

Ağaç işleri endüstrisindeki çatı makası elemanlarında farklı bağlantı elemanlarının araştırılması

Ramazan Bülbül^{a,*}, Hasan Özgür İmirzi^a, Nihat Döngel^a, Musa Kaya^b, Nurettin Gökbulut^c, İbrahim Pazarkaya^d, Emin Berk Kaya^a, Mert Arslan^a

Öz: Bu çalışmada, geleneksel ahşap çatı sistemlerinde kullanılan mertek ve taban elemanlarının bağlantı noktalarındaki farklı birleştirme açıları (mertekte 90°, tabanda 90° ve açıortay) ile bu bağlantı noktalarının tespit edilmesinde kullanılan farklı bağlantı gereçlerine (Çivi, vida ve bulon) bağlı olarak; çatı makaslarının basınç emniyet gerilmeleri hesaplanmıştır. Çalışmada hava kurusu rutubet değeri %14, yoğunluk değeri 0.539 g/cm³, eğilme direnci 95.37 N/mm², eğilmede elastikiyet modülü değeri 10793.53 N/mm² ve dinamik eğilme direnci değeri 16.142 kJ/m² olan Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) ahşap malzeme ile üretilen çatı makası elemanlarının, bağlantı noktalarındaki en yüksek basınç emniyet gerilmesi; bulon bağlantı elemanı ve mertekte 90° açılı ikili etkileşimi değeri 353.20 N/mm² olarak tespit edilmiştir. En düşük basınç emniyet gerilmesi ise; çivi bağlantı gereci ve mertekte 90°'lik açıya bağlı olarak 38.93 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada mertek ya da tabanda uygulanan 90°'lik birleştirme açıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; hem geniş açıklıklara hem de fazla yük taşıma potansiyeline sahip çatı sistemlerinde; mertek ya da tabanda 90°'lik birleştirme açılarının anlamlı bir farkın olmadığı, bağlantı elemanı ile birleştirme açısının ikili etkileşiminden bağlantı elemanı olarak bulon bağlantı kullanılması önerilir. Bu çalışmanın diğer bir yönü ise; çatı makasında meydana gelen basınç emniyet gerilmesinin tespitine yönelik uygulanan deneysel işlemlerin sonlu elemanlar metodu (FEM) ile de uygulanmış olmasıdır. Bu metoda göre vida bağlantılı mertek ve taban birleştirmelerinde kayma gerilmelerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Toros sedir, Çatı makası, Bağlantı elemanı, Modelleme, Sonlu elemanlar analizi

Investigation of different fasteners in roof truss elements in the woodworking industry

Abstract: In this study, compressive safety stresses of roof trusses were calculated depending on the different joining angles (90° at the rafter, 90° at the base and bisector) at the connection points of rafter and base elements used in traditional wooden roof systems and different fastening materials (nails, screws and bolts) used to fix these connection points. In the study, the highest compressive safety stress at the connection points of the roof truss elements produced with cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) wood material with air dry humidity value of 14%, density value of 0.539 g/cm³, bending resistance 95.37 N/mm², modulus of elasticity value in bending 10793.53 N/mm² and dynamic bending resistance value 16.142 kJ/m² was determined as 353.20 N/mm². The lowest compressive safety stress was determined as 38.93 N/mm² depending on the 90° angle at the nail fastener and rafter. In addition, it was determined that there was no statistically significant difference between the 90° joint angles applied in the rafter or base. According to the results obtained; in roof systems with both large spans and high load carrying potential; 90° joint angles at the rafter or base do not have a significant difference, and it is recommended to use a bolt connection as a fastener due to the dual interaction of the fastener and the joint angle. Another aspect of this study is that the experimental procedures applied to determine the compressive safety stress in the roof truss were also applied with the finite element method (FEM). According to this method, it was found that shear stresses were higher in screw connected rafter and base joints.

