

## Ahşap Köprü ve İnşaat İskele Performansına Ahşap Kusurlarının Etkisi

Halil Murat Algın, Zeynep Algın, Arda Burak Ekmen

Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

e-posta: hmalgin@harran.edu.tr, zyilmaz@harran.edu.tr, ardaburakekmen@harran.edu.tr

Geliş Tarihi: 20.11.2016

Kabul Tarihi: 29.12.2016

### Özet

Kerestelerin sınıflandırma süreci içerisinde ahşabın dayanımını tahmin edebilmek için, ahşabın yapısal performansını kusurların nasıl etkilediği hususunun tam olarak bilinmesi gerekir. Ahşap köprü ve inşaat iskelelerde kullanılan ahşap malzemenin performansını etkileyen en önemli faktör, ahşabın değişkenliğidir. Ahşap kereste levhaların yetisizlik yüklerine karşı direncine, ahşap kusurlarının etkisi, 500 standart ahşap inşaat iskele levhası test edilerek araştırılmıştır. Güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla, görsel derecelendirme ve eğilme test prosedürleri yeterli sayıda standart kereste üzerinde uygulanmıştır. Mekanik özellikler ile levhaların karakteristikleri arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Ahşabın tasarım mühendisliğinde kullanımı temel alınarak, bulguların önemi açıklanmıştır. Bu makale, bu ilişkileri ortaya koyarak test sonuçlarını tartışmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Köprüler; İnşaat iskelesi; Ahşap kusurları; Budak alan oranı; Ahşap damar eğimi; Ahşap büyüme oranı

## Influence of Softwood Defects on the Performance of Timber Bridges and Scaffolding

### Abstract

Predicting the strength of timber in the grading process has brought about the need to fully understand how defects in timber influence its structural performance. In its use for wooden bridge and scaffolding the single most important factor detracting from its outstanding performance as a construction material is its variability. The influence of defects on the ability of timber boards to resist failure loads has been investigated on 500 standard scaffolding boards. Visual grading and flexural test procedures have been applied to the sufficient number of standard timbers to obtain reliable results. Relationships between mechanical properties and characteristics of the boards have been established. The significance of the findings is explained in the context of engineering design of timber. This paper presents these relationships and draws conclusions.

**Keywords:** Bridges; Scaffolding; Timber visual defects; Knot area ratio; Slope of grain; Rate of growth

### 1. Giriş

Ahşap, çeşitli avantajlarından dolayı inşaat mühendisliğinde sıkça kullanılan bir malzemedir. Bu avantajlar içerisinde, ahşabın yenilenebilir bir kaynak olması, buz çözücü ajanlara olan direnci, uygulama yerine göre yeterli boyutta yük taşıma kapasitesine sahip olması, hafif olması, her türlü havada imalatı ve inşasının kolay olması sayılabilir [1]. Köprü malzemesi olarak ahşabın kullanılması, yirminci yüzyılın başında azalmış olsa da, ahşap köprülere olan ilgi, gelişmeye devam eden birçok teknolojik ilerlemeyle tekrar bir artış göstermiştir. En dikkate değer teknolojik ilerlemeler, ahşap koruyucuların geliştirilmesi ve yapısal yapıştırıcılarla lamine ahşap (glulam) üretimi, ön gerilmeli laminasyon ve yapısal kompozit ahşap gelişmeleri sayılabilir. Çelik ve beton köprülerdeki gelişime

rağmen, yaygın ormanlık bölgelerde ve ahşabın bol miktarda bulunduğu ülkelerde, orta ve düşük hacimli yollarda kereste köprüler inşa edilmeye devam etmiştir [2]. Ahşap tarama teknolojisinde son zamanlardaki gelişmeler ve ahşap kusurlarının tespiti araştırmalarındaki ilerlemeler, ağaç levhaların daha hassas modellenmesi ve kereste kesim işinin optimizasyonu prosedürlerinde iyileşmelere sebep olmuştur [3,4]. Tarama teknolojisine dayalı ağaçların nümerik modellemesi, özellikle budakların geometrik şekli ve yerleri gibi iç kusurların doğru olarak temsil edilmesini sağlamıştır [5].

Ahşaplardaki budak geometrisi ve yeri, ahşabın sınıfını düşüren bir kriter olarak değerlendirilmektedir, zira bu kusur türü ahşabın eğilme dayanımını etkileyen bir parametre olarak

almaktadır. Ancak, ahşabın yapısal yetisizliği veya dayanım kriterleri ile budak parametreleri arasındaki ilişki konusunda oldukça sınırlı sayıda veri yayınlanmıştır [7-10]. Pek çok araştırma, ahşap köprülerin kabul edilebilir bir hizmet sunduğu ve iyi bir performans sergilediği konusunda aynı fikre sahiptir [11-16]. Ahşap köprülerin performansı normalde ahşap platformun doğal kusurları, köprü elemanlarının dayanım seviyeleri, platform yük deformasyonu ve uygulanan yük koşulları altında köprünün davranışı ile ilgilidir [11-14]. Buna ek olarak, yapının genel durumunu değerlendirmek için, kapsamlı görsel denetimler yapılmalıdır [11-14]. Bunların hepsi ahşabın özellikleri ile ahşap köprüler ve iskele levhalarının belirli uygulama yük koşullarında genel performansını nasıl etkilediği konusu ile ilgilidir. Ahşap köprüler yaygın olarak, ahşabın malzeme özelliklerini içeren uluslararası standartlar kullanarak inşa edilir [16-22]. Bununla birlikte, ahşabın doğal görünen kusurları (budak oranları gibi) ile kullanılan ahşabın performansı arasındaki korelasyon bu konuya dahil edilmemiştir, çünkü bu korelasyonun doğru bir şekilde kurulması için çok az araştırma bulunmaktadır [7-10]. Ahşabın özelliklerinin, köprünün yapısal performansını nasıl etkilediğini bilmek önemli bir husustur.

