



Araştırma Makalesi / Research Article
**STRUCTURAL ANALYSIS OF ELEMENTS OF TWO-BOTTOM
MOULDBOARD PLOUGH**

K. Turgut GÜRSEL*, E. Yalaz KÖFTECİOĞLU

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bornova-İZMİR

Geliş/Received: 17.03.2005 Kabul/Accepted: 15.06.2006

ABSTRACT

At a hinged mouldboard plough that operates coupled to three point hitch system of tractor, the beam, mouldboard and share especially are subjected to large loads in variable soil conditions and operating speeds depending on tractive power. Hence, in production of mouldboard ploughs, it is of great significance to analyse these elements according to structural strength. So, the weight and production costs of ploughs are reduced by optimal design of these elements with determined mechanical properties. In working with a lighter plough, need for engine power of tractor decreases.

In this study, the tractive force acting on a hinged mouldboard plough to be produced is determined according to values given in literature. The beam, mouldboard and share elements of the plough were modelled with "Mechanical Desktop 6" and they were analysed structurally by "ANSYS 6.1". Finally, dimensions and mechanical properties of the elements to be produced were determined and the necessary constructive precautions against system failure were taken.

Keywords: Plough, beam, mouldboard, share, finite element analysis.

İKİ SOKLU KULAKLI PULLUK ELEMANLARININ YAPISAL ANALİZİ

ÖZET

Traktörün üç nokta askı sistemine bağlı olarak çalışan asılır tip bir kulaklı pullukta, özellikle ok, kulak ve pulluk uç demiri (bıçak), değişik toprak koşullarında ve değişik çalışma hızlarında çeki kuvvetine bağlı olarak farklı ve çok büyük yüklerle yüklenir. Dolayısıyla bu elemanların mukavemet açısından incelenmesi, pulluk imalatı açısından son derece önemlidir. Mukavemet değerleri bilinen ok, kulak ve pulluk uç demiri ile optimum bir tasarım yapılarak, pulluğun ağırlığı ve imalat maliyeti düşürülür; ağırlığı daha az olan bir pulluk ile çalışmak, güç ihtiyacını da azaltır.

Bu araştırmada, üretimi planlanan asılır tip kulaklı bir pulluğa uygulanacak toplam çeki kuvveti, literatür değerlerine dayanarak hesaplanmıştır. Elemanların modellenmesinde "Mechanical Desktop 6" yazılımından yararlanılmış ve sonlu elemanlar çözümünde ise "ANSYS 6.1" kullanılarak kulaklı pulluğa ait ok, kulak ve pulluk uç demiri organlarının mukavemet analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak, üretilecek elemanların boyutları ve mukavemet değerleri belirlenerek gereken konstrüktif önlemler alınmıştır.

Anahtar Sözcükler: Pulluk, ok, kulak, pulluk uç demiri, sonlu elemanlar analizi.

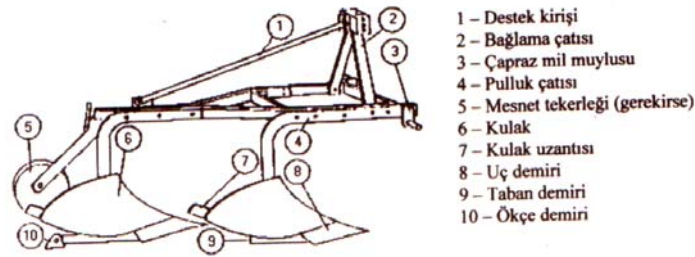
* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: turgut.gursel@ege.edu.tr, tel: (0232) 388 85 62

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı, dizayn edilen iki soklu kulaklı pulluğa ait elemanların boyut kontrolünü yaparak, seçilen boyutların yeterliliğine karar verilmesini sağlamak ve böylelikle üretim aşamasına geçilmesini hızlandırmaktır. Bu nedenle, kulaklı pulluklar ve elemanları hakkında kısa bilgi verilmiş, daha sonra nispeten karmaşık geometriye sahip elemanların yapısal analizi ele alınmıştır.

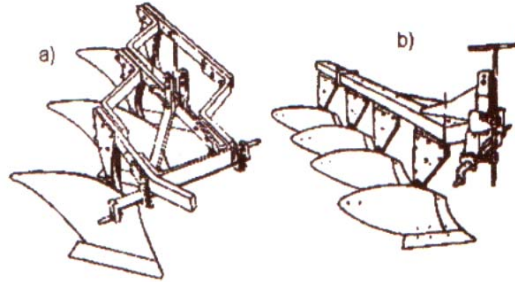
1.1. Kulaklı Pulluk Tipleri

Pulluk, toprak işleminin en önemli ve temel aracıdır. Birden çok pulluk gövdesine sahip bir pulluk, istenen iş kalitesini sağlayabilmesi için Şekil 1’de görüldüğü gibi birçok yardımcı elemandan oluşur. Genel olarak pullukta aranan özellikler şunlardır: Toprak devirme işi tüm gövdelerde aynı etki ve kalitede olmalı, çiziler birbirini kaplamalı, pulluk hemen toprağa dalabilmeli ve topraktan kısa sürede çıkabilmeli, çizide tutunması ve stabilitesi düzgün ve iyi olmalı, derinlik ve genişlik mümkün olduğunca korunabilmeli, tarla başı ve sonunda dönme ve yeni bir çiziyeye girme mesafesi kısa olmalıdır.



