

Bülent EKİCİ

Doç. Dr.

Hüseyin YALTIRIK

Mak. Yük. Müh

Melda DEMİRBAŞ

Marmara Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

FDM (Fused Deposition Modeling) Yöntemi ile Çalışan Hızlı Prototip Cihazlarında Kullanılan Bilgisayar Yazılımı

FDM yöntemi ile prototip üretebilen bir makine tasarlanıp üretilmiştir. Üç eksenli kartezyen robot tasarımı ile prototip makinenin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimin bu aşamasında makinenin bilgisayar yardımıyla istenilen hareketleri yapmasını sağlayacak olan CAD/CAM yazılımı oluşturulmuştur. Bu yazılım sayesinde makine oluşturulmak istenen nesneyi parçalara bölerek ABS filament tel ile bu parçaları doldurmuştur. Ortaya çıkan taslak makine daha sonra reel testlerden geçirilerek çeşitli parçalar üretilmiştir. Projede üretilen parçalar göz önüne alındığında başlangıç hedeflerine ulaşıldığı görülmüştür.

Anahtar kelime; kartezyen robot, ekstrüder kafa, ABS filament tel

GİRİŞ

Hızlı ve aynı ürün elde etmek için geliştirilen FDM yöntemi ile çalışan bilgisayar kontrollü bir makinenin tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Proje beş aşamadan oluşmuştur. Bu aşamalar sırasıyla

1. Üç eksenli kartezyen robotun tasarımı ve üretimi [1]
2. Ekstrüder kafanın tasarımı ve üretimi,
3. ABS telin üretilmesi çalışmaları [2] ve geliştirilmesi, temel köpüğünün üretimi,
4. Bilgisayar yazılımı ve son aşama olarak
5. Testlerin yapılması ve kalibrasyonlardır.

Bu çalışmada ele aldığımız konu bilgisayar yazılımıdır. Bunu gerçekleştirmek için ilk önce hızlı prototip üretimi yapan bilgisayar programı geliştirilmiş bilgisayar programının teknolojik alt yapısına ulaşılmış ve CAD/CAM yazılımı oluşturulmuştur. Bu aşamaların çoğu gerçekleştirilmiş ve makinenin montajı tamamlanmıştır.

PROGRAMIN GELİŞTİRİLDİĞİ ARAÇLAR VE BAĞLI OLDUĞU TEKNOLOJİLER

Bakış Açısı programı ve hızlı prototipleme modülü C++ programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Derleyici olarak Microsoft Visual Studio 2005 kullanılmıştır. Algoritmalarda standart C++ kütüphanesi "std"nin sınıfları ve fonksiyonları, grafik boyama için Open GL kütüphanesi, kullanıcı ara yüzü için, Microsoft'un MFC kütüphanelerinden

faydalanılmıştır. Programın kaynak kodunun versiyon idaresi ve yedeklenmesi SVN açık yazılımı ile yapılmaktadır.

BİLGİSAYAR PROGRAMININ GELİŞTİRİLMESİ

Bilgisayar programı olarak geliştirilmesi planlanan kod hızlı prototip işlemleri için üretilmesi gereken özel bir yazılımdır. Yazılımın tasarlanması ve seçimi önem arz etmektedir [3]. Bu yazılımda diğer CAD ve CAM programlarında olması gereken aşağıda belirtilen temel işlevlerin de olması beklenir.

- STL, IGES, DXF, ParaSolid v.s. CAD formatlarındaki dosyaları okuyup yazabilme.
- Programın 3 boyutlu katı, yüzey ve çizgileri ayırt edebilme,
- Nesnelerin üzerindeki temel görüntü işlemlerini yapabilme; yaklaşım uzaklaşma (zoom) sağa sola kaydırma (pan), döndürme (orbit) ve değişik açılardan parçaya bakabilme,
- Parçanın taşınması (move), döndürülmesi (rotate) ve boyutlarının değiştirilmesi (scale)
- Çizgisel gösterim (wiredframe representation), renkli ve doku giydirilmiş gösterim (shade) görüntü işlemlerinin yapılabilmesi,

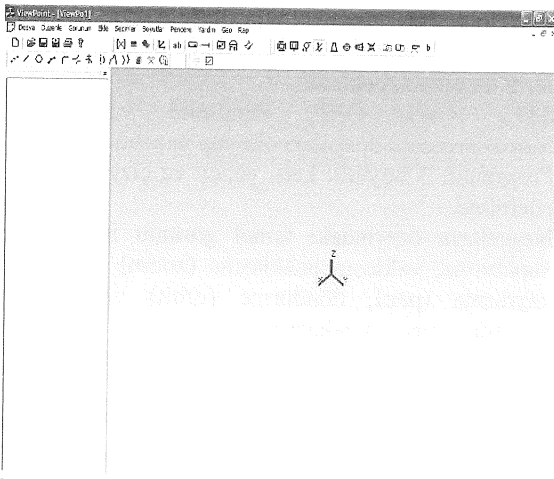
Oluşturulmak istenen CAD yazılımında yukarıdaki özellikler temel alınmıştır. Bu asgari özelliklere ilave olarak sadece hızlı prototiplemeye özgün özelliklerin de pakette yer alması planlanmıştır. Bu unsurlar aşağıda sıralanmıştır.

- STL formatında açılan dosyada bulunan katı nesnenin belirtilen z kalınlığında (genelde 0.25 mm) parametrik ve interaktif bir biçimde katmanlar halinde dilimleme (slicing),
- Bu katmanları her birinin iç ve dış konturlarının depolanması ve eğri haline getirme,
- Her bir konturun doldurulması gereken yerleri tespit edebilme,
- Doldurma işleminin ne şekilde yapılacağını tespit edebilme ve doldurma algoritması ile çizgiler kullanarak bu doldurma işlemi yapabileme,
- Destek malzemesi örülmesi gerekiyorsa bunu tespit edebilme ve bu işlemi gerçekleştirebilme
- G kodlarını çıkarıp bir dosyaya aktarabilme (POST),
- Elde edilen katmanların ve doldurulan (Taranan) bölgelerin istendiğinde gösterimini gerçekleştirebilme,

Elde edilen kodların makinenin köpük tabanında yerleşimini yapabilmesi ve CNC makineye gönderilmesini sağlayabilme.

