

Osman Bahadır Özden* Necmettin Erbakan Üniversitesi
Makine Mühendisliği
Konyaİbrahim Savrukoğlu Savrukoğlu Ziraat Makinaları San. Ve Tic. Ltd.
Şti.
Afyonkarahisar

Parametrik Tasarım Yazılımının Üretim Öncesi Çalışmalar İçin Bir Tarım Makinesinde Geliştirilmesi

Makine tasarımlarında ihtiyaçlar üzerine yapılan tasarım değişiklikleri konvansiyonel tasarım yöntemlerine göre uzun vakitler almakta ve mühendislik maliyetini artırmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım programları (CAD) ve programlama dillerinin haberleşmesi ile makine tasarımlarına özgü ara yüzler hazırlanabilmekte olup kullanım kolaylığı ve zaman kazancı açısından yapılan yazılım uygulamaları günümüzde önem kazanmaktadır. Bu çalışmada tarım makinelerinde kullanılan kulaklı pullukların; tasarımı, montajı, parçaları, unsurları, ölçüleri ve teknik resimleri bir parametrik tasarım yazılımı vasıtası ile 522 adet değişken ile kontrol edilerek kulaklı pulluk tasarımı yapılmıştır. Uzun vakitler alan tasarımlar için bu yaklaşım ile kulaklı pulluklar için değişkenler tamamlandıktan sonra 92 saniye sürerek tasarımı tamamlamaktadır. Örnek bir çalışma için tanımlanan değişkenlere göre aracın analitik hesabı neticesinde 5,26 kN çeki kuvveti değerini sağlayacak güce ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda önerilen bu sistem ile literatür çalışmalarında bulunan küçük yapıların dışında büyük ve karmaşık yapılarda da uygulanabilirliğini göstermiştir. Kulaklı pulluk veya farklı karmaşık yapı makine tasarımlarında yüksek tasarım bilgisi olmayan kişilerinde kullanılabilmesi, hızlı ve stabil 3D katı modellerin oluşturulabilmesi için imalat öncesi çalışmalarda bu yaklaşımlar önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Parametrik Tasarım, Makine Tasarımı, 3D Tasarım, Tasarım Otomasyonu

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 4 Şubat 2023

Kabul: 31 Aralık 2023

*Sorumlu Yazar: Osman Bahadır Özden

Email:

osmanbahadirozden@ogr.erbakan.edu.tr

DOI: <https://doi.org/10.56193/matim.1247474>

GİRİŞ

Sürekli gelişen teknolojilerin yanında, tarım makineleri sektöründe oluşan rekabet ile birlikte, seri üretim, müşteri ihtiyaçlarına hızlı cevap verebilme gibi yeteneklerin geliştirilmesi açısından tarım sektöründe inovatif fikirler önem kazanmaktadır. Türkiye de tarım makineleri sektöründeki firmalar ihracatının artmasıyla beraber yurt dışı firmalarıyla rekabet içerisine girmektedir. Bu sebeple ürün ve hizmetler ile alakalı inovasyon yapmak firmalarda zorunlu ihtiyaç haline gelmektedir [1]. İnovasyon çalışmaları firmalar için pazar ağını artırmak ve rekabet açısından üstünlük kazandırmaktadır. Sadece maliyeti azaltmak amacıyla değil ürünün kalitesi,

üretim kabiliyetini, tasarım kalitesini artırmak amacıyla inovasyon çalışmaları önem arz etmektedir [2]. Bu çalışmaları yapabilmek için firmaların ihtiyaçların belirlenebilmesi, ihtiyaçların geliştirilebilmesi açısından alanında uzman kişiler tarafından eğitimde önem kazanmaktadır [3]. Tarım makineleri imalat sanayisinde çalışanların eğitim seviyesi arttıkça yapılan yenilikler, tarım sektörüyle ilgili literatür çalışmaları da artış göstermektedir [4].

Tarım makineleri sektöründe çiftçi ihtiyaçlarına binaen toprak işleme makineleri üretimi oldukça fazladır [5]. Artan yakıt fiyatları ile birlikte çiftçiler için toprak işleme makineleri tasarımı önem

arz etmektedir. Bölgelere ve traktör güçlerine göre farklı ölçülerde tasarım istenmektedir. Her modelin dikkate alınması maliyet üzerindeki yüksek baskılar, rekabet ve tarım makineleri üreticilerinden tasarımcılarına gelen acil tasarım isteklerine yönelik artan talepler nedeniyle yüksek çeşitlilikteki farklı tarım makine tasarımları minimum zaman ve emekle gerçekleştirilmelidir. Bu sebepten dolayı tarım makineleri tasarımlarında parametrik tasarım uygulamaları, bu sürecin verimli olması için önem kazanmaktadır.