Şekil 1. Kulaklı asma tip pulluğun yapı elemanları [1]

Toprak işleminin standart aleti olan kulaklı pulluk, yoğun araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda bugün traktöre uygun bir mekanizma haline getirilmiştir. Gövde sayısı, gövdeler arası açıklık, ağırlık gibi faktörlere bağlı olarak traktörün arkasında/önünde üç nokta bağlantı düzenine bağlanmışsa *asma pulluk*, sadece alt bağlantı kollarına bağlanıp uzaktan hidrolik kumandalı bir istinat tekerleği tarafından taşınıyorsa *yarı asma pulluk* veya traktörün çeki kancasına, pulluğun çeki oku bağlanarak tarlada çekiliyorsa *çekilir pulluk* adını almaktadır. Tahtavari (evlekvari) sürme veya düz sürme yöntemine uygun olarak pulluklar, *tahtavari sürme yapan pulluklar* veya *döner pulluklar* şeklinde farklı yapı tarzına sahip olabilirler. Tahtavari sürme yapan pulluklar ucuz, basit ve hafif olmaları nedeniyle bugün dünyada en çok kullanılan pulluk tipidir [1-4].



Şekil 2. Pulluk çatıları: a) Çerçeve çatı, b) Kiriş çatı [2]

1.2. Kulaklı Pulluk Elemanları

Günümüzde, hem kullanıcı, hem de üretici açısından ekonomik nedenlerle pulluk yapı grupları ve elemanları artık standartlaştırılmıştır. Kulaklı bir pulluğun ana yapı grupları; çatı, işleyici organlardan oluşan pulluk gövdesi, etki eden kuvvetlerin mesnetlenmesini sağlayan elemanlar, ayar ve emniyet düzenleri ile traktöre ve başka aletlere bağlanma düzenleridir. Şekil 1 ve 2’de yaygın olarak kullanılan kulaklı asma bir pulluğun yapı grup ve elemanları görülmektedir.

1.2.1. Pulluk Gövdesi

Gövdeye bağlı uç demiri, çizi duvarı ile belirli bir açı oluşturan keskin kenarı aracılığıyla toprak şeritini “*t*” iş derinliğinde yatay düzlemde keser ve kama şeklindeki konumu sayesinde onu kaldırır ve kulak üzerine iter (Şekil 1 ve 2). Uç demiri ve kulağın toprağın çığ kısmı ile temas eden kenarları (kulak çığ kenarı), “*b*” iş genişliğindeki toprak şeritini çizi duvarından ayırır. Keski demiri veya ön gövdecik bulunuyorsa, bu işi bunlar yapar. Uç demiri ve kulağın oluşturduğu geometrik yüzeyde toprak şeriti kaldırılır, döndürülür ve yana devrilir. Kulak uzantısı yana devrilmeye yardımcı olur. Genelde pulluk kulakları 6-10 mm kalınlıktaki çelikten imal edilirler.

Pulluk oku pulluk çatısına, çelik saç veya çelik dökümden imal edilen payanda da oka cıvatalarla bağlanmaktadır. Uç demiri, kulağa, taban demiri ise payandaya havşa başlı cıvatalarla tespit edilmektedir. Taban demiri, gövdenin çizi duvarına tutunmasını sağlar. Çok gövdeli pulluklarda, sadece son gövdede ökçe demiri uzun bir taban demirine bağlanmıştır (Şekil 1).

1.2.2. Pulluk Uç Demiri

Uç demiri, değişik kenar açılarına sahip eğik bir kama formundadır (Şekil 1 ve 2). Bu eleman, toprak şeritini yatay düzlemde keser, onu topraktan ayırır ve kulağa sevkeder. Bu nedenle, uç demiri pulluğun en fazla zorlanan ve aşınan elemanı olduğu için, malzemesinin sünek olduğu kadar aşınmaya karşı dayanıklı, yani sert yüzeyli olması gerekir. Özellikle Avrupa ülkelerinde çok kullanılan normal (trapez) uç demiri, aşındığında tekrar yayılarak tamir edilmesi amacıyla, arka yüzey burun kısmında malzeme yığına sahiptir [5]. Burunlu uç demirinde, toprağı yaran uç kısım burun şeklinde yapılmıştır, böylece uç demirinin aşınma süresi uzatılmıştır. Ülkemizde çok yaygın olarak kullanılanlar, destekli ve burunlu uç demiridir. Uç demirine kaynakla eklenen destek, uç demirini taşlara çarpmalardan koruduğu gibi pulluğun kararlılığını da artırır. Kamalı uç demiri ağır, sert ve taşlı topraklarda daha emniyetli bir çalışma sağlar. Pulluk uç demirinin aşınması, malzeme kaybının yanısıra zaman kaybına da sebep olmakta ve bu arada yapılan işin kalitesi de bozulmaktadır. Keskin kenarının ve burun kısmının aşınma sonucu gerilemesi, pulluğun toprağa batma ve tutunma yeteneğine olumsuz yönde etki eder.