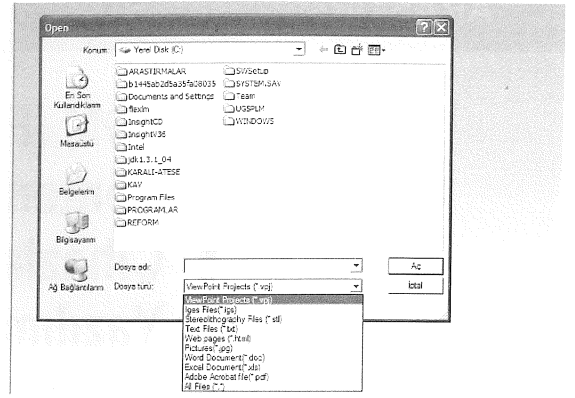
Bu yazılım için yapılan araştırmalar ışığında bir kalıp firması ile görüşülmüş ve bu konuda çalışma başlatılmıştır. Firmanın çalışanlarından bu süreçte istenilen özelliklere uygun bir kod yazımına başlanması sağlanmıştır.

Müteakip sürelerde art arda yapılan ortak çalışmalar sonucunda geliştirilmeye başlanan yazılımın algoritmaları ortaya çıkarılmış ve bu algoritmalar süreçle birlikte geliştirilmeye devam edilmiştir. Ortaya çıkan yazılımla programın kullanımı aşağıdaki açıklanmıştır. Şekil.1'de programın genel görünüşü gösterilmiştir.



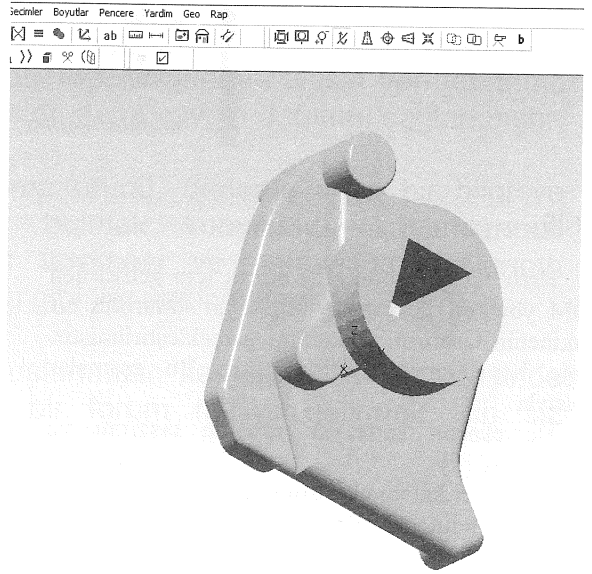
Şekil 1. Programın Genel Görünüşü

Herhangi bir parçanın açılması için yapılan yeni dosya açma işlemi Şekil 2'de gösterilmiştir.



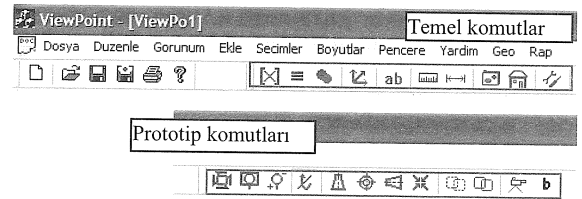
Şekil 2. Bir STL Formatlı Dosyanın Açılması

Açılan dosyada STL formatında kaydedilmiş model seçilmiştir. Dosya açıldığında doku giydirilmiş haliyle ekranda görünür. (Şekil 3)



Şekil 3. STL Formatlı Doku Giydirilmiş Parça Örneği

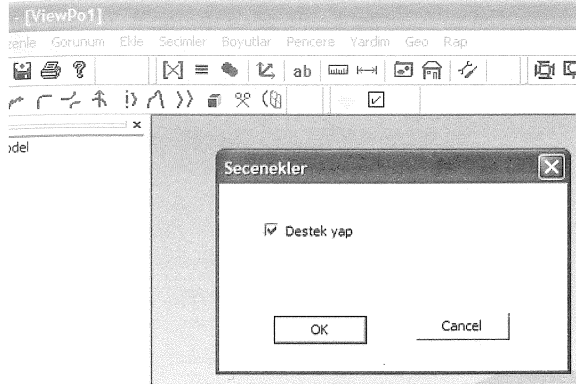
Prototip üretimi için gerekli komutlar pan, zoom, orbit model v.s temel işlem komutlarıyla birlikte. Standart araç çubuğuna yerleştirilmiştir. (Şekil.4)



Şekil 4. Standart Araç Çubuğu

Malzeme işleme komutları standart araç çubuğunun altındadır. Modelin katmanlara ayrılmadan önce destekleri hesaplayıp hesaplamayacağını belirtmesi

gerekmektedir. Eğer destek gerekiyorsa seçenekler düğmesinden destek yap butonu seçilmelidir. Tasarımcı desteğin gerekli olup olmadığını geometriye bakarak karar vermeli ve bu komutu kullanmalıdır. (Şekil 5)



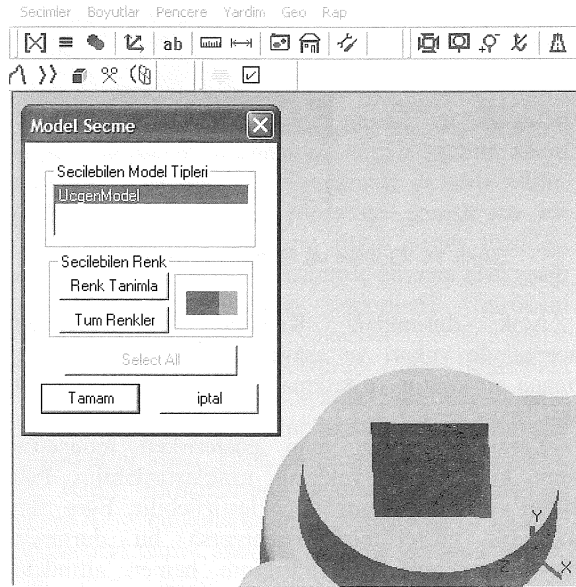
Şekil 5. Destek Katmanı Oluşturma Onay Penceresi

Bu seçenektan sonra model seçim düğmesine basılmalıdır. Destek oluşturma düğmesinin hemen yanındaki düğme model seçim düğmesidir (Şekil.6).



