

## Asılır Tip Kulaklı Pulluklara İlişkin Çeki Kuvveti ve Çeki Gücü Gereksinimlerinin Bilgisayar Destekli Tasarımlarla Belirlenmesi

Rasim OKURSOY\*

### ÖZET

*Bitkisel üretimde verim ve kalitenin artması, yetiştirilen ürünün çeşidine bağlı olduğu kadar, ürünün yetiştirildiği ortamdaki bazı koşulların da bitkilerin isteklerine olan uygunluğa bağlıdır. Bu koşullardan en önemlisi, bitkisel üretimde uygun tohum yatağı hazırlığıdır. İyi bir tohum yatağı hazırlığı ise, toprakta bitkinin istediği koşulları sağlayabilecek alet ve ekipmanların kullanılmasına bağlıdır. Kulaklı pulluklar bu özellikleri nedeniyle, arız bozmadan itibaren tohum yatağı hazırlığında kullanılan en önemli ve en etkili tarım makinalarıdır. Kulaklı pullukların çalışmadaki performansını belirleyen parametrelerin başında ise değişik toprak koşullarında ve değişik çalışma hızında gerekli çeki kuvveti ve bu kuvvete bağlı olarak saptanan güç gereksinimi gelmektedir. Bu çalışmada, tohum yatağı hazırlığında kullanılan ve traktörün üç nokta askı sistemine bağlı olarak çalışan asılır tip bir kulaklı pulluk için gereksinim duyulan çeki kuvveti ve bu kuvvetin neden olduğu çeki gücü gereksinimine ilişkin bir model üzerinde çalışılmıştır. Geliştirilen matematik modele ilişkin denklem, bilgisayar ortamında çözümlenerek sonuçları bu konuda çalışacak araştırmacıların hizmetine sunulmuştur.*

**Anahtar Sözcükler:** Çeki gücü, Çeki kuvveti, Kulaklı pulluk, Toprak işleme.

## ABSTRACT

### A Computer Aided Design for Determining Draught Force and Power of Three Point Hitched Moldboard Plows

*The quality and capacity of the plant production depends on plant species as well as the suitable environmental conditions where plants are grown. The most important factor is the suitable seedbed preparation in plant production. The suitable seedbed preparation is made by necessary farm equipment and their optimum use. The moldboard plows are very useful farm machines that are widely used for seed preparation and soil tillage to provide suitable soil condition. Performance of the moldboard plows are determined in a different soil type and soil condition as the force and the power requirements. In this study, a mathematical model about force and power requirements for a three point hitched moldboard plow was developed in a working condition at a field. The model was solved by a computer and the solutions were presented to researchers who wish to plan to research in this subject.*

**Key Words:** *Draught force, Draught power, Moldboard plow, Soil tillage.*

## GİRİŞ

Bitkisel üretimin ilk aşaması, bitki için uygun tohum yatağı hazırlığıdır. İyi bir tohum yatağı hazırlığı ise, bitkisel üretimde kaliteyi ve verimi artırmakta, ancak, buna rağmen üretim kademesindeki iş yoğunluğunu fazlalaştırmaktadır. Toprak işleme için harcanan enerjinin diğer tarım tekniklerine göre daha az olması nedeniyle, literatürde, minimum toprak işleme adı ile tanımlanan ve en az enerji veya iş gücü harcayarak yapılan tohum yatağı hazırlığı ile, bunun bir ileri aşaması olan toprak işlesiz tarım tekniği sonucunu yapılan tarım, arzulanan tarımdır. Ne var ki, bitki isteklerinin farklı olması, minimum toprak işleme tekniğinin önemli bir kısıtı olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısı ile, tarım topraklarında yetiştirilen kültür bitkilerinin gereksinim duydukları, havalanma, su tutma kapasitesi, ve homojen yapıdaki organik madde dağılımı gibi bir toprakta istenen koşullar, doğal haldeki topraklarda yeterince bulunmayabilmektedir. Bu durum tarımsal amaçlı bitkisel üretimi olumsuz yönde etkilediğinden, günümüzde bitkisel üretimin ilk aşaması olan toprak işleme, yapılması zorunlu tarımsal etkinlik olarak karşımıza çıkmaktadır (Kepner ve ark., 1978).

Tarımsal üretimin önemli bir bölümünü oluşturan bitkisel üretimde, verimi ve kaliteyi artırabilmek için yapılan çalışmaların başında yer alan iyi tohum yatağı hazırlığının getirdiği yararlar saymakla bitmemektedir. Bu

yararların başında, bitki artıkları ve anızın toprağa gömülerek toprakta dengeli nem ve organik madde dağılımının sağlanması yanında, yabancı ot kontrolü, erozyonla mücadele, arazi ve yüzey tesviyesi, topraktan nem kaybının önlenmesi, ısı ışık, hava ve organik besin maddeleri gibi bitkiler için vazgeçilemez fiziksel faktörlerin sağlanarak bitkilerin hizmetine sunulması yer almaktadır.

