



# SONLU ELEMANLAR METODUNUN AHŞAP MALZEMELERDE KULLANIMINA İLİŞKİN BİR ARAŞTIRMA

Göksu ŞİRİN<sup>1</sup>, Deniz AYDEMİR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ormanlık ve Orman Ürünleri Programı, 60150, Almus-Tokat.

<sup>2</sup>Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümü, 74100, Bartın.

## ÖZET

Ahşap, anizotropik ve karmaşık yapıli bir materyaldir. Karmaşık yapıli malzemelerin özelliklerinin incelenmesi oldukça zordur. Bu tip incelemelerde kullanılmak amaçlı çeşitli bilgisayar programları geliştirilmiştir. Deneilerin mümkün olan en doğru sonuçları vermesi için materyal hakkında parametrelerin ve temel bilgilerinin en doğru şekilde bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmalıdır. Sonlu Elemanlar Analizi bu yöntemlerden biridir.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu elemanlar analizi, Mekanik özellikler, Teknolojik özellikler.

## A RESEARCH ON THE USE OF FINITE ELEMENT METHOD IN WOODEN MATERIALS

### ABSTRACT

Wood is an anisotropic and complex material. Analysis of the properties of complex materials is quite difficult. Various computer programs were developed for use in such investigations. The parameters and basic information about material should be correctly transferred to the computer to obtain the possible accurate results. Finite Element Analysis is one of these methods.

**Key Words:** Finite Element Analysis, Mechanical Properties, Technological Properties.

### 1. GİRİŞ

Ağaç malzeme insan hayatında eski çağlardan beri birçok farklı amaçlar için kullanılan, doğa tarafından üretilen benzersiz bir yenilenebilir kaynaktır. Eski dönemlerden beri gelişen teknolojiyle birlikte çeşitli malzemelerin ve eşyaların yapımı, yapı sektörü, mobilya, dekorasyon, kâğıt, geri dönüşüm, enerji üretimi gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Keunecke, 2008). Gün geçtikçe ilerleyen ve değişen hayat şartları içinde ahşabın kullanımını da farklılıklar göstermiştir (Özçelik, 1965; Uluata, 1987). İlerleyen teknoloji hem malzemelerin kullanım alanlarını etkilemekte hem de yeni kullanım alanları ile ilgili fikirler geliştirilmesini sağlamaktadır. Odunun olumsuz özelliklerinin en aza indirgenmesi ve olumlu özelliklerinin daha ileri derecelere yükseltilmesi amacıyla yönelik olarak birçok araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmaların sonuçlarına göre ortaya çıkan yöntemlere genel anlamda "Odunun Modifikasyonu Yöntemleri" denilmektedir (Korkut vd., 2008). Ahşap malzeme artık yalnızca tek başına kullanılmamakta başka materyallerle birleştirilerek değişik formlarda değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Ağırlığına oranla son derece yüksek dayanıklılık ve sertliğe sahip oluşu, özellikle inşaat ve mühendislik amaçlı kullanımlarda ahşabı son derece etkili ve değerli bir malzeme yapmaktadır. Ahşap malzemenin kullanım alanlarının belirlenmesi için öncelikle malzemenin mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Ağaç malzemenin mekanik özellikleri, kullanıldığı yerlerde yapılan deneylerle saptanabildiği gibi, genellikle laboratuvar deneyleriyle de saptanmaktadır. Ahşap ve onun dış etkilere karşı gösterdiği mekanik tepkiler arasındaki ilişkileri araştırmak birçok açıdan yararlıdır. Örneğin güvenlik nedeniyle (kusurlu odun kullanımının zorunlu olduğu durumlar vb.) ya da biyomimetik-biyomekanik adı verilen doğal yapıları taklit eden yeni teknik malzemeler geliştirilmesi çalışmaları, ahşap malzemeyle ilgili yeterli bilgiye sahip olma avantajını sağlayacaktır. Aynı zamanda bu bir gereklilik arz etmektedir.

Bununla birlikte odun-mekanik araştırmaları uzunca bir geçmişe sahip olmasına rağmen hala birçok temel ilişki bilinmemektedir (Keunecke, 2008). Günümüzde materyallerle ilgili çalışmalarda hem malzeme zayıatını engellemek ya da azaltmak hem de zaman tasarrufu sağlayarak uzun srelerde gerçekleştirilecek deneylerin bilgisayar ortamında yani sayısal yöntemlerle, sanal ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi çalışmaları başlamıştır. Bu alışmalar aynı zamanda malzemelerin oldukları formlardan çok farklı formlarda denenmeleri ya da biyomekanik çalışmalara da imkn vermektedir. Bunun yanında ekstremler, gerçekte var olması çok zor ya da nadir koşullar altında da malzemeler üzerinde deneyler yapılabilmektedir. Elde edilen sonuçların sebepleri de yine bu deneyler ile belirlenebilmektedir. Deneylerin mümkün olan en doğru sonuçları vermesi için deneyi yapılacak materyal hakkında parametrelerin ve malzeme bilgisinin en doğru şekilde bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmalıdır. Son yıllarda gelişmekte olan doğayı taklit yani biyomekanik alanında aēřapla ilgili çalışmalar olmakla birlikte aēřabın kompozit yapılar içinde kullanımı dışında doğrudan kendisiyle ilgili çalışmalar çok fazla değildir.

