

Kızılçam odununda (*Pinus brutia* Ten.) yorulma özelliklerinin belirlenmesi

Ergün Güntekin^{a*}, Tuğba Yılmaz Aydın^a

Özet: Bu çalışmada kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odunundan elde edilen kusursuz küçük örneklerde eğilme direncinin % 30, 40, 50, 60 ve 70 seviyelerinde 5 farklı gerilme, dakikada 15 ve 20 çevrim olmak üzere yorulma yükleri uygulanarak yorulma ömürleri bulunmuştur. Çalışma sonuçlarına göre kusursuz örneklerde %30 ve %40, yükleme seviyelerinde ortalama 1.000.000 üzeri tekrara ulaşmıştır. Genel olarak yükleme seviyesi (S) ile yorulma ömrü (N) arasında ters bir ilişki görülmektedir. Bu ilişki doğrusal olmayan regresyon yöntemiyle modellenmiştir. $\log(N) = A * \log(S) + B$ eşitlikleri ile kızılçamda yorulma ömrü tahmin edilebilir. Yorulma testleri uzun sürelerde yapılabildiği için bu çalışmada sadece dakikada 15 ve 20 yükleme kullanılmıştır. Frekansın daha sık ve geniş açıklıklarla uygulanmasıyla kızılçam odununda yorulma davranışı daha iyi anlaşılabilir.

Anahtar kelimeler: Kızılçam, Yorulma ömrü, Modelleme

Determination of fatigue properties for Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.)

Abstract: In this study, fatigue strength of red pine (*Pinus brutia* Ten.) wood was evaluated by applying 15 and 20 cycles per minute and 30% to 70% – 5 different load of static bending strength to small clear wood specimens. The study showed that fatigue life of Turkish red pine wood amounted over 1 million cycles when the stress level was 30 and 40%. In general, there is an inverse relationship between load level (S) and fatigue life (N). This relationship was modeled using nonlinear regression. Fatigue life of red pine wood can be predicted using the equation of $\log(N) = A * \log(S) + B$. Since, fatigue tests are time consuming, only 15 and 20 cycles per minute frequencies were used in the study. By applying more and less frequent loading schemes, the fatigue behavior of red pine wood can be well understood.

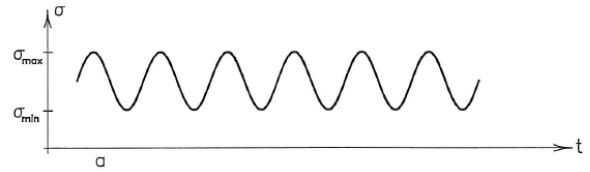
Keywords: Turkish red pine wood, Fatigue life, Modelling

1. Giriş

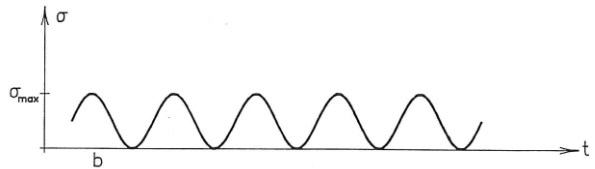
Malzemelerin tekrarlı (çevrim) bir şekilde maruz kaldığı yükler sonucunda, statik dayanımının çok altında bir gerilmede kırılması yorulma olarak tanımlanmaktadır. Çevrim veya tekrar (N) - gerilme (σ veya S) eğrisinin periyodik olarak tekrarlanan en küçük parçasına bir çevrim denir. Maksimum gerilme, uygulanan gerilmeler arasında en büyük cebirsel değeri olan gerilmedir. Minimum gerilme, uygulanan gerilmeler arasında en küçük cebirsel değeri olan gerilmedir (Şekil 1-2-3). R oranı; uygulanan en küçük gerilmenin en büyük gerilmeye oranı olarak tanımlanır.

Malzemelerde yorulma ömürlerinin belirlenmesinde en çok kullanılan metot S-N eğrilerinin deneysel olarak belirlenmesidir. Şekil 4'te farklı malzemelere ait S-N grafikleri gösterilmiştir.