Tarımda toprak işleme, yetiştirilecek bitkilerin istekleri doğrultusunda, toprakta uygun koşulları yaratabilmek amacıyla uygun zamanlarda, uygun ekipmanlarla yapılmaktadır. Bu ekipmanların başında ise çoğu zaman birinci sınıf toprak işleme aleti olarak tanımlanan ve özellikle anız bozmada ilk alet olarak kullanılan pulluklardır (Keskin ve ark.,1984). Her ne kadar kuru ve sulu tarımda toprak işlemede, toprağa yapmış olduğu etkiler nedeniyle pulluklar üzerinde yoğun araştırmalar yapıyorsa da, pulluklarda genel olarak, iyi bir tohum yatağı hazırlığı için toprağı gevşetip kabartmak, yerine göre toprağı kesmek parçalamak ve devirmek gibi fiziksel işlemlerin yapılması istenmektedir. Dolayısı ile pulluklar, bu işlemleri yapabilecek tasarımlarda olup, toprak işleyen organları yapısal olarak, diskli ve kulaklı olacak şekilde üretilmektedir (Dilmaç, 1984; Keskin ve ark.,1984).

Genel anlamda, kulaklı pulluklar, toprağı şeritler halinde kesen, kabartan ve kesilmiş toprak şeritlerin belirli açılarda döndürerek, birbirlerine yaslanacak şekilde istifleyen toprak işleme makinalarıdır. Toprağın kesilmesi, çeşitli ölçü ve özelliklerde yapılmış uç demirleri aracılığı ile yapılmaktadır. Kesilme sırasında toprak direncinin büyüklüğüne bağlı olarak uç demirinde meydana gelen aşınmaların önüne geçerek dayanımı artırabilmek için uç demirlerinin keskin kenar üzerinde belirli bir kısmı sertleştirilmekte ve bu bölgenin sertliğinin ortalama olarak 450 BSD olması istenmektedir (Dilmaç, 1984). Uç demirleri, toprak direncini yenmek ve malzemede oluşan aşırı aşınmayı önleyebilmek için yerine göre yamuk, üçgen, trapez şekillerinde ve kamalı, açılı, kesikli veya burunlu olarak tasarlanmakta, gövdeye ise toprak ile metal arasındaki sürtünmeyi en aza indirebilmek için havşa başlı veya gömme başlı civatalar ile bağlanmaktadır. Uç demirlerinin keskin kenar açısı, uç demirinin keskin kenarı ile düşey yön düzlemi arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır. Bu açının değeri, hafif bünyeli topraklarda kullanılması önerilen dik kulaklı pulluklarda 45-50° orta dik kulaklı pulluklarda 35-45°, ve kilce zengin ağır bünyeli topraklarda kullanılması önerilen yarı bükük ve tam bükük kulaklı pulluklarda ise 30-38° olması gerektiği bildirilmektedir (Dilmaç, 1984; Keskin ve ark.,1984)

Kulaklı pulluklarla toprak işlemede kesilen toprak şeritlerinin kabartılarak devrilmesi, pulluktaki kulağın aktif yüzeyinin sahip olduğu geometrik yapıya ve toprak cinsi ile toprağın sahip olduğu, nem gibi, organik madde miktarı gibi, fiziksel özelliklere bağlıdır. Toprak yapısının hafiften

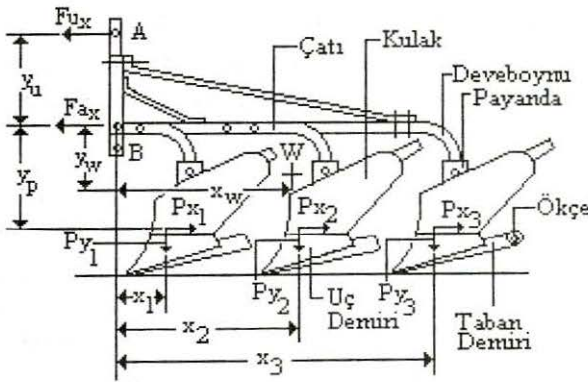
ağıra doğru değişmesi durumunda, kesilen toprak şeritlerinin artan oranlarda devrilmesi istendiğinden, kulak yapıları da dik ve kültürform yapıdan yarı bükük ve tam bükük yapıya doğru değişmektedir. Dik kulaklı pulluklarda, kulağın devirme özelliğinin hiç olmamasından ya da çok az olmasından dolayı, kurak bölgelerde, toprağın alt katmanlarında bulunan nemin buharlaşma ile kaçmasına engel olunmaktadır. Oysa, kilce zengin ağır toprakların su tutma yeteneklerinin yüksek olması ve bitki besin elementleri ile zenginleştirilmiş bir toprakta daha yoğun bitki örtüsünün bulunabilmesi nedeniyle, yarı bükük ve tam bükük kulaklı pullukların bu topraklarda kullanılması, bitki artıklarının toprak ile birlikte kesilerek ve devrilerek toprağa karıştırılmasını sağlaması açısından büyük önem taşımaktadır (Kepner ve ark.,1978).