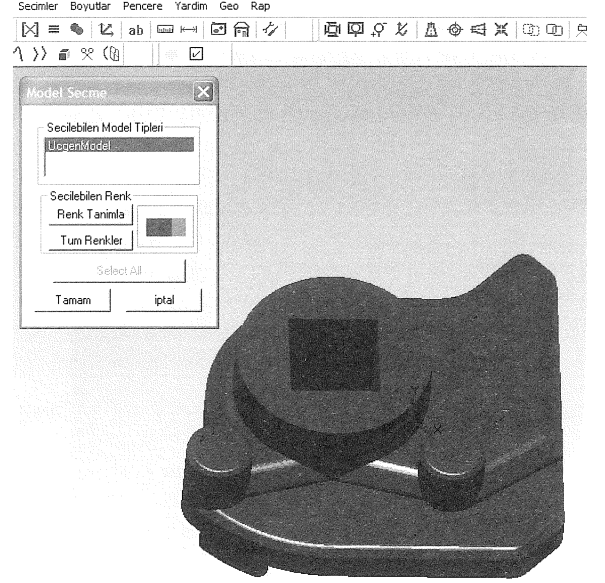
Şekil 6. Model Seçim Düğmesi

Daha sonra aşağıda açılan pencereden Mouse kullanılarak parçanın işaretlenmesi gerekmektedir (Şekil 7).



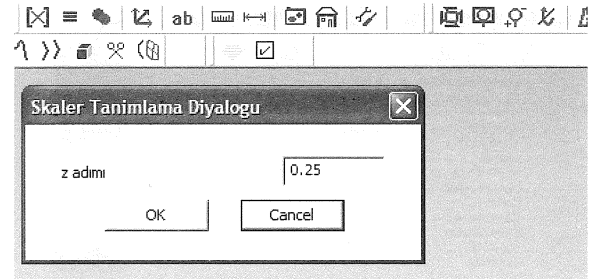
Şekil 7. Parçanın İşaretlenmesi

Parça işaretlendiğinde kırmızı rengini alır, bu da parçanın seçildiğini göstermektedir, (Şekil.8). Ardından tamam düğmesine basılarak işlem tamamlanır.



Şekil 8. Seçilmiş Parça

Bu işlemden sonra katman kalınlığının ne olacağını sorulduğu yeni bir pencere açılır. (Şekil.9)



Şekil 9. Z Katman Kalınlığının Ayarlanması

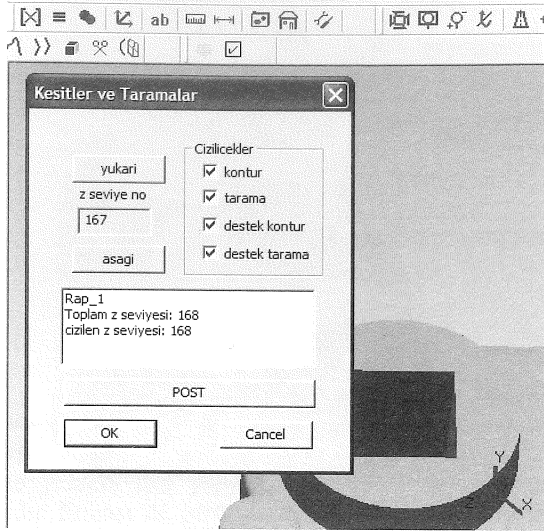
Katman kalınlığı ekstrüder kafadan elde edilecek erimiş telin çapı ile ilgilidir. En uygun değerler 0.25-0.35 mm arasında olduğu deneysel olarak gözlemlenmiştir. Bu yüzden değerler bu aralıkta olmalıdır.

Katman kalınlığının seçilmesi ve Ok tuşuna basılması ile katmanlar elde edilir. Yeni açılan pencerede rakamların görülmesi ile katman kesme işlemi tamamlanmış demektir, (Şekil 9). Açılan pencerede toplam planlanan ve gerçekleştirilen katman sayıları görülmektedir. Bu katmanların konturları ve içlerinin doldurulması (tarama) işlemi de yapılmıştır.

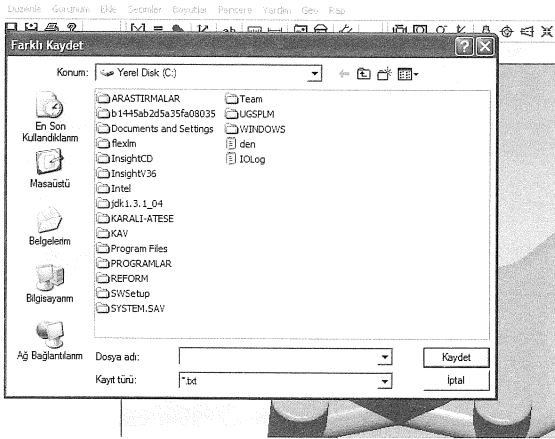
Elde edilen bu çizgilerin G kodlarına dönüştürülmesi için yine aynı pencerede bulunan POST düğmesine basmak gerekmektedir (Şekil 10). Açılan pencereye dosya için isim vermek POST'un kaydedilmesi için yeterli olacaktır (Şekil 11). Kod

ismini verip tamam tuşuna bastıktan sonra elde edilen dosyayı açtığımızda Şekil 12'deki text formatlı verileri görebiliriz.

