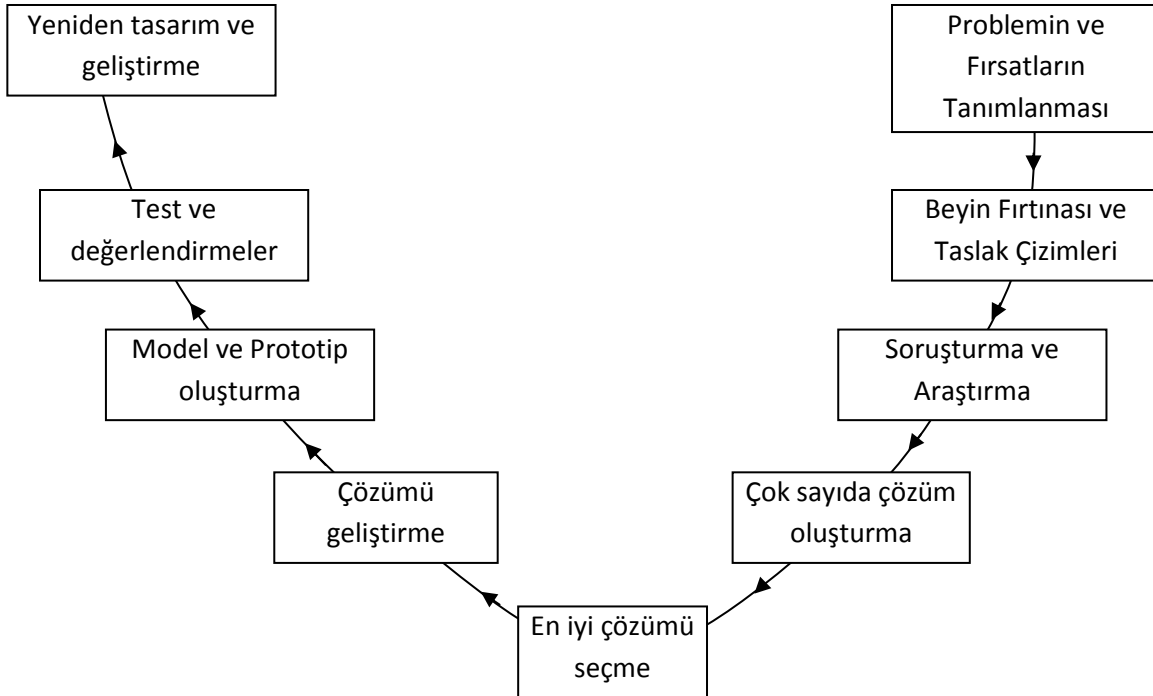


BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE ANALİZ (ANSYS)

GİRİŞ

Bir parçanın üretimine geçilmeden önce tasarım sürecinden geçmesi gerekir. Bu süreçte parçanın çizimi ve analizi olmak üzere iki önemli aşama gerçekleştirilir. Parçanın çizim aşamasında kullanılacağı yerdeki görevine uygun bir tasarım gerçekleştirilir. Bu tasarımda fonksiyon, estetik gibi hususlar göz önünde bulundurulur. Fakat gerçekleştirilen tasarımın işletme koşulları başladığında buradaki görevi yerine getirip getiremeyeceği belli değildir. Bu konuya cevap verilebilmesi için gerekli mühendislik hesaplarının ve analizlerinin yapılması gerekir.

Bir mühendislik tasarımı bir döngü şeklinde ifade edilirse aşağıdaki aşamalardan oluşur. Bu ders kapsamında öğreneceğimiz aşamalar döngünün ikinci yarısında yapılan işlemleri içermektedir. Problemimize uygun olan en iyi çözümü seçtikten sonra bunu geliştirmeye yönelik aşamaları içermektedir. Yani çözümü geliştirme, deneme modelleri oluşturma, bunları test etme ve yeniden modelleme ve geliştirme aşamalarını içermektedir.



Şekil. Mühendislik Tasarım Döngüsü.

Bir parçanın şekilsel tasarımı tamamlandıktan sonra gerekli mühendislik analizlerinin yapılabilmesi için şu yöntemler kullanılır.