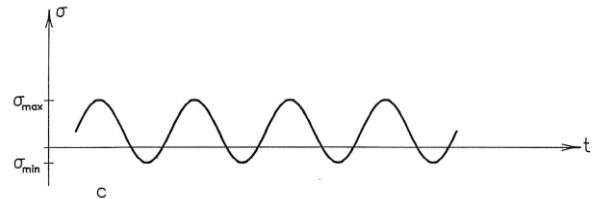
Yorulma deneylerindeki zorluklardan en önemlisi zamandır. Bir malzemenin yorulma özelliklerini belirlemede dayanma sınırı civarındaki deney verileri çok önemlidir. Dayanma sınırı (fatigue endurance) teorik olarak gerçek zaman ölçeğinde kırılmanın olmadığı tekrarlardaki bir gerilme değeridir (Şekil 5).



Şekil 1. R>0 (Hansen, 1991)



Şekil 2. R= 0 (Hansen, 1991)



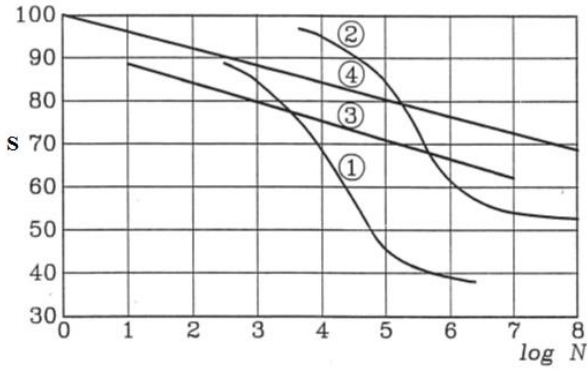
Şekil 3. R<0 (Hansen, 1991)

✉ ^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta

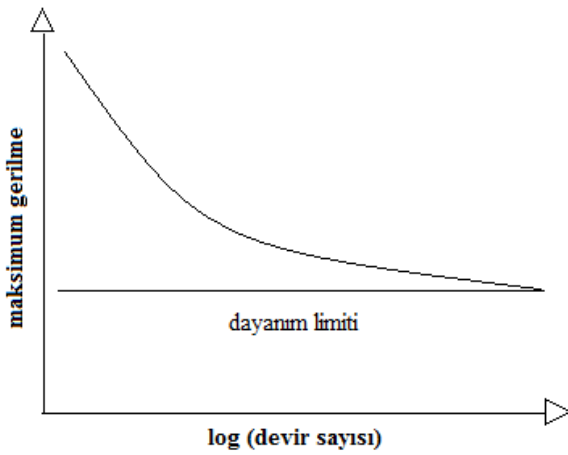
@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): ergunguntekin@sdu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 10.06.2014, **Accepted** (Kabul tarihi): 18.02.2015

📄 **Citation** (Atf): Güntekin, E., Yılmaz Aydın, T., 2015. Kızılçam odununda (*Pinus brutia* Ten.) yorulma özelliklerinin belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 16(1):36-41.



Şekil 4. Bazı malzemeler için S-N eğrileri: 1 – yumuşak çelik, 2- Alüminyum alaşım, 3- beton, 4- ahşap (Hansen, 1991)



Şekil 5. Tekrarlı yüklemelerde dayanma sınırını gösteren grafik (Bodig ve Jayne, 1982)

Yorulma analizinin temel amacı malzemenin ömrü süresince ne kadarlık bir çevrime dayanabileceğini karakterize etmektir. Yorulma analizinde genel olarak üç metot kullanılmaktadır. Bunlar şekil değiştirme ömrü (Strain Life), gerilme ömrü (Stress Life) ve kırılma mekanizması (Fracture Mechanics) (Dai ve Zhang, 2007). Şekil değiştirme ömrü yaklaşımı günümüzde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve yorulmanın düşük tekrar (çevrim) sayılarını karakterize eden, tipik olarak çatlak başlangıcını kapsayan bir metottur.