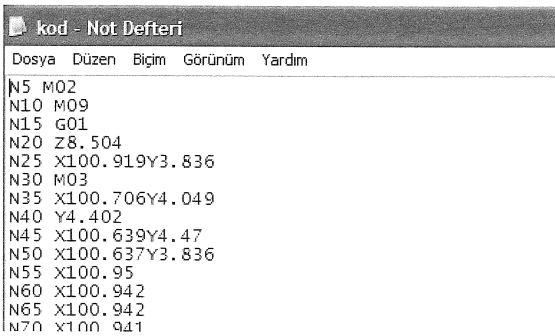
Elde edilen verilerin ekranda gösterimi için Post işleminden sonra Şekil 12'deki kod penceresini açık tutmak gerekmektedir.



Şekil 10. Kontur Tarama ve Modelin Görünür-lük Ayarları ve POST İşlem Penceresi



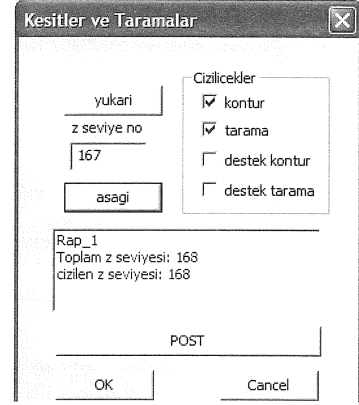
Şekil 11. POST'un Kaydedilmesi



Şekil 12. G Kodlarının Kaydedilmiş Dosyadaki Text Formatlı Görünümü

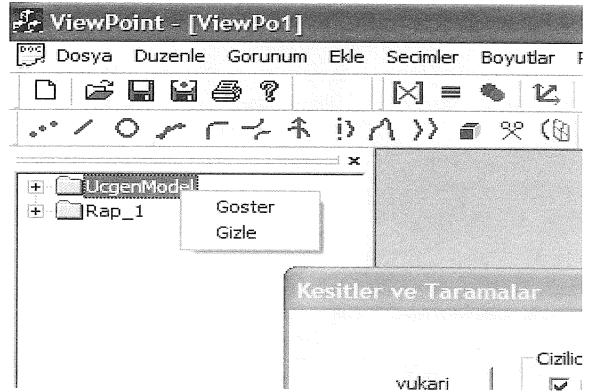
Kesitler ve Taramalar Penceresinin sağ tarafındaki Çizilecekler kısmında görünüm ayarı yapabilirsiniz (Şekil 13).

Ekrandaki katı modeli yok edip sadece elde edilen G kod kontur ve taramalarını görmek için mouse ile ekranın solunda üst köşede görülen ekrandaki katı nesnenin adını gösteren klasör işaretlenip mouse'un sağ tuşuna basıldığında açılan pencerede kontur ve taramalar işaretlenir ve tamam tuşuna basılmalıdır.



Şekil 13. Görünüm Ayarlarının Yapılması

Şekil 14'te Göster ve Gizle seçenekleri çıkmaktadır. Gizle işaretlendiğinde ekranda katı nesne gözükmez sadece çizgiler kalır.



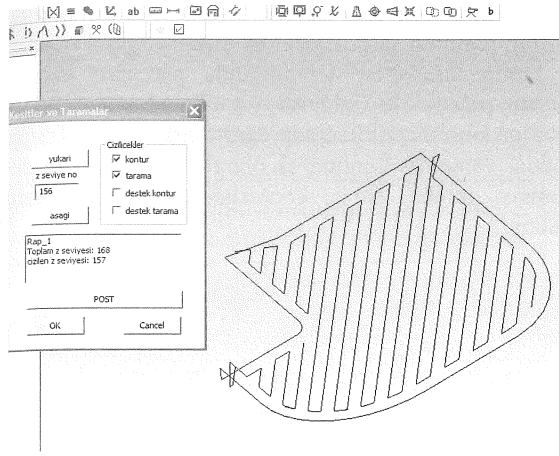
Şekil 14. Göster ve Gizle Seçenekleri

Açık durumdaki Kesitler ve Taramalar penceresinde yukarı ve aşağı butonları ile istenilen katmana ait kontur ve taramalar ekranda gösterilebilir (Şekil 15).

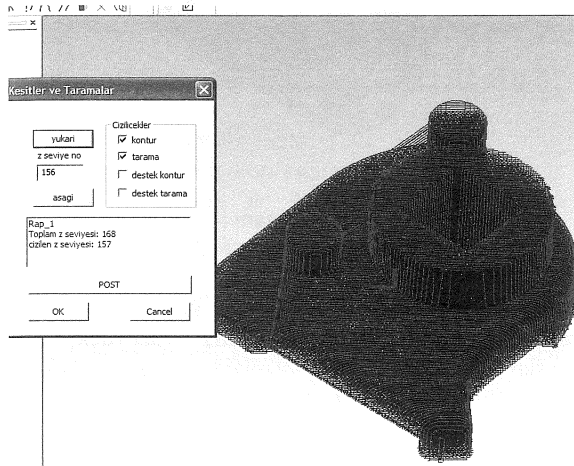
Katmanların çizgilerini gösterirken mouse'un topunu kullanarak yaklaşıp uzaklaştırılabilir. Pan işlemini ve Orbit işlemi gerçekleştirilebilir. Eğer tüm konturların gösterilmesi isteniyorsa bu durumda soldaki pencerede parça isminin hemen altındaki klasörü işaretleyip sağ tuştan göster düğmesine basmak gerekecektir (Şekil 16).

