



Çapa kültüründe farklı uç demiri genişliği ve çalışma hızının çeki kuvveti gereksinimi ve toprağı atma mesafesine etkisinin ayrık elemanlar yöntemiyle tahmini

Estimation the effects of width and forward speed of the inter-row sweep on draft force and thrown soil distance by using discrete element method

Songül Gürsoy¹

¹Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

MAKALE BİLGİSİ

Geliş Tarihi: 20.01.2018
 Revizyon Tarihi:
 Kabul Tarihi: 23.03.2018
 Elektronik Yayın Tarihi: 30.04.2018
 Basım: 15.05.2018

ÖZET

Toprağı atma mesafesi ve çeki kuvveti gereksinimi, sıra arası çapa makinalarının önemli performans göstergeleri arasında yer almaktadır. Kültivatör uç demiri genişliği ve çalışma hızı bu parametreleri önemli derecede etkilemektedir. Bu çalışmada, ayrık elemanlar yöntemiyle üç boyutlu modelleme yapan PFC^{3D} (Particle Flow Code in 3 Dimensions)'nin paralel bağlı kontak modelleme yöntemi kullanılarak geliştirilen modelin, farklı uç demiri genişliği (150, 280, 330 mm) ve çalışma hızlarındaki sıra arası kültüratörlerinin toprağı atma mesafesi ve çeki kuvveti gereksinimlerini tahmin etmede kullanılabilirliği araştırılmıştır. Geliştirilen modelde kullanılan parçacıkların katılığı, 280 mm genişliğindeki üç demirinin 1.53 m s⁻¹ çalışma hızında tahmin edilen çeki kuvveti değerlerinin, kumlu-tınlı bünyeli toprak kanalındaki deneme sonuçlarıyla karşılaştırılmasıyla 3.0 x 10³ N m⁻¹ olarak ayarlanmıştır. Ayarlanan model kullanılarak tahmin edilen farklı uç demiri genişliği ve çalışma hızlarındaki sıra arası çapa kültüratörlerinin çeki kuvveti gereksinimleri ve toprağı atma mesafeleri, toprak kanalındaki deneme sonuçlarıyla karşılaştırılarak modelin geçerliliği test edilmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda, farklı uç demiri genişlikleri ve çalışma hızlarındaki çeki kuvveti gereksinimlerine ait tahmin ve deneme sonuçları arasındaki hata oranının %8'den daha az olduğu ve ayrık elemanlar modelleme yönteminin kültüratör uç demirlerinin çeki kuvveti gereksinimini tahmin etmede etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür. Fakat geliştirilen modelde tahmin edilen toprak atma mesafeleri, denemelerde ölçülen toprak atma mesafelerinden önemli derecede daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayrık elemanlar yöntemi, PFC^{3D}, Toprak-alet etkileşimi, Çapa kültüratörü

ABSTRACT

Soil throws and draft force are important performance indicators of inter-row cultivators. These parameters of an inter-row cultivator were significantly affected by wide and speed of sweep. In this study, the Discrete Element Model (DEM) developed by using the parallel bond contact model (PBCM) of PFC^{3D} was used to evaluate if the model could simulate the draft force and the soil throw distance of the inter-row sweeps at different width (150, 280, 330 mm) and working speeds (0.75, 1.53, 2.22 m s⁻¹). The stiffness of soil particles used in DEM was calibrated as 3.0 x 10³ N m⁻¹ by comparing the simulated draft force of medium inter-row sweep at 1.53 m s⁻¹ working speed with the experiment results in an indoor soil bin with a sandy loam soil. The calibrated model was then used to compare the simulated draft force and the soil throw distance of inter-row sweeps at different width and working speeds with experiment results under same condition. Results showed that the relative errors of the simulated draft force of sweeps at different working widths and speeds were less than 8%, which proved that DEM was an effective way to predict the draft force of sweeps. However, this developed model resulted in significantly lower soil throw distance than the measured value.

Key Words: Discrete element method, PFC^{3D}, Soil-tool interaction, Inter-row sweep

1. Giriş

Pamuk Sıra arası çapa makinalarında kullanılan kültivatör uç demirleri, bitki çıkışından sonra yabancı otları keserek, kökten çıkararak veya gömerek kontrol etmede yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Yabancı otların toprağa gömülmesi, en etkili kontrol yöntemlerinden biridir. Fakat uç demirlerinin toprağı yanal olarak atma mesafesinin çok fazla olması asıl bitkilerde de gömme etkisi yaratarak, bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle uç demirlerinin toprağı yanal olarak atma mesafesinin bilinmesi, sıra arası çapa makinalarının dizayn ve kullanımında oldukça önemli bir faktördür. Sıra arası çapa kültivatörlerinin toprağı atma mesafesinin artması, bitki sıraları arasındaki yabancı ot kontrol alanını artırmasına rağmen, toprağın aşırı bir şekilde yer değiştirmesinden dolayı bitkilere zarar verebilmektedir [1].