1.2.3. Pulluk Çatısı ve Oku

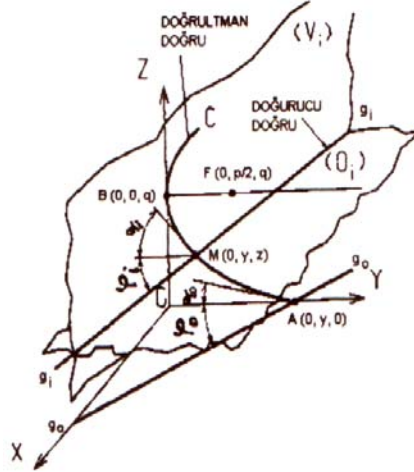
Pulluk çatısı; ok, kulak, ön gövdecik ve disk gibi elemanları taşır. Ayrıca asma araçlarda bağlama çatısı da pulluk çatısına bağlanmaktadır. Pulluk çatısı, çerçeve çatı veya giriş çatı şeklinde imal edilmektedir (Şekil 2a ve 2b). Çerçeve çatıda yassı malzeme kullanılır ve her gövdenin çeki oku (deve boynu giriş) cıvatalarla buna bağlanır.

Dikdörtgen kesitli, valslenmiş, yassı malzemededen, sıcak şekil verilerek imal edilen pulluk okunun eğilmiş bölgesinde ek gerilmeler görülür. Düz girişlerin eğilme zorlanmasında, kesitteki gerilme dağılışı lineer olmasına karşın, eğilmiş kesitlerde gerilme dağılışı hiperboliktir ve tarafsız eksen artık ağırlık merkezi ile çakışmayıp alt kenara doğru kaymakta ve en büyük gerilme alt kenarda görülmektedir. İç ve dış kenar gerilmeleri arasındaki fark, R eğrilik yarıçapının H giriş yüksekliğine oranına (R/H) bağlıdır. R/H oranı küçüldükçe kenar gerilmeleri arasındaki fark artmaktadır [6]. Fazla eğilmiş kesitlerde, tarafsız eksene göre simetrik olmayan

çift T-kesit kullanılması daha uygundur; çünkü böyle bir kesitte ağırlık merkezi eksenini, tarafsız eksene daha yakındır ve bu sayede kenarlardaki gerilme farkları oldukça azaltılmaktadır.

1.3. Kulak Yüzey Geometrisi

Genel olarak, silindir, silindroid, hiperboloid ve helis yüzeyleri bir kulak yüzeyi olabilir. En yaygın olan silindroid yüzeydir [1]. Bir pulluğun silindroid yüzeyini oluşturmada önce YOZ düzleminde bir C doğrultman eğrisi dikkate alınır (Şekil 3). “g-g” Doğrultucu doğrusunun C doğrultman eğrisine yaslanarak hareketi sonucu silindroid yüzey oluşmaktadır. Bu eğri, toprak, kulak yüzeyi üzerinde kolayca yükselebilecek ve bu yükselme esnasında parçalanacak şekilde seçilir. Değişen eğriliğe sahip olan bir parabol bu öngörülen fonksiyonları yerine getirebilir [3,7].



Şekil 3. Pulluk yüzeyi oluşum yöntemi [1]

1.4. İmalat ve Bakım

Uç demirinin burun kısmı ve keskin kenarı ile kulak çığ kenarı, taban ve ökçe demiri toprakla sürekli etkileşim halindedir ve aşırı yüklerle zorlanırlar. Bunun sonucu toprağı işleyen bu elemanlarda büyük aşınmalar ve hatta çatlaklar görülür. Bu nedenle elemanların üretiminde malzeme seçimi, şekil verme ve uygulanacak ısı işlemler büyük önem kazanmaktadır. Çünkü yüzey özellikleri (sertlik, sürtünme katsayısı) ve mukavemet (süneklik ve kırılma mukavemeti) arasında uygun bir çözüm bulunması gerekmektedir. Ayrıca, uç demiri ucu ve kulak göğüs kısmı, değiştirilebilir parçalar olarak imal edilmektedir [1, 3, 7, 8].

Kuvvetleri karşılamak, kayma gerilmelerini ve aşınmayı mümkün olan ölçekte küçük tutabilmek amacıyla, pulluk kulağı özel malzemeden imal edilir. Günümüzde, üç katlı çelik bu amaca uygun bir malzemedir. Üç katlı çeliğin dış katları sert (50-60 HRC), iç katı ise sünekler. Dış katların karbon miktarı yüksek olmasına karşın (% 0,6-1,0), orta kat sertleşmeyen yumuşak çeliktir (% 0,15 C). Yumuşak çelik, yüksek karbonlu dış katların suda veya yağda sertleştirilmesi esnasında oluşan büyük sertlik ve çekme gerilmelerini dengelemektedir ve böylece, üç katlı malzemeye süneklik kazandırmakta, bu da darbeli zorlanmalarda kırılmayı önlemektedir. (Düşük karbon ihtiva eden çeliklerin sementasyon yoluyla, üst tabakasının karbonca zenginleştirildiği ve böylece üç katlı çelikte olduğu gibi yalnızca üst tabakanın sertleştirildiği çelikler de kullanılmaktadır.) Son yıllarda hem yağda, hem de suda sertleşmesi bakımından büyük kolaylık

sağlayan borçeliğinin kulak yapımında kullanılması gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu çalışma kapsamında üretilecek pulluğun sertleştirilmesinde bu yöntem uygulanacaktır.