- Anolitik hesaplar:** Parçanın veya sistemin kullanılacağı yere bağlı olarak mühendislik hesaplarının analitik olarak yapılmasıdır. Mühendislik derslerinin içeriği bu hesapların öğretmeyi amaç edinir. Örneğin, statik, kinematik, dinamik, mukavemet, akışkanlar mekaniği, makine elemanları vs gibi tüm dersler bu hesapların nasıl yapılacağı yönünde bilgi verir. Burada verilen hesaplar ve yöntemler gerçek hayattaki tüm sistemleri ve durumları çözmeye yeterli olmaz. Çoğu zaman bu hesaplar işin temelini ve mantığını oluşturur. Karmaşık sistemlerin çözümleri için bazen kabuller yapmak ve kararlar almak gerekir. Ardından tasarımın güvenilirliğini ispat etmek gerekir.

- b) Deneysel Metodlar: Mühendislik hesaplarının doğruluğunu kontrol etmek ve işletme koşullarında makinanın davranışlarını gözlemlemek için çoğu zaman boyutlandırılmış küçük model uygulamalarına gidilir. Buradan elde edilen deneysel sonuçlar belli hesaplardan geçirilerek gerçek hayattaki sonuçların ne olacağı ve yapılan hesapların ne derece doğru olduğu bilgisini verecektir. Örneğin yeni geliştirilen bir geminin suyun içindeki akış analizleri, yada bir köprünün rüzgar analizleri bu tür modeller üzerinde çalışmaları gerekli kılar.
- c) Nümerik Hesaplar: Çoğu zaman tasarlanan bir yapının yada sistemin modelini oluşturmak, deney koşullarını sağlamak mümkün olmayabilir. Mümkün olsada elde edilen sonuçların doğruluğunu kontrol etmek için başka yöntemlerle de desteklemek gerekebilir. Bilgisayar teknolojilerinin hızla gelişmesi bu yapılacak hesapların nümerik (sayısal) yöntemlerle yapılabilmesini sağlayacak bir çok etkili yöntemin gelişmesini sağlamıştır. Bu konudada günümüzde en çok kullanılan yöntemlerden biri FEM (Finite Element Method)(Sonlu Elemanlar Yöntemi-SEY) dir. Bu yöntemle bilgisayarda iyi bir modelleme yapıldığında gerçeğe çok yakın sonuçların alınması mümkündür. Bu ders kapsamında bu yöntemin tanıtımı ve Ansys programı kullanılarak sistemlerin çözümlerinin nasıl yapılacağı anlatılacaktır.

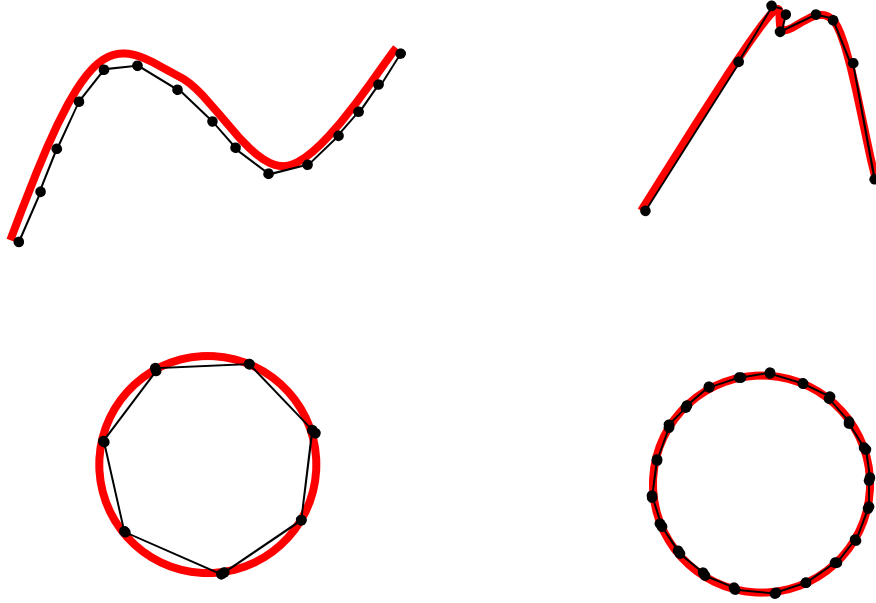
Kullanılacak bu yöntemlerden hangisi olursa olsun her zaman sonuçların güvenilirliğini desteklemeye ihtiyaç vardır. Sonuçların güvenilirliğini sağlamak için aşağıdaki iki yöntem temel olarak kullanılabilir.