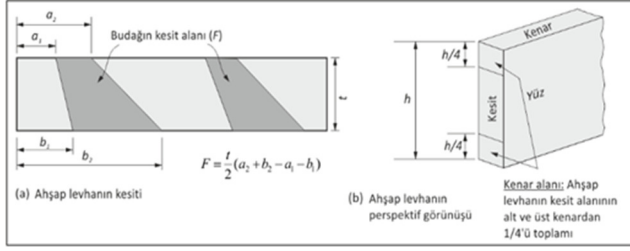
Sınıflandırma sürecinde ahşap levhaların dayanımını ve performansını öngörmek için, ahşap kusurlarının yapısal performansı hangi oranda ve nasıl etkilediğinin tam olarak anlaşılmasıyla mümkün olabilir. Bu yapılarda, tek bir ahşap elemanda dahi olabilecek yetisizlik, ciddi yaralanmalara veya ölümlere neden olabilecek kazalara sebebiyet verebilir. Dolayısıyla, bu korelasyonun kurulabilmesi amacıyla, 500 adet standart ahşap levha incelenmiş olup, levhalar üç alt boyuta kesilerek toplam 1500 eğilme testi yapılmıştır [23]. Bu araştırma, yazar [23] tarafından Newcastle Üniversitesi (İngiltere), İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında, Sağlık ve Güvenlik Müdürlüğünün destekleriyle özel bir proje olarak gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yük, düşey deformasyon, elastik modül, eğilme dayanımı, kırılma noktasının yeri gibi parametreler ile ahşap damar eğimi, ahşap büyüme oranı, çatlaklar, cepler gibi görsel belirlenen kusurlar arasında ilişkiler kurulmaya çalışılmıştır. Budak noktası ve budak kesit alanları bu araştırma kapsamında tespit

edilmiş ve yük-deformasyon sonuçlarıyla ilişkilendirilerek bu makalede sunulmuştur.

## 2. Ahşap İskele Levhalarının Budak Oranları ve Görsel İncelemeler

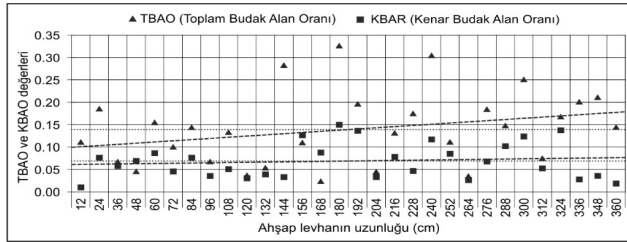
Ahşap levhalara uygulanan performans testleri, hizmet durumundaki davranışı benzetmeye çalışarak, uygulama koşullarında, normal kullanım ya da kötüye kullanımı temsil etmektedir. İnşaat iskelelerinde kullanılan ahşap levhaların performansının pek çok yönden araştırılması amacıyla, bir dizi test uygulanmış ve bu makalede özetlenmiştir. Bu amaca uygun 500 standart ahşap levha incelenmiştir ve bu inceleme BS 4978 İngiliz standardına uygun olarak görsel derecelendirme prosedürleri kullanılarak yapılmıştır [24]. Görsel sınıflandırma ve eğilme test prosedürleri, bilgisayar sınıflandırması yapılmış levha kerestelere uygulanmıştır. Bu çalışmada, daha önce kullanılmış 100 adet ahşap levha, 200 adet yeni ahşap levha ve görsel sınıflandırma işlemi ile sınıflandırılmış yeni 200 adet ahşap levha üzerinde yapılmıştır. Tüm bu levhaların boyutları 38 mm kalınlıkta, 225 mm genişlikte ve 3.9 m uzunluktadır. Göz önünde bulundurulacak birincil kusur ahşap levha üzerindeki budaklardır. Her ahşap levha üzerindeki budakların yer ve kesit alanlarını belirlemek için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemle levha boyutunda bir metal çerçeve şeffaf film ile kaplanmış ve levha üzerine yerleştirilerek levhanın her iki yüzeyinde bulunan budak yüzey alanı ve konumu, bu şeffaf filmin üzerine çizilerek aktarılmıştır. Ahşap levhanın ters yüzündeki budakların yüzey alanı, çerçeveyi ters çevirerek şeffaf film üzerinde işaretlenmiştir. Bu budakların konumu, çerçevenin kenarlarından budak mesafeleri ölçülerek elde edilmiştir. Bu uzaklıklar daha sonra, levhadaki her budanın kesit alanını bulmak için geliştirilen bir denkleme veri olarak dahil edilmiştir (bkz. Şekil 1a). Ahşap levhalardaki kenar budakları ise ayrı ayrı ölçülmüştür. Böylelikle, levhanın her 12 cm uzunluğu için Toplam Budak Alan Oranı (TBAO) ve Kenar Budak Alan Oranı (KBAO) değerleri belirlenmiştir (bkz. Şekil 1b). KBAO, herhangi bir enine kesitte Şekil 1(b)'de gösterildiği gibi üst ve alt çeyrek bölge içine düşen budak alanlarının toplamının, bu kenar çeyrek alanlarının toplamına oranı olarak tanımlanır [23]. TBAO, ise herhangi bir enine kesitteki tüm budak

alanları toplamının, toplam kesit alanının tamamına oranı olarak tanımlanır [23].