Geleneksel makine tasarım süreçlerinde montajın ve parçaların değiştirilmesi, parçalara bağlı unsurların ve ölçülerin güncellenmesi, tasarımların mühendislik denklemleriyle analitik olarak kontrol edilmesi, teknik resimlerin hazırlanması ve üretime hazır hale getirilmesi için uzun bir süreç almaktadır. Bu tasarımın parametrik yapılması ve yazılım vasıtasıyla oluşturulması tasarım sürecini ve maliyetini minimize edebilmektedir [6]. Geliştirilen parametrik tasarım uygulamalarında, montajlarda ve parçalarda tüm özelliklerin birbiri ile ilişkisini tanımlanarak bilgi tabanlı mühendislik (knowledge based engineering) uygulanmaktadır [7, 8]. Parametrik tasarım uygulamaları farklı CAD programları ve yazılım algoritmalarını haberleştirerek farklı sektörlerde kullanılabilir [9, 10]. Dişli çark, rulman, otomotiv yedek parçaları gibi montajın alt parçaları oluşturan parçalar içinde algoritmalar ve yaklaşımlar geliştirilmektedir [11].

Bu çalışmada kulaklı pulluklar için hazırlanan parametrik tasarım yazılımının geliştirilmesi ve algoritması ile çalışmalar açıklanmıştır. Yapılan çalışmada geliştirilen yazılım, tasarımdaki sistematik düzen ile tarım makineleri ve diğer imalat sektöründeki üreticiler için hatasız ve pratik bir şekilde üretime hazır hale getirebilen tasarımlar elde edilebilmektedir.

MATERYAL ve METOD

Kulaklı pulluk tasarımında Solidworks CAD (Computer aided design) programı kullanılmakta olup geliştirilen yazılımda ise CAD programının API (Application programming interface) kodları kullanılarak Vb.NET (Visual basic) programlama dili ile bir uygulama hazırlanmıştır. Bu uygulamada kulaklı pulluk makinesinin tüm parçalarının unsurları ve ölçüleri yazılımda nesne olarak tanımlanıp OOP (Object-oriented programming) nesne yönelimli programlama yapılmıştır. Kulak tasarımında ise eğimli yüzey olarak 2. Dereceden formülasyon ile tanımlanabilmektedir [12]. Bu tanımlamalara göre kulak tasarımında tüm ölçüler parametrik hale getirilerek yazılıma tanımlanmıştır.

Önerilen Parametrik Tasarım Yazılım Algoritması

Kulaklı pulluk parametrik tasarım yazılımı algoritmasında belirlenen parametreler ile uygulama başlatılıp her bir parça, parçadaki tasarım unsurları, parçanın ölçüleri güncellenip tasarım montajı başlatılmaktadır. Traktörün gücüne ve makinenin genişliğine göre yazılım ara yüzünde kulak sayısı belirlenebilmektedir. Tasarım montajında belirlenen kulak sayısı ve güncellenen parçalara göre tekrar tasarım yapmakta ve değerlendirmelerin olumlu olması durumunda nihai tasarım elde edilmektedir. Nihai tasarım sonrasında teknik resimler ile birlikte üretim hazır hale getirilmektedir.