Sıra arası çapa makinalarının toprağı atma mesafesini etkileyen başlıca faktörler arasında uç demirinin geometrik özellikleri (uç demiri genişliği, göğüs açısı ve uç açısı vb.), aletin çalışma hızı, derinliği ve toprağın fiziksel ve mekanik özellikler yer almaktadır [2,3]. Bu faktörler arasında, uç demir genişliği ve çalışma hızı toprağın atılma mesafesini önemli derecede etkilediği için yabancı otları ve bitkileri gömmeye önemli bir role sahiptirler. Dowell ve ark. [4], Pullen ve Cowell [5] çalışma hızının artışıyla toprağın atılma mesafesinin arttığını belirlemişlerdir.

Toprak-alet etkileşiminde toprağın deformasyonu ve akışı esnasında alete etki eden kuvvetlerin bilinmesi, tarımsal üretimde kullanılan toprak işleme aletlerinin dizaynında oldukça önemli bir yer tutmaktadır [6].

Toprak işleme aletlerinin toprakla etkileşimi esnasında toprağın akışı ve çeki kuvveti gereksinimlerini belirlemede deneysel, analitik ve sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Tarla ve toprak kanalında yürütülen denemelerin sonuçlarının değerlendirildiği deneysel yöntemler sağlıklı sonuçlar vermesine rağmen farklı toprak koşullarında denenmesi gerektiği için pahalı ve zaman alıcı birçok işlemin yapılmasını gerektirmektedir. Modelleme, toprak-alet etkileşimini iyi bir şekilde anlamak ve aletlerin optimizasyonunu sağlamada kullanılan faydalı bir yöntemdir [7]. Dolayısıyla toprak işleme aletlerinin farklı toprak koşullarındaki davranışlarını tahmin edebilen modellerin geliştirilmesi, pahalı ve zaman alıcı deneysel yöntemleri kullanmaksızın etkili toprak işleme aletlerinin dizayn edilmesine katkı

sağlamaktadır [1,2]. Yürütülen birçok çalışmada toprak-alet etkileşiminin modellenmesinde yaygın olarak sonlu ve ayrık elemanlar yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Toprak parçacıkları tam ayrılana kadar meydana gelen geniş deformasyonlardan dolayı, toprak-alet etkileşiminde ayrık elemanlar yönteminin daha güvenilir bir yöntem olabileceği ifade edilmektedir [8, 9,10].

Cundall [11]'in kayaların mekanik özelliklerini analiz etmede kullandığı ayrık elemanlar yöntemi, toprakların dinamik özelliklerinin belirlenmesinde de kullanılmıştır [12]. Ayrık elemanlar yönteminde, toprak parçacıklarının etkileşimi, içsel kuvvetlerin dengelendiği zamanlarda gelişen kararlı durumdaki dinamik bir işlem olarak göz önünde bulundurulmaktadır. Stres altındaki toprak parçacıklarının yer değiştirmeleri ve temas kuvvetleri, bireysel parçacıkların hareketleri izlenerek bulunmaktadır. Bu yöntemde, tüm elemanların hareketleri, Newton'un ikinci yasası kullanılarak hesaplanmaktadır [13, 14, 15]. Son yıllarda, sayısal modellemeyle ilgili geliştirilen ticari yazılım programları, toprak işleme aletlerinin optimizasyonunu sağlamak amacıyla kesme kuvvetleri ve toprağın bozulmasını doğru olarak tahmin edilmesine katkı sağlamaktadır. EDEM and PFC^{3D} toprak-alet etkileşiminin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan ticari ayrık elemanlar modelleme programları arasında yer almaktadır. Chen ve ark. [9], Tamás ve ark. [16], Gürsoy ve ark. [17] gibi araştırmacılar toprak-alet etkileşiminin modellemesinde PFC^{3D}, Uçgul ve ark. [18]; Fielke ve ark. [19] ise EDEM modelleme programlarını kullanmışlardır.

