

3B CNC Torna Simülasyon Yazılımları için Poligon Tabanlı Nesne Modelleme

Harun GÖKÇE

TÜBİTAK – SAGE Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü Ankara/TÜRKİYE

(Geliş / Received : 13.05.2015 ; Kabul / Accepted : 21.09.2015)

ÖZ

Bilgisayarlı grafik sistemlerindeki hızlı gelişmeler imalat sistemlerinin hedeflenen bazı fonksiyonlarını sanal ortamda gözlemlemeye izin vermektedir. Talaş kaldırma operasyonlarının sanal ortamda benzetimi çok yoğun hesaplamalar ve grafik gereksinimine sebep olduğundan dolayı hedeflenen işlevler ele alınır. Bu çalışmada, CNC torna tezgahlarının 3B (üç boyutlu) simülasyon yazılımları için nesne modelleme ve etkileşim algoritması geliştirilmiştir. İş parçasının ve kesici takımın modellenmesinde 2B (iki boyutlu) poligon tabanlı model oluşturma yöntemi uygulanmıştır. 2B iş parçası nesne modeli döndürülerek süpürme işlemine tabi tutularak 3B görüntüsü elde edilebilmektedir. Aynı işlem 2B kesici takım geometrisine de uygulanmakta, ancak süpürme tekniği doğrusal olarak uygulanmaktadır. İş parçası ve kesici takımın birbirleri ile olan etkileşimi için yeni bir 2B poligon kırpma tekniği geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem sanal doğrulama sisteminde kullanılarak işlevselliği denetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CNC simülasyonu, Bilgisayarlı grafik, Sanal işleme

Object Modeling Based Polygon For 3D CNC Lathe Simulation Softwares

ABSTRACT

Rapid developments in computer graphics system allows virtual observing the aimed functions of manufacturing system. Because the virtual simulation of chip removal process needs high calculation and graphics, the aimed fundamental processes are handled. In this study, object modelling and interaction algorithm are developed for 3D (3 Dimensional) simulation softwares of CNC lathes. 2D (2 Dimensional) polygon based modelling is used in modelling workpiece and cutting tools. While 2D workpiece model is being subjected to sweep by being rotated, the geometry of 2D cutting tool is swept linearly, and 3D images are obtained. A 2D polygon clipping technique has been developed for the interaction between workpiece and cutting tool. The functionality has been checked by using the developed system in the virtual verification system.

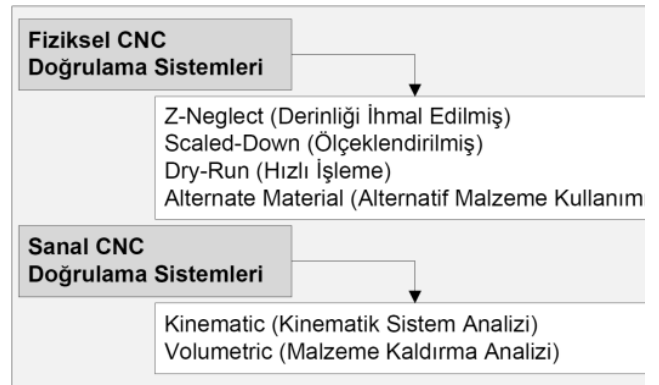
Keywords: CNC simulation, Computers graphic, Virtual machining

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

CNC takım tezgahlarında yapılan üretimlerin doğrulanmasında fiziksel ve sanal sistemler olmak üzere iki farklı metot kullanılır. Fiziksel sistemler, takım tezgahları üzerinde örnek iş parçası işlemeye dayalı doğrulama yöntemleridir. CNC tezgahlarında ilk defa çalıştırılacak olan bir program tezgah üzerinde denirse, CNC programındaki olası hatalar nedeni ile kesicinin çarpmasına neden olabilir. Bu ise riskli ve maliyeti yüksek tamiratları gerektirebilir. Ayrıca tezgah gereksiz yere meşgul edilerek zaman kaybına neden olacaktır (Şekil 1).

Üretim felsefesi açısından takım tezgahlarının zaman kaybı olmaksızın sürekli üretimde bulunması zorunludur. Bu yüzden elde edilen takım yolu verilerinin deneme işleme yolu ile kontrolü programcının bilgi kapasitesi ne olursa olsun problemlere açıktır. Endüstride CNC torna tezgahları için takım yolu hazırlama, programcının uzmanlığına

bağlı olarak teknik resim üzerinden elle



Şekil 1. NC Kod Doğrulama Yöntemleri (NC Code Verification Method) [1]