Sayısal yöntemler, matematik problemlerinin, aritmetik işlemlerle zlebilmelerini sağlayacak şekilde formüle edildiği tekniklerdir. Çeşitli sayısal yöntemler olmasına karşın, hepsinin ortak bir özelliği değişmez bir şekilde çok sayıda zahmetli aritmetik işlem içermeleridir. Hızlı ve verimli sayısal bilgisayarların gelişmesiyle son yıllarda mühendislik problemlerinin çözümünde sayısal yöntemlerin önemli bir rol aldığı görülmektedir. Sayısal yöntemler, mühendislik uygulamalarında hiç de nadir olmayan ve analitik yollardan çözülmesi çoğu zaman olanaksız olan büyük sayıda denklem sistemlerini, doğrusallıktan sapmaları ve karmaşık geometrieleri çözme yi başarabilen yöntemlerdir (Arslantürk ve Kara, 2012). řu anda var olan bu tarz simülasyonla deneme programları ile aēřabın daha çok mobilya halindeki kullanımına dair çalışmalar yapılmıştır.

Doğada var olan maddeler izotropik, ortotropik ve anizotropik özellik göstermektedir.

- İzotropik Malzeme: Bir malzemenin tüm kütlesi dşnldğinde her bir yönde eşit özellik göstermesidir (Yrr, 2012). Yani cismin içinde hangi yöne gidilirse gidilsin elastik özellik aynıdır. Doğada böyle bir cisim bulmak olanaksızdır. elik gibi maddeler de dhil olmak üzere bu tarz bir homojenlik görülmemektedir (Curun, 1981).
- Ortotropik Malzeme: Malzemenin herhangi bir noktasında, karşılıklı üç farklı yönde farklı özellikler göstermesidir (Yrr, 2012).
- Anizotropik Malzeme: Bir malzemenin tüm kütlesi dşnldğinde her bir yönde farklı özellik göstermesidir (Yrr, 2012).

Aēřap, anizotropik yapılı bir materyaldir ve özellikleri yönlerine bağlı olarak değişmektedir. Aēřap, en yaygın kabulde ortotropik özelliğe sahip bir materyaldir (Ozyhar, 2013). Ortotropik zellik gösteren aēřap materyalde; boyuna (lif yönüne paralel), radyal (zden kabuğa doğru uzanan) ve teğet (yıllık halkalara paralel uzanan)  farklı yön olarak bulunur. Ortotropik karakter aēřabın mekanik özellikler dahil nerdeyse tüm özelliklerini etkiler. Bu da aēřabın elastik ve mukavemet özelliklerinin yönlerine bağlı olduğunu göstermektedir (Ozyhar, 2013). Elastiklik modülü değeri, liflere paralel yönde en yüksek, radyal yönde daha kkk, yıllık halkalara teğet yönde ise en düşüktür (Yrr, 2012). Örneğin, aēřabın lif doğrultusundaki basılma dayanımı, buna dik doğrultudakinin yedi katıdır. Çekme halinde bu kat daha fazla olup 20-30 değerlerine ulaşabilir (Curun, 1981).

Yönlerine göre farklılık gösteren aēřap materyalin ancak her üç boyutta da incelemesi yapılarak bütünsel ve doğru bir şekilde anlaşılması sağlanabilir. Bu nedenle deneyler her üç yn için yapılmaktadır. Sonlu elemanlar analizi adı verilen yöntemle bilgisayar ortamında çeşitli materyaller simüle edilerek çeşitli ortamlarda ve çeşitli koşullar altında sanal deneylerle test edilebilmektedir. Sonlu elemanlar analizinde malzeme çok kkk boyutlara ayrılarak bu boyut düzeylerinde dahi ne tür değişiklikler olabileceği izlenebilmektedir. Yani sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir (Kaygın vd., 2016, Gürer vd., 2008). Bu amaçla bilgisayar ortamında hazırlanan ya da bu ortama aktarılan üç boyutlu modeller kullanılmaktadır. Var olan herhangi bir nesne sonsuz noktalardan meydana gelmektedir ancak bu metotta analizlerin yapılabilmesi için model sonlu sayıda noktaya ayrılır. Bu şekilde materyalin ya da tasarımın sonlu elemanlar modeli hazırlanarak bu model üzerinde çalışmalar yapılır. Elde edilecek olan sonuçların doğruluğu, bilgilerin ne kadar doğru şekilde bilgisayar ortamına aktarıldığı ile orantılıdır. Sonlu elemanlar metodu, bilgisayar, makine ya da yapı elemanlarının dizayn ya da optimizasyonunun yanında çeşitli fiziksel olayların modellenmesi ve teknolojik olarak faydalı hale getirilmesinde kullanılan en etkin hesaplama tekniklerinden biridir (Gürer vd., 2008). Sonlu elemanlar analizi günümüzde mühendislik dallarının birçoğunda kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Bu yöntem, herhangi malzemenin üretilmesinden önce ne gibi durumlarla karşılaşılabileceğine dair bir ön bilgi sahibi olmak, kullanım yerinde karşılaşılabilecek malzeme davranışlarını izlemek, yeni malzemeler geliştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Aēřap üzerinde yapılacak olan çalışmalar gerçek koşullar ve modellemeler arasındaki bağlantıların ve doğruluk miktarının görülmesini sağlamaktadır. Bu çalışmalarda aēřapta bulunan üç farklı yönden parçalar alınarak deneyler hem laboratuvar ortamında hem de aynı koşullar altında bilgisayar ortamında simüle edilerek denenmektedir.