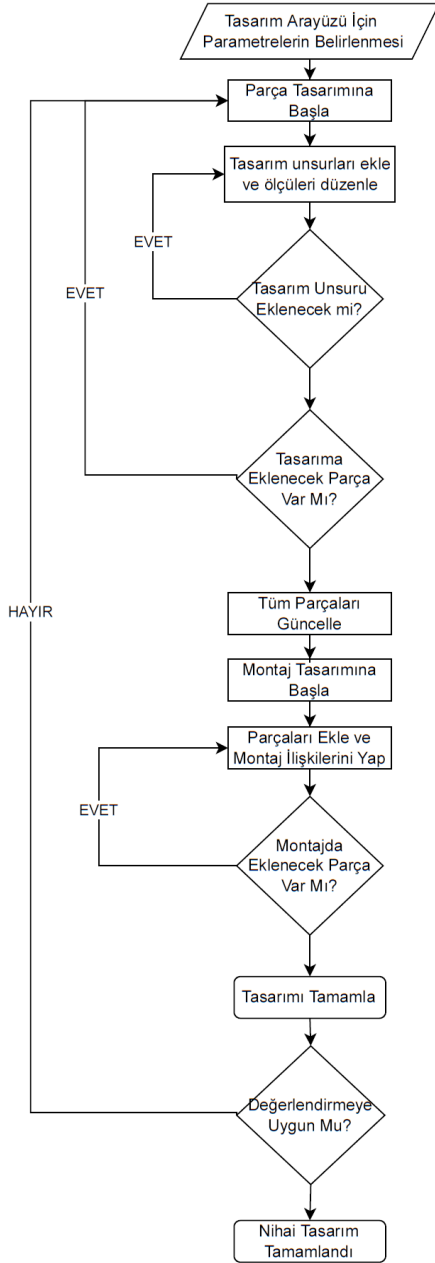
Programlama dili ile oluşturulan kodların kullanıcı arayüzü ile bağlantısı sağlanmış arayüzde tanımlanan parametrik değişkenler ile göre kontrol edilmekte ve tasarımlar oluşturulmaktadır. Tüm parametrik değişkenler tanımlandıktan sonra, parça ve montaj içerisinde tüm unsurlar, ölçüler, birbirleriyle ilişkileri, gövdeler kontrol edilmektedir. Sonrasında değerlendirme aşamasında geçmekte ve bu aşamada analitik denklemler ile hesaplamalar, yazılım vasıtası ile uygulanıp belirlenen kritere göre değerlendirilmektedir. CAD programı ile tasarlanan yapılar sonlu elemanlar yöntemi analizleri kriter olarak alınabilmektedir [13, 14]. Bu çalışmada, literatür de bulunan çalışmalarda çeki kuvveti için bulunan kriterler alınmıştır. Kriter sağlandıktan sonra ise teknik resimler yazılım vasıtası ile oluşturulup üretime hazır hale getirilmektedir. Ayrıca tasarımda bulunan tüm montaj, parça, unsur ve ölçüler birbiriyle ilişkilidir. Tasarımda 522 adet değişkenin arayüz ile kontrol edilmesiyle ilişkilerinin olması sebebiyle stabil tasarım çıktıları elde edilmektedir. Şekil 1 ve Şekil 2’de önerilen bu sistematik tasarım akışı ve algoritması gösterilmektedir.

Algoritmanın Değerlendirme Aşaması

Kulaklı pulluk parametrik tasarım yazılımı algoritmasının değerlendirme aşamasında traktör veya çekme amacı olan aracın gücüne göre sonuçlar incelenmektedir. Talep edilen güç çeki kuvvet hesabı programına göre karşılaştırılmakta olup kriteri sağlaması durumunda yazılım teknik resim aşamasına geçip güncellemede ve üretime hazır hale getirmektedir.

Çeki kuvveti hesabı yazılımında kulaklara gelen tepki kuvvetleri: H_s (Pulluk uç demirinde oluşan tepki kuvveti, kN), H_{mc} (Kulakta oluşan tepki kuvveti, kN), H_e (Kulakta potansiyel enerjiden oluşan tepki kuvveti, kN), H_{cs} (Uç demiri ile çizi duvarında yanal kuvvetin oluşturduğu sürtünmeden kaynaklanan tepki kuvveti, kN), H_{ms} (Kulak ile çizi duvarında yanal kuvvetin sürtünme etkisinden kaynaklanan tepki kuvveti, kN), H_{fs} (Kulağın yanal

hareketinden kaynaklı kulakta sürtünmelerin oluşturduğu tepki kuvveti, kN)'dir. Bu kuvvetlerin toplamı ile H_t (Çeki kuvveti, kN) elde edilerek çeki kuvveti için değerlendirmeler yapılmaktadır.



Şekil 1. Önerilen yazılım algoritması

$$H_t = H_p + H_s + H_{mc} + H_e + H_{cs} + H_{ms} + H_{fs} \quad (1)$$

Toprak tipine, çeki kuvvetini sağlayan aracın hızına, çelik ve toprak arasındaki sürtünme kuvvetine bağlı olarak yazılıma γ (Toprağın birim hacimdeki ağırlık değeri, kN/m³), d_p (Kulaklı pulluk uç demiri derinlik, m), c (Kohezyon, kN/m²), w_p (Uç demiri

genişlik, m), m (Bozulma oranı), v (Araç ilerleme hızı, m/s), g (Yerçekimi ivmesi, m/s²), a_p (Uç demiri kama açısı, °), a_s (Toprak kaldırma açısı, °), δ (Toprak ile metal sürtünme katsayısı), δ_s (Toprak-toprak sürtünme katsayısı), w_s (Pulluk uç demiri genişlik, m), β (Pulluk uç demiri açısı, °), θ (Kulak açısı, °) değişkenleri girilerek, toplam çeki kuvvet H_t kuvveti bulunmaktadır [15]. Bu değişkenler deneysel ve sonlu elemanlar analiz çalışmaları neticesinde elde edilen değerlere göre çeki kuvvet hesabı için yazılıma tanımlanmıştır [16].