Pulluk uç demirlerinin, toprakta çalışma esnasında maruz kaldıkları kuvvetler sabit değerde olmayıp, çok kısa süreler için de olsa çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Çok sert malzemeler, aşınmaya karşı dayanıklı olmalarına karşın, bu tip darbeleri karşılayacak durumda değildir. Darbeye karşı sünek malzeme istenir. Çeliklerde sertlikle darbe dayanımı arasındaki bu ters ilişki, uygun bir çözüme ancak belirli koşullarda olanak sağlar. Pulluk uç demirindeki aşınma dayanımı, öncelikle uç demirinin sertliğine bağlıdır. *Martenzit* bölgede sertlik arttıkça, aşınma lineer bir azalma göstermektedir. Su verilerek, martenzit sertliğe ulaşabilen bir uç demirinin tavlamaıyla yeterli düzeyde kırılma emniyeti sağlanabilir. Malzeme seçimini imalatçıya bırakan 1991 tarihli DIN 11100 standardı, aşınmayı dikkate alarak sertleştirilen uç demirlerinde en az 49 HRC bir sertlik öngörmektedir.

2. PULLUK GÖVDESİNE ETKİYEN YÜKLER

2.1. Pulluk Gövdesinin Taşdığı Maksimum Kuvvet

Sürme sırasında, toprağın pulluk gövdesinde oluşturduğu kuvvet şu bileşenlerden oluşmaktadır:

- Pulluk uç demiri keskin kenarı ve kulak çığ kenarında kesme kuvveti,
- Kaldırma, deformasyon ve ivme kuvvetlerinin kulak yüzeyine etki eden normal bileşenleri,
- Sürtünme kuvvetleri.

Toprağın kulak yüzeyinde oluşturduğu kuvvetleri, verilen herhangi bir noktada bir kuvvet (F_R) ve bir momente (M) indirmek mümkündür. Özel halde, bu nokta uç demirinin ucu olabilir. Kuvvet ve moment vektörleri farklı doğrultulara sahiptirler; ancak dik koordinat sisteminde gerek kuvvet, gerekse moment, eksenler doğrultusunda bileşenlere ayrılabilirler. Bu yöntem, analitik hesaplar için uygundur.

Çeşitli topraklardaki çeki kuvvetlerini saptamak ve böylelikle pulluk mukavemetini belirlemek için, öncelikle özgül toprak direncinin bilinmesi gerekir. Özgül toprak direnci; pulluk için gerekli olan çeki kuvvetinin, aynı anda pulluk gövdesi tarafından kaldırılan toprak şerit kesitine " $t.b$ " oranıdır. Çeşitli toprak tiplerine uygun pulluklar kullanarak, elde edilen yaklaşık " k " değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çeki kuvvetinin, sadece özgül toprak direncine ve işlenen çizi kesitine bağlı olduğu kabul edilerek, F_x 'in Denklem 1 ile hesaplanması mümkündür:

$$k = F_x / tb \quad (1)$$

Çizelge 1. Çeşitli topraklardaki özgül toprak dirençleri [1]

Toprak Çeşitleri	Özgül toprak direnci k [kN/m ²]
Hafif topraklar	20-30
Orta ağır topraklar	40-50
Ağır topraklar	60-80
Çok ağır topraklar	90-150

2.2. Pulluğa Etki Eden Kuvvetlerin Değişimi

i. İş Genişliğinin Etkisi: Pulluk iş genişliği değiştirilecek olursa, yanal kuvvetlerin iş genişliğiyle orantılı olarak değiştiği görülür. Üretilen gövdenin nominal iş genişliği 32 cm'dir.

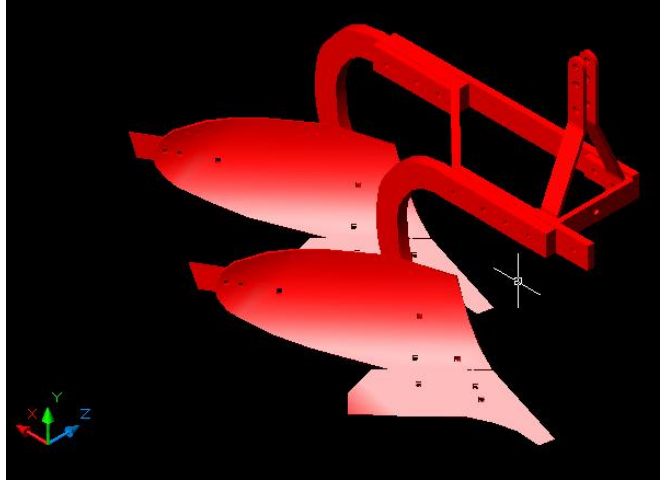
ii. İş Derinliğinin Etkisi: İş derinliğine bağlı olarak yatay kuvvetler üstel artış gösterirken, yanal kuvvetler lineer olarak değişmektedir. Gövdenin iş derinliği 28 cm olarak öngörülmektedir.

iii. Çalışma Hızının Etkisi: Sabit bir iş derinliği ile sürmede, çalışma hızına bağlı olarak yatay, yanal ve düşey kuvvetlerde yaklaşık olarak lineer bir artış saptanmaktadır.