## 1.1 Odun Materyalinin Yapısı

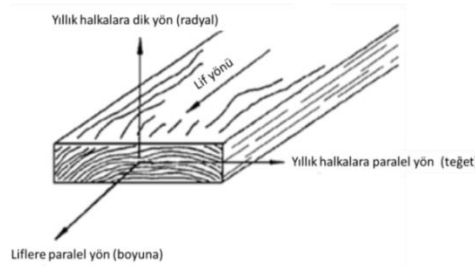
Ağaç, kök, dal ve gövdeye sahip, bu bölümlerinde özellikleri değişiklik gösteren bir varlıktır. Ağaç malzemede kök, dal ve gövde odunu, anatomik, mekanik, fiziksel, kimyasal yönleriyle incelenmektedir. Ağaç, 1m üzerindeki boyutlarda kereste olarak, 0,1-1 m arasında makro ölçekte, yıllık halkalar seviyesinde mezo ölçekte, hücre seviyesinde mikro ölçekte ve hücre duvarı ile moleküler yapı seviyesinde nano ölçekte ayrılabilir (Ozyhar, 2013). Ahşabın karmaşık yapısının mekanik davranışları üzerinde etkisi vardır. Hücre yapısı, bulundurduğu kimyasallar ve miktarları ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde değişikliklere neden olmaktadır.

### 1.1.1 Mekanik Özellikler

Ağaç malzeme yapısı değişkenlik gösteren bir malzemedir. Ahşap malzemenin karmaşık yapısı mekanik davranışlarına etki etmektedir (Ozyhar, 2013). İklim, toprak vb. faktörlerin etkisi ile aynı cins ağaçlardan elde edilen malzeme bile farklı özellikler gösterebilir. Ağaç malzemenin mekanik özellikleri, bu malzemenin dış etkenlere karşı koyma uygunluğu olarak tanımlanabilir. Dış etkenlerden, ağaç malzemenin şeklini değiştirmeye zorlayan kuvvetler anlaşılmaktadır. Ağaç malzemenin en önemli mekanik özellikleri basınç gerilmesi, çekme gerilmesi, eğilme gerilmesi, makaslama gerilmesi, dinamik eğilme (şok) gerilmesi ve yarıma gerilmeleri ile elastikiyet modülü ve sertliktir (Bozkurt, 1966). Malzemenin mekanik özelliklerinin tam olarak belirlenebilmesi için mekanik özelliklere etki eden faktörlerin bilinmesi gerekmektedir.

#### 1.1.1.1 Mekanik Özelliklere Etki Eden Faktörler

Ağaç malzemenin mekanik ve elastiklik özellikleri her üç yönde farklılık gösterir. Genellikle liflere paralel yöndeki mekanik özellikteki değişimler çok önemli değilken yıllık halkalara dik ve teğet yöndeki mekanik özellikteki değişimler önemli olmaktadır (Hunt, J.F. ve Gu, H. 2004).



Şekil 1.1: Ağaç malzemenin yapı eksenleri (Hunt ve Gu, 2004).

Odunun direnci, ani şoklara ve darbelere karşı yeteneği olarak tanımlanabilir. Bu; kuvvet, sertlik, elastikiyet gibi çeşitli niteliklerin bir araya gelmesiyle belirlenmektedir (Hunt ve Gu, 2004, Yörür vd. 2014). Ağaç malzemenin mekanik özelliklerine etki eden faktörler ağacın türü, özgül ağırlığı, anatomik yapısı, kimyasal bileşimi, yetiştirme yeri, ağaçta bulunan kusurlar, lif doğrultusuna dik ya da paralel yönde uygulanan basınç, ağaç malzemedeki su miktarı, kuvvetin uygulanma süresi ve sıcaklıktır. Ağaç malzemenin etkiye maruz kalan yüzeyinin şekli, büyüklüğü ve malzemenin gerilme şekli de mekanik etkiye karşı koyma gücünü etkiler (Kocataşkın, 1966).