$$H_p = [(\gamma d_p N_y + c d_p N_c)(w_p + 0.55 d_p (m - \frac{m-1}{3})) + \left(\frac{\gamma N_a d_p}{g}\right)(w_p + 0.33 d_p)] \sin(a_p + \delta) \quad (2)$$

$$H_s = (\gamma d_s N_y + c d_s N_c + \frac{\gamma v^2 N_a d_s}{g}) w_s \sin(a_p + \delta) \sin \beta \quad (3)$$

$$H_{mc} = (\gamma/g)(w_p d_p + w_s d_s) v^2 (1 - (1 - \sin \theta \tan \delta) \cos \theta) \quad (4)$$

$$H_e = 2\gamma(w_p d_p + w_s d_s) d_s \quad (5)$$

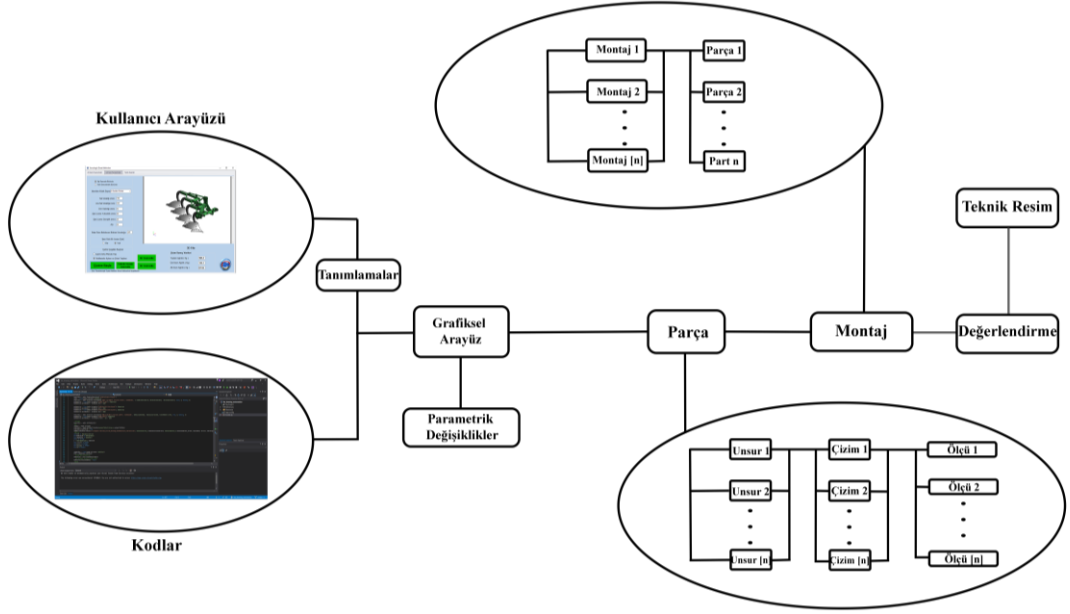
$$H_{cs} = (\gamma d_s N_y + c d_s N_c + \frac{\gamma v^2 N_a d_s}{g}) w_s \sin(a_p + \delta) \cos \beta \tan \delta \quad (6)$$

$$H_{ms} = (\gamma/g)(w_p d_p + w_s d_s) v^2 \sin \theta (1 - \sin \theta \tan \delta) \tan \delta \quad (7)$$

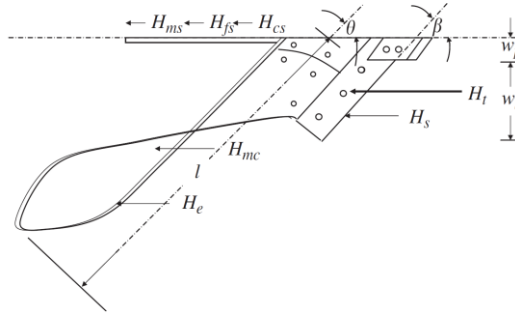
$$H_{fs} = 0.95 \gamma (w_p d_p + w_s d_s) \tan \delta \tan \delta_s \quad (8)$$