PFC^{3D} modelleme programının toprak alet etkileşiminin modellenmesinde kullanılan etkili bir modelleme programı olduğu bilinmektedir. Bu yazılım paketi, küresel tanelerin oluşturduğu parçacıkların birbirleriyle etkileşimini üç boyutlu olarak çözümleyen sayısal modelleme programıdır ve parçacıkların oluşturduğu cisimlerin davranışlarını dinamik hareketlerine göre modellemektedir. Bu modelleme paketini kullanan araştırmacılar, kohezyonlu toprakların aletler ile etkileşimlerini araştırdıkları modelleme çalışmalarında genellikle paralel bağlı kontak modelini kullandıkları görülmektedir [9, 16, 20, 21]. Paralel bağlı kontak modellemede paralel bağ, tanecikler arasında sınırlı bir alanda iki taneciği bir arada tutmayı sağlayan bir çeşit silindirik çimentolu yapışkan gibi düşünülmekte ve hem kuvvet, hem de momentleri iletmektedir. Kontak alanındaki dayanım yenildiği zaman, bu bağlar kırılmaktadır. PFC^{3D} ile

ilgili detaylı bilgi ITASCA'da verilmiştir [22]. Tamás ve ark. [16] kültivatör uç demirinin çeki kuvveti gereksinimi ile toprağı gevşetme etkisini araştırmak için PFC^{3D}'nin paralel bağlı kontak modelini kullanarak geliştirdikleri modelin, aletlerin çeki kuvveti gereksinimini tahmin etmede güvenle kullanılabileceğini belirlemişlerdir. Fakat, geliştirilen bu modelle toprağın akışının belirlenmesinde önemli bir faktör olan parçacıkların davranışlarının iyi anlaşılabilmesi için daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu ifade etmişlerdir. Aynı şekilde, Chen ve ark. [9] parçacıkların dinamik davranışları ve mikro özellikleri arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılabilmesi için modellemeyle ilgili çalışmaların devam etmesi gerektiğini rapor etmişlerdir. Gao ve ark. [10] PFC^{3D}'nin paralel bağlı kontak modelini kullanarak geliştirdikleri modelle ekim makinalarındaki çapa tip gömücü ayağın çeki kuvveti gereksinimi ile toprağın dinamik özelliklerine etkisinin tahmin edilebileceğini ifade etmişlerdir. Fakat, Sadek ve Chen [20] geliştirdikleri modelle tahmin ettikleri çizel ayağının toprağı yana atma mesafesinin, toprak kanalında ölçülen mesafeden önemli bir şekilde daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

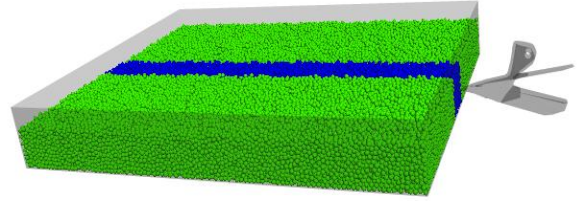
Bu çalışmada, ayırık elemanlar yöntemiyle modelleme yapan PFC^{3D} ticari modelleme programı kullanılarak sıra arası çapa kültivatörü uç demirlerinin toprakla etkileşimini tahmin etmek için bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen modeldeki parçacıkların katılığı, 280 mm genişliğindeki uç demirinin 1.53 m s^{-1} çalışma hızında tahmin edilen çeki kuvveti değerleri, kumlu-tınlı bünyeli toprak kanalındaki deneme sonuçlarıyla karşılaştırılarak ayarlanmıştır. Ayarlanan model kullanılarak tahmin edilen kültivatör uç demirlerinin farklı iş genişliği ve çalışma hızlarındaki çeki kuvveti gereksinimleri ve toprağı atma mesafeleri, daha önce kumlu-tınlı bünyeye sahip toprak kanalında yürütölen deneme sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Toprak-çapa kültivatörü uç demiri etkileşim modeli

Toprak ve çapa kültivatörü uç demiri simölasyonu için PFC^{3D} parçacık akış kodu (ITASCATM, USA) kullanılarak üç boyutlu ayırık elemanlar modeli geliştirilmiştir. Modelin genel bir görünüşü şekil 1'de görölmektedir. Toprak parçacıklarının içerdiği numuneyi oluşturmak için $1 \times 0.8 \times 0.15 \text{ m}$ boyutlarında sanal bir toprak kanalı bilgisayar ortamında hazırlanmıştır. Bilgisayarın hesaplama zamanı da göz

önünde bulundurulurarak sanal ortamdaki parçacıkların çapı, gerçek toprak parçacıklarından çok daha büyük olan 10 mm olarak modellenmiştir. Parçacık çapı büyütme yöntemi kullanılarak üretilen parçacıkların maksimum dengelenmemiş kuvveti $1 \times 10^{-3} \text{ N}$ 'a ulaşıncaya kadar yerçekiminin etkisi altında kararlı duruma gelmesi sağlanmıştır. Sanal toprak kanalının oluşturulmasıyla ilgili detaylı bilgi Gürsoy ve ark. [17]'de verilmiştir.