3. MATERYEL VE YÖNTEM

3.1. Kulaklı Pulluk Elemanlarının Analizi

Bu çalışmada, öncelikle materyel olarak analizi yapılacak olan ok, kulak ve uç demirinin katı modelleri “Mechanical Desktop 6” yazılımı ile Şekil 4’deki gibi oluşturularak montajları yapılmıştır [9]. Böylelikle, analiz öncesi hazırlanan modelin hatalara sahip olup olmadığı ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır [10]. Modellerin uygunluğu saptandıktan sonra analiz işlemine geçilmiş ve modellerin yapısal analizi için “ANSYS 6.1” yazılımı kullanılmıştır. Analiz sırasında, modellere uygulanacak yük, Denklem 2 yardımıyla saptanmıştır. Üretilen pulluklar ağırlıklı olarak Ege, Marmara ve Akdeniz Bölgesi’nde kullanılacaktır. Özgül toprak direnci olarak, “çok ağır topraklar” için geçerli olan $k=100 \text{ kN/m}^2$ gibi yüksek bir değer seçilerek, hızdan bağımsız olarak F_x değeri saptanmıştır (Çizelge 1).



Şekil 4. “Mechanical Desktop 6” ile oluşturulan iki soklu pulluk modeli [9]

$$F_x = ktb + \epsilon v^2 \quad (2)$$

$$k = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$b = 0,32 \text{ m}$$

$$t = 0,28 \text{ m}$$

$$\epsilon v^2 \approx 0$$

“Çok ağır toprak” için toprak özgül direnci

İş genişliği

Sürme derinliği

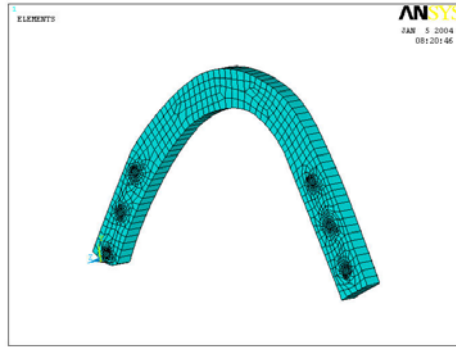
(Pulluğun kullanılacağı “ağır topraklar” için uygulanan $k=70 \text{ kN/m}^2$ ve $\epsilon v^2=2,63 \text{ kN}$ [$v=1,6 \text{ m/s}$] alındığında da aynı değere ulaşılmaktadır.)

Sonuç olarak, analizde kullanılmak üzere, kullanım kolaylığı sağlaması için hızdan bağımsız olarak $F_x = 9 \text{ kN}$ çeki kuvveti elde edilmiştir. Analizde, bu kuvvet, ok ve uç demirine tekil kuvvet olarak, kulağa ise, aynı değer kulağın yüzey alanına ($A = 0,039 \text{ m}^2$) bölünerek, tüm yüzeye etkiyen basınç ($P=230,8 \text{ kN/m}^2$) olarak uygulanmıştır. Burada, kulağa etkiyen dik bileşen olan F_z kuvvetinin kullanılmama nedeni şunlardır: Öncelikle F_z , bileşen kuvvet olduğu için daha küçük bir değere sahiptir. Söz konusu kuvvetler arasındaki açı, kompleks kulak geometrisi nedeniyle değişebilmekte ve ayrıca, ANSYS yazılımı içinde tüm yüzey noktalarına basınç kuvvetinin uygulanmasında önemli güçlükler bulunmaktadır (Şekil 3, 4). İfade edilen zorluklar nedeniyle [11]’deki Araştırma Projesi’ne konu olan kulaklı pulluğun yalnızca çatısının analizi yapılmıştır. Bu nedenlerden dolayı, bileşke değer seçilerek kulağın montaj delikleri çevresindeki

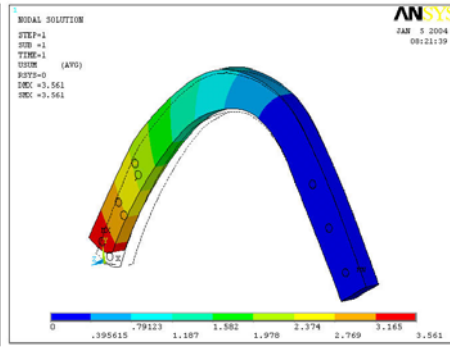
kritik bölgelerde oluşan kayma gerilmeleri de kısmen dikkate alınmış ve ayrıca güvenli bölgede kalınması sağlanmıştır.