Kulaklı pullukların toprak koşullarına bağlı olarak belirlenecek çeki kuvveti ve çeki gücü gereksinimlerinin belirlenmesi, tekniğine uygun olarak yapılan toprak işlemede harcanan enerjinin minimize edilebilmesi için gerekli bazı işletmecilik parametrelerinin ortaya konması açısından son yıllarda üzerinde çalışılan konuların başında gelmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, kulaklı pulluklarda çeki gücü ve çeki kuvveti gibi toprak işlemede traktör performansını doğrudan etkileyen parametrelerin makina ve toprak parametrelerine bağlı olarak modellenebileceği gösterilmiştir (Kepner ve ark.,1978). Bu çalışmada ise örnek bir makina ve ekipman için söz konusu parametrelerin belirlenebilmesine yönelik matematiksel modeller kurulmuş, kurulan model ise bilgisayar destekli tasarımların bir sonucu olarak çözümlenmiştir. Çözümleme tekniğinin yaratıldığı Visual-Basic (Potter ve ark., 1993) tabanlı paket yazılım, her çeşit tarım toprağı için, makine ve çalışma parametrelerine bağlı olarak, her çeşit kulaklı pulluğun çeki kuvveti ve çeki gücüne ilişkin hesaplamaları çok kısa bir sürede yaparak program sonuçlarını bu konuda çalışacaklara bir çıktı ile sunabilecek yetenektedir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmanın materyali ülkemizde üretilen asılır tip 3 gövdeli bir kulaklı pulluktur. Şekil 1.'de kuvvet analizi yapılan bir kulaklı pulluğun temel parçaları görülmektedir. Şekil 1.'de de görüldüğü gibi, üç gövdeli bir pullukta çeşitli toprak koşullarında ve belirli çalışma hızında toprak işleme sırasında özgül toprak direncine bağlı olarak gövdelere etki eden kuvvet, bir gövde için ortalama toprak direnci olarak alınabilmekte ve etki doğrultusunun ise kuvvetin etki noktasına göre çizilen normalden belirli bir açı yapacak şekilde düşünülmektedir. İşte, her bir gövde için, bu kuvvetlerin hareket yönüne kuvvetlerin etki noktasından paralel olarak çizilen referans eksenini ile yapmış olduğu açıya bağlı olarak hesaplanmış bileşenleri ile bu bileşenlerin toplamı, yan çeki ile toplam çeki kuvvetini vermektedir. Yan çeki, kulağın

konkav yapısından kaynaklanan ve pulluğun tarlada dengeli çalışması için dengelenmesi gerekli toplam kuvvet olup, etki doğrultusu hareket yönüne diktir. Bu çalışmada, pulluktaki toplam çeki kuvvetine olan doğrudan etkisi bulunmadığından, yan çekiye ilişkin hesaplamalar göz önünde tutulmamıştır. Ne var ki, toplam çeki kuvvetinin etki doğrultusu, hareket yönüne paralel olduğundan, çeki gücünün hesaplanmasında, yatay kuvvetler dikkate alınmıştır. Pulluğun ağırlığından dolayı toprağa batmasını kolaylaştıran kuvvetler ile toprak direncinin yarattığı kuvvetlerin düşey bileşenleri traktörün bağlantı kollarına gelen yatay ve düşey kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bağlantı noktalarında ki düşey kuvvet bileşenleri çeki kuvveti ve çeki gücü hesabında etkili olmamaktadır. O halde, pulluğun sabit hızda çalışması sırasındaki dinamik denge koşulu göz önünde bulundurularak Şekil 1.'de verilen B noktasına göre moment alındığında;



Şekil 1.

*Asılır tip 3 gövdeli bir kulaklı pullukta toplam çeki kuvvetinin hesaplanabilmesine yönelik temel parametreler.*

$$-F_{u_x} \cdot y_u + W \cdot x_w + P_{y1} \cdot x_1 + P_{y2} \cdot x_2 + P_{y3} \cdot x_3 - P_{x1} \cdot y_p - P_{x2} \cdot y_p - P_{x3} \cdot y_p = 0 \quad (1)$$

eşitliği yazılabilmektedir. Burada gerekli düzenlemeler yapılarak yukarıdaki eşitlik;

$$F_u \cdot y_u \cdot \cos \beta = -y_p (P_1 + P_2 + P_3) \cos \theta + (x_1 P_1 + x_2 P_2 + x_3 P_3) \sin \theta + W \cdot x_w \quad (2)$$

şekline dönüşmektedir. Bu eşitlik aynı zamanda çok gövdeli pulluklar için de düzenlenerek yazılabilir. Gövde sayısı n olarak alındığında üst bağlantı koluna gelen kuvvet  $F_u$  şu eşitlikle bulunur:

$$F_u = \frac{-y_p \cos \theta}{y_u \cos \beta} + \frac{\sin \theta}{y_u \cos \beta} \sum_{m=1}^n x_m P_m + \frac{W \cdot x_w}{y_u \cos \beta} \quad (3)$$