**Şekil 1.** (a) Bir Ahşap Levhanın Enine Kesiti ve Yüzey Budaklarının Kesit Alanlarının Belirlenmesi, (b) Kenar, Yüz ve Çeyrek Kenar Kısmı

Şekil 2'de bir ahşap levhanın uzunluğu boyunca TBAO ve KBAO değerlerinin dağılımına yönelik tipik bir örnek sunulmaktadır. TBAO ve KBAO değerleri her 12 cm'lik kesitler için belirlenmiş olup, 500 ahşap levha için bu değerler elde edilmiştir. Şekil 2'de doğrusal regresyon çizgileri ve ortalama çizgiler sunulmuş olup, bu kesikli çizgiler kabaca oranların eğilimini göstermektedir. Ahşap levhalarda rastgele değişen budakların konumu ve büyüklüğü ile eğilim çizgileri arasında bir korelasyon belirlemeye çalışmak mantıklı olmayacaktır.

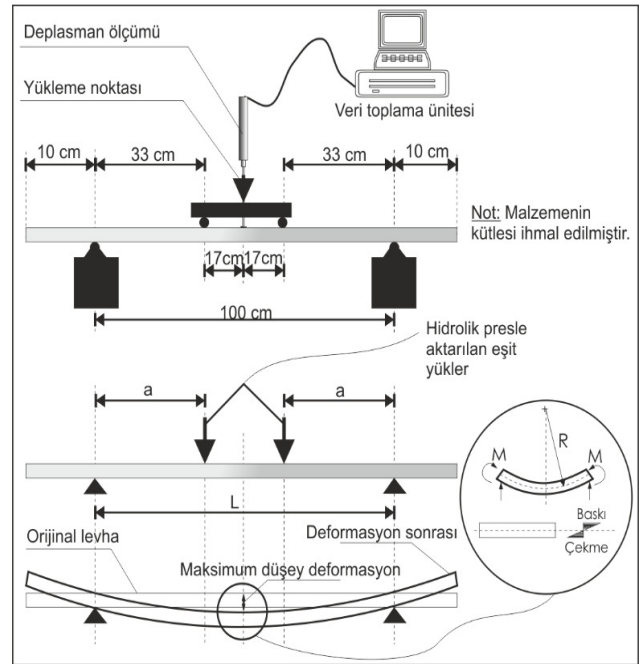


**Şekil 2.** Bir Ahşap Levha Uzunluğu Boyunca Tipik Olarak TBAO ve KBAO Değerlerinin Dağılımı

Lineer budak oranlarına ek olarak, her ahşap levhanın damar eğimi BS 4978'de tavsiye edildiği gibi, özel bir el aletiyle belirlenmiştir [24]. Tüm ahşap levhaların uzunluk, genişlik ve kalınlık değişimleri ölçülmüştür (bu çalışmada kullanılan levhaların çoğu benzer geometrik özelliklere sahiptir). Ayrıca, her bir levhanın büyüme oranı, uç kısımda merkez bölgede büyüme halkalarına dik olarak çizilen 75 mm uzunluk üzerinde her 25mm içerisine düşen büyüme halkası sayısının ortalaması alınarak belirlenmiştir. Ahşap levhaların nem içeriği bir nem-ölçer kullanılarak tespit edilmiştir. Bütün bu ölçümlerin ardından, test numuneleri, kritik duruma gelmelerini sağlamak için eğilme testinden önce sabit basınç altında 48 saat süreyle su içinde bekletilerek doymuş hale getirilmiştir.

### 3. Ahşap İskele Levhaların Eğilme Testleri

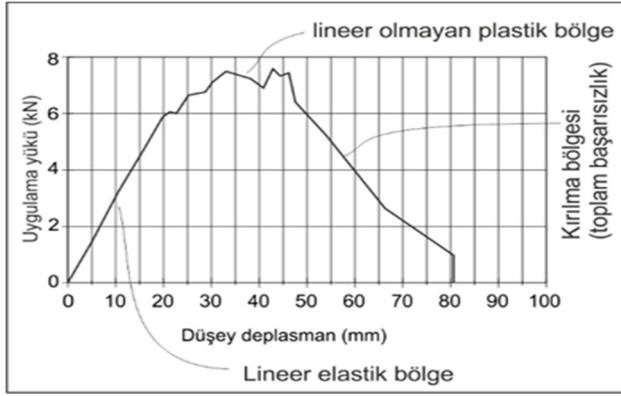
Görsel inceleme aşamasının tamamlanmasından sonra, her bir ahşap iskele levhası, 1.2 m uzunluğunda kesilerek, üç test numunesi haline getirilmiştir. Böylece 500 ahşap levhadan 1500 adet numune üretilmiştir. Bu numuneler daha sonra Şekil 3'te gösterildiği gibi dört nokta eğilme testine tabi tutulmuştur. Her bir test sonucunda uygulanan yük ile düşey deformasyon arasındaki ilişki belirlenmiştir. Eğilme testlerinde kırılma noktası tespit edilmiş olup, bu noktanın pozisyonu ile en yakın maksimum TBAO ve KBAO değerleri ilişkilendirilmiştir. Her eğilme testi yaklaşık 7 dakika sürmüştür. Şekil 4'te elde edilen yük-deformasyon grafiklerinden tipik bir örnek sunulmuştur. Elastisite modülü ve eğilme dayanımı, yük-deformasyon grafiklerindeki doğrusal elastik kısım kullanılarak belirlenmiştir.