#### 1.1.1.2 Gerilmeler

Katı bir cisim üzerine herhangi bir kuvvet uygulandığında cismin şeklinde az ya da çok değişim meydana gelir. Bu kuvvete karşılık cismin şekil değiştirmeye karşı uyguladığı bir iç kuvvet bulunmaktadır. Eğer uygulanan kuvvet çok fazla değilse içerde oluşan kuvvetle dış kuvvet arasında bir denge oluşur. Bu duruma plastik deformasyon adı verilir. Buna göre gerilme birim alana düşen kuvvettir denilebilir (Uluata, 1987).

$$\sigma = P / A \quad (1)$$

( $\sigma$ : gerilme, P(kg): kuvvet yani yük, A(cm<sup>2</sup>): kuvvetin uygulandığı alan).

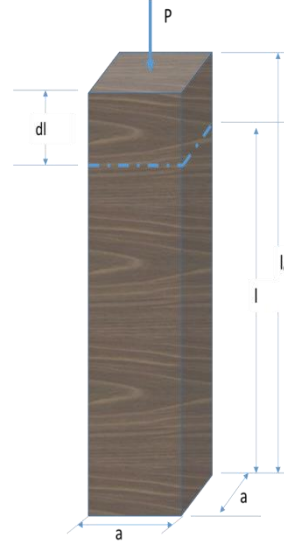
#### 1.1.1.3 Deformasyon (Şekil Değiştirme)

Bir cismin şekil değiştirmesi için cisme onun iç kuvvetlerinin üzerinde bir yük uygulanması gerekmektedir. Uygulanan yük ya da kuvvet basınç şeklinde ya da çekme şeklinde olabilir. Cisim basınç kuvvetine maruz kaldığında, kuvvetin uygulandığı yönde cisimde bir kısalma meydana gelecektir. Kuvvete dik yönde ise cisimde genişleme oluşabilir. Cisim çekme kuvvetine maruz kaldığında ise cisimde bir uzama meydana gelecektir.

Bunların dışında bir cisme belirli bir noktasından eğmek için bir kuvvet uygulandığında cisim kuvvet uygulanan noktadan itibaren eğilmeye yani ekseninden uzaklaşmaya başlayacaktır (Bozkurt, 1966; Uluata, 1987). Şekil değiştirme mm veya cm ile ölçülmektedir.

$$e = dl / l_0 \quad (2)$$

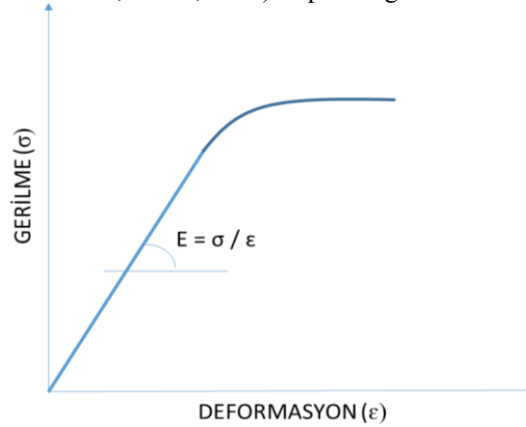
(e: birim şekil değiştirme,  $dl = l_0 - l$  (cm): deformasyon,  $l_0$  (cm): cismin kuvvet uygulanan yöndeki ilk uzunluğu).



Şekil 1.2: Liflere paralel yönde basınç kuvveti uygulanan cisimde meydana gelen deformasyon (Bozkurt, 1966).

#### 1.1.1.4 Elastikiyet Modülü

Elastikiyet modülü ilk defa 1676 yılında Robert Hooke tarafından ifade edilmiştir. Buna göre elastik cisimler gerilme kuvveti etkisinde kaldıklarında meydana gelecek birim uzama (şekil değiştirme) malzeme çeşidine göre değişmektedir (Postacıoğlu, 1966 ve 1968; Alkan, 1971). Tipik bir gerilme-deformasyon eğrisi şekildeki gibidir:



Şekil 1.3: Tipik bir gerilme-deformasyon eğrisi (URL-1, 2015).