3.2. Ok Elemanının Modellenmesi ve Analizi

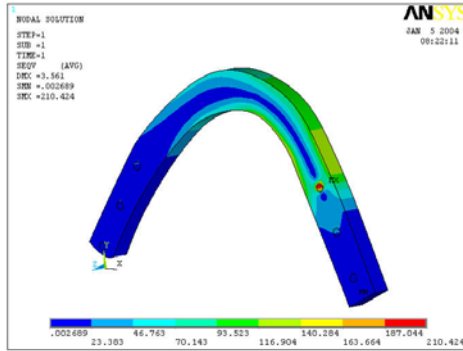
Yapılan analizde, aynı geometriye sahip, 80x40 mm kesitli ve kesiti azaltılmış 75x35 mm boyutlarına sahip ok modellerine 9 kN'luk yük, alt delik düğümlerine eşit olarak dağıtılarak uygulanmıştır. Malzeme özellikleri; 1040 kalitesinde, elastisite modülü $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, $\nu=0,3$ ve emniyet gerilmesi $\sigma_{\text{emniyet}} \cong 540 \text{ MPa}$ olan çeliktir. Model için tanımlanan eleman tipi ise "shell 93"dür. Şekil 5'den de görüldüğü gibi, model çok değişik eğrilik yarıçaplarına sahiptir. Bunların belirlenmesi "point"ler ile sağlanmış ve modelleme gerçekleştirilmiş, daha sonra ağ bölümlenmesi (mesh) işlemi gerçekleştirilerek analizler yapılmıştır (Şekil 6-8) [9, 12]. Şekil 7-8'de elde edilen değerler, malzeme emniyet gerilmesi değerlerinin altında olduğu için, elemanlar güvenlidir. 80x40 mm kesitli ok elemanındaki deformasyon Şekil 6'ya benzer nitelikte, fakat $DMX = 2,771 \text{ mm}$ olarak saptanmıştır. Ayrıca Şekil 8'de görülen gerilme değeri ($\sigma_{\text{max}} = 185 \text{ MPa}$), diğer elemandaki gerilme değerlerinin de ($\sigma_{\text{max}} = 211 \text{ MPa}$ ve $DMX=3,56 \text{ mm}$) altında çıktığından eleman daha güvenlidir. Ancak, bu çalışmada kullanılan yüklem koşullarında 75x35 mm'lik kesitin seçilmesi ekonomik açıdan daha uygundur.



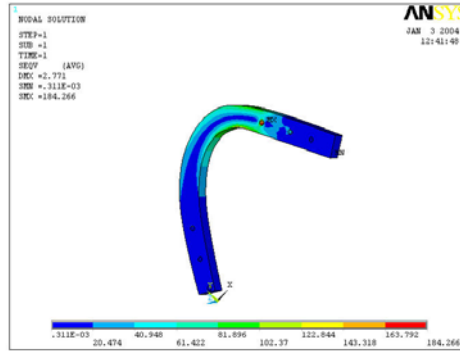
Şekil 5. 75x35 kesitli ok elemanının ağ bölümlenmiş modeli



Şekil 6. 75x35 kesitli ok elemanının yüklem durumundaki deformasyonu



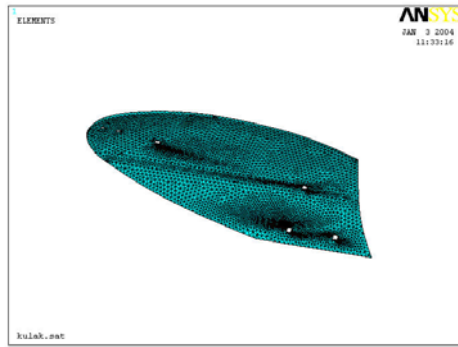
Şekil 7. 75x35 kesitli ok elemanının yüklem durumundaki Von-Mises gerilmeleri



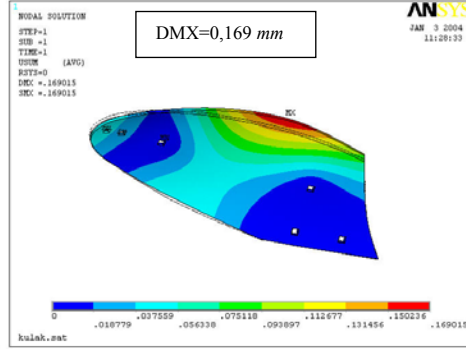
Şekil 8. 80x40 kesitli malzemenin yüklem durumundaki Von-Mises gerilmeleri

3.3. 7 mm Kalınlıktaki Kulak Elemanın Modellemesi ve Analizi

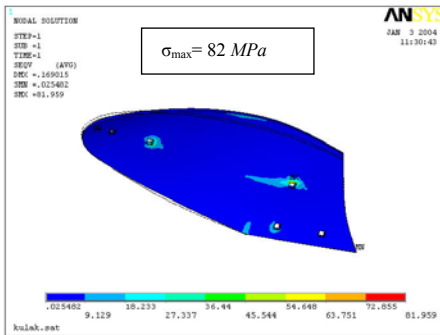
Kulak elemanı, çalışma anında pulluğun toprak yüzeyle ilk ve doğrudan temasını sağlayan parçasıdır. Kulağın ANSYS programında modellenmesi belirli güçlükler içermektedir. Bu sebeple eleman ilk olarak "Mechanical Desktop"ta modellenmiş daha sonra SAT uzantılı dosya olarak ANSYS programına aktarılmıştır. Malzeme olarak borçelik (30 MnB 5) kullanılmaktadır ve özellikleri $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, $\nu = 0,3$ ve emniyet gerilmesi $\sigma_{\text{emniyet}} \cong 640 \text{ MPa}$ olarak kabul edilmiştir. Bu malzeme ısı işlemlere uygundur ve $850 \text{ C}^\circ - 900 \text{ C}^\circ$ 'ye ısıtılarak sulama preslerinde hem şekil hem de sertlik (42-48 HRC) verilir. Model için tanımlanan eleman tipi "plane 82" dir. Modelleme işleminin ardından hacimsel olarak "mesh" işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). Daha sonra eleman üzerine basınç kuvveti uygulanarak çözüme gidilmiştir (Şekil 10-11). Bu elemanın üzerine uygulanan $230,8 \text{ kN/m}^2$ lık basınç ile oluşan deformasyon Şekil 10'da, Von-Mises gerilmeleri ise Şekil 11'de verilmektedir. Elde edilen gerilme değerleri $\sigma_{\text{max}} = 82 \text{ MPa}$, bu malzeme için yeterli ve uygun değerlerdir.