Diğer yandan gerilme ömrü ise parçanın toplam ömrü ile ilgilendirilmez bunun için çatlak başlangıcını ve çatlak ilerleyişini kapsamaz. Analizleri çevrim sayılarına göre sınıflandırsak şekil değiştirme ömrü düşük sayılı çevrimler için kullanılır bu yüzden Low Cycle Fatigue (LCF) olarak bilinir aynı zamanda yüksek sayıdaki çevrimler içinde kullanılabilir. LCF genellikle 105 ve bundan daha düşük çevrimleri kapsar. Gerilme ömrü S-N (Stress- Cycle Curves) diyagramına dayanır ve genellikle yüksek çevrimleri kapsar bundan dolayı High Cycle Fatigue (HCF) diye bilinir. 105 ve üzeri çevrimleri kapsar.

2. Genel bilgiler

Hansen'e (1991) göre ahşap esaslı elemanlarda yorulma özelliklerine etki eden faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Tür, yetiştirme yeri, yoğunluk, vb.
- Test ürününün ebatları,
- Rutubet,
- Etki eden yük (basma, çekme, eğilme, vb.), yük seviyesi, R oranı, frekans (tekrar/dakika).
- Diğer faktörler (sıcaklık, kimyasal muamele, vb.)

Malzemelerde yorulma, tekrarlı yüklemelere maruz kalmış yapısal elemanlar için ortak bir problemdir (Bao vd., 1996). Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin yorulma davranışıyla ilgilenen çalışmaların sayısı oldukça azdır. Ahşabın havacılık sanayinde kullanıldığı zamanlarda bile yorulma önemsiz görülmemiş, emniyet katsayılarında en son düşünülen faktör olmuştur (Tsai ve Ansell, 1990).

Ahşap esaslı malzemelerin yorulma özellikleri üzerine en eski çalışmalardan biri McNatt (1970) tarafından gerçekleştirilmiştir. McNatt sert lif levhada farklı yüklemeye şartları altında yorulma davranışlarını incelemiştir. Yapılan çalışmada çekme ve makaslama testlerinde bu malzemenin % 40 -45 düzeyindeki yüklemelerde 10 milyon tekrarda kırıldığı görülmüştür. Elde edilen S-N eğrilerinin masif ahşap malzemenin liflere paralel çekme ve tutkal makaslama örneklerindekiyle benzediği bulunmuştur.

Eckelman (1987) tarafından yapılan bir çalışmada OSB de farklı yüklemeler altında yorulma özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada eğilme direncinin % 40 düzeyinde yapılan bir yüklemelerde malzemenin bir milyon tekrarı kırılmadan geçtiği görülmüştür. Ancak eğilme direncinin % 55 düzeyinde yapılan tekrarlı yüklemeler yorulma ömrünü dramatik olarak azaltmıştır. Çalışma sonunda emniyet gerilmelerinin eğilme direncinin bir yüzdesi yerine yorulma direnci ile tahmin edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Tsai ve Ansell (1990) tarafından yapılan bir çalışmada ahşap ve lamine edilmiş malzemelerin tekrarlı ve geri çevrimli (reverse) yükler altındaki yorulma davranışı araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre yorulma ömrü; uygulanan yük statik direncin bir oranı olduğundan ağaç türünden bağımsızdır, rutubetin yorulmayı hızlandırıcı bir etkisi vardır. Yorulma ömrü geri çevrimli yüklemelerde daha düşüktür.

Bao ve Eckelman (1995) tarafından yapılan bir çalışmada OSB, MDF ve yongalevhanın kenar eğilme yorulma deneylerinde (edgewise fatigue bending) % 40 eğilme direnci seviyesinde yapılan yüklemelerde 200 000 tekrara dayandığı görülmüştür.

Thompson vd. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada MDF, OSB ve yongalevhaların yorulma özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada MDF'nin yorulma performansı diğer iki malzemeye göre çok düşük bulunmuştur. Düşük yüklemeye seviyelerinde bu malzemelerin yorulma performansları arasında bir fark bulunmamıştır.

