

## AHŞAP VE AHŞAP KOMPOZİTLERİNDE SÜNMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ergün GÜNTEKİN

Yrd. Doç. Dr., SDÜ Orman Fakültesi, Orman End. Müh Bölümü, ISPARTA  
e-mail: eguntekin@orman.sdu.edu.tr

### ÖZET

*Ahşap ve ahşap kompozitlerinin en büyük özelliklerinden biriside yük altında zamanla sünme özelliğidir. Sünme yüke ve zamana bağlı olan elastik olmayan deformasyon olarak bilinir. Genelde sünme konstrüksiyonlarda yüksek sıcaklıklara maruz kalan metal ve seramik gibi malzemelerde önemli bir özelliktir. Ancak ahşap ve kompozitleri gibi polimer malzemelerde sıcaklık önemli bir faktör değildir ve sünme normal şartlar altında uzun süreli yüklenmelerde görülebilir.*

**Anahtar kelimeler:** Ahşap, Kompozit, Sünme.

### FACTORS EFFECTING CREEP IN WOOD AND WOOD COMPOSITES

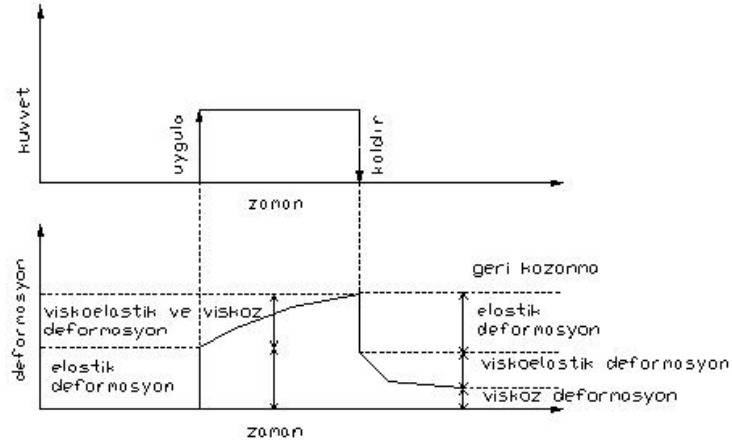
### ABSTRACT

*One of the most confounding characteristics of wood and wood composites is their tendency to creep under load. Creep is known as inelastic deformation of materials as a function of applied load and time. Normally, creep is an important factor when metals and ceramics are used for structural members or mechanical parts that are subjected to high temperatures. For some materials, however, such as polymers and composite materials, including wood or concrete, temperature is not a critical factor and creep can occur from long-term load application at room conditions.*

**Keywords:** Wood, Composites, Creep.

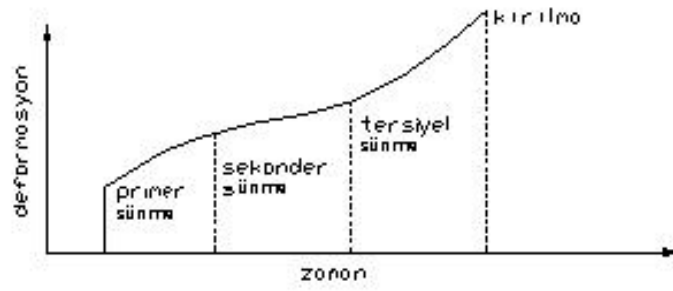
## 1. GİRİŞ

Ahşap reolojik bir malzemedir. Yani ahşap malzemenin bazı mekanik özellikleri zamana bağlı olarak değişmektedir. Cisimlerin sabit yük altında zamana bağlı şekil değiştirmelerine sünme denmektedir. Ahşap ve kompozitleri yük altında uzun süreli bırakıldığında sünme meydana gelir. Sünme moleküler yapıda meydana gelen değişimler sonucu oluşmaktadır. Ahşap kompozitlerinin üretiminde kullanılan tutkalların da zaman bağımlı özellikleri olabilmektedir. Sünme deneylerinin büyük bir kısmı küçük kirişler üzerinde yapılmaktadır. Kirişler orta noktalarından sabit bir yüklemeye maruz bırakılmakta ve aynı noktadaki eğilmeler belirli bir zaman dilimi içinde kayıt edilmektedir. Sünme özellikleri bu eğilmelerin zaman grafiklerinden çıkarılmaktadır (Şekil 1). Yüklemenin ilk yapıldığı anda sünme hızlıdır (primer sünme) ve giderek azalan bir eğilim gösterir ve bir süre sonra sabit bir hıza kavuşur (sekonder sünme). Eğer sünme deneyi yeterli kadar uzun tutulursa sünme hızlanır (tersiyel sünme) ve kirişte kırılma olur (Şekil 2). Ahşap ve kompozitlerinin sünme özellikleri rutubet, sıcaklık ve yük seviyesi gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3'te farklı yükler altındaki bir kirişte meydana gelen sünmeler gösterilmektedir.