Eşitlikte,  $F_u$ , üst bağlantı koluna gelen kuvvet (kg),  $y_p$ , her bir gövde için toprak işleme sırasında pulluk kulağına gelen kuvvetlerin yatay bileşenlerinin alt bağlantı koluna olan dik uzaklığı (m),  $y_u$  ise alt bağlantı kolu ile üst bağlantı kolu arasındaki metre olarak dik uzaklıktır. Eşitliklerde ayrıca,  $\theta$  pulluk kulağına gelen kuvvetlerin yatay eksenle yaptığı açı ( $^\circ$ ),  $\beta$  üst bağlantı koluna gelen kuvvetin yatayla yaptığı açı ( $^\circ$ ),  $P_m$  çalışma anında pulluk gövdesine gelen toprak direnci kuvveti (kg),  $x_m$  gövdelerdeki toprak direncini oluşturan kuvvetlerinin etki noktalarının üst ve alt bağlantı kollarından olan yatay uzaklıkları (cm),  $W$  pulluğun, gövdeler ve çatısı ile birlikte olan toplam ağırlığı (kg),  $x_w$  ise ağırlık merkezinin üst ve alt bağlantı kollarından olan yatay uzaklığı (cm) olarak belirtilmektedir.

Aynı şekilde, A noktasına göre moment alındığında ve pulluğun sabit hızla çalışması sırasındaki dinamik denge koşuluna göre aşağıdaki eşitlik yazılabilmektedir:

$$y_u \cdot Fa_x + W \cdot x_w + Py_1 \cdot x_1 + Py_2 \cdot x_2 + Py_3 \cdot x_3 - Px_1(y_u + y_p) - Px_2(y_u + y_p) - Px_3(y_u + y_p) = 0 \quad (4)$$

Burada gerekli düzenlemeler yapılarak (4) numaralı eşitlik;

$$y_u \cdot Fa \cdot \cos \delta = (y_u + y_p)(P_1 + P_2 + P_3) \cos \theta - (x_1 P_1 + x_2 P_2 + x_3 P_3) \sin \theta - W \cdot x_w \quad (5)$$

haline dönmemektedir. Bu eşitlik aynı zamanda çok gövdeli pulluklar için de düzenlenerek yazılabilir. Gövde sayısı  $n$  olarak alındığında alt bağlantı koluna gelen kuvvet  $F_a$  şu eşitlikle bulunur:

$$F_a = \frac{(y_u + y_p) \cos \theta}{y_u \cos \delta} \sum_{m=1}^n P_m - \frac{\sin \theta}{y_u \cos \delta} \sum_{m=1}^n x_m P_m - \frac{W \cdot x_w}{y_u \cos \theta} \quad (6)$$

Eşitlikte,  $F_a$ , alt bağlantı kollarına gelen ve kg cinsinden kuvvetin değeridir. Eşitliklerde ayrıca,  $\delta$  alt bağlantı koluna gelen kuvvetin yatayla yaptığı açının derece olarak büyüklüğüdür. Üst bağlantı kolunun tek, alt bağlantı kolunun ise sağ ve sol bağlantı kolu olmak üzere iki adet olduğu düşünülürse, yatay yöndeki toplam çeki kuvveti,

$$P_T = 2F_a x + F_u x = 2F_a \cos \delta + F_u \cos \beta \quad (7)$$

denklemleri ile hesaplanabilmektedir. Burada  $P_T$  toplam çeki kuvveti olup, üç nokta bağlantı düzeninde üst ve alt kollara gelen ve hareket yönüne paralel etki doğrultusu olan kuvvetlerin dinamik denge koşuluna göre belirlenmiş halidir. Ne var ki, burada önemli bir varsayım olarak, asılır tip kulaklı pulluklarda, gövdelerdeki kulakların sahip olduğu geometrik yapı nedeniyle dengeli bir çalışma için bütün bağlantı kollarına gelen yatay kuvvetin aynı yönde olduğu düşünülmüştür. Eşitlik (3) ve Eşitlik (6), (7) numaralı denklemlerde yerine konduğunda ve gerekli kısaltmalar yapılarak aşağıdaki genel çeki denklemi yazılabilir:

$$P_T = \left( 2\cos\theta + \frac{y_p}{y_u} \right) \sum_{m=1}^n P_m - \left( \frac{\sin\theta}{y_u} \right) \sum_{m=1}^n x_m P_m - \left( \frac{W_{xw}}{y_u \cos\theta} \right) (\cos\theta + 2\cos\delta) \quad (8)$$

Verilen bu denklem çok gövdeli bir kulaklı pulluk için analitik olarak saptanan genel çeki denklemdir. Denklemde  $n$  gövde sayısı olup, en fazla 8'e kadar çıkabilmektedir. Uygulamada çok büyük güçlü traktörlerin çektiği 8'den fazla gövde sayısına sahip kulaklı pulluklar da kullanılmaktadır. Ne var ki, gövde sayısının artması pulluk boyunu artıracığından, traktörü şahlandırmaya etkiyi de beraberinde getirmektedir. Bunun önüne geçebilmek için, çok gövdeli pulluklar, çekilir tip olarak yapılmaktadır ve pullukta son gövdenin arka kısmına ise çizi ve destek tekeri konulmaktadır.