- a) Daha Basit Bir Model Üzerinde İşlemleri Denemek: Hesaplamaları analitik olarak yada nümerik yapılacak bir sistemin karakteristik özelliklerini taşıyan ve analitik olarak hesapları yapılabilecek daha basit bir model üzerinde öncelikle denemelerinin yapılması, yapılan işlemlerin doğruluğunu kontrol imkanı sağlar. Örneğin karmaşık bir parçanın üzerinde oluşacak gerilmeleri hesaplariken, öncesinde aynı yüklerin uygulandığı analitik hesaplarının yapılabildiği daha basit bir parçayı deneyerek başlamak, sonuçların doğruluğu hakkında bilgi verecektir.
- b) Farklı Yöntemlerle Hesapları Yapıp Sonuçları Karşılaştırmak: Tasarlanan sistemin hesapları yukarıdaki üç yöntemden hangisi ile yapılırsa yapılsın, diğer yöntemlerle de hesapları yapılarak karşılaştırılması sonuçlara güveni sağlayacaktır. Örneğin yüksek bir reklam direğinin rüzgar ve deprem yükleri analitik olarak hesaplanabilir. Yapılan bu hesapların doğruluğunu kontrol etmek için ayrıca sonlu elemanlar analizinde yapılması yararlı olacaktır.

Bu yöntem ayrıca şu şekilde de kullanılabilir. Karmaşık bir sistemin, sonlu elemanlar analizini yaparken önce analitik hesapları yapılabilecek daha basit bir model üzerinde sonlu elemanlar analizini yapmak daha sonra sonuçları analitik hesaplarla karşılaştırmak, karmaşık sonlu elemanlar analizinin doğruluğuna güveni sağlayacaktır. Eğer basit sistemin sonlu eleman ve analitik sonuçları birbirini destekliyorsa, karmaşık olan sistemin sonlu elemanlar analizine geçilebilir.

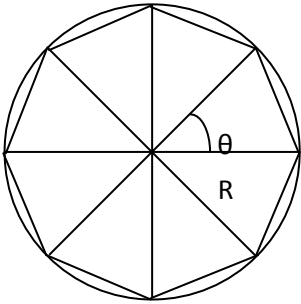
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (Finite Element Method-FEM)

Sonlu elemanlar yöntemi fizik ve mühendislikte karşılaşılan bir çok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Yöntem karmaşık yapıların, üzerinde hesaplama yapılabilecek daha küçük yapılar ile modelleme esasına dayanır. Bu fikri günlük hayatta da bir çok uygulamada kullanırız. Örneğin bir eğrinin boyunu hesaplamak istesek yada bir dairenin çevre formülü kullanmadan çevresini hesaplamak istesek eğri üzerinde, boyunu hesaplayabildiğimiz düz doğrular çizip bunları toplayabiliriz. Bu yöntemle belli bir doğrulukda eğrinin boyunu hesaplamış oluruz. Kullanacağımız düz çizgilerin boyu ne kadar küçük olursa o kadar gerçeğe yakın sonuç elde ederiz. Çizgilerin hepsinin boyunun eşit olması şart da değildir. Önemli olan onların toplamıdır. Ayrıca dar köşelerde düz çizginin boylarının küçültülmesi daha hızlı bir hesaplama ve daha hassas bir sonucu elde etmek için iyi bir strateji olur.



Benzer şekilde bir dairenin alanını hesaplayalım ve analitik sonuçla karşılaştıralım.

Örnek: Şekildeki dairenin alanını önce 8 dilime bölerek, daha sonra 36 dilime bölerek hesaplayınız. Elde edilen nümerik hesapları analitik hesapla karşılaştırınız.



Üçgenin alanı: $S_i = 1/2 R^2 \sin\theta$ dir.

Burada Açı radyan cinsinden olmalıdır.

Dairenin alanı: $S_N = \sum_{i=1}^N S_i = [1/2 R^2 \sin (2\pi/N)] N$

N: Toplam eleman sayısı (üçgenlerin sayısı)

Daireyi şekildeki gibi 8 dilime bölmüş olursak ve yarıçapı 12 cm olursa çevresi nümerik olarak (sayısal hesaplama ile) ve analitik olarak (formülasyon kullanarak) sonuçlar şu şekilde olacaktır.