Keywords: Taurus cedar, Roof joint, Fastener, Modelling, Finite element analysis

1. Giriş

İnsanoğlunun yeryüzünde kullandığı en eski yapı malzemelerinden biri olan ahşap malzeme; geçmişten günümüze kadar mobilya imalatında, dekorasyon uygulamalarında, köprü ve diğer yapısal uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Kullanım alanının bu kadar

geniş olmasının nedeni; en başta fiziksel ve mekanik özelliklerinin elverişliliği ile birlikte doğada fazla bulunmasına bağlı olarak gerçekleştiği söylenilebilir.

Ahşabın yapılarıdaki önceki kullanım şekli deneyimlere bağlı iken günümüzde mühendislik bilimlerindeki gelişmelerle birlikte gelişen yapı tekniklerine bağlı olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla küresel anlamda ağaç

^a Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

^b Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Yakutiye/Erzurum, Türkiye

^c Bursa Uludağ Üniversitesi, İnegöl Meslek Yüksekokulu, İnegöl/Bursa, Türkiye

^d Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar, Türkiye

* **Corresponding author** (İletişim yazarı): ramazanbulbul@gazi.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 27.07.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 24.01.2025



Citation (Atf): Bülbül, R., İmirzi, H.Ö., Döngel, N., Kaya, M., Gökbulut, N., Pazarkaya, İ., Kaya, E.B., Arslan, M., 2025. Ağaç işleri endüstrisindeki çatı makası elemanlarında farklı bağlantı elemanlarının araştırılması. Turkish Journal of Forestry, 26(1): 45-54.
DOI: [10.18182/tjf.1522038](https://doi.org/10.18182/tjf.1522038)

malzemenin yapısal uygulamalarda taşıyıcı iskelet elemanı olarak kullanılmasındaki en büyük gelişme; 20. yüzyılın başlarında geliştirilen birleştirme teknikleri ve ağaç malzeme koruma yöntem ve teknikleri ile mümkün olmuştur. Böylece deneyimlerle gerçekleştirilen ağaç malzeme kullanım yöntemlerindeki malzeme kesit ve birleşim çeşitleri deneysel sonuçlarla tespit edilmiştir (Kutlu ve Ergün, 2020; Can ve Tokgöz, 2008).

Çatı, atmosferik etkenlere (rüzgâr, yağmur, kar, güneş) karşı yapıyı koruma amacıyla oluşturulan ve yapıda en üst bölümde yer alan örtü ve konstrüksiyondan ibaret olan yapısal elemanlardan biridir (Toydemir ve Bulut, 2004; Odabaşı, 1981). Çatılarda günümüzde yapıların mimari formları ve taşıyıcı sistemlerin yapım tekniklerine bağlı olarak beşik, kırma, sivri, tonoz, mansard ve külah gibi farklı biçimlerde uygulamalar gerçekleştirilebilir (Binan, 2010). Kurgulanan bu çatı türleri her ne kadar biçimsel olarak birbirlerinden farklı olsalar da ortak noktaları yapıyı ve yapı içerisinde yaşayanları gerek atmosferik ve gerekse gürültü gibi çevresel etkilere karşı korumayı sağlamaktır (Kutlu ve Ergün, 2020).

Çatı konumu gereği yapı bütününde atmosferik etkilerden en fazla etkilenen yapı bileşenidir. Kar, yağmur, su, rüzgâr gibi etkenlere maruz kalan çatı bileşeninin hizmet süresi olumsuz etkilenmektedir (Toydemir vd., 2001). Dolayısıyla çatı hem kendi yükünü hem de kendisine etki eden kar, yağmur ve rüzgâr gibi dinamik etkilere karşı dirençli olacak şekilde tasarlanmış olup; aynı zamanda söz konusu bu yükleri yapıdaki taşıyıcı sisteme iletme kabiliyetine sahip olmalıdır (Toydemir ve Bulut, 2004).