Yorulmada önemli bir parametre olan yüklemeye sıklığının (frekans) eğilmede yorulma direnci üzerine etkisi yongalevha'da Thompson vd. (1996) tarafından araştırılmıştır. Eğilme direncinin % 30-80'i seviyesinde yüklenen örneklerde frekans 0.015-0.15, 0.15-3 ve 3-15.0 Hz aralıklarında denenmiştir. Çalışma sonuçları frekansın yükselmesi ile kırılmaya götüren tekrar sayısının yükseldiğini göstermiştir. Buna karşılık Cai vd. (1996) tarafından yapılan bir çalışmada OSB örnekleri üzerinde % 80 yüklemeye seviyesinde yapılan denemelerde 1 Hz ve 0.5 Hz ler arasında kırılmaya götüren tekrar sayıları bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bunun

tam tersi, yani frekansın yükselmesi ile kırılma için gerekli tekrar sayısının arttığı Clouris vd. (2000) tarafından ladin örneklerinde liflere paralel basma testlerinde % 80 yükleme seviyesi ve 0.01 ile 10 Hz arası dört farklı frekansta bulunmuştur. Düşük frekanslarda sünme (creep) meydana gelmesi kırılmayı hızlandırabilir.

Ahşap malzemeler için yorulma modellerinde genellikle iki yaklaşım söz konusudur. Bunların en çok kullanılanı tekrar sayısının belirlenmesi (Wöhler eğrisi) diğeri ise yükleme süresinin (duration of load) belirlenmesidir (Clorius, 2002). Wöhler eğrileri yorulma direncini belirli bir yükleme (gerilme) seviyesinde (S) kırılmaya sebep olan kritik tekrar sayısı (N) olarak tanımlar ve aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\log(N) = A + B * \log(S)$$

Burada A ve B katsayıları bir tekrardaki minimum ve maksimum gerilme düzeylerinin oranına bağlıdır. Wöhler eğrileri ahşap malzemeler için Eckelman (1987), Bonfield (1991), Bonfield ve Ansell (1991), Ansell (1995), Clouris (2002), Thompson vd. (2002) Dai ve Zhang (2007) gibi birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır.

Bodig ve Jayne (1982) yapılan çalışmalarda tekrarlı yüklemeler altında bazı ağaç türü odunları ve ahşap kompozitleri için dayanma sınırları verilmiştir. Buna göre Douglas Göknarı, Ladin (*Picea excelca*, *Picea sitchensis*), Çam gibi iğne yapraklı ağaçlı türlerde dayanma sınırı 15.7 – 41.2 N/mm² arasında, Huş (*Betula verrucosa*, *Betula pubescens*), Meşe (*Quercus alba*), Dişbudak (*Fraxinus excelsior*) ve Ceviz (*Juglans regia*) gibi yapraklı ağaç türlerinde ise 22 – 41.2 N/mm² arasında verilmiştir.

Ülkemizde yetişen ağaç türü odunlarının yorulma özellikleri üzerine yapılmış herhangi bir çalışma mevcut değildir. Bir ürünün mukavemetini değerlendirmek için sadece gerilme analizi yapmak yetmeyebilir. Eğer ürün, zaman değişkenleri içeren kompleks yüklerle maruz kalıyorsa basit bir gerilme analizi yapmak hatalı kritik bölgelere ve fazla güvenli parçalara yol açabilir. Ürünün ömrünü belirlemek için derinlemesine bir yorulma analizi yapılması gerekir.

Bu çalışmada kızılçam odununda yorulma davranışı kusursuz ve küçük örnekler üzerinde araştırılmış ve yorulma ömrü modellenmiştir.

3. Malzeme ve yöntem

Çalışmada ağaç türü olarak kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odunu kullanılmıştır. Pamucak Orman İşletmesinden temin edilen tomruklar özel bir kereste fabrikasında kereste haline getirildikten sonra Orman Fakültesi atölyesinde işlenerek küçük kusursuz örnekler elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan örnekler eşleştirme uygulanmıştır. Uygulanacak yükleme düzeyi ortalama statik eğilme direncinin % 30, 40, 50, 60 ve 70'i kadardır. Eğilme direnci TS 2474'e göre belirlenmiştir.

Küçük örneklerin ölçüleri yaklaşık 2x2x30 cm'dir. Küçük örneklerde görünen kusurların olmamasına dikkat edilmiştir. Eğilmede eğilme direnci aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Eğilme\ Direnci = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Burada:

P = Yük-deformasyon eğrisindeki maksimum yük (N).