**Şekil 3.** Ahşap Levhalara Uygulanan Dört Nokta Eğilme Testi

Şekil 4'te tipik bir eğilme test sonucundan da görüleceği üzere, yük-deformasyon eğrileri 3 bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölge doğrusal elastik davranışı yansıtmakta olup, bu bölgede yük kaldırıldığında test örneği orijinal yatay pozisyonuna geri dönmektedir. İkinci bölge lineer olmayan bir ilişkiyi göstermekte olup, bu bölgede ahşap levhanın artık elastik davranmadığı görülmektedir. Her yük-deformasyon eğrisinin ilk bölgeleri arasında bir benzerlik olmasına karşın, diğer bölgelerdeki

davranışlar benzerlik göstermemektedir, zira bu bölgelerdeki yük-deformasyon grafiğinin şekli, TBAO ve KBAO değerlerinin konumu ve büyüklüğü, büyüme oranı ve ahşap damar eğimi gibi değişkenlerden etkilenmektedir [23]. Ahşap levhalar, ikinci bölgede doğrusal elastik faz sırasında yaptıklarından daha fazla yük taşırlar ve maksimum uygulanan yükler genellikle ikinci fazda meydana gelir. Tahtanın nihai dayanımı, akma gerilmesinden önemli derecede yüksektir ve büyük ölçüde kalıcı deformasyona karşılık gelmektedir. Üçüncü bölge ise test numunelerinin toplam yetisizlik bölgesidir.

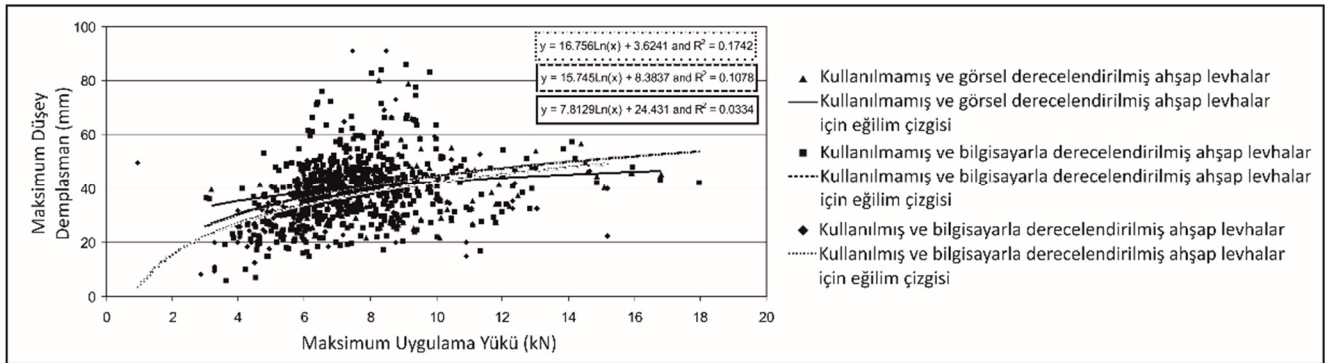


Şekil 4: Tipik Bir Yük-Deformasyon Grafiği

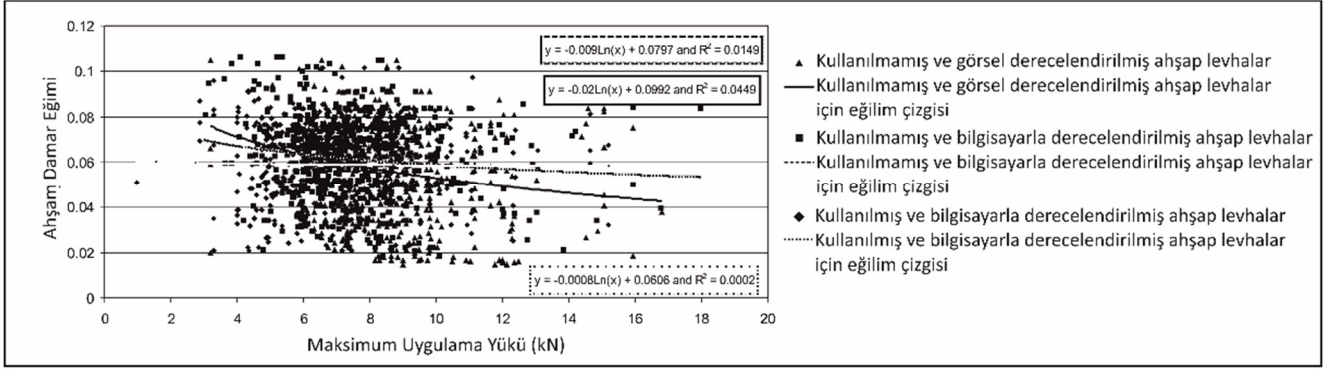
#### 4. Eğilme Test Sonuçları İle Ahşabın Görsel Parametreleri Arasındaki İlişkiler

Yapılan testlerde görülmüştür ki, yetisizlik noktası genellikle, eğilme momentinin maksimum değere

sahip olduğu 1.2 m uzunluklu ahşap levhanın kenarından 40-80 cm mesafede meydana gelmektedir (bkz. Şekil 3). Yetisizlik noktasının yerindeki değişim ile en yakın maksimum TBAO ve KBAO değerleri arasında bir korelasyon yapılmıştır. Kırılma noktası ile en yakın maksimum TBAO ve KBAO değerleri arasındaki mesafe kritik TBAO ve KBAO mesafesi olarak adlandırılmıştır. TBAO ve KBAO değerlerinin eğilme yetisizliği üzerindeki etkisi, kritik TBAO ve KBAO mesafeleri ile ilişkilendirilerek araştırılmıştır [23]. Şekil 5, maksimum uygulanan yük değerleri ile buna karşılık gelen maksimum düşey deformasyon arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 5'te sunulan veriler, kusurların özelliklerinden etkilenerek bir dağılım deseni sergilese de, logaritmik regresyon çizgileri maksimum uygulanan yük ile maksimum düşey deplasman arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu iki değişken arasında neredeyse doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. Şekil 6, ahşap damar eğimi değerleri ile maksimum yük taşıma kapasitesi arasındaki ilişkiyi sunmaktadır. Bu iki değişken arasındaki negatif korelasyon, ahşap damar eğimindeki artışla, yük taşıma kapasitesinin azaldığını göstermektedir. Bu veriler, Şekil 5'te sunulan maksimum yer değiştirme verilerine kıyasla daha dağınıktır.