ndaki
rsiniz

edilen
se ile
kati
se'un
ar ve



Şekil 15. Tek bir kesitteki kontur ve taramanın görüntüsü

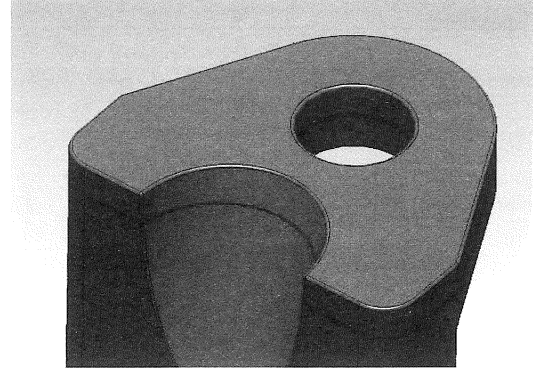


Şekil 16. Tüm Kesitlerdeki Kontur ve Taramanın Görünüm

BİLGİSAYAR PROGRAMININ TEKNOLOJİK ALT YAPISI

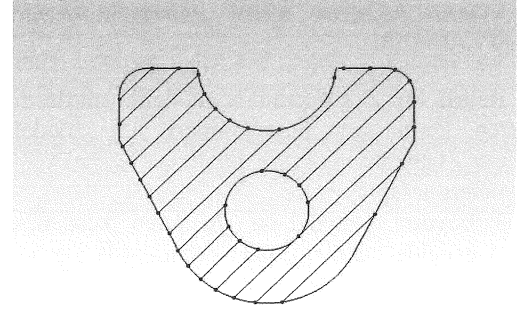
Hızlı prototiplemede model en aşağıdan başlanarak her Z katmanında kapalı hacmin kesiti olan alanın taranarak doldurulması ile elde edilir. Eğer geometri yukarı çıkılırken genişleyen bir forma sahipse bu bölgelerin altları destek maddesi ile doldurulmalıdır. Aksi takdirde taranan alan aşağı akacaktır. Yazılımımız geometri girdisini kullanarak en aşağıdan en yukarıya 0.25'lik adımlar ile Z katmanları oluşturup her katmanda doldurulacak alanı hesaplayarak ekstrüder kafanın bu alanı tarayacak koordinatlarda hareketini anlatan G kodlarını üretir. Hızlı prototipleme yazılımı STL ve IGES formatlarında geometriyi okuma ve OpenGL kütüphanesini kullanarak okunan geometriyi grafik ekranda boyama, dinamik zoom, pan, orbit, seçim yapma gibi temel işlemlere sahiptir. Yazılan prototip işlem modülde sırasıyla aşağıda açıklanmıştır. İlk işlem olarak normali Z eksenine olan ve 0.25 mm'lik adımlarla modelin en

üstünden en altına inen düzlemler ile STL modeli keşitirilmektedir. Her katmanda modelin sınırlarını gösteren kesit konturları elde edilir, (Şekil 17)



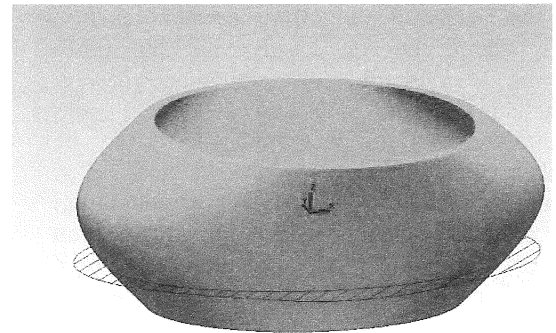
Şekil 17. Bir Z Katmanı için Modelin Sınırlarını Gösteren Kesit Konturu

Daha sonra konturların içleri X eksenine ile 45 veya 135 derece açı yapan çizgiler ile taranır. Şekil 18'de bu şekilde düzenlenmiş sınır konturlarının içinde kalan alanın taranmış hali görülmektedir.



Şekil 18. Sınır Konturları İçinde Kalan Alanın Taranması

Son adımda eğer destek yapma seçeneği seçili ise her katmanda desteklenecek alanı tanımlayan konturlar ve içlerini tarayacak paralel çizgiler hesaplanır, (Şekil 19).



Şekil 19. Aşağı Doğru Daraldığı için Destek Malzemesi ile Doldurulan Bir Parça

ctadır.
ıkmez

ar F

ar F

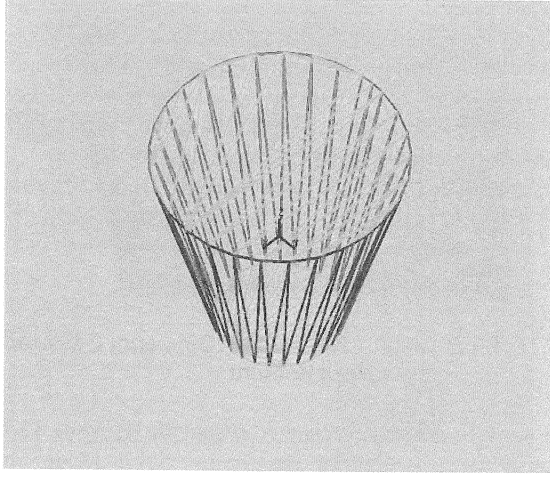
Dizilic

umalar
enilen
lebilir

ise'un
. Pan
r tüm
rumda
ndaki
asmak

RGİSİ

STL formatındaki parça Euclid uzayında köşe noktalarının mutlak koordinatları verilen üçgenlerle ifade edilmektedir (Şekil 20). Köşe noktalarına ek olarak üçgenlerin normal vektörleri de verilmektedir.



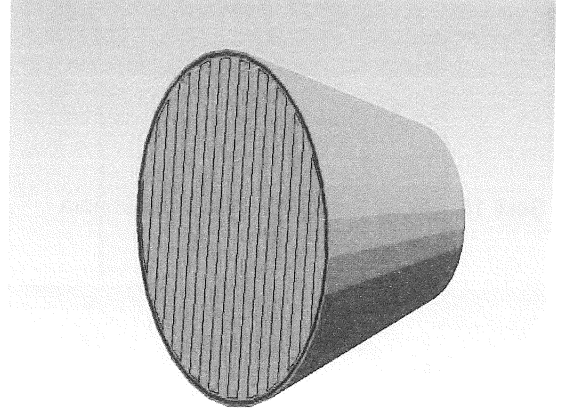
Şekil 20. Konik Bir Parçanın Üçgenler ile Temsil Edildiği STL Görüntüsü

Z KATMANLARINDA SINIR KONTURLARININ HESAPLANMASI

Belirli bir Z katmanında modelin sınırlarını gösteren konturların hesaplanması için modeli oluşturan üçgenlerin kesit düzlemi ile tek tek kesişmeleri hesaplanır.