Gerilme-şekil değiştirme diyagramının doğrusal kısmı göz önüne alındığında, doğrunun eğimi gerilmenin şekil değiştirmeye oranından oluşmaktadır. Bir doğrunun eğimi; o doğrunun x eksenine ile "+" yönde yaptığı açının tanjantıdır. Bu orana Elastikiyet Modülü ya da Elastisite Modülü denir. Buna göre yük-uzama eğrisinin eğimi şöyledir;

$$E = \sigma / \epsilon \quad (3)$$

Denklem, Hooke kanunu olarak tanımlanmaktadır. (E) elastikiyet modülü, ( $\sigma$ ) kg birimi ile uygulanan kuvvet yani gerilme ve ( $\epsilon$ )  $\text{cm}^3$  birimi ile deformasyon yani şekil değiştirmeyi simgelemektedir (Curun, 1981). Hooke kanunu ilk zamanlarında yalnız gerilmenin şekil değiştirme ile orantılı olduğunu belirtmekte idi. Thomas Young, 1807 yılında, Young modülü denen bir orantı değişmezini ortaya koydu. Bu orantı elastiklik modülünden daha fazla kullanılmaya başlandı. Elastiklik modülü, gerçekte malzemenin sıklığını ölçtüğü halde, elastiklik özelliğinin bir ölçüsüyümüş gibi bir etki bırakmaktadır (Curun, 1981). Buna göre;  $\sigma$  yerine  $P/A$  ve  $\epsilon$  yerine  $\Delta/L$

kullanılmakla Hooke kanunu daha kullanışlı bir şekil almış olur. Bu durumda Hooke kanununun yeni şekli şöyle olmaktadır;

$$\Delta = P.L / A.E \quad (4)$$

Formülde; (P) çubuğu uzatan kuvvet (kgf), (L) çubuğun uzunluğu (cm), (A) çubuğun dik kesitinin alanı (cm<sup>2</sup>), ( $\Delta$ ) çubuğun toplam uzaması (cm), (E) malzemenin elastiklik modülü-Young Modülü (kgf/cm<sup>2</sup>) şeklinde simgelenmektedir (Curun, 1981). Birim alana gelen kuvvete gerilme adı verilmektedir. Hooke kanunu gerilme-deformasyon eğrisinin doğrusal bölümünden elde edildiği için sadece o alanda geçerlidir (Curun, 1981).

## 1.2 Sonlu Elemanlar Analizi

Tabiatta karşılaşılan biyolojik, jeolojik ya da mekanik her olay fizik kanunları yardımıyla ve matematik diliyle anlaşılabilir. Her olay kendine ait büyüklükler yardımıyla cebirsel, diferansiyel veya integral denklemler yardımıyla büyük oranda ifade edilebilir. Mühendislik problemleri genellikle, fiziksel durumların matematiksel modelleridir ve sonlu elemanlar yöntemi ise değişik mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan sayısal bir çözüm yöntemidir. Yöntem ilk defa 1950'li yıllarda inşaat mühendisliği alanında kullanılmaya başlamıştır. Ancak günümüzde hemen hemen her mühendislik alanında kullanılmaktadır. Yöntemlerin etkin ve sağlıklı kullanılmaları çok hızlı ve hafızalı bilgisayarların üretilmesi ile mümkün olmuştur. (Demirsöz vd., 2005; İmrak vd., 2006; İmrak vd., 2007).

Sonlu elemanlar yöntemi özellikle son yıllarda çok büyük bir gelişme kaydetmiştir. Esas itibarıyla basit olan bu maksatlı ve güçlü yöntem, bilim adamlarına ve mühendislere tamamen yeni bir alan açmıştır. Günümüzde gerilme analizi, akışkanlar mekaniği, statik ve dinamik elastisite, ısı iletimi gibi pek çok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık şekillerin ve karmaşık malzeme özelliklerinin incelenmesi, hassas hesaplamalarda kullanılabilmesi, hem izotropik hem de anizotropik materyallerin incelenmesi gibi avantajlar içermektedir. Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir. Bir veya birden çok delik veya köşeleri olan bölgeler kolaylıkla incelenebilir. Tek bir model birçok problemin çözümünde kullanılabilir. Elde edilecek sonuçların doğruluğu verilerin doğruluğuna bağlıdır. Sonlu elemanlar metodu yapısal mekanik problemlerin yanı sıra, ısı iletimi, akışkanlar mekaniği, elektrik ve manyetik alanlar ile ilgili mühendislik problemlerinin çözümünde de etkin şekilde kullanılmaktadır. Metodun bu kadar çok uygulama alanının bulunmasının nedenlerinden biri değişik mühendislik problemlerinin arasındaki benzerliklerdir.