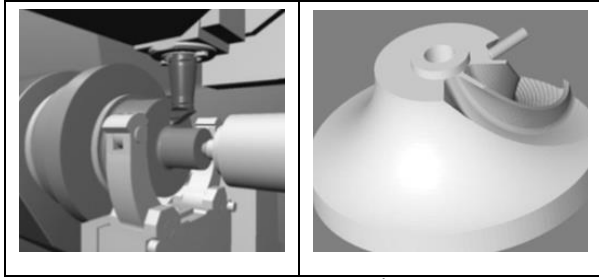
satırların tezgah kontrol paneline yazılması ile olur. Üretime geçilmeden önce, örnek bir malzeme bağlanarak veya tezgah boş olarak bir deneme üretimi yapılır. Program akışında ve takım yolunun izlenmesinde ortaya çıkacak aksaklıklar bu şekilde yerinde görülür ve giderilir.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: harungokce@outlook.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 155-161

Bilgisayarlı grafik gelişen donanım mimarileri, yeni programlama dilleri ve kolay kodlama gibi birçok nedenden dolayı hızlı bir gelişim göstermektedir. Bilgisayarlı grafik 3B sahnelerin hesaplanması, boyanması ve derinlik verilmesi gibi özelliklerin elde edilebilmesi için geliştirilmiştir. Bilgisayarlı grafik alanındaki bu hızlı gelişmeler gerçek üretim süreçlerinin hedeflenen bazı fonksiyonlarını sanal ortamda izlenmesine olanak sağlamıştır. Bilgisayar Destekli Tasarım, Analiz ve İmalat (BDT/BDA/BDİ) sistemleri sanal mühendislik sistemlerinin büyük bir parçası olup endüstride yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemler ile karmaşık parçalar dahi bilgisayar ortamında kolaylıkla tasarlanarak üretime hazır hale getirilebilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Kinematik Ve Hacimsel Sanal İşleme (Kinematic And Volumetric Virtual Machining) [1]

BDT programları ile oluşturulan 3B modellerin üretimleri için ihtiyaç duyulan takım yolu verileri elle kullanıcı tarafından ya da BDİ paket programları ile elde edilir. Takım tezgahlarına gönderilecek bu verilerin işleme operasyonu sonucunda istenilen neticeyi vereceğinden emin olmak karmaşık operasyonlar için oldukça zordur. Tezgah üzerinde deneme işleme yoluyla programlarının doğrulanması riskli, yavaş ve masraflıdır. Ayrıca programlamada hata kaynakları çok çeşitli olabildiğinden, bu hataların atölyede tespiti çoğu zaman büyük riskler oluşturmaktadır.

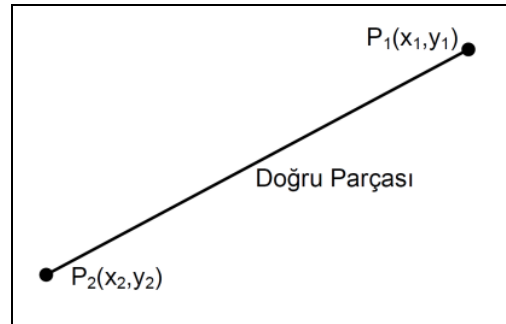
Bu amaçla Gülesin, freze tezgahlarında kesici takım hareket kontrolü için 2B simülasyon yazılımı geliştirmiştir [2]. Aynı yıllarda Özdemir, benzer bir yapı kurgulayarak torna tezgahlarında takım yolu doğrulama sistemi üzerine araştırmada bulunmuştur [3]. Sonraki yıllarda ülkemizdeki kısıtlı çalışmalara rağmen, dünyadaki araştırmalar hız kazanmıştır. Literatürde araştırmaların 2010 yılından itibaren artarak devam ettiği görülmektedir. Chen, imalat ortamındaki tüm nesnelere OpenGL tabanında 3B modellemiştir. Ardından geliştirdiği nesne etkileşim algoritması ile iş parçası nihai geometrisinin elde edilmesini sağlamıştır [5]. Mann vd. 5 eksenli takım tezgahlarındaki hareket belirsizliklerini önceden tespit edebilmek için tüm tezgahı sanal ortamda modellemiştir. BDİ programları ile elde edilen takım yolu verisinin aksel hareket kontrolü bu yöntemle sağlanmıştır [6]. Hanwu, web tabanlı uygulamaların hayatımıza yoğun bir şekilde girmesi ile internet ortamında atölye kontrolü sağlamayı amaçlamıştır [7]. Lee vd. sanal ortamda 5 eksenli imalat süreçleri için farklı bakışlarda talaş kaldırma

operasyonunun görüntülenmesini sağlamışlardır. Bunun için, alana gönderilen ışın açılarının yatay ve dikey notasyonlarını değiştirmiştir [8]. Yeğin yaptığı yüksek lisans çalışmasında, sanal imalat sistemleri için kullanılan bilgisayarlı grafik tekniklerini karşılaştırmıştır. Pikel ve vektör tabanlı modelleme teknikleri anlatılmış, karşılaştırmalar ile yetenekleri ortaya konmuştur [9]. Aini, son yıllarda yaptığı çalışma ile birçok sanal doğrulama sistemini inceleyerek sistemler arasındaki farkları, geliştirme tekniklerini ve yeteneklerini ortaya koymuştur [10].