şekil 1. Toprak- ile kültivatör uç demiri etkileşim modeli

Farklı iş genişliğindeki sıra arası çapa kültivatörlerinin model uç demirleri, gerçek uç demirlerin üç boyutlu lazer ile taranmasıyla elde edilmiştir (Shape Grabber Series, Ottawa, Canada). Dolayısıyla, model ve gerçek uç demirlerinin şekil ve boyutları tamamen aynı olmuştur. Taranmış olan uç demirleri, Geomagic studio (version 11, Geomagic, North Carolina, USA) ve proengineering yazılım (Creo Parametric 3D Modeling Software, USA) programları kullanılarak STereoLithography (STL) formatına dönüştüröldükten sonra, geliştirilen PFC^{3D} modeline aktarılmıştır (şekil 1).

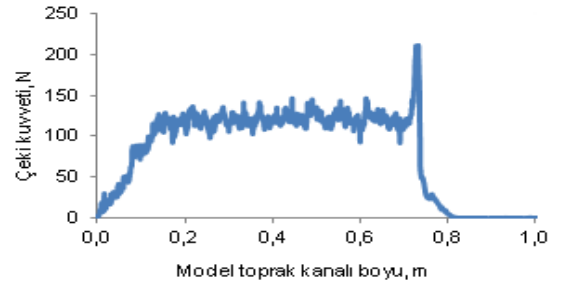
Sanal toprak kanalında kullanılan partiköller PFC^{3D}'de modellenirken, toprak kohezyonunu oluşturmak amacıyla Paralel bağlı kontak model yöntemi kullanılmıştır [21, 16, 9, 20]. Modelde kullanılan girdi parametreleri, bu çalışmalardaki denemelerin yürütöldüğü toprak kanalındaki aynı toprak özelliklerine sahip Sadek ve Chen [20]'in yürötmüş oldukları çalışmadan alınmıştır. Bu parametrelerin değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Uç demirinin katılığı ve toprakla arasındaki sürtünme katsayı, çeliğin katılığı ve sürtünme katsayısına ($1 \times 10^9 \text{ N m}^{-1}$, 0.41) eşit alınmıştır [23].

Tablo 1. Model parametreleri [20]

Parametre	Değer
Parçacık normal katılığı (K_n , $N m^{-1}$)	Kalibre edilecek
Parçacık kesme katılığı (K_s , $N m^{-1}$)	K_n eşit alınacak
Parçacık sürtünme katsayısı (μ)	0.5
Bağın yarıçapını ayarlama katsayısı (R_m)	0.5
Bağın normal katılığı (\acute{K}_n , $Pa m^{-1}$)	2.5×10^9
Bağın kesme katılığı (\acute{K}_s , $Pa m^{-1}$)	2.5×10^9
Bağın normal gerilimi (σ , Pa)	2×10^4
Bağın kesme gerilmesi (τ , Pa)	2×10^4
Normal ve kesme vizkoz sönüm katsayısı (β)	1.0
Bölgesel sönüm katsayısı (α)	0.5

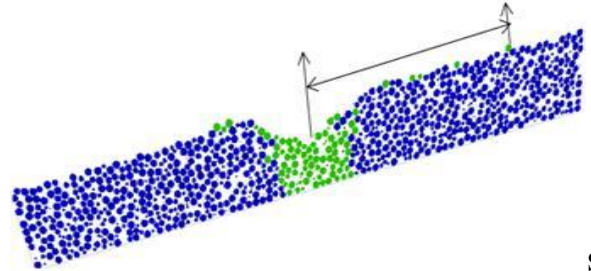
PFC^{3D}'de hazırlanan sanal toprak parçacıklarının, denemelerin yürütüldüğü toprak kanalındaki ile aynı mekanik özellikleri sergilemesi gerekmektedir. Bundan dolayı, PFC^{3D}'de hazırlanan sanal toprak parçacıklarının mikro özellikleri kalibre edilmektedir. Bu çalışmada, parçacıkların normal katılığı, 280 mm genişliğindeki uç demirinin $1.53 m s^{-1}$ çalışma hızında tahmin edilen çeki kuvveti değerleri, kumlu-tınlı bünyeli toprak kanalındaki deneme sonuçlarıyla karşılaştırılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyonu gerçekleştirmek amacıyla, 2.5×10^3 ile $5.5 \times 10^3 N m^{-1}$ arasında değişen bir dizi varsayılan K_n değerleri kullanılarak geliştirilen modelin çeki kuvveti gereksinimi tahmin edilmiştir. Tahmin edilen çeki kuvveti değerleri ve toprak kanalında yürütülen aynı uç demiri genişliği ve çalışma hızındaki deneme sonuçları arasındaki nispi hatanın en düşük olduğu $3.0 \times 10^3 N m^{-1} K_n$ (parçacığın normal katılığı, yani parçacığın defornasyona karşı gösterdiği direnç) değeri modelin normal katılık değeri olarak seçilmiştir [17].