BULGULAR

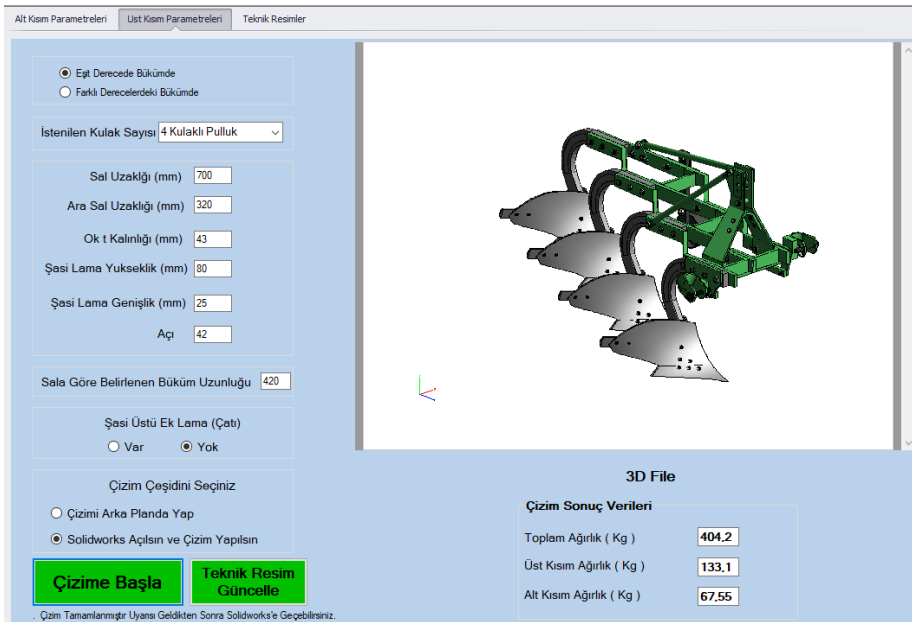
Parametrik pulluk tasarım yazılımında tüm parçaların ve montajların unsurları, ölçüleri kullanıcı ara yüzünde değiştirilebilmektedir. Uygulanan metod ve parametrik tasarım platformu yüksek tasarım bilgisine ve CAD programı bilgisine ihtiyaç duymamaktadır. Müşteri talebine göre değiştirilen tasarımın, kısa süreler içerisinde tüm aşamaları tamamladığı ve üretime hazır hale getirilmiştir. Yazılımın hazırladığı teknik resimler için birçok makine üretimi kalite kontroller ile doğrulanarak tasarım için hatasız ürünler elde edildiği belirlenmiştir. Şekil 4'de gösterilen kullanıcı arayüzünde 3D katı modelinde güncellenmesi, CAD programının arka planda çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 2. Oluşturulan tasarım otomasyon sistemi akış şeması



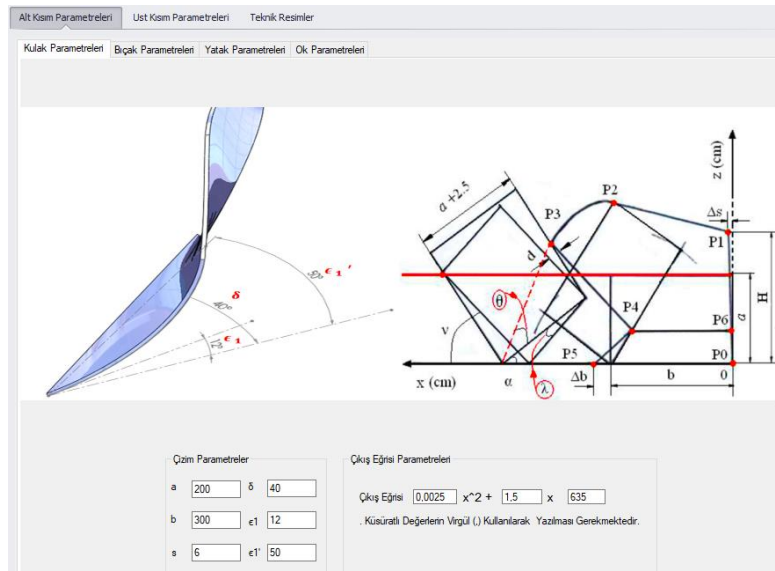
Şekil 3. Kulak üzerine gelen tepki kuvvetleri [15]