Bu çalışma kapsamında 3B CNC torna simülasyon yazılımlarında ihtiyaç duyulan fiziksel nesnelere BRep tabanlı olarak modellenmesi amaçlanmıştır. İlk olarak iş parçası ve kesici takım modellerinin sanal ortamda inşası için geliştirilen poligon tabanlı modelleme tekniği anlatılmıştır. Ardından, 2B nesne modellerinden 3B nesne görüntüsü elde edilmesi için gerekli geliştirme faaliyetleri tanıtılmıştır. Son olarak, poligon kırma esasına dayanan iş parçası ve kesici takım etkileşim modeli hazırlanmıştır.

2. YÖNTEMBİLİMİ (METHODOLOGY)

Poligon oluşturma tekniği bilgisayarlı grafik teknolojisinin ortaya çıkmasından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknik ile koordinat değerleri verilen noktalar saat ibresi yönünde doğrular yardımı ile çizdirilir. Noktalar, poligonların sınır parametreleri olarak tanımlanır (Şekil 3).



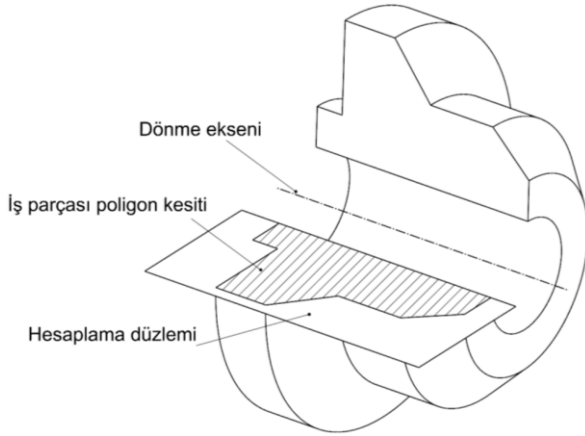
Şekil 3. Doğru parçası $L(P_1, P_2)$ (Line segment) [4]

Tornalama işleminin geometrik özellikleri nedeni ile kesici takım ve iş parçası 2B poligon model olarak düşünülmüştür. 3B nesne modelinin oluşturulması için iş parçası kesit poligon geometrisine döndürme işlemi uygulanırken kesici takım poligon geometrisi doğrusal süpürme işlemine tabi tutulur.

2.1. İş Parçası Poligon Tabanlı Model Hazırlama (Polygon Based Model Creation For Workpiece)

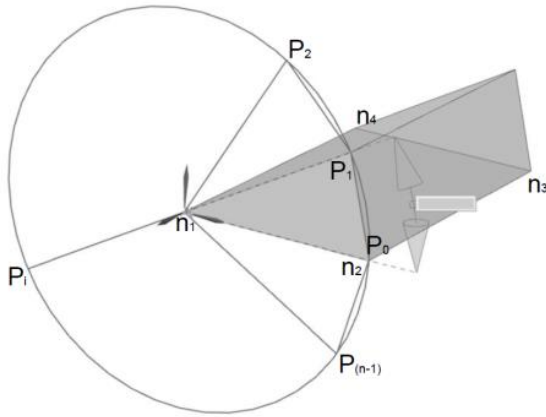
Sanal tornalama için iş parçası geometrisinin basit bir yapıda kurgulanması önemlidir. Sistemde oluşturulan nesnelere tümü sabit bir geometriye sahipken, iş parçası geometrisi kesici takım ile etkileşime girerek geometri değişikliğine uğramaktadır. Etkileşim sonucunun hızlı bir şekilde iş parçası geometrisine yansıtılması için algoritma sade bir şekilde oluşturulmalıdır. Bu çalışmada, iş parçası başlangıç

geometrisi dört nokta ile dikdörtgen bir yapıda tanımlanmıştır. Dikdörtgen genişliği iş parçası uzunluğu olarak, yüksekliği de yarıçap ölçüsü olarak belirtilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. İş parçası hesaplanmış kesit alanı (Workpiece Calculated Cross-Section) [4]

Tezgah dönme eksenini ile iş parçası eksenini eş olduğundan dolayı aksel simetrik özelliğinden yararlanılarak iş parçası modeli oluşturulmaktadır. Dönme eksenini etrafında simetri oluşturularak toplam iş parçası çapı meydana getirilir. Simetrik parçalardaki bu özellik parçanın tamamında hesaplama yapılmadan çeyrek alandaki çözümlerin döndürülerek süpürülmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 5. İş Parçası Poligon Görüntüsü (Workpiece Polygon View) [4]