Model uç demirlerinin çeki kuvveti gereksinimleri, PFC^{3D}'de oluşturulan toprak kanalı boyunca gözlemlenmiş ve çeki kuvveti değerlerinin kararlı olduğu noktalar (0.3-0.6 m) arasındaki değerlerin ortalaması alınmıştır [17].



Şekil 2. Model uç demirinin sanal toprak kanalındaki hareketi esnasındaki çeki kuvveti gereksinimlerinin görünüşü

Model uç demirlerinin toprağı atma mesafesi, modelin çalışmasının bitiminden sonra toprak kanalının 0.2 - 0.65 m arasında her 0.05 m'de ölçülmüştür. Her ölçüm noktasında, parçacıkların yanal olarak yer değişimlerini görebilmek için uç demirlerinin ilerleme yönünde kesitler alınmıştır. Meydana gelen karışın orta noktası ile yan tarafa atılan en uzaktaki parçacık arasındaki mesafe ölçülerek, uç demirlerinin toprağı atma mesafesi ölçülmüştür (Şekil 3).



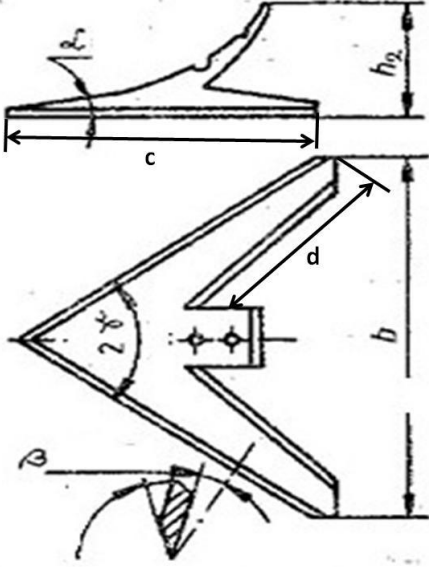
Şekil 3. Model uç demirlerinin toprağı atma mesafelerinin ölçümü

1.1. Toprak kanalındaki denemeler

Geliştirilen modelin kalibre edilmesi ve modelleme sonuçlarının geçerliliğinin test etmek amacıyla, çapa kültürleri, Kanada'da Manitoba Üniversitesi'ndeki kumlu-tınlı (%70 kum, %16 silt, %14 kil) bünyeye sahip Toprak Dinamiği ve Makine Laboratuvarında denenmiştir. Toprak kanalı, ıslatma, kültürlerle işleme, silindirle sıkıştırma işlemleri uygulanarak hazırlanmıştır. Denemeler öncesi, toprağın kuru ağırlık esasına göre gravimetrik nem içeriği ve fırın kuru hacim ağırlığı, %18.67 ve $1260 kg m^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Toprağın ortalama yüzey penetrometre direnci, 257 kPa olarak ölçülmüştür [24].

Çalışmada kullanılan sıra arası çapa kültürleri uç demirlerinin genişlik ve kanat uzunlukları hariç kanat genişliği, ağız ve göğüs açısı gibi diğer geometrik özellikleri aynıydı. Genişliklerine göre kullanılan uç

demirleri dar (150 mm), orta (280 mm) ve geniş (330 mm) olarak isimlendirilmiştir. Bütün uç demirlerinin göğüs açısı (α) 16° , kanat genişliği 50 mm ve ağız açısı (2γ) ise 70° olarak ölçülmüştür. Uç demirlerinin başlıca geometrik özelliklerinin görünüşü Şekil 4'te ve değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Uç demirleri üç farklı çalışma hızında ($0.75, 1.53, 2.22 \text{ m s}^{-1}$) ve 50 mm iş derinliğinde çalıştırılmıştır.



Şekil 4. Çapa kültivatörü uç demirlerinin geometrik özelliklerinin görünüşü (α , göğüs açısı γ , ağız açısı; b , iş genişliği)

Tablo 2 Çapa kültivatörü uç demirlerinin geometrik özellikleri

Parametreler	Dar	Orta	Geniş
b (Genişlik, mm)	153	280	330
c (Uzunluk, mm)	177	288	320
d (Kanat uzunluğu, mm)	42	153	185

Uç demirlerinin çeki kuvveti gereksinimleri, toprak kanalının sabit hız alanı içinde kuvvet okumalarının ortalaması alınarak belirlenmiştir. Bu amaçla, toprak kanalındaki alet taşıyıcısı üzerine monte edilmiş, dört adet yük hücresine sahip ve bir veri elde etme sistemine bağlı olan dinamometre kullanılmıştır (Şekil 5). Uç demirlerinin toprağı atma mesafesini ölçmek için, aletin çalıştırılmasından sonra toprak kanalı boyunca 100 mm aralıklarla 20 noktada uç demirlerinin yatay yönde en uzağı atmış olduğu toprak

parçacıkları ile uç demir izinin merkezi arasındaki mesafe ölçülerek, ortalaması alınmıştır.