L = destek noktaları arasındaki uzaklık (mm)

b = örneğin genişliği (mm)

d = örneğin kalınlığı (mm)

Yorulma testleri 0'dan maksimum gerilme düzeyine ulaşan (R oranı – 0) tekrarlı testler şeklinde uygulanmıştır. Tekrarlı testlerde kullanılacak frekans 15 ve 20 devir / dakikadır. Yorulma testleri % 65 rutubet ve 23 °C sıcaklığın sürdürüldüğü bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada tekrar sayısı 8'dir. Yorulma örneklerinin yüklenmesi sırasında kullanılan dayanak açıklığı 30 cm'dir.

Yorulma testlerinde kullanılan sistem; yüklemeye kullanılacak pnömatik silindireler, hava basıncını dolayısıyla uygulanacak yük miktarını ayarlama için kullanılacak hava regülatörleri, havayı açıp kapama için kullanılan selenoid hava vanaları, tekrar sayısını ölçen mekanik sayıcılar, vb. den oluşmaktadır.

Örnekler (Şekil 6) üzerine uygulanacak yükler pnömatik piston ile iletilmiştir. Uygulanacak yükün belirlenmesinde öncelikle piston bir yük hücre sine etki ettirilerek sisteme verilecek hava basıncı valf yardımıyla ayarlanmıştır. Pistonun hareketi zaman rölelerinden gelen sinyal bir selenoid valf ile düzenlenmektedir. Tekrar sayıları elektronik bir sinyal sayıcı ile okunmuştur.

Elde edilen veriler (S – N) SAS istatistiksel analiz programı yardımıyla analiz edilmiştir.

4. Bulgular ve tartışma

Çalışmada kullanılan örneklerin ortalama yoğunlukları 0.54 g/cm³'tür. Ortalama rutubet miktarları ise % 8.6'dır. Çizelge 1'de örnekler için bulunan ortalama eğilme dirençleri ve uygulanan yükler (%) verilmiştir. Elde edilen yorulma ömürleri çizelge 2'de verilmiştir.

Örneklerin yorulma ömürleri üzerinde frekans ve yükleme seviyesinin etkisi varyans analizi ile belirlenmiştir (Çizelge 3).



Şekil 6. Yorulma örnekleri ve yükleme düzeneği

Varyans analizi sonuçlarına göre yorulma ömrü üzerinde en önemli etkiyi yüklenme seviyesi yapmaktadır (F-değeri = 2711, Pr>F = 0.0001). Frekansın (dakikada 15 veya 20 yüklenme) yorulma ömrü üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (F-değeri = 1.44, Pr>F = 0.2342).

Elde edilen yük seviyesi (S) / yorulma ömrü (N) grafikleri Şekil 7 ve 8'de gösterilmiştir.

Örneklere yorulma ömrünü tahmin etmek için doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılarak aşağıdaki modeller oluşturulmuştur (Şekil 9 -10). Frekans 15 devir /dakika olan yüklemelerde yorulma ömrü aşağıdaki eşitlik yardımıyla tahmin edilebilir:

$$\text{Log (N)} = -2.598 * \text{log (S)} + 15.852$$

Frekans 20 devir /dakika olan yüklemelerde yorulma ömrü aşağıdaki eşitlik yardımıyla tahmin edilebilir:

$$\text{Log (N)} = -2.76 * \text{log (S)} + 16.421$$

Burada;

N= yorulma ömrü,

S= yüklenme seviyesi (% olarak eğilme direnci).

Yukarıdaki istatistiksel modellerin regresyon katsayıları ise sırasıyla 0.94 ve 0.93'tür.

Çizelge 1. Örneklere ortalama eğilme direnci (N/mm²) ve uygulanacak yük miktarları (N)