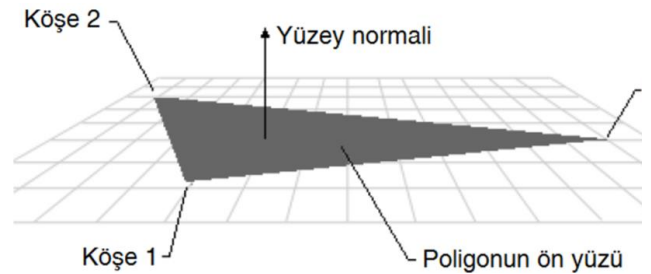
İş parçasının XZ düzlemindeki kesit köşe noktaları (n_1, n_2, n_3, n_4) ilk aşamada;

$$\begin{aligned} n_1 &= (x_0 - z_0), & n_2 &= (x_{t1} - z_0), & n_3 &= (x_{t1} - z_{t2}), \\ n_4 &= (x_0 - z_{t2}) \end{aligned}$$

koordinat değerleri ile oluşturulur. Burada t_1 ve t_2 değerleri boy ve çap değerlerini temsil etmektedir. İş parçası 2B kesiti tezgah eksenini etrafında belirli aralıklarda döndürülerek çoğaltılır. Kesit profilin açılal

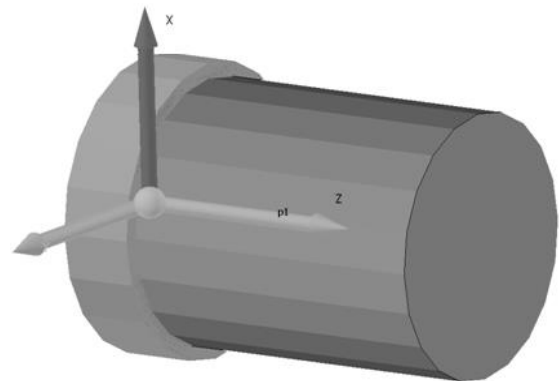
çoğaltma değeri'nin P_n azaltılması simülasyon gerçekliğini artıracaktır. Bununla birlikte hesaplama zamanını uzatacağından dolayı sistem gereksinimlerinin artmasına sebep olacaktır. Oluşan poligonlar arasında köşe sırası ile OpenGL ağ örme fonksiyonu uygulanır. Bu sayede modelin tel kafes yapıdan katı model yapıya dönüştürülmesi sağlanır. İş parçası 2B poligon geometrisinin 3B model olarak oluşturulması için aşağıdaki adımlar uygulanır.

- İş parçasını oluşturan her doğru parçası ayrı olarak ele alınmalıdır.
- Her doğru parçasından elde edilen iki köşe noktası üçgen ağ yapısının elde edilmesi için Z eksenini etrafında döndürülür. Eğer köşe değeri döndürme eksenini üzerinde ise $P_n=(x, 0)$ sadece diğer köşe noktası döndürülür.
- Her ikisinde Z eksenini üzerinde ise $P_n=(0, 0)$ bu parça üzerinde 3B işlem uygulanmaz.



Şekil 6. Yüzey Normali Gösterimi (Path-Surface Normal Direction View) [4]

Bir ağ yapısı oluşturmak için sadece üç köşe noktası yeterli değildir. Buna ek olarak, köşelerin tepe normallerinin tanımlanması gerekir. Yüzey gölgeleme miktarının hesaplanması için yüzey normalini dikkat edilmesi gereken bir parametredir (Şekil 6). Gölgeleme işlemi RGB renk kodlama sistemleri ile oluşturulmaktadır.



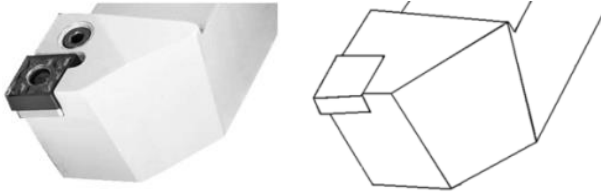
Şekil 7. İş Parçası Döndürülmüş 3B Model Görüntüsü (Workpiece Rotational 3D Model View) [4]

ışın gönderme metodu, ağ örme metodu ile katı modele dönüştürülmüş iş parçası ve kesici takıma uygulanır.

Tanımlı ışık kaynağından çıkan ışınların, iş parçası ve kesici takım geometrisi üzerine düşmesi sonucu, ışınların düştüğü yüzey uzaklıklarına göre yüzeylerin RGB kodları ile renklendirilir. Bu sayede simülasyonda 3B gerçekçi görüntünün oluşması sağlanır.

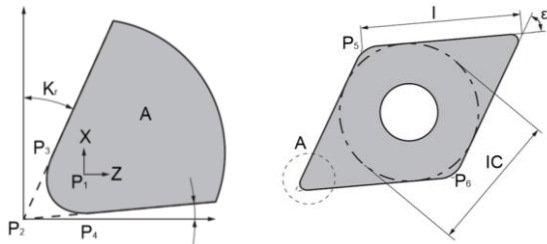
2.2. Kesici Takım Poligon Tabanlı Model Hazırlama (Polygon Based Model Creation For Cutting Tool)

İş parçasının nihai geometrisinin elde edilmesi kesici takım geometrisinin uygun seçilmiş olması ile mümkündür. CNC takım tezgahlarında yapılan parça programı, kesici takımın parça üzerinde istenilen profil boyunca giderek talaş kaldırmasını sağlamaktadır. İşlenecek profil ve iş parçası malzemesinin özellikleri çok sayıda kesici takım çeşidi ortaya çıkarmıştır. Çalışma kapsamında endüstride yaygın olarak kullanılan eşkenar dörtgen kesici geometrisi 3B nesne olarak modellenmiştir.