Literatür çalışmalarında bir kulaklı pulluğun tek bir gövdesi için toprakta çalışması sırasında çalışma hızına, iş derinliğine ve iş genişliğine bağlı olarak gereksinim duyduğu çeki kuvveti Gorjatschkin çeki direnci olarak bilinir (Dilmaç, 1984; Gökçebay, 1986) ve şu formülle tanımlanır:

$$P_g = \rho W_g + abk + \eta abv^2 \quad (9)$$

O halde  $n$  gövdeli bir pulluk için bu denklem;

$$P_n = \rho W_g \sum_{m=1}^n m + abk \sum_{m=1}^n m + \eta abv^2 \sum_{m=1}^n m \quad (10)$$

biçimine dönüşmektedir. Eşitliklerde,  $P_g$  tek gövdenin yaratabileceği çeki kuvveti (kg),  $v$  çalışma hızı (m/s),  $a$  iş derinliği (m),  $b$  tek gövdenin iş genişliği (m),  $W_g$  tek gövdenin ağırlığı (kg),  $k$  statik direnç katsayısı (kg/m<sup>2</sup>),  $\rho$  yuvarlanma direnci katsayısı, ve  $\eta$  ise dinamik direnç katsayısıdır. Denklemde yer alan yuvarlanma direnci katsayısı 0.3-0.4 arasında değişmektedir.

Statik direnç katsayısı ise, çoğu kaynaklarda özgül toprak direnci olarak tanımlanmaktadır. Özgül toprak direnci ise, toprak yapısına bağlı olarak değişen bir parametredir. Hafif yapıdaki kumca zengin topraklar için bu değer 2000-3000 kg/m<sup>2</sup> iken, toprak yapısı ağırlaştıkça 6000-7000 kg/m<sup>2</sup> değerine kadar çıkabilmektedir. Yine aynı eşitlikte, dinamik direnç katsayısı, toprak cinsine az oranda ancak kulak tipine ise büyük oranda bağlı olarak saptanmış bir değerdir. Dinamik direnç katsayısı hafif topraklarda yaklaşık 250 kgs<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> iken, ağır topraklara doğru gidildikçe 400 kgs<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> değerine kadar çıkmaktadır (Dilmaç, 1984). Yapılan çalışmalar, dinamik direnç katsayısının, toprağın hacim ağırlığına, toprakla pulluk aktif yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısına ve pulluk kulağı ucundaki toprak şeridinin rölatif hızını etkileyen kulak doğrultman açılarına bağlı olarak şu şekilde bulunmuştur:

$$\eta = \frac{\gamma}{g} \left[ 1 - \cos \varphi_z + \mu (\sin \varphi_x + \cos \varphi_y + \cos \varphi_z) \right] \quad (11)$$

Eşitlikte yer alan g yer çekimi ivmesi olup bunun sayısal değeri 9.81 m/s<sup>2</sup>'dir. Eşitlikte, ayrıca,  $\gamma$  toprağın doğal durumdaki hacim ağırlığı (g/cm<sup>3</sup>),  $\mu$  toprak ile pulluk aktif yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı,  $\varphi_x$ ,  $\varphi_y$ ,  $\varphi_z$  ise sırasıyla pulluk kulağına ait aktif yüzey tasarımında kullanılan doğrultman açılarıdır. Doğal durumdaki tarla toprağının hacim ağırlığı, hafif topraklar için yaklaşık olarak 1.2 g/cm<sup>3</sup> değerinden başlar, ve topraktaki kil oranı arttıkça artmaktadır (Okursoy, 1992; Okursoy ve ark.,1997). Kil oranı yüksek olan ağır topraklarda bu değer 2.1 g/cm<sup>3</sup> değerine kadar çıkabilmektedir. Hacim ağırlığı üzerinde, toprak bünyesinin etkisi dışında nem oranı, organik madde miktarı gibi diğer fiziksel parametreler de etkilidir (Okursoy, 1992; Okursoy ve ark.,1997). Toprak ile metal arasındaki sürtünme katsayısı, metal yüzeyinin düzgünlüğüne bağlıdır. Genel bir tanımlama ile bu değer, ortalama 30°'lik sürtünme açısının tanjantı ile belirtilmektedir. Eşitliklerde belirlenen kulak doğrultman açıları ise pulluk kulağının geometrik özellikleri ile ilgili açısal tasarım parametreleri olup bu değerler 20° ile 45° arasında değişmektedir. Kulak doğrultman açıları pulluk aktif yüzeyinin tasarlanması sırasında tasarımcı tarafından belirlenmektedir. Bu değerlerin belirlenmesinde ise pulluğun ne çeşit bir toprak koşulunda (hafif, orta, ağır) çalışacağı göz önünde bulundurulmaktadır.