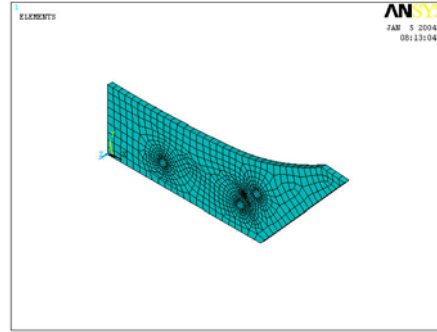
Şekil 9. 7 mm'lik kulak modelinin "mesh" edilmiş hali



Şekil 10. Kulaktaki deformasyon



Şekil 11. Kulakta oluşan Von-Mises gerilmeleri



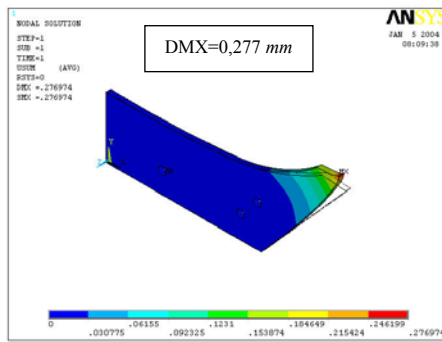
Şekil 12. 10 mm'lik pulluk uç demiri modelinin "mesh" edilmiş hali

3.4. 10 mm Kalınlığa Sahip Pulluk Uç Demiri Elemanın Modellemesi ve Analizi

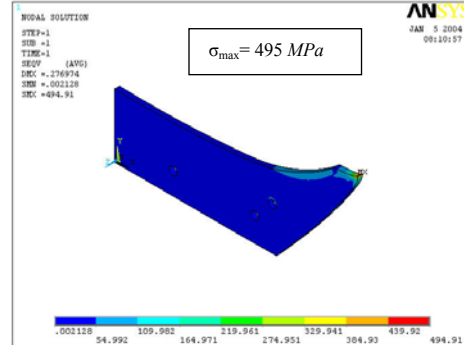
Mekanizmanın en önemli ve en çok aşınan parçası pulluk uç demiri (bıçak) elemanıdır. Bu parça, 10 mm kalınlığa sahip olup malzemesi borçelik olarak seçilmiştir. Elemanın modellenmesi ANSYS 6.1 programında "point"ler verilerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 12). Analizde malzeme

özellikleri $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, $\nu=0,3$ ve $\sigma_{\text{emniyet}} \cong 640 \text{ MPa}$ olarak alınmış ve “shell 93” elemanı kullanılmıştır. Eleman, delik çevresindeki düğümlerden sabitlenmiş ve bu düğümlerdeki serbestlik dereceleri 0 alınmıştır. Elemanın burun kısmına yayılı yük uygulanabileceken, yüzeyin küçüklüğü nedeniyle ve aynı zamanda güvenli bölgede kalabilmek için 9 kN 'luk yatay tekil bir yük uygulanmıştır. Bu yükleme altındaki deformasyon ($DMX=0,277 \text{ mm}$) Şekil 13’de gösterilmektedir. Şekil 14’de ise elemana ait gerilme değerleri ($\sigma_{\text{max}} = 495 \text{ MPa}$) verilmektedir.

Bu analiz sonuçlarına göre malzemenin burun kısmındaki gerilme değerleri çok yüksektir. Dolayısıyla, malzemenin bu bölgelerinde hızlı bir şekilde aşınmalar oluşacaktır. Bunu önlemek için malzemenin kalınlaştırılmasına karar verilebileceği gibi, burun kısmına ek bir parça eklenerek bölgesel olarak mukavemet artırılabilir. Şekil 15’de görüldüğü gibi, aynı malzemenin yapılmış benzer bir uç demirinin burun kısmında “ağır toprakta” belli bir süre kullanımdan sonra oluşan aşınmalar, bu sonucu doğrulamaktadır. Bunu önleyebilmek için de pulluk uç demirinde, Şekil 16’daki değişikliklerin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Böylelikle büyük zorlamalara ve yüklere karşı burun parçasının mukavemeti artırılmıştır. Ayrıca, zamanla parça aşındığında, tüm uç demirinin değiştirilmesine gerek kalmadan kolaylıkla ek parça değiştirilebilir.