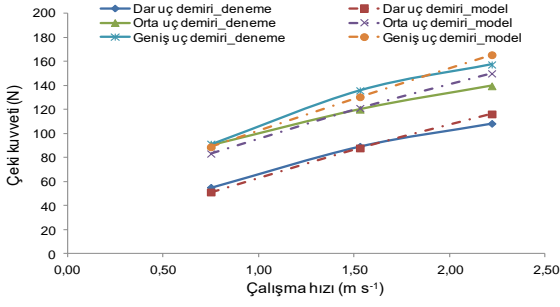
Şekil 5. Toprak kanalı düzeneği

2. Bulgular ve Tartışma

2.1. Çeki kuvveti gereksiniminin model ve deneme sonuçları

Uç demirlerinin farklı iş genişliği ve çalışma hızlarındaki çeki kuvveti değişimlerinin deneme ve model sonuçları Şekil 6'da görülmektedir. Hem model, hem de deneme esnasında bütün uç demirlerinin ölçülen çeki kuvveti gereksinimlerinin çalışma hızının artışıyla arttığı görülmüştür. Çalışma hızının artışıyla çeki kuvvetinin artışı, uç demirlerinin etkisiyle toprağın parçalanması esnasında meydana gelen dirençlerin artmasından kaynaklanmış olabilir [25]. Aynı şekilde, uç demirleri iş genişliğinin artışıyla çeki kuvveti miktarının da arttığı Şekil 6'da görülmektedir. Dar uç demirinin çeki kuvveti gereksinimi, orta ve geniş uç demirlerine göre önemli derecede düşük olmasına rağmen, orta ve geniş uç demirlerinin çeki kuvveti değerleri arasındaki farkın oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada belirlenen uç demiri genişliği ve çalışma hızlarının çeki kuvveti gereksinimine etkilerine yönelik sonuçların (Şekil 6) toprağın dinamik teorisiyle uyumlu olduğu görülmektedir [26].

Geliştirilen modelin uç demirlerinin çeki gereksinimlerini tahmin edebilmedeki kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla hesaplanan model ve deneme sonuçları arasındaki hata oranlarının, %8'den daha düşük olduğu Tablo 3'te görülmektedir. Hata oranının %10'dan düşük olması, PFC^{3D}'nin paralel bağlı kontak yöntemi kullanılarak geliştirilen bu modelin, sıra arası çapa kültivatörlerinin çeki kuvveti gereksinimlerini tahmin etmede güvenle kullanılabilceğini göstermektedir.



Şekil 6. Farklı iş genişliği ve çalışma hızlarındaki uç demirlerinin deneme ve model çeki kuvveti gereksinimleri

Tablo 3 Uç demirlerinin model ve deneme sonucunda belirlenen çeki kuvveti gereksinimleri arasındaki hata oranı

Uç demiri genişliği	Çalışma hızı, m s ⁻¹	Çeki kuvveti		
		F _d , N	F _m , N	RE, %
Dar	0.75	55.02	51.08	7.17
	1.53	89.21	87.76	1.63
	2.22	108.23	116.09	7.27
Orta	0.75	90.31	83.11	7.98
	1.53	120.00	120.99	0.82
	2.22	139.48	149.87	7.45
Geniş	0.75	91.18	88.71	2.70
	1.53	135.70	130.36	3.93
	2.22	157.26	165.38	5.16

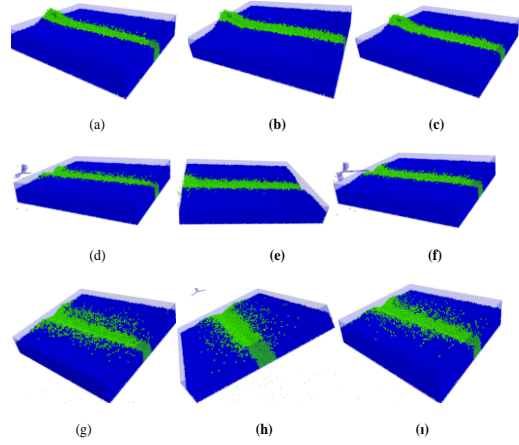
F_d, denemedeki çeki kuvveti gereksinimi,