Denklem (10), (8) numaralı eşitlikte yerine konduğunda, asılır tip ve çok gövdeli bir kulaklı pulluğun belirli bir çalışma hızında, toprak yapısına ve diğer çalışma koşullarına bağlı olarak gereksinim duyduğu çeki kuvvetine (P<sub>T</sub>) ilişkin genel denklem ortaya konabilmektedir. Dolayısı ile oldukça uzun olan bu eşitlik, iki satır halinde, olarak tanımlanabilmektedir. Sonuç olarak,



denklem (12)'de elde edilen sonuçtan hareketle, n gövdeli bir pulluğun çeşitli toprak koşullarında v hızıyla çalışması durumunda gereksinim duyduğu traktörün motor gücü şu eşitlikle belirlenmektedir:

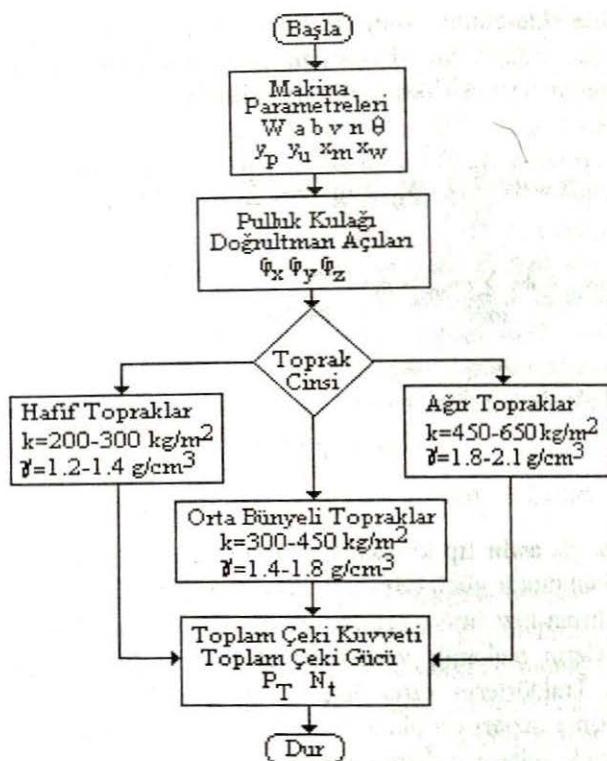
$$P_T = \left( 2\cos\theta + \frac{y_p}{y_u} \right) \left( \rho W_g \sum_{m=1}^n m + abk \sum_{m=1}^n m + \eta_{abv}^2 \sum_{m=1}^n m \right) \quad (12)$$

$$- \frac{\sin\theta}{y_u} \left( \rho W \sum_{m=1}^n mx_m + abk \sum_{m=1}^n mx_m + \eta_{abv}^2 \sum_{m=1}^n mx_m \right) - \left( \frac{W_{xw}}{y_u \cos\theta} \right) (\cos\theta + 2\cos\delta)$$

$$N_t = \frac{P_T \cdot v}{75 \eta_m} \quad (13)$$

Burada,  $N_t$ , asılır tip kulaklı pulluğun çekilebilmesi için gereksinim duyulan traktörün motor gücü (BG), v traktör ve pulluğun çalışma sırasındaki ortalama çalışma hızı (m/s),  $\eta_m$  ise traktör motoruna ilişkin mekanik verimdir. Traktörlerin mekanik verimi ortalama olarak %60-%90 arasında değişmektedir. Traktörlerin tarla koşullarında kulaklı pulluklarla toprak işlemedeki çalışma hızları oldukça düşüktür. Çalışma hızları, tarla toprağının sahip olduğu koşullara, çalışma derinliğine ve toprak işlemede kullanılan pulluğun büyüklüğüne bağlı olarak en fazla 3 m/s değerine kadar çıkabilmektedir (Keskin ve ark., 1984).

Bir kulaklı pulluğun çeki ve güç performansına ilişkin belirlenen matematik model bilgisayarda Visual-Basic paket programı ve bu programa ait programlama kodları kullanılarak çözümlenebilmektedir (Potter ve ark., 1993). Şekil 2.'de kulaklı pulluklar için geliştirilen modeli çözmeye yönelik olarak hazırlanan bilgisayar programının bilgi akış diyagramı verilmiştir. Burada, program çalıştırdıktan sonra yapılacak ilk işlem program girdilerini yüklemektir. Bu girdilerin çoğu makine parametrelerinden oluşmaktadır. Gövde sayısı, pulluğun toplam ağırlığı, iş derinliği ve iş genişliği, çalışma hızı, üst bağlantı ve alt bağlantı kollarına ilişkin ölçüler, ağırlık merkezi yeri ve bağlantı kollarına olan uzaklıkları gibi temel parametreler, başlangıçta programa yüklenmesi gereken değerlerdir. Program ikinci aşamada, kullanıcıyı toprak yapısına ilişkin seçime zorlayarak, toprağın hacim ağırlığı, toprak cinsi ve özgül toprak direnci gibi değerlerin doğru sınırlarında yüklenmesini sağlamaktadır. Değerlerin seçiminde yapılması olası hataların önüne geçebilmek için kullanıcıyı uyarmaya yönelik hata mesajlarının görüntülediği pencereler yer almaktadır. Sonuçlar ise yine bir pencere içerisinde görüntülenerek kullanıcıya sunulmaktadır.