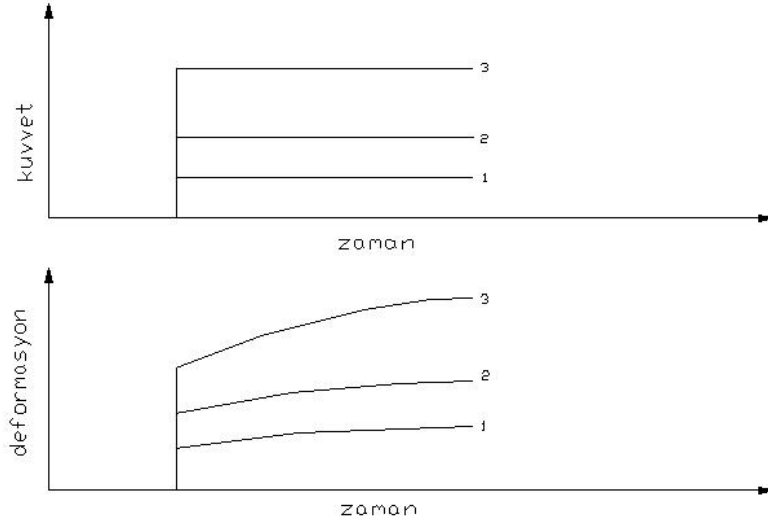


Şekil 1. Ahşapta kuvvet-zaman ve deformasyon-zaman ilişkileri.

## AHŞAP VE AHŞAP KOMPOZİTLERİNDE SÜNMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER



Şekil 2. Aşırı yüklenmiş bir kirişte sünmenin üç aşaması.



Şekil 3. Sünmenin yük miktarına bağlı olarak değişmesi.

## 2. AHŞAPTA SÜNME

Literatürde ahşap malzemenin sünme özelliği üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmı Schniewind (1968) ve Holzer (1989) tarafından özetlenmiştir. Bu çalışmaların büyük bir kısmında küçük ebatta numuneler kullanılmıştır. Yapısal ebatta yapılan çalışmalar sınırlıdır. Yukarıda sözü edilen bu çalışmalar ahşabı lineer viskoelastik malzeme olarak kabul eder.

Ahşap malzemedeki sünme olayını açıklamak için çeşitli teoriler önerilmiştir. Bu teorilerin birçoğunda yük altında hidrojen bağlarındaki kopmalar esas alınır (Gibson 1968). Hidro-viskoelastisite, mekano-sorptive davranış ve difüzyon teorileride ayrıca önerilmiştir (Leicester 1971, Ranta-Maunus 1975, Mukudai 1983, Mukudai and Yata 1986, Mukudai and Yata 1987).

Senft ve Suddarth (1970) sünme alanında yapılan çalışmalardan en eskilerden biri olan Thurston'un çalışmasında bahsetmiştir. Thurston bu çalışmasında ahşap kirişlerde kısa süreli direncinin çok daha aşağısında sünme meydana geldiğini gözlemlemiştir. Hoffmeyer'de (1980) 1800'lerde ahşap kirişlerde sünme gözlemleyen bir Fransız mühendisin çalışmalarından bahseder. Şüphesizki ahşaptaki sünme araştırmalarından en çok bilinenleri Wood (1951) ve Clouser (1959) tarafından yapılanlardır. Bu çalışmalar sonucunda günümüzde de kullanılan ve "Madison Eğrisi" olarak ta bilinen uzun süreli yüklemeler için müsaade edilen gerilimleri gösteren bir eğri oluşturulmuştur.

### 2.1. Yükleme Seviyesinin Etkileri

Birçok araştırmacı çalışmalarını lineer viskoelastik davranışın kabul edilebileceği bölge ile sınırlandırmışlardır. Lineer davranışın kabul edilebileceği en üst limit kesin bir nokta değildir ve araştırmacılara göre değişmektedir. Dinwoodie'ye (1981) göre; Liflere paralel çekmede sabit sıcaklık ve nemde ahşap malzeme çekme direncinin %75'ine kadar lineer viskoelastik olarak davranır, ancak araştırmacılar %36 ile %84 arasında değişen limitler bulmuşlardır. Liflere paralel basınçta lineer limit liflere paralel basınç direncinin %70'ine tekabül eder. Eğilmede lineerlik limiti eğilme direncinin %56-60'ı kadar olduğu görülmüştür. Sıcaklığın ve odundaki rutubetin artırılması lineer limiti aşağıya çeken etkenlerdendir.