Şekil 8. Kesici Takım 3B Model Görüntüsü (Cutting Tool 3D Model View) [4]

Poligon modelleme tekniğinde kesici takım ve iş parçası oluşturma yapısı birbirine çok yakındır. Temel olarak iki fark gözlemlenmektedir. Birincisi, iş parçasındaki uzunluk ve çap koordinatları yerine kesici takım sınır koordinat bilgilerine ihtiyaç duyulur. İkincisi ise iş parçası 3B modelinin oluşturulmasında döndürerek süpürme işlemi uygulanırken kesici takım modelinde doğrusal süpürme işlemi uygulanır. Bu çalışma kapsamında kullanılan kesici takım model parametreleri; uç kavisi, kenar uzunluğu, uç açısı ve yaklaşma açısıdır. Diğer değişkenler bu eşitliklere bağlı olarak parametrik hesaplanmıştır. Kesici takım geometrisi endüstriyel kullanım açısından iş parçasından farklı olarak parametrik inşa edilir. ISO 13399 standardına göre kullanıcı tarafında serbest olarak değiştirilebilen takım tipi, iç çap, kesici kenar uzunluğu ve uç kavis bilgisi değişken parametre olarak tanımlanırken sınır koordinatları parametrik tanımlanır (Şekil 9).



Şekil 9. Eşkenar Dörtgen Kesici Parametreleri (Rhombus Cutting Tool Parameters) [4]

Çalışmada takım geometrisi, eşkenar dörtgen olarak hazırlanmıştır. Bu kesici takımlar tornalama operasyonlarında yaygın kullanıma sahiptir. Parametrik eşkenar dörtgen takım sınır şartları;

$$P_1 = (0,0)$$

$$P_2 = P \left(\cos \left(\frac{3\pi}{2} - \frac{\varepsilon}{2} - K_r \right) \frac{r_\varepsilon}{\sin \left(\frac{\varepsilon}{2} \right)}, \sin \left(\frac{3\pi}{2} - \frac{\varepsilon}{2} - K_r \right) \frac{r_\varepsilon}{\sin \left(\frac{\varepsilon}{2} \right)} \right)$$

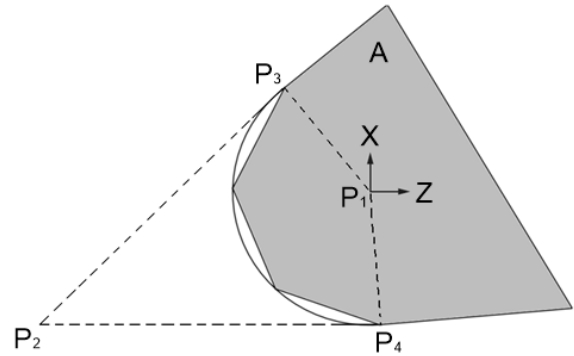
$$P_3 = P(\cos(\pi - K_r)r_\varepsilon, \sin(\pi - K_r)r_\varepsilon)$$

$$P_4 = P \left(\cos \left(K_\varepsilon - \frac{\pi}{2} \right) r_\varepsilon, \sin \left(K_\varepsilon - \frac{\pi}{2} \right) r_\varepsilon \right)$$

$$P_5 = P \left(P_{2x} + \cos \left(\frac{\pi}{2} - K_r \right) L, P_{2y} + \sin \left(\frac{\pi}{2} - K_r \right) L \right)$$

$$P_6 = P \left(P_{2x} + \cos \left(\frac{\pi}{2} - K_r - \varepsilon \right) L, P_{2y} + \sin \left(\frac{\pi}{2} - K_r - \varepsilon \right) L \right)$$

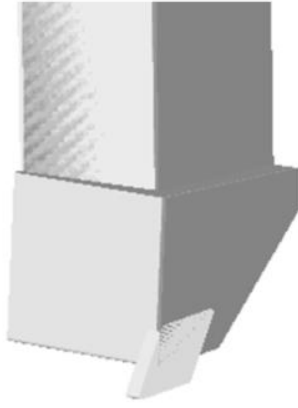
Burada P_1 kesici uç yarıçap merkez koordinatını gösterirken, diğer P_2, P_3, \dots, P_6 değerleri ise kesici takımın köşe koordinatlarını belirtmektedir. Değişken değerler uç kavisi r_ε , kenar uzunluğu l ve uç açısı ε değişkenleri kullanılarak yukarıdaki eşitlikler hesaplanır.