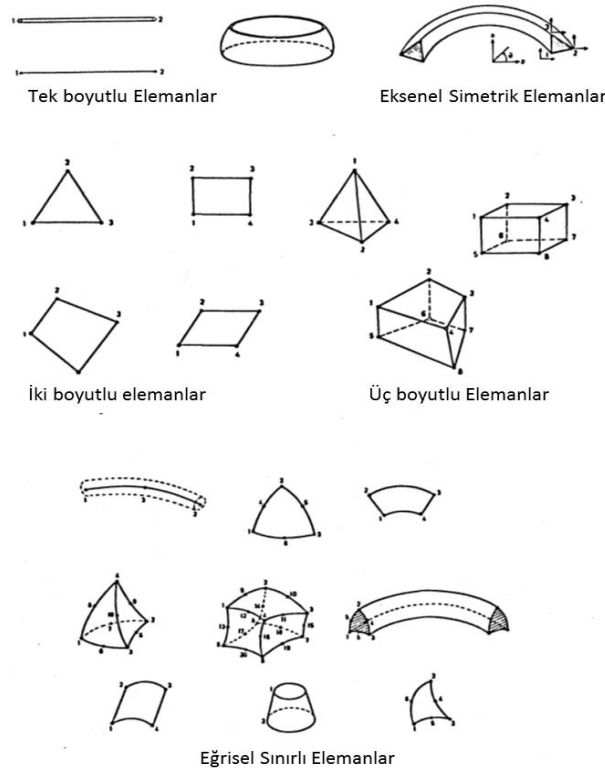
Sonlu elemanlar metodundaki temel düşünce, karmaşık bir probleme, problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Karmaşık bir problem, bilinen veya kavranması daha kolay alt problemlere ayrılarak daha anlaşılır bir hale getirilir. Oluşturulan alt problemler çözülüp birleştirilerek esas problemin çözümü yapılabilir. Mühendislik uygulamalarında problemlerin karmaşıklığı sebebiyle genellikle problemlerin tam çözümü yerine, kabul edilebilir seviyede bir yaklaşık çözüm tercih edilir. Ancak bu çözümün iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşılması hatta kesin sonuca ulaşılması mümkündür. Yöntemde, sıcaklık, basınç, gerilme veya deplasman gibi herhangi bir sürekli büyüklük küçük ve sürekli parçaların birleşmesi ile oluşan bir modele dönüştürülür.

### 1.2.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Modelleme ve Çözüm Basamakları

Sonlu elemanlar metodunda elemanlar birbirlerine düğüm noktası adı verilen özel noktalardan bağlanmışlardır. Düğüm noktaları genellikle elemanların birbirine bağlandıkları yerler olan eleman sınırlarında bulunmaktadır. Deplasman, gerilme, sıcaklık, basınç, hız vs. gibi değişkenlerin gerçekte nasıl değiştiği bilinemediğinden, bunların basit fonksiyonlar ile yaklaşık olarak ifade edilebildikleri varsayılmaktadır. Bu yaklaşık fonksiyonlar, değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edilmektedir. Sistem için denge denklemleri gibi yeni denklemler yazıldığı zaman, bilinmeyenleri değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri olan ve ortak çözümleri gereken yeni denklemler ortaya çıkmaktadır. Genellikle matris denklemleri şeklinde olan bu denklemlerin çözülmesi ile değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri elde edilir. Yaklaşık fonksiyonların, değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edilmiş olmaları ile bu fonksiyonların eleman içerisindeki ve sonuç olarak bütün sistem içerisindeki değerleri bulunur. Bir sonlu eleman modelinin inşa edilmesi analizin diğer kısımlarına göre çok daha fazla zaman ister. Bu bölümde eleman tipleri programın eleman kütüphanesinde incelenen problemlerin yapısına uygun 100 den fazla iki üç boyutlu eleman mevcuttur. Malzeme özellikleri derken ise; malzemenin lineer veya nonlineer olması, izotropik, ortotropik veya anizotropik olması, sabit sıcaklıkla veya sıcaklığa bağımlı olup olmadığı anlaşılmalıdır (Alan vd., 2005). Sonlu elemanlar işlemlerinde çözüm basamakları şöyle gerçekleştirilir:

1. **Çözüm bölgesinin elemanlara ayrılması:** Yapı veya çözüm bölgesi alt bölümlere yani sonlu elemanlara ayrılır. Bu ayırmada uygun sonlu elemanlar kullanılmalı, elemanların cinsi, sayısı ve düzeni tespit

edilmelidir. Çözüm bölgesini doğru temsil etme oranında, elde edilecek sonucun gerçek çözüme en yakın olmasını sağlayacaktır.

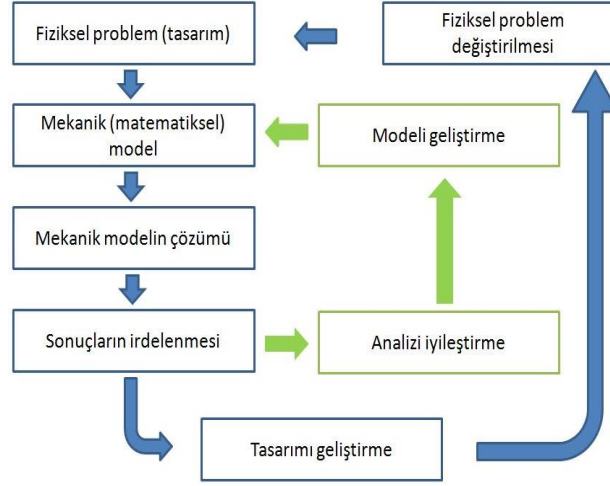


Şekil 1.4: Sonlu elemanlar analizindeki elementler (Arıkan, 2000).