Birçok araştırma göstermiştir ki belirli yükleme aralıklarında, sabit sıcaklık ve rutubette ahşap malzeme lineer viskoelastik olarak kabul edilebilir

## AHŞAP VE AHŞAP KOMPOZİTLERİNDE SÜNMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

(Pentoney and Davidson 1962, Bach 1966, Schniwind et al. 1972, Dinwoodie 1981, Holzer et al. 1989).

### 2.2. Rutubetin Etkisi

Rutubetin ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir. Bu yüzden bu malzemelerin viskoelastik davranışı da rutubete bağlı olarak değişecektir. Çünkü rutubete bağlı olarak malzemenin direnci, elastikiyeti ve ebatları değişmektedir.

Armstrong ve Kingston (1962) tarafından yapılan çalışmada, küçük okaliptus kırımları yük altında kurumaya bırakılmıştır. Bu çalışmada değişen ve dalgalı rutubetin sabit tutulan rutubete oranla daha çok sünmeye sebep olduğu görülmüştür. Hearmon ve Paton'da (1964) rutubetin azaltılması veya yükseltilmesi ile sünmenin hızlandığını belirtmişlerdir.

Ahşap malzemedeki higroskopik suyun plastikleştirici etkisi olduğu bilinmektedir, yani sünme rutubetin artmasıyla artmaktadır (Schniewind 1968, Holzer et al 1989, Bodig and Jayne 1993). Dahada önemlisi lif doygunluğu noktasının altındaki rutubet artışının sünmeye etkisi elastik deformasyonlara göre daha büyüktür (Bodig and Jayne 1993).

### 2.3. Sıcaklığın Etkisi

Davidson (1962) tarafından yapılan bir çalışmada artan sıcaklıkla beraber sünmenin de arttığı görülmüştür. Hearmon ve Paton (1964) ise sıcaklık artımı ile sünmede çok az bir artış olduğunu rapor etmişlerdir.

### 2.4. Mekano-sorpsiyon

Değişken sıcaklıklar ve rutubetler altında zamana bağlı davranış kompleks bir hal almaktadır. Ahşabın mekanik yüklenmeler esnasında sorpsiyona maruz kalması mekano – sorpsiyon olarak bilinir ve açıklaması zor fenomenlerden biridir. Ahşap malzeme yük altında rutubet miktarlarında değişme olduğunda sabit rutubete göre daha fazla deformasyona uğrar (Hoyle et al. 1986, Hoffmeyer and Davidson 1989, Martensson 1994). Mekano – sorpsiyon alanında çok sayıda araştırmaya rastlanmasına rağmen mekano - sorpsiyon davranışın sebebi tam olarak anlaşılmış değildir.

Gibson'a (1968) göre mekano-sorpsiyon hidrojen bağlarındaki kopma ve yeniden yapılanmalar sonucu oluşmaktadır. Hoffmeyer ve Davidson'a

(1989) göre mekano –sorpisyon un ana sebebi kayma plakalarıdır. Mekano-sorpisyonun düşük seviyeli yüklenmelerde de olduğu görülmektedir.

### **2.5. Diğer Faktörlerin Etkisi**

El-Osta ve Wellwood (1972), sekonder çeperdeki fibril açısı ile sünme arasında pozitif lineer bir ilişki olduğunu tesbit etmiştir. Buna göre yüklemekten önce daha geniş bir fibril açısına sahip örneklerde sünme miktarı daha fazladır.

Ajuong ve Breese (1997) tarafından yapılan bir araştırmada lümende bulunan ekstraktiflerin sünmeyi azalttığı bulunmuştur. Benzer bir sonuç Erickson ve Sauer (1969) tarafından da rapor edilmiştir.

## **3. AHŞAP KOMPOZİTLERİNDE SÜNME**

Ahşap kompozitlerinin (yongalevha, kontplak, vb.) sünme özellikleri işlenme, test ve çevresel etkenlere göre değişir. Standard bir test yönteminin olmayışı farklı araştırmacıların yaptığı testlerin yorumlanmasını ve karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Ancak bütün araştırmacıların ortak görüş noktası uzun süreli yüklemelerde ahşap ve kompozitlerindeki elastik deformasyonların ikiye katlandığıdır.

### **3.1. Yükleme Seviyesinin Etkisi**

Haygreen vd. (1975) tarafından yapılan bir araştırmada, yongalevha örnekleri dirençlerinin % 10 ve % 20'si oranında yüklemeye maruz bırakılmışlardır. Bu deneylerde 15 günün sonunda % 10 oranında yüklenen örneklerde toplam sünme elastik deformasyonun % 48'i, % 20 oranında yüklenen örneklerde toplam sünme elastik deformasyonun % 53'ü oranında olmuştur. Pierce vd. (1985) tarafından yapılan araştırmada %30 luk bir yükleme sonucu toplam sünme iki yıl sonunda elastik deformasyonun % 212'si kadar olmuştur. Dinwoodie'e (1981) göre ahşap kompozitleri % 30 – % 75 yüklemelere kadar lineer viskoelastik kabul edilmektedir.