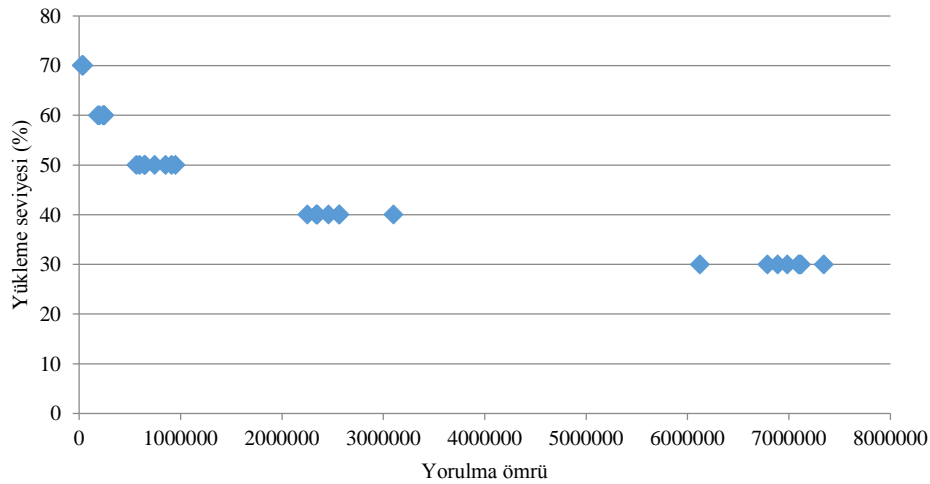
Eğilme direnci (N/mm ²)	% 30	% 40	% 50	% 60	% 70
109 (6)	609 N	811 N	1014 N	1217 N	1420 N

Çizelge 2. Örneklere ortalama tekrar sayıları (yorulma ömürleri)

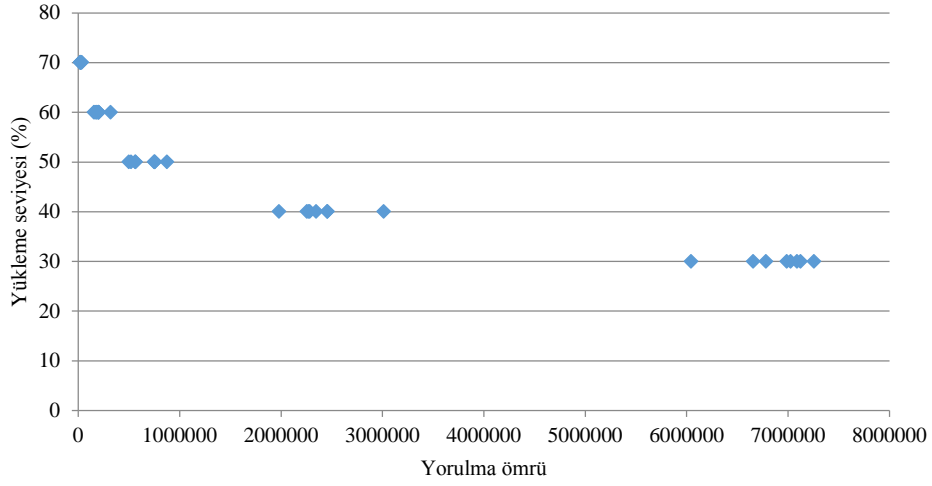
Frekans	Yük seviyesi (%)	Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı (%)
20 /dakika	30	6872077	384156	6045622	7256844	6
	40	2382710	295115	1980455	3012555	12
	50	660922	139557	501254	876543	21
	60	202195	50624	154998	320154	25
	70	24988	5197	18890	35622	21
15 / dakika	30	6932275	366502	6124556	7345686	5
	40	2497959	269274	2250987	3102455	11
	50	740558	148174	566025	950886	20
	60	232152	23066	188546	247809	10
	70	35755	3820	29542	42354	11