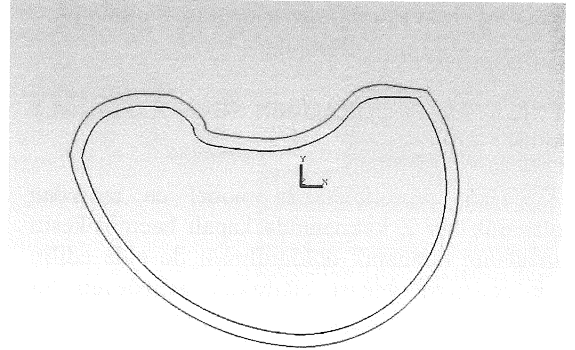
3 boyutlu uzayda iki düzlemin kesişmesi sonucu genelde bir çizgi, özel durumlarda ise boş küme veya düzlemlerin kendisi olur. Üçgen düzlemi ile kesit düzlemi kesişmesinin sonucu bulunan sonsuz çizginin üçgeni sınırlayan kenarların içinde kalan kısmı hesaplanırsa sınırlı bir çizgi veya boş küme elde edilir. Böylece kesit düzlemi ile modeli oluşturan üçgenlerin kesişmeleri ile pek çok sınırlı çizgi elde edilir. Bütün bu çizgiler kesit düzlemi üstünde (X-Y) düzleminde dirler. Z koordinatları ise katmanı ile aynıdır. STL üçgen modelin su sızdırmaz katı 3 boyutlu bir hacmi tasvir ettiği kabul edilmiştir. Bu durumda kesişim çizgileri de 2 boyutta kapalı bir alanı tasvir edecektir. Bu alanın hızlı prototipleme çizgileri bir liste halinde elde edildi. Fakat bu çizgiler sıralanmış değildir. Konturlarımızı sıralı çizgiler ile tanımlayacağımız için karışık haldeki çizgi listemizi bir algoritmaya sokarak bir çizginin bittiği yerde ardından gelenin başlayacağı ardışık sıralı konturlarımızı elde ediyoruz. Sonuç olarak her Z katmanı için en az bir kapalı kontur elde ederiz, (Şekil 21).

Sınır konturlarının hesaplanması yönteminde bir katmanın alanının taranarak doldurulması gerekir. Üst üste bütün katmanlar tarandığında parçanın hacmi tamamen plastik ile doldurulmuş olur. Bir katmanın sınırlarını tanımlayan parçada eğer delik ve benzeri iç boşluklar varsa dış kontura ek olarak iç konturların da bulunması gerekir. Bu iç konturlarda mutlaka kapalı olacaktır.



Şekil 21. En Üstteki Z Katmanı İçin Sınır Kontur (Kırmızı) ve Alan Tarama Çizgileri

Program delikli modelin kesit konturunu hesapladıktan sonra modelin dış yüzeydeki dış konturları 0.125 mm yüzeyden içeri, boşluk yüzeyindeki boşluk konturlarını ise 0.125 mm boşluk sınırından dışarı ötelers, (Şekil 22)



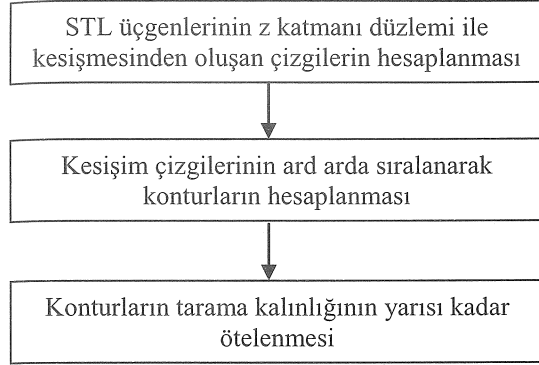
Şekil 22. Öteleme Fonksiyonunu Test Etmek Amacıyla Oluşturulan Bir Poligon

Üstteki şekilde görüldüğü gibi sınır kontur modelden biraz daha ufaktır. Ekstrüder kafanın tarama kalınlığı olan 0.25 mm değerinin yarısı olan 0.125 mm'lik bir öteleme işlemi ile geliştirilen fonksiyonların doğru çalışıp çalışmadığını anlamak için yine programın grafik alt yapısından yararlanılarak testler yapılmıştır

de bir
ir. Üst
hacmi
manın
zeri iç
rın de
kapalı

BİR Z KATMANI İÇİN SINIR KONTURU HESAPLAYAN AKIŞ ŞEMASI

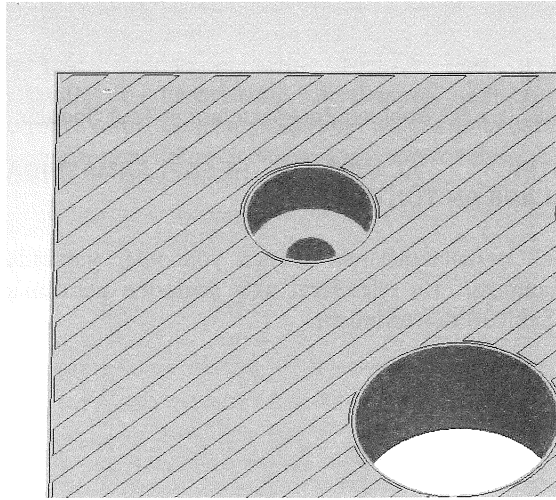
Sınır kontur hesaplama yöntemi bir akış diyagramı olarak aşağıdaki şemada açıklanmıştır.