### **3.2. Sıcaklığın Etkisi**

Dinwoodie vd. (1981) tarafından yapılan bir çalışmada, sıcaklığın ve rutubetin sünme üzerine etkisi araştırılmıştır. Değişik yapılardaki yongalevhalar, kontrplak ve liflevha ile yapılan araştırmada fenolformaldehit ile üretilmiş yongalevha en yüksek sünme miktarını vermiştir. Sıcaklık artışı rutubet artışı kadar sünme üzerinde etkili bulunmamıştır.

### 3.3. Rutubetin Etkisi

Ahşap kompozitlerinde rutubetin sünme üzerine etkisi bu alanda en çok ilgi gören konuların başında gelmektedir (Bryan and Schniewind 1965,

Halligan and Schniewind 1972, Armstrong and Grossman 1972,

Lehmann et al. 1975, Gnanaharan and Haygreen 1979, Dinwoodie et al. 1992). Genel olarak rutubet ahşap kompozitlerinde sünmeyi arttırıcı bir etki yapmaktadır. Rutubet miktarı ve bunun sonucu ortaya çıkan sünme miktarı lineer olmayabilir. Yüksek rutubet miktarlarında sünme daha çoktur (Gnanaharan and Haygreen 1979, Dinwoodie et al. 1992).

### 3.4. Tutkal Türünün Etkisi

Literatürde tutkal türünün sünme üzerindeki etkisi konusunda bir uyuşmazlık bulunmaktadır. Bazı araştırmacılar üre ve fenol tutkalı kullanılarak üretilmiş yongalevhelerde fark bulamamasına karşıt (Bryan 1960, Bryan and Schniewind 1965, Hall and Haygreen 1978, Sekino and Suzuki 1984), bazı araştırmacılar bu tutkallarla üretilmiş yongalevhelerin sünme özelliklerinin farklı olduğunu savunmuştur (Lyon and Barnes 1978, Dinwoodie et al. 1981, Jian et al. 1995). Çizelge 1’de değişik tutkal türleri ile üretilmiş yongalevhelerin sünme miktarları gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Değişik tutkallarla üretilmiş yongalevhelerde ortalama sünme miktarları (Laufenberg 1987).

Tutkal türü	Nispi sünme (sünme /elastik defor. ) %	Yerleşik sünme (sünme set / elastik defor.) %
Fenol-formaldehit	620	470
Yüzey tabakası– fenol- formaldehit; orta tabaka – isosiyanat	340	240
Üre	292	185
Melamin	190	126
Değiştirilmiş melamin	104	63

### 3.5. Levha türünün etkisi

Hall vd. (1977), planya artıklarından üretilmiş yongalevhelerde nispi sünmenin kontrplağa göre % 60 oranında, etiket yongalevhadan ise % 50 oranında daha yüksek olduğunu bulmuştur. Sünmedeki bu farklar büyük bir olasılıkla lehva yoğunluğunun, yonga boyutlarının, işleme ve test değişkenlerinin bir yansımasıdır. Malzemeye test sırasında aynı yükler yerine statik kırılmadaki yüklerin belirli bir oranının uygulanması daha gerçekçi sonuçların alınmasında etkilidir. Gressel'in (1972), aynı yükleri uygulayarak yaptığı bir karşılaştırmada liflevhaların nispi sünmelerinin yongalevhadan % 24 oranında yüksek olduğu bulunmuştur. Nispi sünme sünmenin elastik deformasyona oranıdır ve şu şekilde ifade edilir. Nispi sünme = (sünme – elastik deformasyon / elastik deformasyon). Kontrplağın nispi sünme miktarı genel olarak diğer ahşap levha ürünlerinden daha düşüktür buna karşıt fenolformaldehit kullanılarak üretilmiş yonga levhanın nispi sünme miktarı ise diğer levha ürünlerinden daha yüksektir. Çizelge 2'de bazı ahşap malzemelerin ortalama nispi sünme miktarları verilmiştir.

**Çizelge 2.** Ahşap ve kompozitlerinin ortalama nispi sünme değerlerinin çeşitli zaman dilimlerinde karşılaştırılması. Zaman aralıkları 60, 1440 ve 259200 dakika (Dinwoodie et al. 1990).