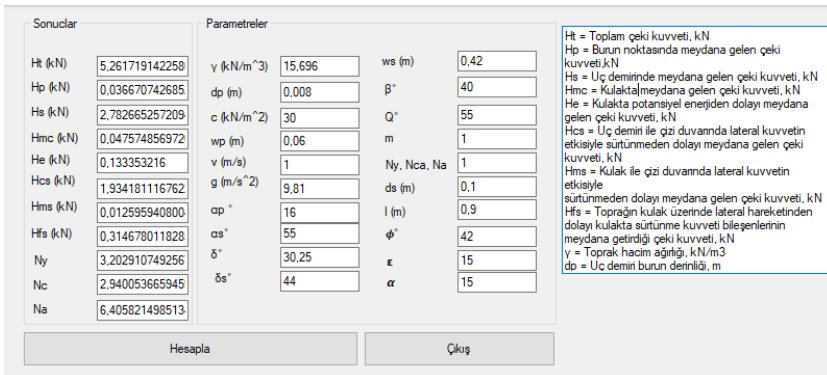
Şekil 4. Montajı ve değişkenlerini içeren kullanıcı arayüzü

Yazılım algoritması ile sistematik bir düzen sağlanmakta olup tasarım maliyetini minimize etmektedir. Kulaklı pulluk makine tasarımını 92 saniye gibi kısa süre içerisinde tamamlamaktadır. Hatasız ve stabil tasarımların elde edilmesi ile birlikte sıklıkla kullanılabilir hale getirilmiştir. Kulaklı pulluk makinesi alt parçalarının da değişken olması ile tasarım yeteneği genişletilmiştir. Bununla birlikte müşterilerin talep edebileceği tüm değişkenler tanımlanmıştır. Tüm alt parçalarla beraber kulak tasarımlarının da parametrik olması zorlu tasarım sürecinde kolaylık sağlamıştır. Şekil 5'te kulak tasarımına ait tüm parametreler gösterilmekte olup gösterilen parametrelere göre kulak tasarımı yapılabilmektedir.

Kulaklı pulluk tasarımı yazılım tarafından hazır hale getirildikten sonra toprak ile temas eden yüzey alanlarına, toprak tipine ve özelliklerine bağlı olarak H_1 çeki kuvveti hesabına göre değerlendirmeler yapılmaktadır. Aracın gücüne göre değerlendirmeler yapıp çeki kuvvetine göre uygun görüldüğü takdirde tasarım kabul edilmekte ve kriter oluşturulabilmektedir. Tasarımın seri bir şekilde değiştirilebilir olması ile birlikte hesaplamalar için Şekil 6'da gösterilen ara yüz hazırlanıp hesaplamalar neticesinde değerlendirme açısından pratik bir çözüm sağlanmıştır.

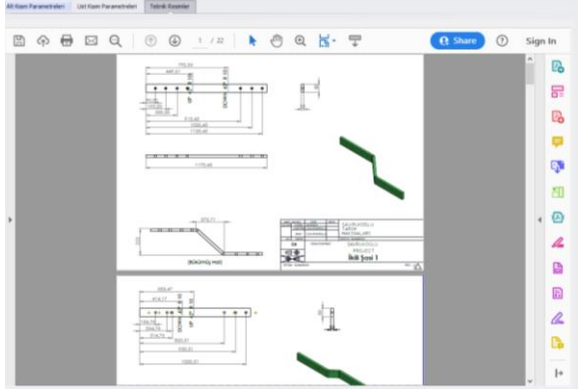


Şekil 5. Montaja bağlı parçaların parametrik tasarım kullanıcı arayüzü



Şekil 6. Değerlendirme aşaması için hazırlanan analitik hesap programı

Yazılım algoritmasında değerlendirme aşamasının bitmesi ile beraber üretim için Şekil 7’de gösterilen ara yüz ile teknik resimler tüm parçalar için elde edilmektedir. Tasarım otomasyonu amacıyla hazırlanan algoritmanın tamamlanması ile üretim için hazır hale gelmektedir. Gerçekleştirilen çalışma neticesinde analitik hesaplamalar gerçekleştirilmiş tasarım çıktısı olarak çeki kuvveti ve teknik resimler elde edilmiştir. Bu çalışmanın önerdiği sistemin kullanılabilirliği sadece kulaklı pulluklar için değil, akademik çalışmalar veya imalat sektöründe sıklıkla değişen tasarımların bu sistem ile daha stabil ve pratik çözümler sağlanacağına öngörülmüştür.