2. **Elemanın özelliklerinin formülasyonu:** Karmaşık bir yapının herhangi bir yük altındaki deplasmanının kesin olarak tahmin edilmesi imkansız olduğundan, bir eleman için, bilinmeyen çözümü yaklaşık olarak ifade edilebilecek uygun bir deplasman modeli seçilir. Bu model hesaplamalar açısından basit olmalıdır ve bununla birlikte bazı yakınsama gereklerini de yerine getirmelidir. Çoğunlukla bu model bir polinom şeklinde olmaktadır. Denge denklemleri veya varyasyonel prensipler ve yaklaşık deplasman modeli kullanılarak eleman katılık matrisleri ve yük vektörleri bulunur.
3. **Yapının veya çözüm bölgesinin sonlu elemanlar modelinin elde edilebilmesi için elemanların birleştirilmesi:** Yapının çok sayıda elemandan oluşmuş olması nedeni ile her bir eleman için bulunmuş olan katılık matrisleri, yük vektörleri ve denge denklemleri uygun bir şekilde birleştirilmeli ve genel denge denklemleri elde edilmelidir.
4. **Bilinen yüklerin (kuvvet ve/veya moment) uygulanması:** Bir problemde sisteme etki edebilecek kuvvetler şunlar olabilir:
  - Tekil kuvvetler:* Hangi elemanın hangi düğümüne ne yönde etki ediyorsa genel kuvvet vektöründe etki ettiği düğüme karşılık gelen satıra yerleştirilir. Problemin cinsine göre tekil yük kavramı değişebilir.
  - Yayıllı Kuvvetler:* Bu kuvvetler bir kenar boyunca ya da bir alanda etkili olurlar.
  - Kütle kuvvetleri:* Eleman hacmi için geçerli olan merkezkaç kuvveti ve ağırlık kuvvetleri gibi kuvvetlerdir.
5. **Yapının nasıl desteklendiğinin belirtilmesi:** Düğüm noktaları için bilinen deplasman değerleri (genellikle sıfır) belirtilmelidir.
6. **Bilinmeyen düğüm noktası deplasmanlarının bulunması:** Genel denge denklemleri problemin sınır şartları uygulanarak düzeltilmeli ve daha sonra düğüm noktalarının deplasmanları çözümlenmelidir. Her problemin tabii olarak ya da yapay sınır şartları vardır. Sınır şartları, cismin çeşitli kısımlarındaki elastik yer değiştirmelerin ölçülebileceği bir referans sağlar. Sınır şartları; cismin belli parçasında veya

parçalarındaki yer değiştirmelerde yapılan kısıtlamalardır denilebilir. Bu kısıtlamalar, cismin rijit yer değiştirmesine engel olur ve uygulanan dış yüklerin cisim tarafından taşınmasını sağlar.

- 7. Eleman gerilme ve birim uzamalarının hesaplanması:** Düğüm noktalarının deplasmanları ile katı hal mekaniği ve yapısal mekaniğin gerekli denklemleri kullanılarak eleman birim uzamaları ve gerilmeleri hesaplanır. Bir sonlu elemanlar programının çıktısı, hesaplanan değişkenlerin düğüm noktalarındaki veya elemanlardaki değerlerinden oluşmaktadır. Bu değerlerin anlaşılmasının ve değerlendirilmesinin basit geometriler veya az sayıda eleman için kolay olmasına karşılık, karmaşık geometriler veya çok sayıda eleman için bu iş zorlaşmakta ve sonuçlar kullanıcıya kolay anlaşılabilir bir şekilde, örneğin grafik yöntemler ile son işlemci ("postprocessor") adı verilen bilgisayar programları kullanılarak verilmektedir (Arıkan, 2000). Fotoğraflar ve tablolar halinde de sonuçların görülmesi kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 1.5: Bir sonlu elemanlar analizi aşamaları (URL-2, 2015).