60		1440		259200	
Ply	0.08	Ply	0.20	Ply	0.45
Fbb	0.12	Waf	0.28	Timb	0.53
Waf	0.13	Fbb	0.31	Waf	0.62
Timb	0.14	Timb	0.32	Muf1	0.78
Uf2	0.14	Uf2	0.35	Muf2	0.81
Muf1	0.15	Muf1	0.37	Fbb	0.86
Muf2	0.16	Muf2	0.42	Uf1	1.14
Uf1	0.18	Uf2	0.49	Pf	1.37
Pf	0.22	Pf	0.58		
x	0.15		0.37		0.82

Ply = kontrplak, Fbb = Lif levha, Waf = Etiket yongalevha, Timb = kereste, Uf = Üre- yongalevha, Muf = Melamin – Üre - yongalevha, Pf =



## AHŞAP VE AHŞAP KOMPOZİTLERİNDE SÜNMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Fenol – yongalevha, x =ortalama.

Seco ve Barra (1998) tarafından yapılan araştırmada değişken rutubet şartları altında yapılan denemelerde MDF deki sünme miktarı yonga levhadan daha yüksek bulunmuştur. Aynı çalışmada melamin emprenye edilmiş kağıtla yüzeyleri kaplanmış levhaların sünme özelliklerinde bir iyileşme görülmesine rağmen kenar kaplamanın etkisine rastlanmamıştır.

### 3.6. Diğer Faktörlerin Etkisi

İkeda ve Takemura (1979) tarafından yapılan çalışmada, yonga ebatlarının sünme üzerine etkisi araştırılmıştır. 1, 3, 4 ve 8 cm uzunluktaki ve 0.5, 0.65 ve 0.8 özgül ağırlıktaki ( $gr/cm^3$ ) yongalar kullanılarak üretilen levhalarda 1 cm ve üzerindeki yongalarla üretilen levhalarda sünmede bir fark bulunmamıştır. Aynı zamanda bu çalışmada yoğunluğun sünme üzerine etkisinde görülmemiştir. Chow ve Hanson (1979) tarafından yapılan çalışmada yüzeye yapılandırılan kaplamaların yüksek yoğunluktaki lif levhaların sünme özelliklerini iyileştirdiği gözlenmiştir.

### 3.7. Değişen Çevre Koşullarının Etkisi

Değişen çevre koşulları ahşap ve kompozitlerinde sabit tutulan ortamlara oranla daha çok sünmeye sebep olmaktadır. Genel olarak rutubetin sünme üzerine etkisi masif ahşaba göre yongalevhada daha fazladır, daha da ilginç yongalevhanın sünmesi sorpsiyon sırasında daha da artmaktadır (Bryan and Schniewind 1965, Halligan and Schniewind 1972).

Sauer ve Haygreen (1968) tarafından yapılan bir araştırmada, yüksek yoğunluktaki lif levhaların adsorpsiyon sırasında desorpsiyona göre daha çok sünmeye maruz kaldığı görülmüştür. Sorpsiyon sırasında sıcaklığın ve yük miktarının yükseltilmesi sünmede ayrıca bir miktar sünme artışına sebep olmuştur. Benzer bir araştırmada ilk sorpsiyonun etkisinin daha fazla olduğu bildirilmiştir (Armstrong and Grossman 1972).

## 4. AHŞAP BİRLEŞTİRMELERDE SÜNME

Ahşap birleştirmelerde sünme araştırmaları sayı ve içerik bakımından sınırlıdır. Bugüne kadar bu konuyu tam olarak açıklayıcı geniş bir çalışma mevcut değildir. Mack (1963) tarafından bu alanda yapılan ilk çalışmaların birinde çivili birleştirmelerdeki sünme incelenmiştir. Bu amaçla iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç türleri ile kontrplak ve liflevha kullanılarak birleştirmeler (gusset tipi) yapılmış ve bu birleştirmeler üç yıl süre ile yüklemeye tabii tutulmuştur. Deneyler sırasında birleştirmelerdeki sünmenin

büyük bir kısmının ilk yıl içinde oluştuğu gözlenmiştir. Uzun süreli bu yüklemelerin direnci çok etkilemediği fakat elastikiyeti büyük ölçüde düşürdüğü görülmüştür. Sliker (1970) tarafından yapılan bir araştırmada, metal plakalı çivili birleştirmeler uzun süreli yüklemelere tabi tutulmuştur. Araştırma sonuçları odun özgül ağırlığının ve metal plakalarının kalınlığının bu tür birleştirmelerde sünme üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca çivilere tutkal uygulanmasının sünmeye direnci arttırdığı gözlenmiştir. Wilkinson'ın (1988) yaptığı bir çalışmada civatalı birleştirmelerdeki sünme incelenmiştir. Bu çalışmada % 30 seviyesinde yüklenen birleştirmelerin sünme hızının üç ay sonunda sifira yakın olduğu görülmüştür. % 85 seviyesinde yüklenen örneklerde ise bir yıl sonunda sünme hızının yavaşlamasına rağmen devam ettiği görülmüştür. Jang vd. (1993) levha kompozitleri ile ahşap kirişler arasındaki sünmeyi incelemiştir. Bu amaçla yongalevha, MDF ve kontrplak örnekleri ahşap kirişlere çivi ile birleştirilmiştir. Bu malzemeler içinden en çok sünme gösteren kontrplak, en az sünme gösteren ise MDF olmuştur.

