğer gerilme değerlerine benzer şekilde artışlar gözlenmiştir. Dar uç demirlerindeki eşdeğer gerilme sonuçları dikkate alındığında, projeksiyon alanı az olan malzemede gerilme kazayağı uç demirlerine göre daha az olabilmekte, ayrıca malzemenin diğer özellikleri

(akma gerilmesi, poisson oranı vb.) bu genellemeye aykırı sonuçların oluşmasına neden olabilmektedir. Kültivatörler, değişik toprak koşullarında ve değişik çalışma hızlarında farklı yükler ile yüklendikleri için, imalatlarında farklı malzemeler ve farklı geometrilerinden dolayı malzeme etüdü ve seçiminin yapılmasının önemi büyüktür. İmalatçıların tasarımında sonlu elemanlar metodu ile elde edilen statik gerilme ve yer değiştirme analiz sonuçlarını kullanması, çiftçilerin daha uygun özellikli makina kullanmasına katkı sağlayacaktır. Bunun yanında, optimal bir malzeme seçimiyle imalatçıların imal ettikleri kültivatörde imalat maliyetini azaltma ile ekipmanda ağırlık azalmasına yönelik tedbirlerin alınmasına, daha az çeki gücü ile enerjinin daha etkin kullanımına katkı sağlayabileceği söylenebilir.

Kaynaklar

- Akinci, İ. Yılmaz, D., Çanakci, M., 2005. Failure of a rotary tiller spur gear. *Engineering Failure Analysis*, 12: 400-404.
- Alkan, V., Bayhan, Y., 2003. Çekilir tip tarım alet ve makinaların çeki kuvvetinin belirlenmesinde bilgisayar destekli ölçme sisteminin kullanılması. *Trakya Üniversitesi. J. Sci*, 4(2): 195-202.
- Argun, A., 2011. Civata - somun bağlantılarında sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi. (Yüksek Lisans), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı, 76 s. İstanbul.
- Arın, S., Coşkun, M.B., Durgut, M.R., Yalçın, İ., Kılıç, E., Okur, E., 2010. Tarım makinaları imalat sektörü ve AB içinde geleceği, Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 11-15 Ocak, 1029-1035, Ankara.
- Babacan, A., 1995, Trakya bölgesinde imal edilen kulaklı pulluk uç demirlerinde malzeme özelliklerinin saptanması ve standartları ile karşılaştırılması üzerine bir araştırma. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Bahadır, M., Şeflek, A.Y., Çarman, K., Sonmete, M.H., 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.
- Çelik, H.K., Topakçı, M., Yılmaz, D., Akıncı, İ., 2007. Çizelin yapısal ve işlevsel elemanlarında sonlu elemanlar yöntemi ile mukavemet analizi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3(2): 111-116.
- Celik, H.K., Topakci, M., Canakci, M., Akinci, I., 2008. Structural strength analysis of a subsoiler with finite element method. 5th. Interantional Soil Conference ISTRO Czech Branch-Brno, p. 15-21.

- Çelik, H.K., Yılmaz, D., Ünal, N., Akinci, İ. 2009. Failure analysis of a location axle in tracked tractor. *J Fail. Anal. and Preven.* 9: 282–287.
- Çelik, H.K., 2012. Tarım makineleri tasarımında yapısal optimizasyon tekniklerinin uygulanması üzerine bir araştırma: tamburlu çayır biçme makinesi. (Doktora tezi), Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Çelik, H.K., 2013. Tarım makineleri tasarımında yapısal optimizasyon tekniklerinin uygulanması üzerine bir araştırma: Tamburlu Çayır Biçme Makinesi. (Doktora Tezi), Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Ekinci, Ş., 2011. Bahçe traktörlerinde kullanılan bazı muharrik lastiklerin yapısal ve işletme özelliklerinin çeki performansına etkisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Konya.
- Gök, K., Aydın, M., Gök, A., 2012. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çapa makinesi bıçağının statik analizi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9 (4): 45-51.
- Gökçebay, B., 1986. Tarım Makinaları I. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 979, Ders Kitabı: 289, Ankara.
- Görüryılmaz, H.G., 2009. Traktör güvenlik kabini statik yükleme deneyi sonlu elemanlar benzetimi. MSC Kullanıcılar Konferansı 22-23 /10/2009, İstanbul. www.hexagonstudio.web.tr/TR/makaleler-makaleler/i-26-111
- Güleç, U., 2012. Farklı tip kültivatör uç demirlerinin malzeme özelliklerinin belirlenmesi. (Yüksek Lisans tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tezi, Tokat.
- Gürsel, K.T., Köftecioglu, E.Y., 2006. İki soklu kulaklı pulluk elemanlarının yapısal analizi. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2006/3: 46-55.
- Kaymaz, İ., Alsaran, A., Hacısalihoğlu İ., 2017. Gerilme ve Emniyet Katsayısı, <http://muhserv.atauni.edu.tr/makine/akgun/Docs/make/Gerilme%20ve%20Emniyet%20Katsay%C4%B1s%C4%B1.pdf>
- Kulaksız, Ö., 2003. Metal Mesleğinde Tablolar. Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, İstanbul, 300 pp.
- Makange, N.R., Parmar, R.P., Tivari, V.K., 2015. Stress analysis on tine of cultivator using finite element method, *Trends in Biosciences* 8(15): 3919-3923.
- Mandal, S.K., Bhattacharya, B., 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 2013.
- Metinoğlu, F., Çakmak, B., Balcı, Y., Ulusoy, M.E., 2006. Toprak işleme alet ve makinelerinde iş organlarının aşınmasının yakıt, güç ve zaman gereksinimi üzerindeki etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2 (2): 173-179.
- Polat, O., 2012. Yaprak yayların bilgisayar destekli yorulma analizi. (Yüksek Lisans tezi), Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 82 s. Balıkesir.
- Polat, O., Balıkoğlu, F., 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.
- Shinde, G.U., Potekar, J.M., Shinde, R.V., Kajale, S.R., 2011. Design Analysis of Rotary Tillage Tool Components by CAD-tool: Rotavator. 2011 International Conference on Environmental and Agriculture Engineering, IPCBEE, Vol.15, Singapore.
- Shinde, G.U., Kajale, S.R., 2012. Design optimization in rotary tillage tool system components by computer aided engineering analysis. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(3): June 2012.
- Solidworks, 2016. <http://help.solidworks.com/2016/Turkish>
- Topakci, M., Celik, H.K., Yılmaz, D., Akinci, 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, H.K., Canakci, M., Rennie, A.E.W., Akinci, I., 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.
- Yaman, Z.D., Aktaş, M., Elmas, M., 2011. Zayıf ekseninde eğilen U kesitli kırımların sonlu eleman modellemesinde çözüm ağı sıklığı etkisinin incelenmesi. *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 1A0144, 6(1): 225-236.
- Yayla, P., 2001. Cisimlerin Mukavemeti (Teori ve Çözümlü Problemler). Çağlayan Kitabevi, 375 s. İstanbul.
- Zeytinoğlu, M., 2002. Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Pulluk Deve Boynunun 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.