Şekil 7. Tasarım ve değerlendirme aşaması sonrası yazılım vasıtasıyla oluşan teknik resimler

İmalata yönelik hazırlanan bu uygulama ile imalat sürecinde hatasız üretim hedeflenmiş ve gerçekleştirilmiştir. Parametrik tasarım yazılımı vasıtası ile 92 saniye gibi kısa bir süre içerisinde tüm tasarım ve analitik hesaplamalar tamamlanmıştır. Bu uygulamanın karmaşık ve 522 değişken ile büyük bir yapıda bilgi tabanlı tasarım uygulanması ile literatürde bulunan diğer çalışmalara göre büyük yapılarda ve tarım sektöründe de uygulanabilirliğini göstermiştir [11, 17, 18]. Bir çalışma da analitik olarak dişli hesabı ile değerlendirmeler yapılmış olup bu çalışma da çeki kuvveti hesabı için yazılım hazırlanmış ve değerlendirilmiştir [11]. Ayrıca bazı çalışmalarda bulunan metotlar ile kulak tasarımı oldukça vakit almakta olup bu çalışmada gerçekleştirilen parametrik tasarım ile daha kısa süreler ile kulak tasarımı gerçekleştirilebilmektedir [19, 20]. Sadece üretim için değil literatürde kulak yapısı için ayrı elemanlar metodu gibi yöntemlerle gerçekleştirilen analizlerde tasarım girdisi olarak avantaj sağlayabilir ve optimizasyon çalışmalarında pratik tasarımlar için kullanılabilir [21]. Geleneksel tasarım yerine kompleks yapılarda bu tür parametrik tasarım arayüzleri oldukça verimli olmaktadır [22].

SONUÇ

Parametrik tasarım yöntemleri ile makinelerde sıklıkla değişen ölçüler için yapılan tasarımları verimli hale getirmektedir. Parametrik tasarımın, bir algoritma ve sistematik bir düzen ile yazılım vasıtalarıyla kontrol edilmesi mühendislik maliyetini azaltmakta, hata oranı düşük ve stabil sonuçlar elde edilmektedir. Tarım makineleri sektöründe, çiftçilerin ölçü çeşitliliği fazla olan çeşitli tasarım taleplerinin olması parametrik tasarım uygulamalarının geliştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Bazı durumlarda kısa süre içerisinde çok sayıda tasarım ihtiyacı oluşabilmektedir. Otomotiv, iş makineleri imalatı ve diğer sektörlerde parametrik tasarım yöntemi sıklıkla kullanılmakta olup tarım makineleri sektörü için tasarım alanında bu tür uygulamaların kullanılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada geliştirilen algoritmanın nesne yönelimli programlama ile tasarımdaki montajın, parçaların, unsurların ve ölçülerin kontrolü sağlanmıştır. Bir ara yüz hazırlanarak tüm değişkenler kontrol edilmiştir. Bu metot, yalnızca 3D CAD parçalarının otomatik boyutlandırılmasını ve montaj modellerinin düzenlenmesini değil, aynı zamanda farklı geometrileri, malzemeleri, farklı konfigürasyonları, parçaların varyasyon alternatiflerini ve bir montajda bunlar arasındaki etkileşimlerini kapsamaktadır. 522 adet parametreye bağlı olarak tasarım 92 saniye içerisinde tamamlanmıştır. Tasarım neticesinde 5.26 kN çeki kuvvetini sağlayacak güce bir araç olması gerektiği belirlenmiştir.

Parametrik tasarım yazılımlarının, literatürde bulunan küçük yapıli modeller dışında, büyük ve karmaşık makinelerde kullanılabileceği bu çalışma neticesinde görülmüştür. Önerilen bu yaklaşım ile akademik çalışmalarda veya makine imalatı sektöründe makine tasarımı gerçekleştiren, tasarım bilgisi az olan kişilerinde tasarım ihtiyacını karşılayan, sık tasarım değişikliği yapan tasarımcılar için pratik çözümler üreten bu tür algoritmalar ile yazılım vasıtasıyla oluşturulan tasarımların, üretim, tasarım süreci ve hataları minimize ederek daha verimli olacağı, mühendislik maliyetini azaltacağı bu çalışma neticesinde önerilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Güler, E.Ö. Kanber, S., İnovasyon Aktivitelerinin İnovasyon Performansı Üzerine Etkileri: İmalat Sanayii Uygulaması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 20 (2011) 1, 61-76.