### 5. SÜNME MODELLERİ

Sünme modelleri ampirik ve mekanik olmak üzere iki gruba ayrılabilir (Schniewind 1968, Holzer et al. 1989, Bodig and Jayne 1993). İlk grup deneysel verilere en uygun regresyon eğrisi bulunarak yapılan modellerdir. İkinci grup ise reolojik modeller kullanılarak sünme en iyi şekilde temsil edilmeye çalışılır. Dinwoodie'ye (1981) göre sünme en iyi mekanik modellerle tahmin edilebilir, regresyon ile bulunan modellerin hata yüzdelerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Mekanik modeller spiral ve pistonların çeşitli şekillerde kombine edilmeleri ile oluşmaktadır. Spiral tamamen elastik bir cisim temsil ederken piston ise Newton sıvısının akışını temsil etmektedir. Üç ve dört elementli modeller yaygın biçimde ahşap ve kompozitlerinde sünmenin tahmini için kullanılmıştır (Şekil 4). Bu modeller matematik olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedirler.

$$y = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_2} + \left[ 1 - \exp\left(\frac{-tE_2}{\eta_2}\right) \right] \text{ veya}$$

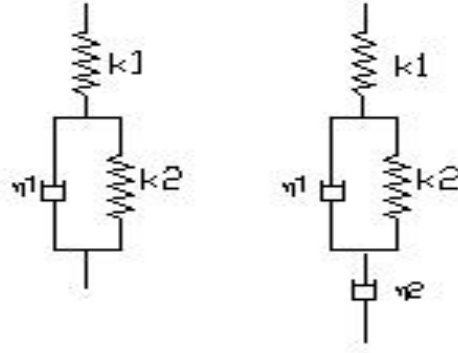
$$y = \beta_1 + \beta_2[1 - \exp(-\beta_3 t)]$$

#### AHŞAP VE AHŞAP KOMPOZİTLERİNDE SÜNMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

$$y = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_2} + \left[ 1 - \exp\left(\frac{-tE_2}{\eta_2}\right) \right] + \frac{\sigma t}{\eta_3} \text{ veya}$$

$$y = \beta_1 + \beta_2[1 - \exp(-\beta_3 t)] + \beta_4 t$$

Burada  $y$  = toplam deformasyon,  $\beta_i$  = modeldeki spiral ve pistonları tanımlayan parametreler, (regresyon ile bulunur) ve  $t$  = zaman. İlk formülde eşitliğin sağ tarafındaki  $\sigma/E_1$  elastik defarmasyondur ve  $E_1$  ile bağlantılıdır; eşitlikteki kalan ifade zamana bağlı elastik deformasyondur ve geri kazanılabilir sünmeyi temsil eder, bu ifade  $E_2$  ve  $\eta_2$  ile bağlantılıdır. İkinci formüldeki  $\eta_3$  viskosite katsayısıdır ve geri kazanılmayan deformasyonu temsil eder. Yapılan araştırmalarda ikinci formül veya dört elementli mekanik model ahşap ve kompozitleri için daha uygun olduğu bulunmuştur (Pierce and Dinwoodie 1977, Dinwoodie et al. 1981).



Şekil 4. 3 ve 4 elementli mekanik sünme modelleri.