Nümerik Yöntem (Sayısal tekrarlı hesaplama yöntemi)	Analitik Yöntem (Formülasyon)
<p>N=8 için</p> <p>$S_N = 1/2 R^2 \sin (2\pi/N) N = 1/2 12^2 \sin (2\pi/8) 8 = \mathbf{407,13} \text{ cm}^2$ (% 10 hata)</p> <p>N=36 için</p> <p>$S_N = 1/2 R^2 \sin (2\pi/N) N = 1/2 12^2 \sin (2\pi/36) 36 = \mathbf{449,87} \text{ cm}^2$ (% 0,5 hata)</p>	<p>$S = \pi R^2 = 3.14 * 12^2 = \mathbf{452,16} \text{ cm}^2$</p>

Buradaki mantık ve yöntemler sonlu elemanlar içinde geçerlidir. Dairenin gerçek çizimi geometrik modeli temsil eder. Geometrik modelin şekline en yakın çizgilerle oluşturulması mesh işlemi olur. her bir çizgi elementi (eleman) temsil eder. Elementlerin köşelerindeki noktalarda node (düğüm) ları temsil eder.

Sonlu Elemanlar Yöntemi mühendislikte hemen hemen tüm alanlarda kullanılmaktadır. Yöntemin temeli 1943 lere dayanmaktadır. Kullanıldığı alanlar aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

- Yapısal Analiz (Statik, dinamik, lineer, nonlinear)
- Isı transferi
- Akış analizleri
- Elektromanyetik analizler
- Multifizik analizler (karma analizler, sıcaklık-akış, akış-yapısal vs)

Piyasada Sonlu Elemanlar Yöntemi ile çözüm yapan bir çok paket program bulunmaktadır. Ansys bunlardan en yaygın kullanılanlardan biridir.

- ANSYS
- NASTRAN
- ABAQUS
- MARC
- PAM-STAMP

Sonlu Elemanlar yöntemi ile parça modellenirken, model küçük parçalardan oluşan temel elemanlara ayrılır Buna mesh işlemi denir. Her elemanın köşelerinde düğümler (node) vardır. Hesaplamalar bu düğüm noktaları üzerinde gerçekleştirilir. Dolayısı ile fiziksel ortam önce elemanlara (element) bölünür ve elemanların köşe noktaları ise fiziksel ortamı temsil eden noktalar uzayı olmuş olur. Elde edilen sonuçlar bu noktaların üzerindeki değerlerdir.



Şekil. Geometrik model, Sonlu eleman modeli ve sonuçların gösterildiği nodal sonuçlar.

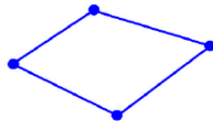
Parça şeklinde ve modelleme tipine göre eleman tipleri de farklı alınabilir. Sonlu eleman modeli tek boyutlu (çizgi şeklinde modelleme), iki boyutlu (düzlem şeklinde modelleme) ve üç boyutlu (katı model) olabilir. Modellemenin şekline göre eleman tipi atanır.

Eleman (element) tipleri

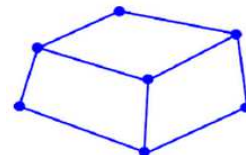
1-boyutlu çizgisel eleman



2-boyutlu düzlemsel eleman



3-boyutlu katı eleman



Hesaplamalar nodlar üzerinde gerçekleştirilirken, bu nodlar üzerindeki denklemler oluşturulur. Problemin büyüklüğüne göre binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar ile mümkün olmaktadır. Hesaplama sonucunda bulunan değerler sonuçta nodlar üzerinde bulunan değerlerdir. Bu nedenle iyi bir hesaplama için öncelikle iyi bir element yapısı ve ona bağlı olarak nod yapısı önem arzeder.

En temel şekliyle Sonlu Elemanlar Yönteminde sistem temel olarak aşağıdaki matris formuna dönüştürülür.

$$[K] \cdot [D] = [R]$$

Burada [D] büyüklük alanının nodlardaki bilinmeyen değerleri temsil eden vektör (vektör matrisleri sütun şeklindedir), [R] bilinen yük vektörü ve [K] ise bilinen sabitler matrisidir. Daha basite indirgersek R sınır şartlarını (dışarıdan etkileyen yükler vs) K sistemin yapısını temsil eder (katı, akışkan, gaz vs özellikleri), D ise aranan nodlar üzerindeki değerlerdir (gerilme, kuvvet vs). Buradan anlaşılacağı üzere D matrisinin bulunabilmesi için sistemi temsil eden büyüklüklerin verilmesi gerekir (K matrisi) ayrıca dışarıdan etkileyen sınır şartlarında bilinmesi gerekir (R matrisi).