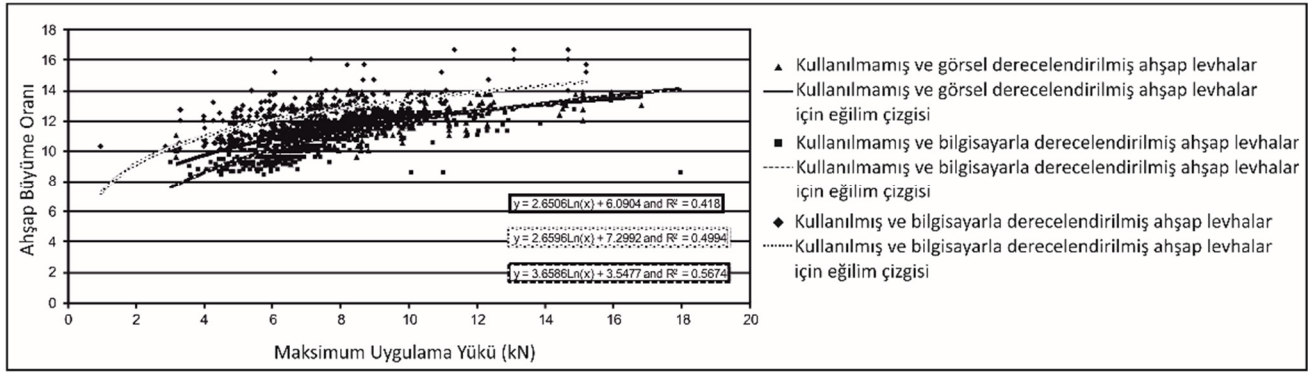
Şekil 5: Maksimum Uygulanan Yük Değerleri ile Maksimum Deplasman Arasındaki İlişki



Şekil 6: Ahşabın Damar Eğim Değerleri ile Maksimum Yük Taşıma Kapasitesi Arasındaki İlişki

Şekil 7, ahşap iskele tahtalarının büyüme oranlarıyla maksimum yük değerleri arasındaki ilişkiyi vermektedir. Büyüme oranı ile uygulanan maksimum yük arasında pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Büyüme oranının azami yük taşıma kapasitesine etkisi ahşap damar eğimi değerlerine göre daha belirgindir. Daha yüksek

büyüme oranları, daha yüksek Elastisite Modülü (E) ve eğilme gerilmesi sonucunu doğurmaktadır (bkz. Şekil 12). Bu nedenle, büyüme oranının, elastik modül ve eğilme gerilmesi değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılacak başlıca kriterlerden biri olduğu düşünülmektedir.