## 6. SONUÇ

Ahşap ve Ahşap kompozitleri için sünme uzun süreli yüklenmelerde kaçınılmazdır. Sünme, ahşap veya ahşap kompozitlerinden imal edilmiş ürünler için görünüş bozukluğu oluşturabileceği gibi kırılmalara sebebiyet verebilmektedir. Bu gibi istenmeyen durumlardan kaçınmak için tasarım aşamasında ahşap ve ahşap kompozitlerinin sünme özellikleri gözönünde bulundurmak gerekmektedir. Düşük seviyeli yüklemelerin bile bu tür malzemelerde uzun sürelerde elastik deformasyonları ikiye katlayacağı bir kural olarak hatırlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Ajuong, E.M.A., and Breese, M.C. 1997. The role of extractives on short-term creep in compression parallel to the grain of Pai wood. *Wood and Fiber Science*, 29(2): 161-170.
- Armstrong, L.D. and Grossman, P.U.A. 1972. The behavior of particleboard and hardboard beams during moisture cycling. *Wood Science and Technology*, 6: 128-137.
- Armstrong, L.D. and Kingston, R.S.T. 1962. Effect of moisture changes on creep in wood. *Nature*, 185: 862-863.
- Bach, L. 1966. Nonlinear mechanical behavior of wood in longitudinal tension. Ph.D. Thesis, Syracuse University.
- Bodig, J. and Jayne, B.A. 1993. *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Van Nostrand Reinhold Company. NY.
- Bryan, E.L. 1960. Bending strength of particleboard under long-term load. *Forest Products Journal*, 10(5): 200-204.
- Bryan, E.L., and Schniewind, A.P. 1965. Strength and rheological properties of particleboard as effected by moisture content and sorption. *Forest Products Journal*, 15(4): 143-148.
- Chow, P. and Hansen, R.C. 1979. Effects of load level, core density, and shelling ratio on creep behavior of hardboard composites. *Wood and Fiber*, 11(1) 57-65.
- Clouser, W.S. 1959. Creep of small wood beams under constant bending load. Forest Products Laboratory. Forest Service U.S.D.A. Report No. 2150. Davidson,

## AHŞAP VE AHŞAP KOMPOZİTLERİNDE SÜNMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

- R.W. 1962. The influence of temperature on creep in wood. *Forest Products Journal*, 12 (8): 377-381.
- Dinwoodie, J.M. 1981. *Timber: its nature and behavior*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Dinwoodie, J.M., Higgins, J.A., Paxton, B.H. and Robson, D.J. 1990. Creep research on particleboard: 15 year's work at the UK Building Research Establishment. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 48: 5-10.
- Dinwoodie, J.M., Higgins, J.A., Paxton, B.H. and Robson, D.J. 1992. Creep in chipboard. Part 11: The effect of cyclic changes in moisture content and temperature on the creep behavior of a range of boards at different levels of stressing. *Wood Science and Technology*, 26: 429-448.
- Dinwoodie, J.M., Paxton, B.H., and Pierce, C.B. 1981. Creep in chipboard. Part 3: Initial assessment of the influence of moisture content and level of stressing on rate of creep and time to failure. *Wood Science and Technology*, 15: 125-144.
- Dinwoodie, J.M., Paxton, B.H., and Pierce, C.B. 1981. Creep in chipboard. Part 4: The influence of temperature and moisture content on the creep behavior of a range of boards at a single stress level. *Wood Science and Technology*, 18: 205-244.
- El Osta, L.M. and Wellwood, R.W. 1972. Short-term creep as related to microfibril angle. *Wood and Fiber*, 1: 26-32.
- Erickson, R.W. and Sauer, D.J. 1969. Flexural creep behavior of redwood heartwood during drying from green state. *Forest Products Journal*, 18(12): 45-51.
- Gibson, E.J. 1965. Creep of wood: Role of water and effect of a changing moisture content. *Nature*, 4980: 213-215.
- Gnanaharan, R. and Haygreen, J. 1979. Comparison of the creep behavior of a basswood waferboard to that of solid wood. *Wood and Fiber Science*, 11(3): 155-170.
- Gressel, V.P. 1972. The effect of time, climate and loading conditions on the bending behavior of wood-base materials. Part III. Discussion of results. *Holz als Roh- und werkstoff*, 30: 479-488.
- Hall, H. and Haygreen, J. 1978. Flexural creep of 5/8-inch particleboard and plywood during 2 years of concentrated loading. *Forest Products Journal*, 28(6): 19-22.
- Hall, H., Haygreen, J., and Neisse, B. 1977. Creep of particleboard and plywood floor deck under concentrated loading. *Forest Products Journal*, 27(5): 23-32.