## 2. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ahşap malzemenin mekanik özelliklerinin sonlu elemanlar analizi yöntemleri ile araştırmasına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Türkiye’de çoğunlukla mobilya parçaları üzerinde yapılan çalışmalar mevcuttur. Diğer ülkelerde elastikiyet modülü, çekme direnci, eğilme direnci özelliklerinin laboratuvar koşulları ve sonlu elemanlar analizi yöntemleri ile analizleri yapılarak karşılaştırıldığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar için farklı sonlu elemanlar metodları kullanılmaktadır. Gerçek ortamda yapılan deneyler ile bilgisayar ortamındaki deneylerin sonuçlarının birbiri ile uyumu çalışmaların bilgisayar ortamında yapılarak zaman ve malzeme tasarrufu imkânını beraberinde getirmektedir. Sonlu elemanlar analizi çalışmaları zaman yönünden kazanç sağlamasının yanında farklı koşullar altında denenilen materyal hakkında ön bilgi edinilmesini sağlamaktadır. Malzeme henüz kullanılmadan ya da bazı durumlarda henüz üretimi yapılmadan ne gibi sonuçlarla karşılaşılacağı hakkında bir bilgi oluşmaktadır. Çalışmalarda, heterojen yapısı sebebiyle fazla örnek kullanımı gerektiren ahşap malzemede önemli bir maliyet ve malzeme kazancı mümkündür.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu tarafından BAP2013.1.91 nolu projeye desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Alan, A., Bayrakçı, H. C. ve Özgür, A. E. (2005). Akışkanlar mekaniği ve iklimlendirme sistemlerinde sonlu elemanlar metodunun uygulanması, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (1): 49 – 54.
- Alkan, Z., (1971). *Statik ve Mukavemet Ders Notları (teksir)*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Kültürteknik Bölümü, Erzurum. 325 s.
- Arıkan, M. A. S. (2000). *Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulamaları*. <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10944.pdf>. (03.03.2016).
- Arslantürk, C. ve Kara, Y. A. (2012). *Sayısal Yöntemler Ders Notları*, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Bozkurt, Y. (1966). Ağaç malzemenin mekanik özellikleri, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 14(1): 42-60.
- Curun, N. (1981). *Malzemelerin Mekanik Özellikleri*, Milli Eğitim Ders Kitabı, Ankara.
- Demirsöz, R., Kesikçi M.K. ve İmrak C.E. (2005). Design and static stress analysis of hook crosshead by means of finite element method. *Proceeding of Advanced Manufacturing Technologies*, 44 (2): 502-507.

- Gürer, C., Akbulut, H., Cetin, S. (2008). Tek Açıklıklı Kemer Sistemli Rize Köprülerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi. 1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu. 26-28 Kasım 2008, ss. 435-445. Antalya.
- Hunt, J.F. ve Gu, H. (2004). Finite Element Analyses of Two Dimensional, Anisotropic Heat Transfer in Wood. USDA, Forest Products Laboratory, One Gifford Pinchot Drive, Madison, WI 53726.
- İmrak, C. E., Erdil, A. B. ve Fetvacı, M. C. (2007). Modeling and stress analysis of crane cross piece under disstributed load on semi-circular pattern. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 25 (3): 301-305.
- İmrak, C. E., Fetvacı, M. C. ve Erdil, A. B. (2006). Finite Element Modelling and Static Stress Analysis of Crosshead. *Proceedings of AED-5th International Conference on Advanced Engineering Design*, 11-14 June 2006, Prague, Czech Republic.
- Keunecke, D. (2008). Elasto-Mechanical Characterizations of Yew and Spruce Wood with Regard to Structure Property Relationships, Ph. D Thesis, univercity of Hamburg, Germany.
- Kocataşkın, F., (1966). *Yapı Malzemesi Olarak Ahşap*. İ.T.Ü Kütüphanesi, Sayı 655, İstanbul, 54 s.
- Korkut, S., Korkut, D. S. ve Bekar, İ., (2008). Okalıptüs (*Eucalyptus camaldulensis Dehn.*) odununun bazı teknolojik özellikleri üzerine ısı işlemin etkisi. *I. Ulusal Okalıptüs Sempozyumu*, 15-17 Nisan 2008, Tarsus, Türkiye.
- Ozyhar, T. (2013). Moisture and Time Dependent Orthotropic Mechanical Characterization of Beech Wood, Ph. D Thesis, Tecnical Univacity of Munich, Germany.
- Özçelik, N. (1965). *İnşaat Bilgisi*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No. 102, İstanbul, 358.
- Postacıoğlu, B. (1966). *Yapı Malzemesi Esasları*. İ.T.Ü. Yayınları No. 637, İstanbul, 461 s.
- Uluata, A. R. (1965). Ağaç malzemenin mekanik özelliklerine etki eden faktörler. *Atatürk üniversitesi Dergisi*, 1: 113-124.
- URL-1 (2015) [http://staff.aub.edu.lb/~weblhort/Plants/Deciduous\\_Trees/Plant/Platanus](http://staff.aub.edu.lb/~weblhort/Plants/Deciduous_Trees/Plant/Platanus) (30.8.2015)
- URL-2 (2015) <http://artunbotke.com/2012/05/09/sonlu-elemanlar-analizi-fea-nedir-teori/> (8.4.2015)
- Yörür, H. (2012). Ahşap Malzemelerden Üretilen Köşe Birleştirmelerin Simülasyon (ANSYS) Ortamında Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği ABD., Bartın, 184 s.
- Yörür, H., Kurt Ş., Yumrutaş H.I. (2014). The Effect of Aging on Various Physical and Mechanical Properties of Scotch Pine Wood Used in Construction of Historical Safranbolu Houses. *Drvna industrija*, 65(3).
- Kaygın, B. Yorur, H. Uysal, B. (2016). Simulating Strength Behaviors of Corner Joints of Wood Constructions by Using Finite Element Method. *Drvna, Drvna industrija*, 67(2), 133-140.