Sonlu elemanlar modelinin oluşturulabilmesi için öncelikle geometrik modeli oluşturmak gerekir. Ardından mesh işlemi ile eleman (element) ve düğüm noktaları (node) oluşturulur.



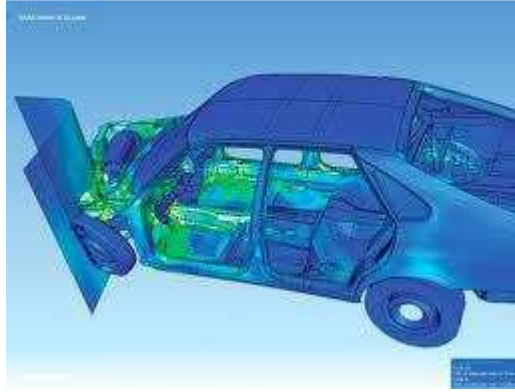
Şekil. Çeşitli mesh tipi örnekleri. a) Bir dişlinin iki boyutlu olarak mesh yapılmış şekli, bir uçağın üç boyutlu mesh yapılmış şekli. b) İçi dolu katı modelde kullanılabilir, kabuk modelde kullanılabilir. c) bir merdivenin 1 boyutlu çizgi elemanlar ile modellenmesi.

Sonlu Elemanların Faydaları Nelerdir?

Gerçek hayatta bir merdiven yaparken üretilecek merdivenlerin her biri için prototip modeller üretilip testlerinin yapılması gerekir. Üzerinde yapılacak her değişiklikte de bu testlerin tekrar edilmesi gerekir. Bu da maliyet ve işçilik demektir. Halbuki bilgisayarda tek bir sonlu eleman modeliyle istediğiniz kadar test yapabilirsiniz, ek bir ücret ödemededen (Tabii bu konunun uzmanı olan kişiye ve programa ödenen maliyetler hariç). Belki burada merdiven örneği basit bir örnek ve ekonomik olmayabilir fakat bu tür programlar daha çok otomotiv sanayi, uçak/uzay sanayi, savunma sanayi, makine sanayi gibi kompleks ve pahalı makineler üreten sanayilerde kaçınılmaz olarak kullanılmaktadır. Çünkü bir uçağın maliyetini ve bunun test maliyetini düşündüğünüzde, bu testlerin sanal ortamda yapılmasının avantajları saymakla bitmez. Bu programlarla bir taşıt üzerinde aşağıdaki analizleri çok rahat bir şekilde yapabilirsiniz (bunun yeterince uzmanlığı kazanmış olmak gerekir).

Dayanıklılık: Aracın tümünün veya bir bölümünün sağlamlığını kontrol edecek analizler yapabilirsiniz. Mesela aracın süspansiyon sisteminin hangi yüklemelerde nasıl tepki vereceği ne kadar yüke dayanacağını bulabilirsiniz.

Güvenlik: Yolcuların güvenliği ile ilgili analizler. Mesela araç, belli bir hızda duvara çarparsa aracın alacağı şekil ve bu süreçte aracın şekil değişimi incelenebilir.



Şekil. Bir arabanın çarpışma analizi sonucu

Yorulma: Aracın parçalarının kabaca ömrü hesaplanabilir. Bu analizlerde çıkan zayıf bölgeler güçlendirilir.

Ses ve titreşim: Yolculara gelen titreşim ve sesleri hesaplanıp yalıtım ile ilgili tedbirler baştan alınabilir.

Bunun gibi daha yüzlerce analiz motorda, eksozda vs gerçekleştirilip üretime geçmeden önceden tedbirler alınır ve bu sayede maliyetler en düşük seviyede tutulur. Analizler sonucunda elde edilen tasarım modelleri üretime gönderilir. Daha sonrasında üretilen ilk protipler üzerinde tekrar testlere devam edilebilir.