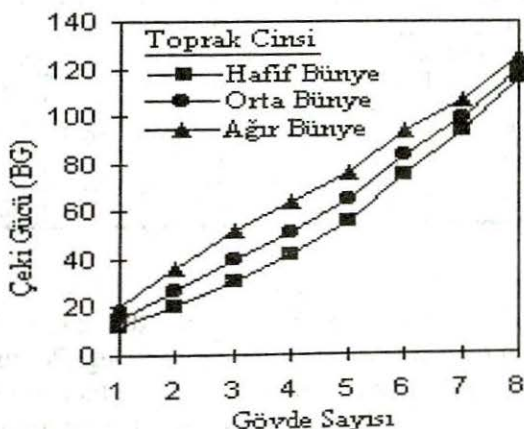
Şekil 2.

*Kulaklı pulluklarda çeki performansına ilişkin parametreleri belirleyen bilgisayar programının bilgi akış diyagramı.*

## TARTIŞMA ve SONUÇ

Geliştirilen matematik modele dayalı olarak hazırlanan bilgisayar programı çeşitli toprak koşulları için gövde yapısına, kulak açlarına, iş genişliği ve iş derinliğine, ortalama çalışma hızına ve yukarıda detaylı bir şekilde açıklanan pulluğun diğer birçok özelliğine bağlı olarak bir kulaklı pulluğun çalışmadaki çeki performansına ilişkin değerleri hassas bir şekilde hesaplamaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen program çıktılarında da görüldüğü gibi, belirli bir çalışma hızı için ve iş genişliği ile iş derinliğinin aynı olması durumunda kulaklı pulluklarda gövde sayısı arttıkça gereksinim duyulan çeki gücü artmaktadır. Şekil 3.'de görüldüğü gibi, çalışma hızı sabit tutulduğundan çeki gücündeki artış hızı oransal olarak topraktan toprağa değişmediği ancak çeki gücündeki sayısal değerlerin büyük-

lük olarak önemli bir değişiklik gösterdiği söylenebilmektedir. Diğer yandan çeki gücü gereksinimine ilişkin kurulan matematik modelde, pulluğun geometrik ölçüleri ağırlığı ve kulak yapısının özellikleri ve açıları önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Belirtilen bu değerlerdeki değişim, programda gerekli olan girdi parametrelerinde yapılan değişikliklerle izlenebilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, iş derinliğinin artması, gövde sayısındaki artışta olduğu gibi, her toprak çeşidi için gereksinim duyulan çeki gücü değerlerini hızlı bir şekilde artırmakta, yine bu artış, oransal olarak her bir toprak çeşidi içerisinde fazlaca bir değişim göstermemektedir. Hesaplanan parametrelerdeki bu değişimler, sadece belirli ve ortalama olarak seçilmiş çalışma hızında geçerlidir. Oysa, hızdaki değişim göz önünde bulundurulduğunda, her toprak koşulu için aynı özelliklerdeki pullukla aynı çalışma derinliğinde çalışılması durumunda çeki performansını belirleyen değerlerde, artan hızlarla birlikte, başlangıçta yavaş, daha sonra ise çok hızlı artışların olduğu belirlenmiştir. Hafif bünyeli topraktan ağır bünyeli toprağa doğru gidildikçe ise, diğer parametrelerin etkisi gibi çalışma hızının çeki performansına olan etkisi, her toprak çeşidi için artan büyüklüklerde olduğu saptanmıştır. Yine aynı şekilde kulak doğrultman açılarının çeki performansına olan etkilerinin belirlenmesinde geliştirilen paket yazılım kullanılabilir. Ağır topraklarda, toprağın kesilmesi, kabartılması ve özellikle devrilmesi özelliği yaratan kulak doğrultman açılarının diğer topraklar için tasarlanan pulluk kulaklarına göre yüksek seçilmesiyle çeki gücüne ilişkin gereksinimin arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışa ayrıca, toprağın hacim ağırlığının etkisi oldukça büyüktür. Çizelge I.'de, bir kulaklı pulluk için 2 m/s çalışma hızında çeşitli toprak koşullarında çalışması durumunda hesaplan-



Şekil 3.

*Kulaklı pulluklarda gövde sayısına bağlı olarak gereksinim duyulan çeki gücü değerlerinin değişimi.*

muş çeki kuvveti, çeki gücü gereksinimi ile, söz konusu koşullarda pulluğu çekebilecek traktörün motor gücünün en az ne olması gerektiğine ilişkin hesaplamaların sonuçları verilmiştir. Buradaki hesaplamalarda, toprağın hacim ağırlığı olan  $\gamma$  değeri sırasıyla, hafif topraklar için  $1.3 \text{ g/cm}^3$ , orta bünyeli topraklar için  $1.6 \text{ g/cm}^3$  ve ağır toprak koşulları için ise  $2 \text{ g/cm}^3$  alınmıştır. Aynı şekilde, özgül toprak direnci,  $k$ , hafif bünyeli orta bünyeli ve ağır bünyeli topraklar için sırasıyla 25, 42, ve  $65 \text{ kg/dm}^2$  olarak alınmıştır.