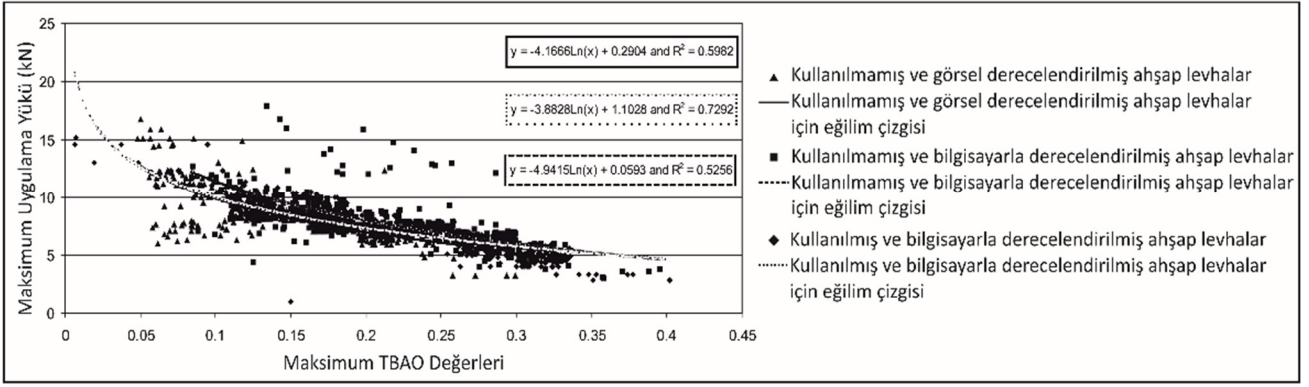


Şekil 7: Ahşabın Büyüme Oranı ile Maksimum Taşıma Kapasitesi Arasındaki İlişki

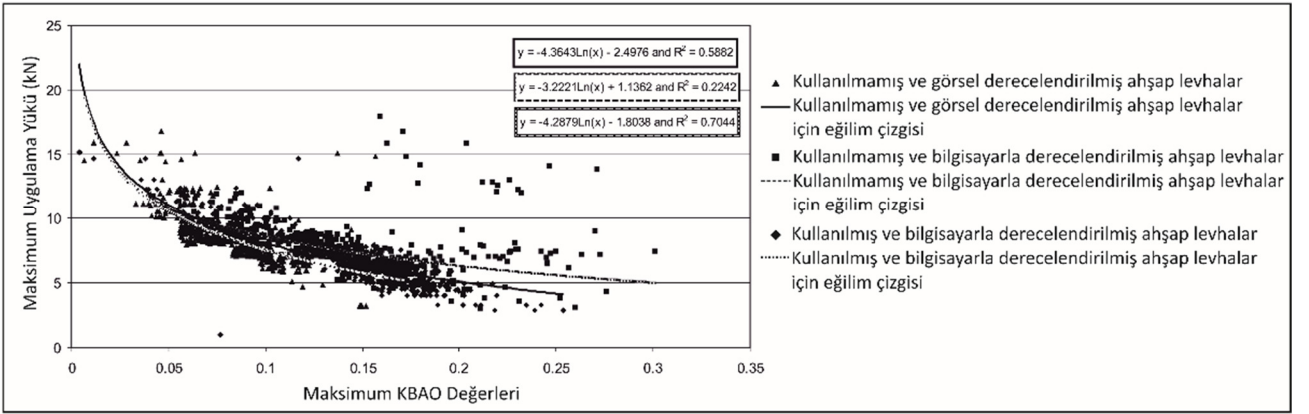
Şekil 8 ve 9 kırılma noktalarına en yakın TBAO ve KBAO değerleri ile yük taşıma kapasiteleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu grafikler, ahşap levhaların maksimum yük taşıma kapasitesinin budakların büyüklük ve pozisyonlarından etkilendiğini göstermektedir. Kritik eğilme moment bölgesindeki, TBAO ve KBAO değerleri ve pozisyonlarının yük taşıma kapasitesini etkileyen önemli faktörler olduğu

görülmektedir. Eğilme testlerinden elde edilen kritik TBAO ve KBAO değerleri (ahşap levhaların yetisizlik noktalarına en yakın TBAO ve KBAO değerleri) ile yük taşıma kapasitesi arasında negatif bir korelasyon görülmektedir. Bu, kritik TBAO ve KBAO değerlerinde düşüşe bağlı olarak maksimum yük taşıma kapasitesinin arttığı anlamına gelmektedir. Grafikler gösteriyor ki, kritik TBAO ve KBAO değerlerini kullanarak maksimum uygulanan yüklerinin tahmin edilebilmesi mümkündür.





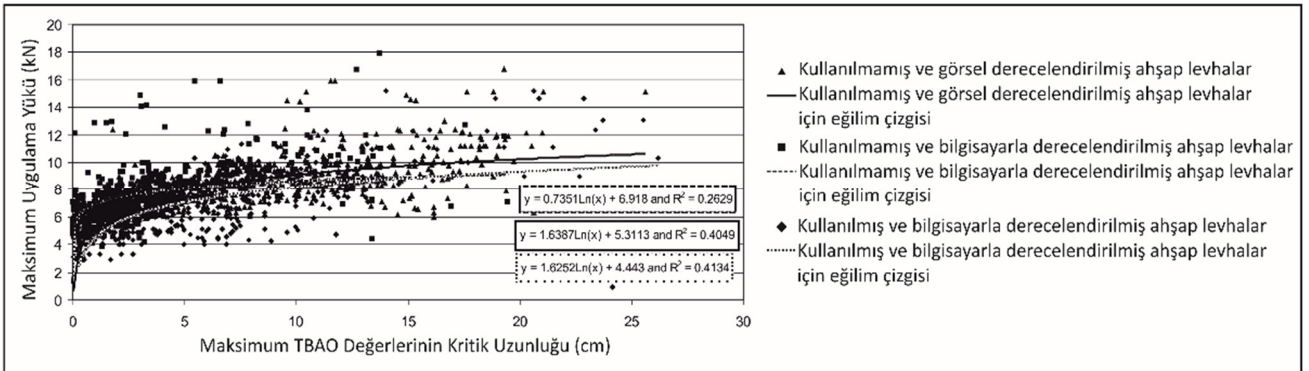
Şekil 8: Yetisizlik Noktasına En Yakın Maksimum TBAO Değerleri ile Dört Nokta Eğilme Testinde Ölçülen Maksimum Uygulama Yüğü Arasındaki İlişki



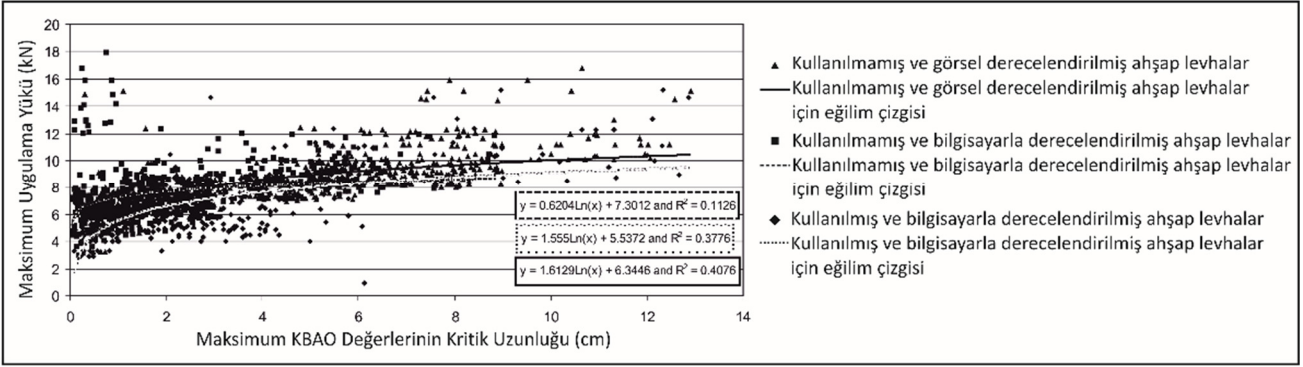
Şekil 9: Yetisizlik Noktasına En Yakın Maksimum KBAO Değerleri ile Dört Nokta Eğilme Testinde Ölçülen Maksimum Uygulama Yüğü Arasındaki İlişki