Bazı Hesaplama Yöntemlerinin Açıklamaları

İleride hesaplamalarda karşılabileceğimiz bazı yöntemlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

h-adaptivity: Klasik sonlu elemanlar analizinde sonuçların doğruluğu çoğunlukla eleman sayısına bağlıdır. Eleman sayısı arttıkça sonuçlar daha gerçeğe yakın çıkar. Gerilme değişimlerinin yüksek olduğu bölgelerde eleman sayısı artırılarak elde edilen sonucun hassasiyeti de artırılır. Bu çözüm yöntemi, h-adaptivity metodu olarak tanımlanır.

p-elemanı: İkinci bir yöntem ise bu elemanların sayısını arttırmak yerine elemanların polinom derecesini arttırmaktır. Polinom derecesi arttıkça elde edilen modelin doğruluğu da artar. Sonuçlar kullanıcı tarafından tayin edilen tolerans içine girene kadar polinom derecesi artar. Bu tür elemanlar p-elemanı olarak tanımlanır.


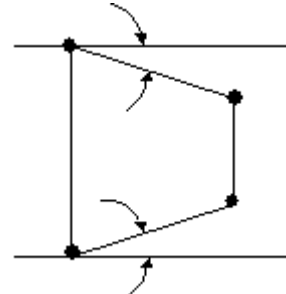
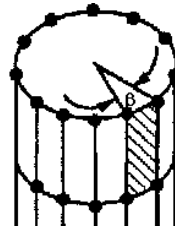
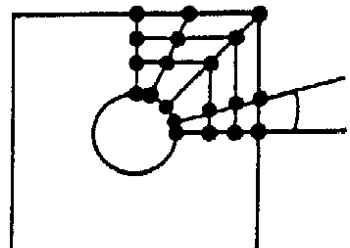
Explicit metod: Hareket formüllerinin integrasyonunda kullanılan yöntemlerdir. Explicit metod küçük zaman aralıkları kullanılarak yüksek derecede non-linear olan problemlerin/sistemlerin çözümlenmesinde kullanılır.

Implicit metod: Implicit metod daha az non-linear olan problemlerin/sistemlerin geniş aralıklar kullanılarak çözümlenmesinde kullanılır.

Mesh Yapımında Dikkat Edilecek Bazı Hususlar

1. **Eleman Tipi ve Boyutuna Karar Vermek:** Sonlu elemanlarda gerçeğe yakın bir sonuç elde edebilmek için uygun element tipinin seçimi ve gerekli sayıda kullanılması önemli bir husustur. Kullanılan elementlerin büyüklüğü hesaplama alanı içindeki değişimleri yansıtmaya kadar küçük olması istenir. Gereksiz çok sayıda eleman kullanılmasında istenilmez. Bu durumda hem fazla hesaplama zamanı harcanır, hem de sayısal hesaplamalarda oluşabilecek bir hatanı artmasına neden olacaktır. Gerilmelerin yoğun olduğu bölgeler gibi sonucu daha fazla etkileyen kısımlarda element boyutları düşürülmelidir.
2. **Elementlerde müsaade edilecek biçim bozukluklarına dikkat edilmelidir:** Geometrik şekil elementlerle örülürken şeklin karmaşık olması durumlarında yada uygun element ağının oluşturulamadığı durumlarda bazı bölgelerde elementler aşırı derecede şekil bozukluğuna uğrar. Bu gibi yerlerde elementlerin şekil bozukluğunun kabul edilebilir sınırlar içinde olmasına dikkat edilmelidir. Mesh yaparken (element ağı

örülürken) kontrolü tamamen programa bırakmak bazen bu sonucu verebilir. Bu nedenle mesh yapmadan önce hangi kenarların ne kadar parçaya bölüneceği, yada o bölgelerde kullanılacak element boyutlarının ne olacağı gibi bazı kararların kullanıcının alması gerekir. Mesh yaparken bazı dikkat edilecek hususlar aşağıda verilmiştir.

 <p>b/a oranı için en fazla 1/10 oranı kabul edilebilir.</p>	 <p>Her iki açı da 20-30 dereceden daha küçük olması tavsiye edilir.</p>	 <p>B açısı 15° den daha küçük olması tavsiye edilir. Yani daire 24 dilimden daha fazla olacak şekilde dilimlenmelidir.</p>
 <p>Serbest mesh yerine kenarlar istenilen sayıda bölünerek daha kontrollü harita meshi (mapped mesh) oluşturulabilir.</p>		