### Çizelge I.

#### Kulaklı pulluklarda hesaplanan çeki kuvveti ve çeki gücü değerleri.

Toprak Yapısı: Hafif Bünyeli Toprak ( $\gamma=1.3 \text{ g/cm}^3$ ) $v=2 \text{ m/s}$ , $\phi_x=\phi_y=\phi_z=25^\circ$ , $\rho=\delta=25^\circ$ , $k=25 \text{ kg/dm}^2$ ve $a=15 \text{ cm}$ , $b=20 \text{ cm}$								
Kulaklı Pulluk Modelinde Hesaplanan Parametreler	Gövde Sayısı							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pulluğun Toplam Ağırlığı (kg)	50	75	100	150	200	250	300	350
Toplam Çeki kuvveti (kg)	425	770	1161	1570	2100	2793	3506	4364
Toplam Çeki Gücü (BG)	11.3	20.5	31.0	41.8	56.0	74.5	93.5	113.6
Traktör Motor Gücü (BG)	16.2	29.3	44.2	59.8	80.0	106.4	133.6	166.3
Toprak Yapısı: Orta Bünyeli Toprak ( $\gamma=1.6 \text{ g/cm}^3$ ) $v=2 \text{ m/s}$ , $\phi_x=\phi_y=\phi_z=25^\circ$ , $\rho=\delta=25^\circ$ , $k=42 \text{ kg/dm}^2$ ve $a=15 \text{ cm}$ , $b=20 \text{ cm}$								
Pulluğun Toplam Ağırlığı (kg)	50	75	100	150	200	250	300	350
Toplam Çeki kuvveti (kg)	563	1026	1502	1928	2428	3099	3729	4503
Toplam Çeki Gücü (BG)	15.0	27.3	40.0	51.4	64.7	82.6	99.4	120.1
Traktör Motor Gücü (BG)	21.4	39.1	57.2	73.4	92.5	118.0	142.0	171.5
Toprak Yapısı: Ağır Bünyeli Toprak ( $\gamma=2.0 \text{ g/cm}^3$ ) $v=2 \text{ m/s}$ , $\phi_x=\phi_y=\phi_z=25^\circ$ , $\rho=\delta=25^\circ$ , $k=65 \text{ kg/dm}^2$ ve $a=15 \text{ cm}$ , $b=20 \text{ cm}$								
Pulluğun Toplam Ağırlığı (kg)	50	75	100	150	200	250	300	350
Toplam Çeki kuvveti (kg)	745	1365	1953	2402	2861	3504	4022	4686
Toplam Çeki Gücü (BG)	19.8	36.4	52.1	64	76.3	94.4	107.3	125.0
Traktör Motor Gücü (BG)	28.4	52.0	74.4	91.5	109.0	133.5	153.2	178.5

Sonuç olarak, kulaklı pulluklarda, pulluk aktif yüzeyi ile toprak arasında oluşan etkileşimin karmaşıklığı, son yıllarda araştırmacıların bu yönde çalışmalarına neden olmuştur. Kulaklı pullukların değişik toprak koşullarındaki çeki performansını etkileyen parametrelerin ve bunların etki derecelerinin kolayca belirlenebildiği paket yazılım, gerek araştırmacılar, gerekse de kulaklı pulluk üretiminde bulunan sanayi kesimi için kullanışlı bir araç olabilecektir.

- Dilmaç, M. 1984. Toprak İşleme Aletlerinin Teori-Hesap ve Konstrüksiyonu. Türkiye Ziraat Donatım Kurumu Mesleki Yayınları. Yayın No:36. Miki matbaası. Ankara.
- Gökçebay, B. 1986. Tarım Makinaları I. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No: 979. Ankara.
- Kepner, B.A., Bainer, ve R.,Barger, E.L. 1978. Principles of Farm Machinery. 3<sup>rd</sup> Edition. Avi Publication Company. Wesport, Connecticut. USA.
- Keskin, R., ve Erdoğan, D. 1984. Tarımsal Mekanizasyon. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No: 927. Ankara.
- Okursoy, R. 1992. Toprak İşleme Aletlerinin Dizaynında Toprak Parametreleri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarımsal Mekanizasyon 14. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı., Sayfa: 20-27. Samsun.
- Okursoy,R., Yüksel, G., ve Tekin, Y.1997. Development of a Soil Compaction Model Using the Soil Moisture Content and the Soil bulk Density. 4<sup>th</sup> Con. SGGW. June 23-25. Warsaw, Poland.
- Potter, B., Maxwell, T., ve Scott, B. 1993. Visual Basic Super Bible. 2<sup>nd</sup> Edition. The waite Group Press. Corte Madera, California, USA.