Yapının bütünüleyicisi olan çatılar; ahşap, maden (Hasol, 1995) ve betonarme (Aker, 1998) olmak üzere üç farklı malzemeden yapılmaktadır. Betonarme çatılar 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren, çelikten üretilen çatılar ise 14. yüzyıldan itibaren kullanılmaya başlanılmasına karşın (Turgay, 2003), ahşap malzeme M.Ö. 13/12 yüzyıldan günümüze kadar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Morton, 1984). Aynı zamanda çatılarda geleneksel bir yapım malzemesi olan ahşap 20. yüzyılın ilk çeyreğine kadar çatı örtülerinde de yaygın bir biçimde kullanılmıştır (Kern vd., 2008).

Sahip olduğu özellik ile ahşap malzeme yapısal uygulamalarda, taştan sonra doğadaki haline en yakın kullanılan malzemedir (Eriç, 1972). Ahşabın bu özelliği, ahşap ve diğer yapısal uygulamalarda yapı bileşeni olmasını sağlayan önemli bir etken olduğu söylenilebilir.

Ahşap malzemenin tarihi süreç içerisindeki kullanımı basit barınaklar ile başlanmışsa da insanlığın yerleşik bir hayata geçişi ile beraber konut, köprü, dini yapılarda etkin bir şekilde kullanılmıştır (Erdoğan, 2003). Aynı zamanda ahşabın bu tür yapılarındaki kullanım oranı, o bölgenin iklim, bitki örtüsü ve sahip olduğu ağaç türüne bağlı olarak şekillenmektedir (Gür ve Batur, 2000). Ahşap malzemenin çatılarda kullanılması her ne kadar bölgesel olanaklar dâhilinde olsa da esas önemli olan faktörün ahşap malzemenin, çatıya etki edebilecek kuvvetlere karşı yeterli dirence sahip olmasıdır.

Çatı iskeletinde kullanılacak olan ahşap malzemenin mekanik özellikleri yapısal açıdan dayanımını göstermektedir. Fiziksel özellikleri ise ahşap malzemenin yapının bir parçası olmasından ötürü yapı kabuğunun yönetim değerlerinin sağlanması açısından oldukça önemlidir (Kolbay, 2010). Dolayısıyla çatılarda kullanılacak olan ahşap malzemenin; yoğunluk değeri, çivi ve vida tutma kabiliyeti,

eğilme ve basınç direncinin yüksek olması, üretim maliyetlerinin düşük olması, kolaylıkla temin edilebilir olması gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir (Avlar, 1995).

Ahşap çatıların konstrüksiyonlarında kullanılması için önerilen ahşap malzeme türleri, çoğunluğu dayanıklı ahşap cinslerinden (Günay, 2002) olmak üzere genellikle sedir, meşe, kayın, dişbudak, çınar ve kavak odunlarıdır (Avlar, 1995). Doğu Akdeniz'in en önemli yapım malzemelerinden birisi olan Toros Sediri Akseki Sarıhacılar Köyü Camisi'nin muhtelif kısımlarında kullanılmıştır (Yaman vd., 2019). Japon Sedir kerestesi ile birleştirilmiş çatı makaslarının yapısal performansı için çivili çelik köşebent kullanımı gerçekleştirilmiştir (Yeh ve Lin, 2011). Ahşap çatıların taşıyıcı sistemlerinde kullanılacak olan bu tür odunların lif yönlerinin düzgün olması, çatlaksız, reaksiyon odunu olmaması, mantar ve haşere tahribatına maruz kalmaması gibi etkenler göz önüne alınarak seçilmeli, ayrıca rutubet oranları ise %18 – 20 oranında olması; çatının hizmet ömrünün daha fazla olması açısından oldukça önemlidir.

Ahşap çatılarda kullanılan bağlantı ürünleri metal esaslı olmakla birlikte ahşap bağlantı ürünleri de kullanılmaktadır. Bunlar yivli ve çentikli çiviler, farklı çap ve uzunluklara sahip vidalar, bulonlar, dikme ve kirişlerin bağlantı yüzeylerini artırmak için kullanılan metal plakalar ve disk dübel kamalardır (Kolbay, 2010). Herhangi bir bağlantı elemanı kullanılmadan ikinci sınıf çamda açılı altındaki basınç emniyet gerilmeleri belirtilmiş ve 240°'lik bir açıda basınç emniyet gerilmesi 59 kg/cm² olarak bulunmuştur (Ayata, 1974).