Şekil 10. Kesici Uç Yarıçap Poligon Görüntüsü (Cutting Tool Edge Radius Polygon View) [4]

Kesici takım doğrular yardımı ile çizdirileceğinden dolayı uç kavisi küçük doğru parçaları ile modellenmiştir (Şekil 10). 2B düzlem üzerinde hazırlanan kesici takım poligon geometrisinin 3B olarak dönüştürülmesinde doğrusal süpürme işlemi uygulanır. Bu işlem, kesici takımını oluşturan poligon doğrularının belirtilen bir vektörde tekrar oluşturulup aralarının ağ örme metodu kullanılarak kapatılmasıyla olur. Süpürülecek poligon modelde;

- Poligon doğru parçalarından oluşan bir yapı olarak düşünülmelidir.
- Doğru düzlem üzerinde süpürüldüğünde süpürme doğrultusu doğru hattı doğrultusuna yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi paralel ise dörtgen oluşturulur.

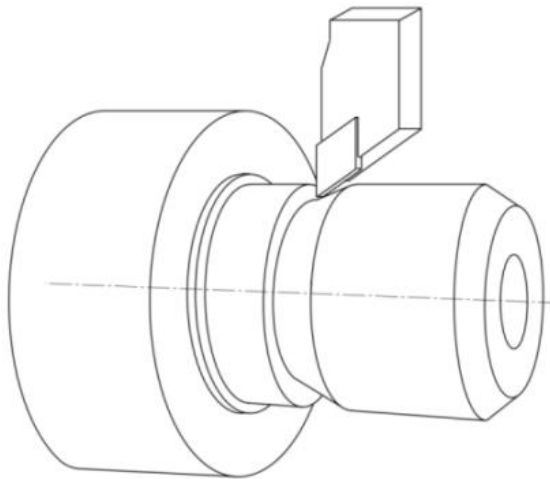


Şekil 11. Süpürülmüş Kesici Takım Model Görüntüsü (Swept Cutting Tool Model View) [4]

Poligonun tüm kenar çizgileri için süpürme işlemi uygulandığında nihai süpürülmüş poligon yapısı elde edilmiş olur (Şekil 11).

2.3. Poligon Kırma Tekniği ile Etkileşim Modelinin Hazırlanması (Creation of interaction model using polygon clipping technic)

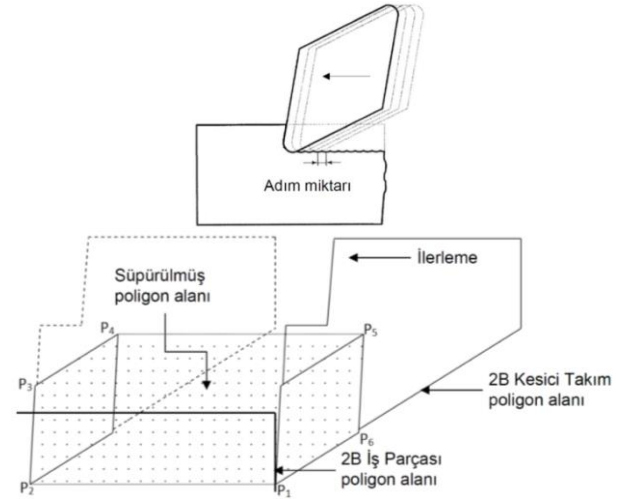
Simülasyon ekranındaki tüm hareketler belirli bir matematiksel altyapı ile oluşmaktadır. İş parçasına ait poligon gerçek ortamda dönme işlemi yapsa da sanal ortamda bu parça sabit olarak işlenmektedir. Bu dönme hareketinin simülasyon kalitesi yada hesaplamalar için herhangi bir katkısı olmayacaktır.



Şekil 12. 3B Nesne Etkileşimi (3D Model Interaction)

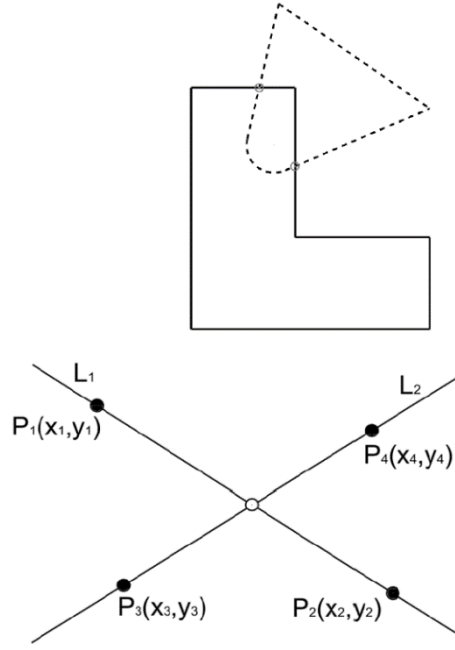
Simülasyon esnasında poligonlarda oluşan tek değişiklik parçaların birbirleri ile temasında oluşan kırma işleminden dolayı meydana gelmektedir. Diğer taraftan kesici takım poligonu iş parçası gibi sabit değildir. Takım yolu içinde verilen koordinatlara göre kesici takım poligon yapısı hareket etmektedir. Dolayısıyla simülasyon boyunca kesici takım hareketi hesaplanmaktadır. Tüm simülasyon bu iki poligon yapısının 2B olarak hesaplanması ile gerçekleşir. Ardından elde edilen veriler 3B ortamda işlenerek nihai iş parçası modeli oluşturulur (Şekil 12).