Çizelge 3. Frekans ve yüklenme seviyesinin yorulma ömrü üzerine etkisi

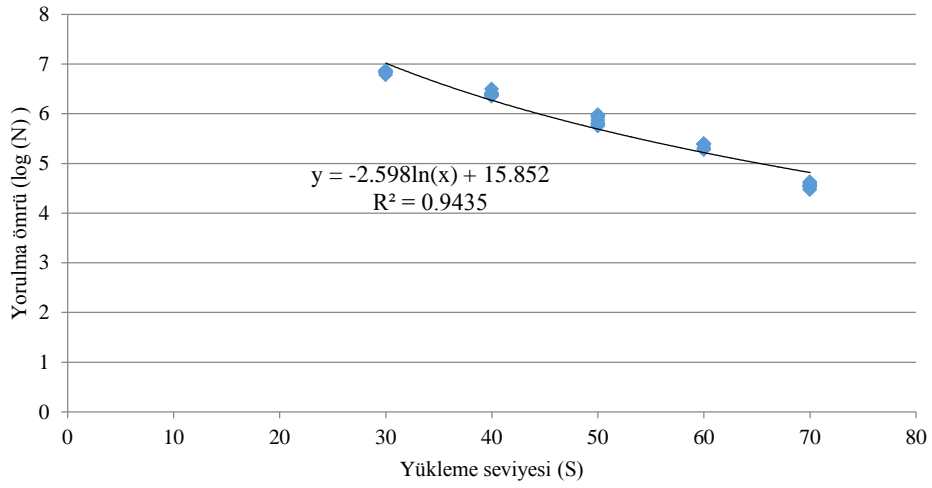
Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler ortalaması	F - değeri	Pr > F
Model	9	5.2736571E14	5.859619E13	1205.51	<0.0001
Yük seviyesi	4	5.2726867E14	1.3181717E14	2711.89	<0.0001
frekans	1	70001365838	70001365838	1.44	0.2342
Yük*frekans	4	27044366157	6761091539.2	0.14	0.9672
Hata	70	3.4024945E12	48607063890		
Toplam	70	5.3076821E14			
	R kare	Varyasyon katsayısı	Ortalama tekrar		
	0.993589	10.71200	220470.1		



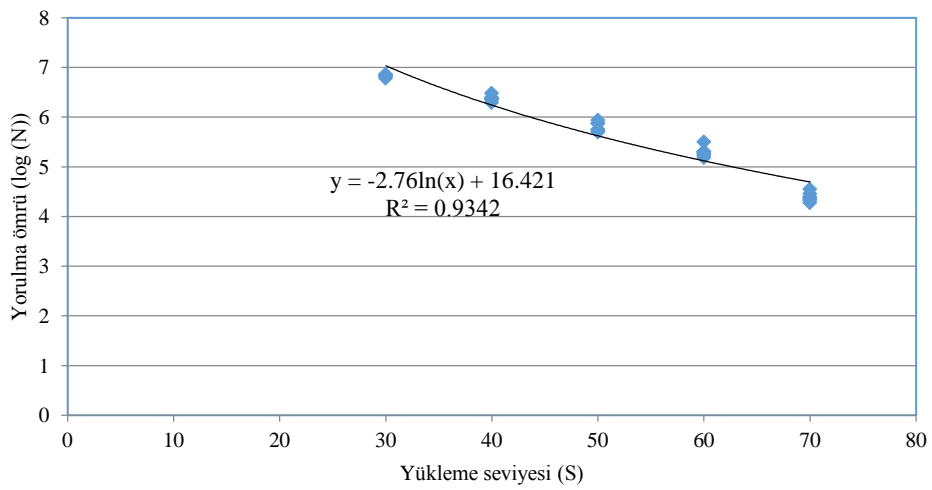
Şekil 7. 15 devir/dakika frekans için yüklenme seviyesi/yorulma ömrü grafiği



Şekil 8. 20 devir / dakika frekans için yüklenme seviyesi / yorulma ömrü grafiği



Şekil 9. 15 devir/dakika için yorulma ömrünün tahmini



Şekil 10. 20 devir/dakika için yorulma ömrünün tahmini

5. Sonuç

Çalışmada kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odunundan elde edilen kusursuz küçük örneklerde eğilme direncinin % 30 - %70'i arasında 5 farklı gerilme düzeyine dakikada 15 ve 20 tekrar olmak üzere yorulma yükleri uygulanarak yorulma ömürleri bulunmuştur. Çalışma sonuçlarına göre kusursuz örneklerde % 30, % 40, ve %50 yükleme seviyelerinde 1.000.000 üzeri tekrara ulaşmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda yorulma ömrü ortalama maksimum direncin bir oranı verilmektedir (Zhang vd. 2005) ve malzeme tipi, uygulanan teste ile yükleme seviyesine göre değişmektedir (Hansen, 1991), eğilme testleri için % 30 eşik seviyesi olarak kabul edilebilir (Bao ve Eckelman, 1995; Zhang vd. 2005). Çekme testlerinde bu % 40 ve üzerine çıkabilmektedir (McNatt, 1970). Yorulma testlerinde kullanılan frekans bazı yazarlara (Thomson vd. 1996) göre önemli bir etkiye sahip bulunmuş bazı yazarlar (Cai vd., 1996) ise frekansın yorulma ömrü üzerinde etkisinin olmadığını belirtmiştir. Çalışma sonuçları da kullanılan frekans aralığının yorulma ömrü üzerinde etkisi olmadığını göstermektedir.