Şekil 13. Uç demirindeki deformasyon

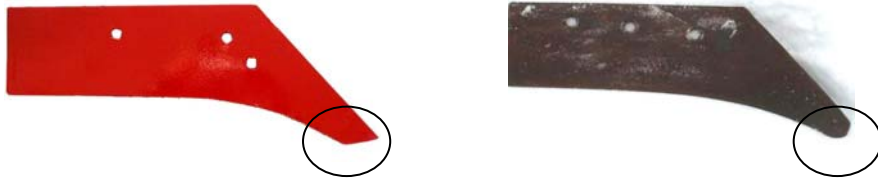


Şekil 14. Uç demirinde oluşan Von-Mises gerilmeleri

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Pulluğun çalışması sırasında; temel elemanları olan ok, kulak ve pulluk uç demiri, değişik toprak koşullarında ve değişik çalışma hızlarında çeki kuvvetine bağlı olarak farklı yükler ile yüklenmektedir. Benzer koşullarda gerçekleştirilen analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Ok modelinin iki farklı kesiti için ($75 \times 35 \text{ mm}$ ve $80 \times 45 \text{ mm}$) bulunan yer değiştirme değerleri uygundur.
- Ok modelinin iki farklı kesiti için ($75 \times 35 \text{ mm}$ ve $80 \times 45 \text{ mm}$) bulunan gerilme değerleri, malzeme emniyet gerilmesi değerlerinin altında çıkmıştır. Sonuç olarak, ok modeline kesit azaltımı uygulanabilir sonucuna varılarak, küçük kesitin seçilmesine karar verilmiştir.
- Kulak modeline basınç kuvveti uygulanarak yapılan analiz sonucunda, kulakta meydana gelen deformasyonlar çok küçüktür. Kulağın montaj delikleri çevresinde yüksek gerilmelerin oluşmadığı saptanmıştır. Fakat, karmaşık geometrinin yüksek bileşke kuvvetler, kayma ve çekme-basma gerilmeleri oluşturabileceği düşünülerek, herhangi bir kesit azaltımına gidilmemiştir.
- Pulluk uç demiri modeline uygulanan tekil kuvvet sonucu meydana gelen deformasyonun ve elemanın uç kısmında oluşan gerilmelerin yüksek değerlere ulaşmasından dolayı, burun kısmında aşınmalar meydana gelecek ve bunlar kopmalarla sonuçlanabilecektir. Verilen yükleme koşullarında, uç demirinin uç kısmına uygulanması gereken ve oldukça sık başvurulan konstrüktif önlem, Şekil 16’da görülen değiştirilebilir ek parçanın montajıdır. Bu kontrol ve önlemlerden sonra, ilgili üretici firma tarafından pullukların seri üretimine geçilmiştir.



Şekil 15. Dizayn edilen uç demirinin modeli (sol) ve benzer bir uç demirinde belirli bir süre kullanımdan sonra oluşan aşınma (sağ)



Şekil 16. Analiz sonuçlarına göre pulluk uç demirinde yapılan konstrüktif imalat değişikliği

KAYNAKLAR

- [1] Keçecioğlu, G., Gülsoylu, E., “Toprak İşleme Makinaları”, E.Ü. Ziraat Fak. Ofset Atelyesi, İzmir, 2002.
- [2] Okursoy, R., “Asılır Tip Kulaklı Pulluklara İlişkin Çeki Kuvveti ve Çeki Gücü Gereksinimlerinin Bilgisayar Destekli Tasarımlarla Belirlenmesi. Uludağ Üniv. Zir. Fak. Derg., 1999.
- [3] Shrestha, D.S., Singh, G., Gebresenbet, G., “Optimizing desing parameters of a mouldboard plough”, J. Agriculture Eng., 78 (4), 377-389, 2001.
- [4] Abu-Hamdeha, N.H., Reeder, R.C., “A nonlinear 3D finite element analysis of the soil forces acting on a disk plow”, Soil & Tillage Research 74, 115-124, 2003.
- [5] Natsis, A., Papadakis, G., Pitsilis, J., “The Influence of Soil Type, Soil Water and Share Sharpness of a Mouldboard Plough on Energy Consumption, Rate of Work and Tillage Quality”, J. Agric. Engng Res. 72, 171-176, 1999.
- [6] Beer, F. P., Johnston, E. R., “Mechanics of Materials”, Mechanical Eng. Series, 1998.
- [7] Cracium, V., Leon, D., “An analytical method for identifying and designing a moldboard plow surface”, Transactions of the ASAE, 41 (6), 1589-1599, 1998.
- [8] Keçecioğlu, G., “Traktör Pulluklarının Toprakta Karşılaştığı Direnç Kuvvetleri Üzerine Bir Araştırma”, E. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, No:185, 1971.
- [9] Köftecioglu, E. Y., “Toprak İşlemede Kullanılan Pulluğun Yapısal Analizi”, E.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Bitirme Tezi, 2004.
- [10] Akkurt, M., “Makina Elemanları”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [11] Değirmencioğlu, A., Yürdem, H., Gülsoylu, E., Çakır, E., Evcim, Ü., Keçecioğlu, G., “Üç Soklu Bir Pulluk Çatısında Yük Altında Oluşan Gerilmelerin Belirlenmesi”, Araştırma Projesi (PROJE NO: 98 ZRF 046), Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, 2003.
- [12] Zeytinoğlu, M., “Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Pulluk Deve Boynunun Mukavemet Analizi”, Uludağ Üniv. Zir. Fak. Derg., 16(2), 169-176, 2002.