Talaş kaldırma sürecinde kesici takım ve iş parçası poligon geometrisi zamana bağlı olarak sürekli çıkarılır. İş parçasının doğruluğu açısından bu etkileşimin kesişim noktalarının doğruluğu en önemli problemdir. Ayrıca simülasyonun hesaplama zamanını etkileyen en kritik parametredir. Bundan dolayı kesişim algoritmasının optimize edilmesi önemlidir.



Şekil 13. 2B kesici takım - iş parçası dinamik etkileşim görüntüsü (2D cutting tool - workpiece dynamic interaction view) [4]

Parça programında tanımlanan her kesici takım hareketi işleme süresi içinde tek adımda gerçekleşir. Ancak simülasyon ekranında sistemin belirli bir sürede kat etmesi gereken bu mesafe ilerleme değerine bağlı olarak "n" adımda gerçekleştirilir. Tüm adımlarda kesici takımın ilk pozisyonu ile son pozisyonu arasında kapalı bir poligon geometrisi oluşturulur ve bu alana süpürülmüş alan adı verilir. İş parçası geometrisi ve kesici takım süpürme alanı kesişim noktaları bulunarak birbirinden çıkartılır. Bu işlem her adımda tekrarlanır. İş parçası ve kesici takımın poligon geometrilerinin oluşturduğu doğru parçalarının birbirleri ile kesişim noktasının bulunması ile iş parçası geometrisi yenilenir. İki doğrunun kesişim noktasının bulunmasında aşağıdaki algoritma kullanılır.



Şekil 14. Doğru kesişimlerinin belirlenmesi (Defining of line intersection) [4]

L_1 ve L_2 doğrularının birbirleri ile kesiştikleri noktanın bulunması için doğru üzerindeki koordinatları belirli nokta dizilerinin oluşturulması gerekir.

$P_1 = (x_1, y_1), P_2 = (x_2, y_2), P_3 = (x_3, y_3), P_4 = (x_4, y_4)$

İki doğru için doğrusal eşitlik yazarsak eğer;

$$L_1 \rightarrow A_1x + B_1y = C_1 \quad A_1 = y_2 - y_1 \quad B_1 = x_1 - x_2$$

L_1 ve L_2 doğru eşitliği bir matris içerisinde yazılabilir.

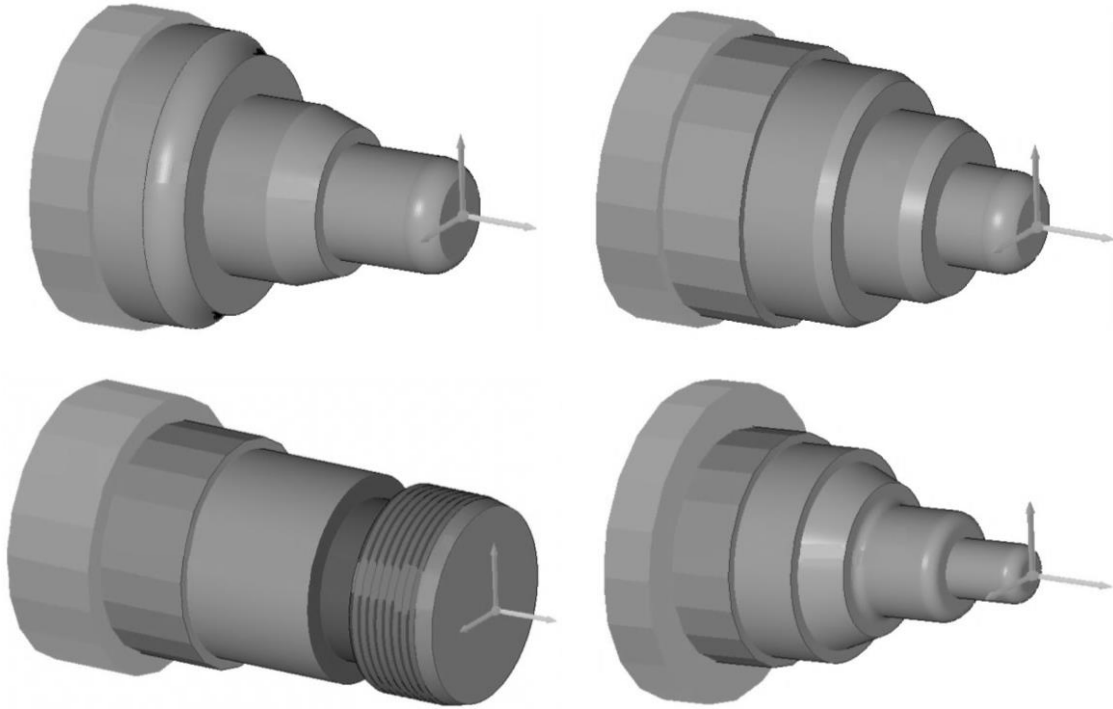
$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix}$$