Maksimum uygulanan yük değerleri ile maksimum TBAO ve KBAO değerlerinin kritik mesafesi arasındaki ilişkiler sırasıyla Şekil 10 ve 11'de gösterilmiştir. Test numuneleri tarafından taşınan maksimum yükler ile maksimum TBAO ve KBAO değerlerinin kritik mesafeleri arasında pozitif bir korelasyon olduğu görülebilir. Verilerin oldukça düzenli dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Korelasyon, maksimum TBAO ve KBAO değerlerinin kritik uzaklıklarındaki azalma ile maksimum

uygulanan yükün azaldığını göstermektedir. Bunun anlamı, sadece TBAO ve KBAO değerlerinin büyüklüğünün yük dağılımı üzerinde etkisi olmayıp, aynı zamanda bu değerlerin konumlarının da maksimum yük taşıma kapasitesi üzerinde büyük etki gösterdiğiidir. Kritik TBAO ve KBAO değerlerinin maksimum eğilme moment alanına olan yakınlığı (bkz. Şekil 9) ahşap levhaların maksimum yük taşıma kapasitelerini doğrudan etkilemektedir.



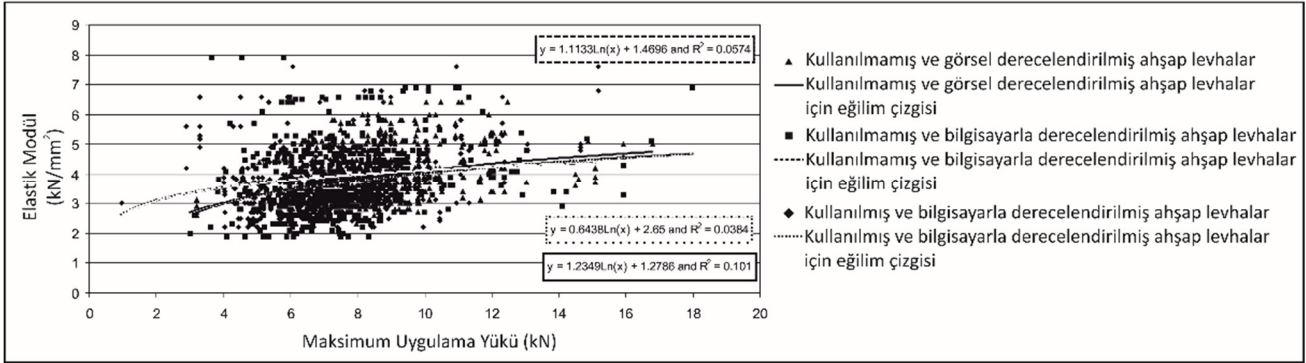
Şekil 10: Maksimum TBAO Değerlerinin Kritik Mesafesi ile Eğilme Testlerinde Ölçülen Maksimum Uygulama Yüğü Arasındaki İlişki



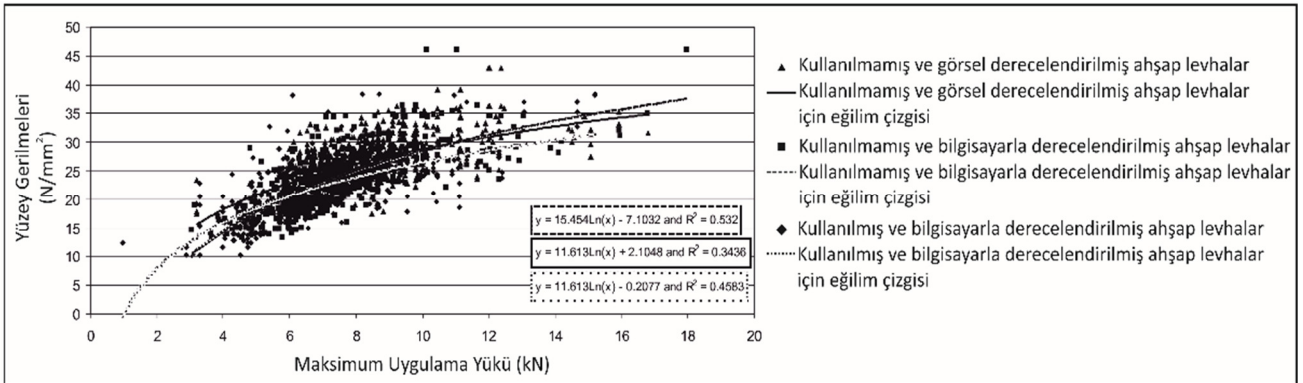
**Şekil 11:** Maksimum KBAO Değerlerinin Kritik Mesafesi ile Eğilme Testlerinde Ölçülen Maksimum Uygulama Yüğü Arasındaki İlişki

Şekil 12, elastisite modülü ile test numunelerine uygulanan maksimum yük değerleri arasındaki ilişkiyi sunmaktadır. Şekil 12'deki pozitif korelasyon, ahşap levhaların maksimum yük taşıma kapasitesinin, elastik modüldeki artışa bağlı olarak arttığını göstermekte olup, yaklaşık % 13'lük elastik modüldeki artış, maksimum yük değerinde % 6 oranında bir artışa sebep olmaktadır. Şekil 13

maksimum yüzey gerilmeleri ile maksimum uygulama yükleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 13'te gösterilen veriler, Şekil 12'de gösterilen ilişki ile karşılaştırıldığında, daha düzenli bir dağılımın olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, yüzey gerilmelerinin, maksimum elastik modüle göre, ahşabın maksimum yük taşıma kapasitesi üzerine daha baskın bir etki gösterdiği anlaşılmaktadır.