F_m, modeldeki çeki kuvveti gereksinimi,

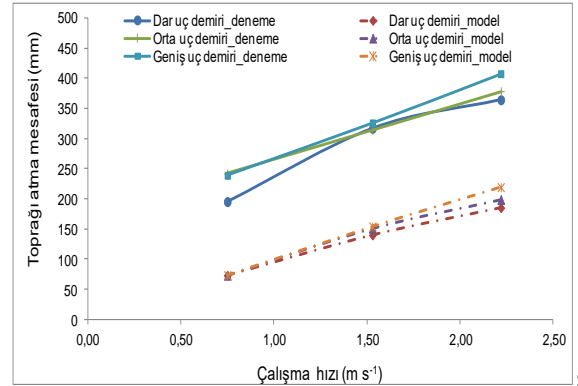
RE, hata oranı

2.2. Uç demirlerinin toprağı atma mesafesine ilişkin model ve deneme sonuçları

Farklı genişlik ve çalışma hızlarındaki çapa kültivatörlerinin toprağı işledikten sonra ortaya çıkan toprak deformasyonunun modeldeki görüntüleri Şekil 7'de, uç demiri tiplerinin toprağı atma mesafelerinin çalışma hızlarına göre değişimi ise Şekil 8'de görülmektedir. Hem toprak kanalındaki deneme, hem de model ölçümlerinde, çalışma hızının artmasıyla uç demirlerinin toprağı atma mesafesinde artış meydana geldiği görülmüştür. Fakat, model ölçümlerinde uç demirlerinin toprağı atma mesafesi, denemelerdekinden oldukça düşük olmuştur. Tüm uç demiri genişliği ve çalışma hızlarında, uç demirlerinin toprağı atma mesafesi yönünde toprak kanalındaki denemeler ve modelleme çalışmaları arasındaki hata oranının %50'den daha fazla olduğu gözlenmiştir. Sadek ve Chen [20], basit bir toprak işleme aletinin simülasyon çalışmaları esnasında, aletin önündeki parçacıkların kenardakilerden daha fazla etkilendiğini gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Simülasyon esnasında parçacıkların hareketinin yukarı doğru olmasından dolayı aletin yanal olarak attığı parçacıkların mesafesinin yeterince fazla olmadığını ifade etmişlerdir.



Şekil 7. uç demirlerin çalışmasından sonra toprağın atılma mesafelerini gösteren model görüntüleri: (a) Dar uç demiri-0.75 ms⁻¹, (b) Orta uç demiri-0.75 ms⁻¹, (c) geniş uç demiri-0.75 ms⁻¹, (d) Dar uç demiri-1.53 ms⁻¹, (e) Orta uç demiri-1.53 ms⁻¹, (f) geniş uç demiri-1.53 ms⁻¹, (g) Dar uç demiri-2.22 ms⁻¹, (h) Orta uç demiri-2.22 ms⁻¹, (i) geniş uç demiri-2.22 ms⁻¹.



Şekil

8. Farklı iş genişliği ve çalışma hızlarında uç demirlerinin toprağı atma mesafelerinin deneme ve model sonuçları

3. Sonuç

Bu çalışmada, üç boyutlu modelleme yapan PFC^{3D}'nin paralel bağlı kontak modelleme yöntemi kullanılarak toprak-çapa kültivatör uç demirinin etkileşimini tahmin için bir model geliştirilmiştir. Modeldeki parçacıkların normal katılığı, 280 mm genişliğindeki uç demirinin 1.53 m s⁻¹ çalışma hızında tahmin edilen çeki kuvveti değerleri, kumlu-tınlı bünyeli toprak kanalındaki deneme sonuçlarıyla karşılaştırılarak 3.0x10³ Nm⁻¹ olarak kalibre edilmiştir. Kalibre edilen modelin geçerliliği, farklı genişlik ve çalışma hızlarındaki uç demirlerinin modelde ve toprak kanalındaki denemelerde belirlenen çeki kuvveti gereksinimleri ve toprağı atma mesafeleri karşılaştırılarak test edilmiştir. Çalışma sonucunda,

geliştirilen modelin sıra arası çapa kültivatörü uç demirlerinin çeki kuvveti gereksinimlerini tahmin etmede güvenle kullanılabilineceği belirlenmesine rağmen, geliştirilen modelle tahmin edilen toprak atma mesafeleri, denemelerde ölçülen toprak atma mesafelerinden önemli derecede daha düşük olmuştur.