2. Özoğul, G., Türk Tarım Makinaları İmalat Sanayinde Firma Performansı Üzerine Yenilik Türlerinin Etkileri. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*. 11 (2015) 1, 17-24.
3. Yurtlu, Y., Ekmekci, K., Bozoğlu, M., Demiryürek, K., and Ceyhan, V., Tarım Makineleri İmalatçıların Güvenli Tarım Makineleri İmalatı Açısından Mevcut Durumu ve Eğitim İhtiyaçları. (2012).
4. Ertekin, C. Akman, E., Tarım Makinaları ve Teknolojileri Alanında Yapılmış Olan Yayınların Değerlendirilmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*. 15 (2019) 1, 7-18.
5. Üçgül, M., Saunders, C., and Aybek, A., Ayrık Elemanlar Metodunun Tarım Makineleri Tasarımında Kullanımı Üzerine Bir Araştırma. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*. 21 (2018) 3, 304-311.
6. Long, X., Li, H., Du, Y., Mao, E., and Tai, J., A knowledge-based automated design system for mechanical products based on a general knowledge framework. *Expert Systems with Applications*. 178 (2021), 114960.
7. Myung, S. Han, S., Knowledge-based parametric design of mechanical products based on configuration design method. *Expert Systems with applications*. 21 (2001) 2, 99-107.
8. Reddy, E.J., Venkatachalapathi, N., and Rangadu, V.P., Development of an approach for Knowledge-Based System for CAD modelling. *Materials Today: Proceedings*. 5 (2018) 5, 13375-13382.
9. Demoly, F. Roth, S., Knowledge-based parametric CAD models of configurable biomechanical structures using geometric skeletons. *Computers in Industry*. 92 (2017), 104-117.
10. Khan, M.T.H., Demoly, F., and Kim, K.-Y., Formal ontology and CAD integration with macro parametric approach. *Computer-Aided Design and Applications*. 14 (2017) sup1, 24-32.
11. Reddy, E.J. Rangadu, V.P., Development of knowledge based parametric CAD modeling system for spur gear: An approach. *Alexandria engineering journal*. 57 (2018) 4, 3139-3149.
12. Soltani, M. Taghinezhad, J., Computer aided design of moldboard plough surface. *Journal of Agricultural Technology* 2012. 8 (2012) 5, 1545-1553.
13. Sümer, Y. Bediz, B., Çok fonksiyonlu paralel geçit ve yüzme merdiveni tasarımı ve analizi. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*. 20 (2022) 1, 1-11.
14. Sümer, Y. Bediz, B., Çok fonksiyonlu paralel geçit merdiveni tasarımı, analizi ve üretimi. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*. 18 (2020) 2, 92-105.
15. Godwin, R., O'dogherty, M., Saunders, C., and Balafoutis, A., A force prediction model for mouldboard ploughs incorporating the effects of soil characteristic properties, plough geometric factors and ploughing speed. *Biosystems engineering*. 97 (2007) 1, 117-129.
16. Saunders, C., Ucgul, M., and Godwin, R.J., Discrete element method (DEM) simulation to improve performance of a mouldboard skimmer. *Soil and Tillage Research*. 205 (2021), 104764.
17. Geren, N., Akçalı, O.O., and Bayramoğlu, M., Parametric design of automotive ball joint based on variable design methodology using knowledge and feature-based computer assisted 3D modelling. *Engineering applications of artificial intelligence*. 66 (2017), 87-103.
18. Geren, N., Akçalı, O.O., Unver, E., and Allport, J., Automated sizing of automotive steering ball joints in parametric CAD environment using expert knowledge and feature-based computer-assisted 3D modelling. *Advanced Engineering Informatics*. 52 (2022), 101630.
19. de Rave, E.G., Jimenez-Hornero, F., Munoz-Piorno, J., and Giráldez, J.V., The geometric characterization of mouldboard plough surfaces by using splines. *Soil and Tillage Research*. 112 (2011) 1, 98-105.
20. Ibrahim, A., Bentaher, H., Hamza, E., Maalej, A., and Mouazen, A.M., Advanced analytical method of mouldboard plough's design. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 88 (2017), 781-788.
21. Azimi-Nejadian, H., Karparvarfard, S.H., and Naderi-Boldaji, M., Weed seed burial as affected by mouldboard design parameters, ploughing depth and speed: DEM simulations and experimental validation. *Biosystems Engineering*. 216 (2022), 79-92.
22. Tuljapurkar, N., Jamalpur, G., Agarwal, S., and Esanakula, J.R., *Development of a Preliminary Approach for Automatic CAD Model Generation of the IC Engine Piston*, in *Intelligent Manufacturing and Energy Sustainability: Proceedings of ICIMES 2021*. 2021, Springer. p. 227-237.