Şekil 23. Z Kontur Hesaplama Akış Şeması

SINIR KONTURLARIN İÇ ALANININ TARANMASI

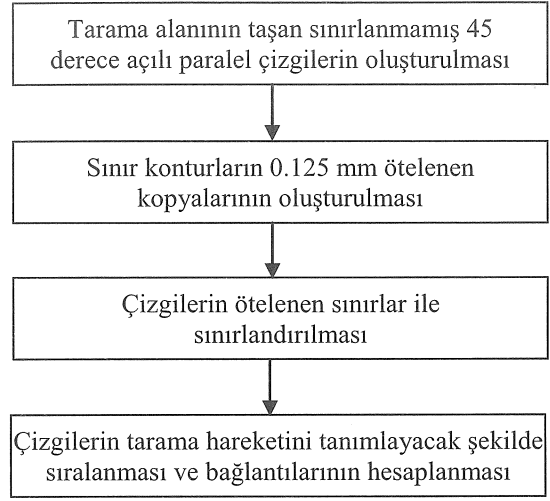
Her Z katmanı için sınır konturları elde edildikten sonra bu konturların içlerini doldurmak amacıyla X eksenine 45 derece açıyla tarama çizgileri hesaplanır. Bu işi yapan algoritmada öncelikle katmanın konturlarından oldukça uzun 45 derece açılı bütün alanı tarayacak paralel çizgiler oluşturulur. Sınır konturlarının kopyaları 0.125 mm daha tarama alanını küçültecek şekilde ötelenir. Bu paralel çizgiler ötelenen konturlar ile kesilerek sınırlanır. En son olarak tarama çizgilerinin birbirleri ile bağlantısı yine ötelenmiş sınır konturları ile yapılır ve çizgiler hareket sırasına uygun şekilde dizilir, (Şekil 24).



Şekil 24. Sınır Konturlarının İç Alanının Taranması

ALAN TARAMA ALGORİTMASINI AKIŞI

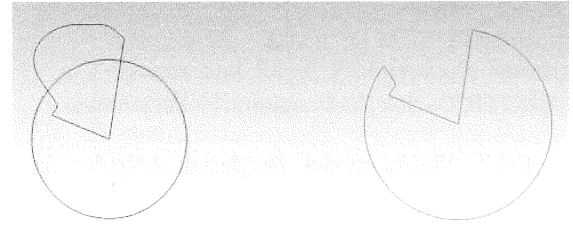
Yukarıda açıklanan işlemler bir akış diyagramı olarak Şekil 25'de verilmektedir.



Şekil 25. Alan Tarama Algoritma Akış Diyagramı

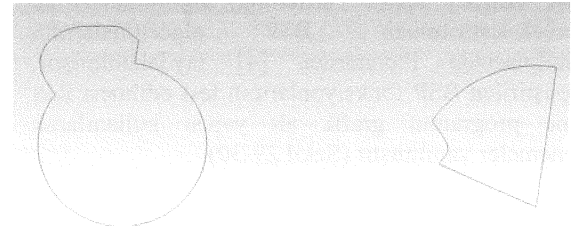
DESTEKLERİN HESAPLANMASI

Destek alanı modelin Z doğrultusunda yukarı doğru ilerlerken genişleyen alanını destekleyerek aşağı akmayı engellemek amacıyla yapılır. Bu destek alanını hesaplamak için algoritmamız modelin en üstünden başlayarak aşağı doğru ardışık olarak konturlar üzerinde boolean işlemleri yapar. Kontur çıkarma işlemi Şekil 26'te gösterilmektedir



Şekil 26. Poligon Boolean İşlemleri (Kırmızıdan Diğerinin Çıkarılması)

Birleştirme kümesi veya ortak bölgenin belirlenmesi Şekil 27'de gösterilmektedir.



Şekil 27. Birleşim Kümesi veya Ortak Bölgenin Belirlenmesi

Parçanın üst yüzeyindeki ilk katmanda
En büyük tarama alanı = en yukarı seviyenin kesit alanıdır.

ur

turunu
i dış
boşluk
boşluk

acıyla

elden
dınlığı
lik bir
doğru
gramın
ıştır

RGİSİ

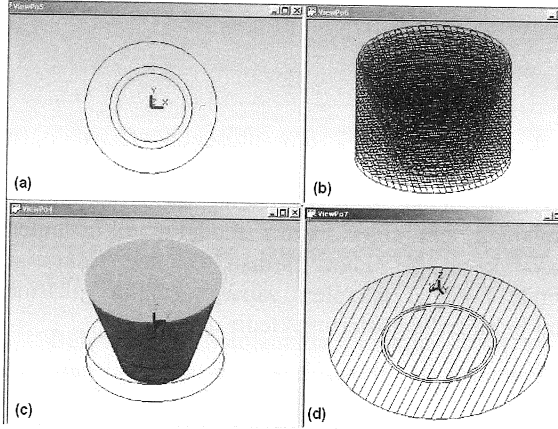
Daha sonra alt katmanlar oluştukça en büyük tarama alanı güncellenir.

$En\ büyük\ tarama\ alanı = Mevcut\ Alan\ U\ En\ büyük\ tarama\ alanıdır.$

Bu boolean işlemi en yukarı katmanın bir alt seviyesinden başlanarak her seviyede güncellenir. Ardından o anki katmanın destek alanını bulmak için.

$Mevcut\ destek\ alanı = En\ büyük\ tarama\ alanı - Mevcut\ tarama\ alanı\ hesaplanır.$

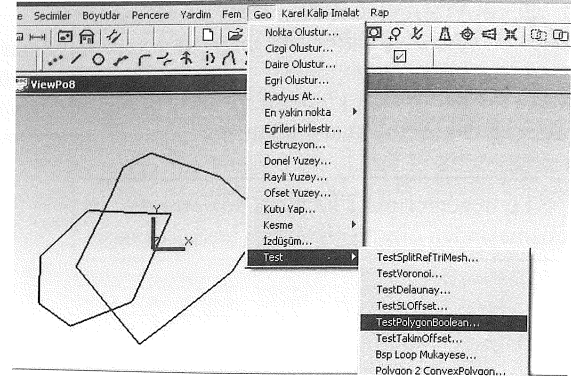
Konik modelde yukarıdan aşağıya inildikçe sınır konturların toplanması hep en üstteki katman kesiti olan büyük daire sonucunu verir. Bu daireden o katmana ait kesit daire çıkarılınca destek alanı elde edilir. Şekil 28'da destek alanın hesaplanmasına bir örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 28. Destek Taramalarının Hesaplanması