**Şekil 12:** Elastik Modül ile Eğilme Testinden Elde Edilen Maksimum Uygulama Yüğü Arasındaki İlişki



**Şekil 13:** Maksimum Uygulanan Yüğü İle Doğrusal Elastik Teori Kullanılarak Hesaplanan Yüzey Gerilmeleri Arasındaki İlişki

## 5. Sonuçlar

Eğilme momentinin maksimum değere sahip olduğu alanın içerisinde veya yakınındaki TBAO ve KBAO değerlerindeki artışın, ahşap levhaların eğilme

yetisizliği göstermelerinin önemli bir sebebi olduğu sonucuna varılmıştır. 0.4 TBAO ve 0.25 KBAO değerleri kritik oranlar olarak belirlenmiş olup, bu değerlerin tespit edildiği yere yakın bölgede eğilme

yetisizliği beklenebilir. TBAO ve KBAO değerleri ile ilgili görsel derecelendirme sürecinden elde edilen veriler ile eğilme testlerinde elde edilen yetisizlik noktaları arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmüştür. TBAO ve KBAO değerlerindeki artış ahşap levhaların elastik modülünü azaltmaktadır ve ahşap levhaların daha erken yetisizliğe uğramalarına, bu sebeple yüzey gerilmelerinin azalmasına neden olmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Fong, L.O., and Weller., "An Overview of Timber Bridges," paper for presentation at the 65th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January, 1986.
- [2] Fletcher, R. and Snow, J.P., "A History of the Development of Wooden Bridges," Paper #186, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 60, No. 8, Part 2, October 1934.
- [3] Grundberg, S., "An X-ray LogScanner - a tool for control of the sawmill process", Division of Wood Technology, Luleå University of Technology, Doctoral thesis, Skellefteå, 29 p, 1999.
- [4] Usenius, A., Optimizing the activities in the wood conversion chain from forest to the end-users, in: Proceedings of Second workshop in "Connection between Silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation softwares". Kruger National Park, Nepveu (Ed.), INRA Nancy, pp. 214–219, 1996.
- [5] Pinto, I., Pereira, H. and Usenius, A., "Analysis of log shape and internal knots in twenty Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stems based on visual scanning and computer aided reconstruction", Ann. For. Sci. 60 (2003) 137–144, INRA, EDP Sciences, 2003. DOI: 10.1051/forest:2003006.
- [6] Kabir, M.F., Schmoltdt, D.L., Schafer, M.E., "Ultrasonic detection of knots, cross grain and bark pockets in wooden pallet parts", World Conference on Timber Engineering, Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000.
- [7] Balturusaitis, A., "Investigating of influence of knots on short- and long-term strengt of glulam beams", World Conference on Timber Engineering, Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000.
- [8] Nardin, A., Boström, L., Zaupa, F., " The effect of knots on the fracture of wood", World Conference on Timber Engineering, Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000
- [9] Boatright, S.W.J. & Garrett, G.G., "The effects of knots on the fracture strength of wood - I . A review of methods of assessment", *Holzforschung* 33-3, pp. 58-72, 1979.
- [10] Boatright, S.W.J. & Garrett, G.G., "The effects of knots on the fracture strength of wood - II. A comparative study of methods of assessment and comments on the application of fracture mechanics to structural timber", *Holzforschung* 33-3, pp. 58-72, 1979.
- [11] Wacker, J.P. and Michael, A. R., "Field Performance of Timber Bridges", 1. Teal River Stress-Laminated Deck Bridge, Publication Number FPL-RP-515, U.S. Department of Agriculture-Forest Service, Washington, D.C., 1992.
- [12] Michael, A.R., Wacker, J.P. and Sheila, R.D., "Field Performance of Stress-Laminated Timber Bridges on Low-Volume Roads", presented at the Sixth International Conference on Low-Volume Roads, Transportation Research Board, Minneapolis, Minn., June 1995.
- [13] Michael, A.R., "Timber Bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance", EM 7700-8, USDA-Forest Service, Washington, D.C., 1990.
- [14] The National Timber Bridge Initiative, Fiscal Year, Status Report, USDA-Forest Service, Washington, D.C., 1996.
- [15] Sheila, R.D. and Michael, A.R., "Status of Research on Timber Bridges and Related Topics", Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1995.
- [16] ASTM., "Standard method for establishing stresses for structural gluedlaminated timber (glulam), ASTM D3737-93", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA., 1993.
- [17] AITC., "Standard specifications for structural glued laminated timber of softwood species", Vancouver, WA., 1993.
- [18] AITC 117-88., "Manufacturing. American Institute of Timber Construction", Vancouver, WA.
- [19] ANSI/AITC., Structural glued laminated timber. ANSI/AITC A190.1. American National Standards Institute/American Institute of Timber Construction, Englewood, CO., 1992.
- [20] EN 408 - Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties.
- [21] AS1720.1, SSA "Timber structures code part 1: design methods". Standards Australia.
- [22] AS1720.2, SSA "Timber structures code part 2: timber properties" Standards Australia.
- [23] Algin, H.M., Internal Report "Visual grading and flexural test of 500 machine and manually graded scaffold boards" University of Newcastle, Department of Civil Engineering, UK, 2001.
- [24] British Standards Institution, Specification for Visual strength grading of softwood, BS4978:1996, BSI, London., 1996.