Genel olarak yükleme seviyesi ile yorulma ömrü arasında ters bir ilişki görülmektedir. Bu ilişki doğrusal olmayan regresyon yöntemiyle modellenmiştir. $\log(N) = A * \log(S) + B$ eşitlikleri ile kızılçamda yorulma ömrü tahmin edilebilir. Yorulma testleri uzun sürelerde yapılabildiği için bu çalışmada sadece dakikada 15 ve 20 frekans yüklemeler kullanılmıştır. Frekansın daha sık ve geniş açıklıklarla uygulanmasıyla kızılçam odununda yorulma davranışı daha iyi anlaşılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma 1120448 No'lu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Ansell, M.P., 1995. Fatigue Design for Timber and Wood-Based Materials. Timber Engineering STEP 2: E22/1–E22/8.
- Bao, Z., Eckelman, C.A., 1995. Fatigue life and design stresses for wood composites used in furniture. Forest Product Journal, 45(7/8): 59-63.
- Bao, Z., Eckelman, C.A., Gibson, H., 1996. Fatigue strength and allowable design stresses for some wood composites used in furniture. Holz als Roh- und Werkstoff, 54: 377-382.

- Bodig, J., Jayne, B.A., 1982. Mechanics of Wood and Wood Composites. Reinhold Company, New York.
- Bonfield, P.W., 1991. Fatigue evaluation of wood laminates for the design of wind turbine blades. PhD thesis, University of Bath, UK.
- Bonfield, P.W., Ansell, M.P., 1991. The fatigue properties of wood in tension compression and shear. Journal of Materials Science, 26: 4765–4773.
- Cai, Z., Bradtmueller, J.P., Hunt, M.O., Fridley K.J., Rosowsky, D.V., 1996. Fatigue behaviour of OSB in Shear. Forest Products Journal, 46(10): 81–86.
- Clorius, C.O., Pedersen, M.U., Hoffmeyer, P., Damkilde, L., 2000. Compressive fatigue in wood. Wood Science and Technology, 34: 21–37.
- Clorius, C.O., 2002. Fatigue in wood an investigation in tension perpendicular to the grain. PhD. Thesis, Danmarks Tekniske Universitet.
- Dai, L., Zhang, J., 2007. Fatigue performance of wood composites subjected to edgewise bending stresses. Forest Products Journal, 57(11): 44-51.
- Eckelman, C.A., 1987. Bending strength, fatigue strength, stiffness and allowable design stresses for engineered strand lumber, oriented strand lumber plus, and engineered strand panel, unpublished report. Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University, West Lafayette.
- Hansen, L.P., 1991. Experimental investigation of fatigue properties of laminated wood beams. Timber Engineering Conference, London, pp: 3742.
- McNatt, J.D., 1970. Design stress for hardboard – effect of rate, duration and repeated loading. Forest Products Journal, 20(1): 53-59.
- Thompson, R.J.H., Ansell, M.P., Bonfield, P.W., Dinwoodie J.M., 2002. Fatigue in wood-based panels. Part 1: The strength variability and fatigue performance of OSB Chipboard and MDF. Wood Science and Technology, 36: 255–269.
- Thompson, R.J., Bonfield, P.W., Dinwoodie, J.M., Ansell, M.P., 1996. Fatigue and creep in chipboard, Part 3, The effect of frequency. Wood Science and Technology, 30: 293–305.
- Tsai, K.T., Ansell M.P., 1990. The fatigue properties of wood in flexure. Journal of Material Science, 25: 865-878.
- TS 2474. 2005. Odunun statik eğilme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- Zhang, J. Baozhen, C. And Daniewicz, S.R. 2005. Fatigue performance of wood-based composites as upholstered furniture frame stock. Forest Products Journal, 55(6):985-992.