Bu matris ile kesişim noktasının x ve y koordinatları bulunabilir.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \frac{1}{A_1B_2 - A_2B_1} \begin{bmatrix} B_2 & -B_1 \\ -A_2 & A_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix}$$

3B NC kod simülasyonunda bu etkileşim her adımda hesaplanmaktadır (Şekil 4). Bu bilgiler farklı CNC kontrol sistemlerine göre değişse de genel olarak G01, G02 ve G03 gibi alfasayısal değerler ile ifade edilir. Kesici takım poligon geometrisi 2B uzayda hesaplanan yeni koordinat bilgilerine göre hareket eder. Tüm hareket anında 2B kesici takım profili XZ düzlemine dik doğrultuda süpürülür ve 3B görüntü elde edilir. Tüm matematiksel hesaplamalar 2B düzlem üzerinde gerçekleşmektedir. İşlemler, bir döngü içerisinde uygulanır ve her adımdaki kesici takım – iş parçası kesişim noktaları ile iş parçası 2B poligon geometrisi güncellenmiş olur. Bu anlık hesaplamalar ile yeni kesişim noktaları ile hesaplanmış 2B kesici takım poligon geometrisi, 3B görüntünün elde edilmesi için anlık süpürülür. Süpürülme sonunda anlık 3B iş parçası geometrisi elde edilir. Aşağıda etkileşim sonucu elde edilmiş iş parçası sonuçlarına ait görüntüler sunulmuştur (Şekil 15)



Şekil 15. Hesaplanmış İş Parçası Model Görüntüleri (Calculated Workpiece Model Views)

$$L_2 \rightarrow A_2x + B_2y = C_2 \quad A_2 = y_3 - y_4 \quad B_2 = x_3 - x_4$$

3. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Günümüz talaşlı üretim sistemleri için önemli bir yer tutan CNC torna operasyonlarının takım yolu doğrulamasının yapılması sanal imalat sistemleri için önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmada, CNC tornalama operasyonlarının sanal ortamda benzetiminin yapılabilmesi için sınır temsili metodu kullanarak iş parçası ve kesici takım modelleme yöntemi tanıtılmıştır. İlk olarak, iş parçası ve kesici takım geometrisi 2B poligon yapısı ile oluşturulmuştur. Ardından, iş parçası 2B poligon yapısı 360° döndürülerek süpürme işlemi uygulanmıştır. Kesici takım modeli ise doğrusal süpürme işlemi ile 3B model formatına dönüştürülmüştür. Poligon tabanlı oluşturulan nesnelerin etkileşim hesaplamalarında poligon kırma algoritmaları kullanılmaktadır. Poligonlar arası kesişim noktalarının bulunması problemleri için literatürde birçok araştırma mevcuttur. Endüstrideki 3B sanal imalat simülasyonlarında farklı etkileşim algoritmalarından faydalanılmıştır. Bu çalışmada da literatüre ek olarak yeni bir etkileşim modeli hazırlanmıştır. Böylece hızlı bir model oluşturma ve etkileşim hesabının gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışma, sanal imalat sistemi üzerine geliştirme faaliyetleri yapacak araştırmacılar için nesne modelleme yöntemlerine ışık tutması beklenmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Karanukaran K.P., Shringi R., Singh K., "Virtual Machining", *Modern Machine Tools Technofocus*, 62-68 (2004).
2. Gülesin M., "CNC Freze Tezgahları için Program Hazırlama ve Bilgisayarda Simülasyonu", *Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, (1986).
3. Özdemir A., "CNC Torna Tezgahlarına Hazırlanan İş Üretme Programının Bilgisayar Yardımı ile Simülasyonu", *Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, (1988).
4. Gökçe H., "CNC Torna Tezgahları için 3B Simülasyon Programının Geliştirilmesi ve Sanal İşleme", *Gazi Üniversitesi Doktora Tezi*, (2014).
5. Chen Z., "Development of OpenGL Based 3D Simulator for Computer Numerical Control", *International Conference of Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 6-10, (2010).
6. Mann S., Bedi S., Israeli G., Zhou X., "Machine Models and Tool Motions for Simulating Five Axis Machining", *Computer Aided Design*, 231-237 (2010).
7. Hanwu H., Yueming W., "Web Based Virtual Operating of CNC Milling Machine Tools", *Computers in Industry*, 686-697 (2009).
8. Lee S., Lin H., "Development of Universal Environment for Constructing Fixe Axis Virtual Machine Tool Based on Modified D-H Notation and OpenGL", *Robotics&Computer Integrated Manufacturing*, 253-262 (2010).
9. Yeğin, E., "An Advanced Machining Process Simulator for Industrial Applications", *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, (2010).
10. Kadir A., Xu X., Hammerle E., "Virtual Machine Tools and Virtual Machining", *Robotics&Computer Integrated Manufacturing*, 494-508, (2011).