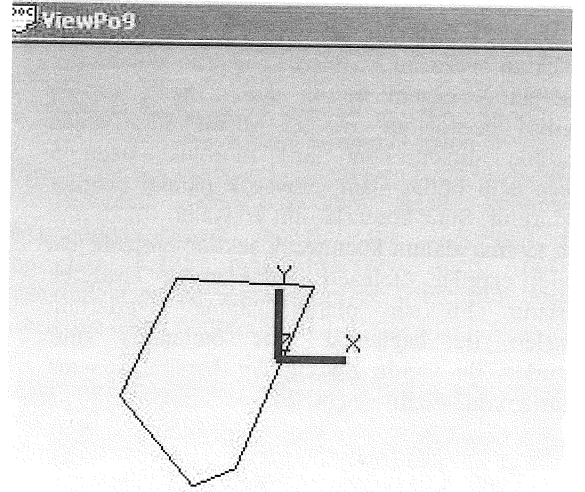
Şekil 28a'da model ve destek bölgelerinin kontur çizgileri, Şekil 28b'de de model ve destek bölgeleri katmanlar halinde bütün olarak görülmektedir. Şekil 28c'de de modelin katı haldeki görüntüsü ve üst yüzeyinin tabandaki izdüşümü görülmektedir. Şekil 28d'de en alt katmanın hesaplamalar sonucu bulunan taramaları görülmektedir.

Kesit poligonları üzerindeki boolean işlemleri BSP (Binary Space Partitioning) algoritmaları ile gerçekleştirelmıştır. BSP algoritmalarının yazılmasında literatürden [4] faydalanılmıştır. Geliştirilen BSP fonksiyonlarının test edilmesi için yine programın grafik alt yapısı kullanılarak denemeler yapılmıştır (Şekil 29-30).



Şekil 29. BSP Boolean Fonksiyonlarının Test Edildiği Bir Örnek

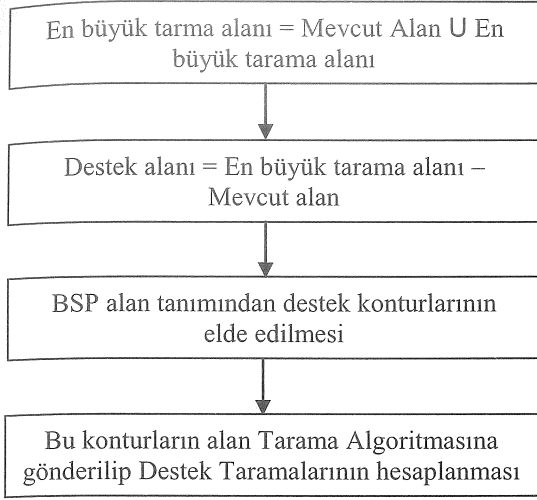
Şekil 29'da görüldüğü gibi kesişen iki poligon kullanılarak test işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak Şekil 30'da da doğru bir şekilde hesaplanan kesişim bölgesi elde edilmiştir.



Şekil 30. BSP Boolean Fonksiyonlarının Test Sonucu

DESTEK ALANIN HESAPLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEM

Destek hesaplanmasında izlenen yöntemler yukarıda açıklanmıştır. Bu işlemlerin akış şemasına getirilmiş hali Şekil 30'de verilmiştir.



Şekil 30. Destek Hesaplama Yöntemi Akış Şeması

CAD/CAM YAZILIM ÇALIŞMALARI BULGULARI

Yapılan denemelerde üretilen yazılımın bazı fonksiyonlarının oldukça başarılı olduğu bazı fonksiyonlarında beklenmedik hatalar olduğu görülmüştür. Programda genel işlemler ile ilgili her hangi bir sorun yoktur. Örneğin dosya okuma dosya kayıt etme, model ve destek malzeme katmanlarının sıralanması gibi. Karşılaşılan tek bir sorun vardır o da kesit taramaları sırasında birden fazla döngü olduğundan beklenmedik çizgilerin oluşmasıdır. Deney aşamasında bu çizgiler koddan elle temizlenmiştir. Üretilen temel şekillerde sorun gözlenmemiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada üretilmesi önerilen prototip makine yapılmıştır. Bu üretimde var olan teknolojinin unsurlarının incelenmesi amacıyla çeşitli satın almalar yapılmış ve ekipmanların çalışma prensipleri incelendikten sonra bilgisayar

yazılımıyla ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Projede sisteminin çalışması için gereken CAD/CAM yazılımı tamamlanmıştır. Bu yazılım projenin bir paket halinde tamamlanmasını sağlamıştır,
2. Bakış Açısı programı ve hızlı prototipleme modülü C++ programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir,
3. Programın kaynak kodunun versiyon idaresi ve yedeklenmesi SVN açık yazılımı ile yapılmıştır,
4. Kesit poligonları üzerindeki boolean işlemleri BSP (Binary Space Partioning) algoritmaları ile gerçekleştirilmiştir,
5. Karşılaşılan sorun kesit taramaları sırasında birden fazla döngü olduğundan beklenmedik çizgilerin oluşmasıdır. Deney aşamasında bu çizgiler koddan elle temizlenmiştir ve sorun gözlenmemiştir,

TEŞEKKÜR

Bu bilgileri elde etmemizi sağlayan TÜBİTAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Pique A., Chrisey D.B., "Direct Write Technologies for Rapid Prototyping Applications: In Sensors, Electronics and Integrated Power Sources", Academic Press; 1st edition, 2001. Pp:157.,
2. Cohen Y.B., Zhang Q.M., "Electroactive Polymers and Rapid Prototyping", Materials Research Society Symposia Proceedings, Boston,
3. Gibson I., "Software Solutions for Rapid Prototyping". Professional Engineering Pub. Ltd., 2002. Pp:48. ,
4. Shneider P.J., Eberly D.H., "Geometric Tools for Computer Graphics", Elsevier Science, 2002. Pp:55.