## SDÜ ORMAN FAKÜLTESİ DERGİSİ

- Halligan, A.F. and Schniewind, A.P. 1972. Effect of moisture on physical and creep properties of particleboard. *Forest Products Journal*, 22(4): 41-48.
- Haygreen, J. Hall, H. Yang, K. and Sawicki, R. 1975. Studies of flexural and creep behavior in particleboard under changing humidity conditions. *Wood and Fiber*, 7(2): 74-90.
- Hearmon, R.F.S. and Paton, J.M. 1964. Moisture content changes and creep of wood. *Forest Products Journal*, 14(8): 357-359.
- Hoffmeyer, P. 1990 Failure of wood as influenced by moisture and duration of load. Ph.D. Thesis. State University of New York, College of Environmental Science and Forestry. Syracuse. NY.
- Hoffmeyer, P. and Davidson, R.W. 1989. Mechano-sorptive creep mechanism of wood in compression and bending. *Wood Science and Technology*, 23: 215-227.
- Holzer, S.M., Loferski, J.R., and Dillard D.A. 1989. A review of creep in wood: Concepts relevant to develop long-term behavior predictions for wood structures. *Wood and Fiber Science*, 21(4): 376-392.
- Hoyle, R.J., Itani, R.Y., and Eckard, J.J. 1986. Creep of Douglas-fir beams due to cyclic humidity fluctuations. *Wood and Fiber Science*, 18(3): 468-477.
- Ikeda, T. and Takemura, T. 1979. Effect of chip length on creep properties of particleboard. *Mokuzai Gakkaishi*, 25(5): 332-337.
- Jang, S., Fujimoto, Y., and Mataka, Y. 1993. Viscous-viscoelastic models for creep of nailed joints. *Mokuzai Gakkaishi*, 39(4): 418-427.
- Jian, L., Suzuki, S., and Saito, F. 1995. Influence of board construction on the flexural creep behavior of composite boards made with wood fibers and particles. *Mokuzai Gakkaishi*, 41(4): 393-398.
- Laufenberg, T. L. 1987. Creep testing of structural composite panels; a literature review and proposed standard. In: *Proceedings of 21. International Particleboard/ Composite Materials Symposium*, T. M. Maloney, editor. Washington State University, Pullman, Washington, p. 297-313.
- Lehmann, W.F., Ramaker, T.J., and Hefty, F.V. 1975. Creep characteristics of structural panels. In: *Proceedings of 9. International Particleboard/ Composite Materials Symposium*, T. Maloney, editor. Washington State University. Pullman, Washington. p. 151-173.
- Leicester, R.H. 1971. A rheological model for mechano-sorptive deflections of beams. *Wood Science and technology*, 5: 211-220.

## AHŞAP VE AHŞAP KOMPOZİTLERİNDE SÜNMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

- Lyon, D.E. and Barnes, H.M. 1978. Time-dependent properties of particleboard decking in flexure. *Forest Products Journal*, 28(12): 28-33.
- Mack, J.J. 1963. A study of creep in nailed joints. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, Australia.
- Martensson, A. 1994. Mechano-sorptive effects in wooden material. *Wood Science and Technology*, 28: 437-449.
- Mukudai, J. 1983. Evaluation of linear and non-linear visco-elastic bending loads of wood as a function of prescribed deflections. *Wood Science and Technology*, 17: 203-216.
- Mukudai, J. and Yata, S. 1986. Modeling and simulation of visco-elastic behavior wood under moisture change. *Wood Science and Technology*, 20: 335-348.
- Mukudai, J. and Yata, S. 1987. Further modeling and simulation of viscoelastic behavior wood under moisture change. *Wood Science and Technology*, 21: 49-63.
- Pentoney, R.E. and Davidson, R.W. 1962. Rheology and study of wood. *Forest Products Journal*, 12: 243-248.
- Pierce, C.B. and Dinwoodie, J.M. 1977. Creep in chipboard. Part 1 Fitting 3- and 4-element response curves to creep data. *Journal of Materials Science*, 12:1955-1960.
- Pierce, C.B., Dinwoodie, J.M., and Paxton B.H. 1985. Creep in chipboard. Part 5: An improved model for prediction of creep deflection. *Wood Science and Technology*, 19: 83-91.
- Ranta-Maunus, A. 1975. The viscoelasticity of wood at varying moisture content. *Wood Science and Technology*, 9: 189-205.
- Sauer, D.J. and Haygreen, J.G. 1968. Effects of sorption on the flexural creep behavior PF hardboard. *Forest Products Journal*, 18(10): 57-63.
- Schniewind, A.P. 1968. Recent progress in the study of the rheology of wood. *Wood Science and Technology*, 2: 88-206.
- Schniewind, A.P. and Barrett, J.D. 1972. Wood as a linear orthotropic viscoelastic material. *Wood Science and Technology*, 6: 43-57.
- Seco, J. and Barra, M. 1998. Long-term deformation of MDF panels under alternating humidity conditions. *Wood Science and Technology*, 32: 33-41.
- Sekino, N. and Suzuki, M. 1984. Swelling and creep of isocyanate-bonded oriented-particleboard. *Mokuzai Gakkaishi*, 30(1): 17-22.

## SDÜ ORMAN FAKÜLTESİ DERGİSİ

- Senft, J.F. and Suddarth, S.K. 1970. An analysis of creep inducing stress in Sitka Spruce. Purdue University Agricultural Experimentation Station journal paper, 4218: 321-327.
- Sliker, A. 1970. Creep in nailed wood-metal tension joints. Wood Science, 3(1): 23-30.
- Wilkinson, T.L. 1988. Duration of load on bolted joints. A pilot study. USDA Research paper. FPL-RP-488. Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Wood, L.W. 1951. Relation of strength of wood to duration of load. U.S. Forest Service, Forest Products Laboratory. Report No. R1916.