4. Teşekkür

Yazar, bu çalışmayı maddi yönden destekleyen TÜBİTAK- BİDEB'e, ayrıca, gerek toprak kanalının bulunduğu laboratuvarı gerekse PFC^{3D} ticari modelleme programı kullanmasına izin veren ve çalışmaya önemli derecede katkıda bulunan Manitoba Üniversitesi, Biosistem Mühendisliği Bölümünden Prof. Dr. Ying Chen ve ekibine teşekkür etmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Home M. (2003). An Investigation into the Design of Cultivation Systems for Inter- and Intra-Row Weed Control, Ph.D. Thesis, Cranfield University, U.K.
- [2] Hanna H.M., Marley S.J., Erbach D.C., Melvin S.W. (1993). Change in soil microtopography by tillage with a sweep. *Transactions of the ASAE*, **36**(2), 301-307.
- [3] Kankal U.S., Khmabalkar V.P., Karale D.S., Nage S.M. (2014). Effect of operating speed, moisture content of soil and approach angle of sweep on specific draft and weeding efficiency. *International Journal of Engineering Science*, **3**(6), 1-9.
- [4] Dowell F.E., Siemeans J.C., Bode L.E. (1988). Cultivator speed and sweep spacing effects on herbicide incorporation. *Transactions of the ASAE*, **31**(5), 1315-1321.
- [5] Pullen D.W.M., Cowell P.A. (1997). An evaluation of the performance of mechanical weeding mechanisms for use in high speed inter-row weeding of arable crops. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **67**, 27-34.
- [6] Vilde A. (2003). Up-to-date trends in soil tillage engineering, Polish academy of sciences branch in Lublin. *TEKA-Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, **3**, 257-62.
- [7] Gürsoy S., Turgut M.M., Sessiz A. (2015). Toprak-alet etkileşimini belirlemede kullanılan yöntemlerin değerlendirilmesi. 29. *Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, Diyarbakir*.
- [8] Asaf Z., Rubinstein D., Shmulevich I. (2006). Evaluation of link-track performances using DEM, *Journal of Terramechanics*, **43**, 141-161.
- [9] Chen Y., Munkholm L.J., Nyord T. (2013). A discrete element model for soil-sweep interaction in three different soils, *Soil and Tillage Research*, **126**, 34-41.
- [10] Gao Q., Chen Y., Zhou H., Sadek M.A. (2015). Simulation of a seed opener using the discrete element method (DEM). *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, **17**(3), 72-82.
- [11] Cundall P.A., Strack O.D.L. (1979) A Discrete numerical model for granular assemblies, *Geotechnique*, **29**(1), 47-65.
- [12] Cundall P.A. (1971) A computer model for simulating progressive large scale movements in blocky rock systems, in *Proceedings of the Symposium of the International Society of Rock Mechanics* (Nancy, France, 1971), Vol. 1, Paper No. II-8.
- [13] Momozu M., Oida A., Yamazaki M., Koolen A.J. (2003) Simulation of a soil loosening process by means of the modified distinct element method, *Journal of Terramechanics*, **39**, 207-220.
- [14] Shmulevich I. (2010). State of the art modeling of soil-tillage interaction using discrete element method. *Soil and Tillage Research*, **111**, 41-53.
- [15] Asaf Z., Rubinstein D., Shmulevich I. (2006). Evaluation of link-track performances using DEM, *Journal of Terramechanics*, **43**, 141-161.
- [16] Tamás K., Jóri I.J., Mouazen A.M. (2013). Modeling soilsweep interaction with discrete element method. *Soil and Tillage Research*, **134**, 223-231.
- [17] Gürsoy S., Chen Y., Li B. (2017). [Measurement and modelling of soil displacement from sweeps with different cutting widths](#), *Biosystems Engineering*, **161**, (1-13).
- [18] Ucgul M., Fielke J.M., Saunders C. (2014). 3D DEM tillage simulation: Validation of a hysteretic spring (plastic) contact model for a sweep tool operating in a cohesionless soil, *Soil and Tillage Research*, **144**, 220-227.
- [19] Fielke J.U., Ucgul M., Saunders C. (2013). Discrete element modeling of soil-implement interaction considering soil plasticity, cohesion, and adhesion, *ASABE Paper No. 131618800*. St. Joseph, Mich.: ASABE.
- [20] Sadek M.A., Chen Y. (2015). Feasibility of using PFC^{3D} to simulate soil flow resulting from a simple soil-engaging tool, *Transactions of the ASABE*, **58** (4), 987-996.
- [21] Van der Linde J. (2007). Discrete element modeling of a vibratory subsoiler, *M.Sc. Thesis*, Department of Mechanical and Mechatronic Engineering, University of Stellenbosch, Matieland, South Africa.
- [22] ITASCA (2015). Particle flow code in 3 dimensions (PFC^{3D}) version 5.0. *Itasca Consulting Group, Inc.*, Minneapolis, Minnesota, USA.

- [23] Godwin R.J. (2007). A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil and Tillage Research*, **97**, 331–340.
- [24] Gürsoy S., Chen Y. (2017). Evaluation of inter-row sweeps with different working widths, *Applied Engineering in Agriculture*, **33**(3), 307-312.
- [25] Manuwa S.I. (2009). Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. *Soil and Tillage Research*, **103**, 399–405.
- [26] McKyes E. (1985). *Soil Cutting and Tillage*. New York, USA: Elsevier Science B.V.