Yapılan bu çalışmada, ahşap çatı konstrüksiyonunda mevcut olan yanlama ve taban gergilerin birleştirmelerinde uygulanan açıl birleştirmelerin ve bu birleştirmeleri sabitlemek için uygulanan vida, çivi ve bulonların; çatıya yerçekimi kuvvetine paralel bir şekilde etki eden (Yanal kuvvet) basınç kuvvetine karşı basınç emniyet gerilme değerlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda; bu çalışmanın konusunu teşkil eden 1:1 ölçeğindeki çatı sistemlerinin deneysel işlemlere tabi tutulmalarının maliyet ve uygulama şartlarının yetersizliğinden dolayı; yapılan literatür taramaları (Kütükçü, 2019; Güneş, 2022; Öztürk ve Altınok, 2024) sonucunda ve mevcut test cihazlarının kapasiteleri göz önünde bulundurularak; 1:5 ölçeğindeki deney numuneleri ile oluşturulan çatı bağlantı sistemleri deneysel işlemlere tabi tutulmuştur.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada ahşap çatılarda kullanılan ağaçlardan Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) odunu tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan sedir odunu; düzgün lifli, budaksız, çatlaksız, reaksiyon odunu, çürüme, böcek ve mantar tahribatının olmaması gibi kriterler göz önüne alınarak birinci sınıf özelliklere sahip olacak şekilde, Ankara Siteler bölgesinden rastgele seçim yöntemiyle elde edilmiştir.

2.2. Yöntem

Açılı altında basınç emniyet gerilmeleri üç hal altında gerçekleştirildiğini (Şekill1a,1b,1c) ve S kuvvetinin etkisinin tabanda oluşturulan α açısına bağlı olarak t ve Lv değerlerinin değişeceği matematiksel formüller ile gösterilmiştir.

Her üç halde de karşılanabilecek S kuvvetinin AB düzeyi tarafından karşılandığı (Ayata, 1974) belirtilmiştir. AB mesafesinin ve buna bağlı olarak değişen diğer değerler sırası ile kuvvetin α açısına bağlı olarak basınç emniyet gerilmesi (Denklem 1), t değeri (Denklem 2), S max değeri (Denklem 3) ve Lv değeri (Denklem 4) bulunmuştur.

$$\sigma_{bem} = \frac{S}{b} \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$t = \frac{S \cdot \cos \alpha}{b \cdot \sigma_{bem}} \quad (2) \text{ 1. ve 2. hal için}$$

$$t = \frac{\left(\frac{S \cdot \cos 2\alpha}{2} \right)}{(b \cdot \sigma_{bem})} \quad (2) \text{ 3. hal için}$$

$$S = \frac{t \cdot b \cdot \sigma_{bem}}{\cos \alpha} \quad (3) \text{ 1. ve 2. hal için}$$

$$S = \frac{t \cdot b \cdot \sigma_{bem}}{\frac{\cos 2\alpha}{2}} \quad (3) \text{ 3. hal için}$$

$$Lv = \frac{(S \cdot \cos \alpha)}{(b \cdot \zeta_{em})} \quad (4)$$

Burada σ_{bem} : Basınç emniyet gerilmesi, S: Kuvvet, t: Çentik derinliği, Lv: Ön ahşap boyu, b: Genişlik, h: Yükseklik, //: Elyaf yönüne paralel, \perp : Elyaf yönüne dik,

Şekil 2'de görselleri verilen yanlamanın gergi ile 24° ($\%45$) açı yapacak şekilde birleştirilerek; alt gergide 90° , yanlamada 90° ve açılırtay halleri oluşturulmuştur. Her üç hal ise; çivi, vida ve bulon ile sabitlenmiştir.

20 mm \times 30 mm kesitine sahip ahşap örneklerin Şekil.2.a'da deney örneklerinin izometrik perspektifini,

Şekil.2.b'de ise bağlantı elamanlarından çivi ve vidaların sabitlenme mesafeleri gösterilmiştir.

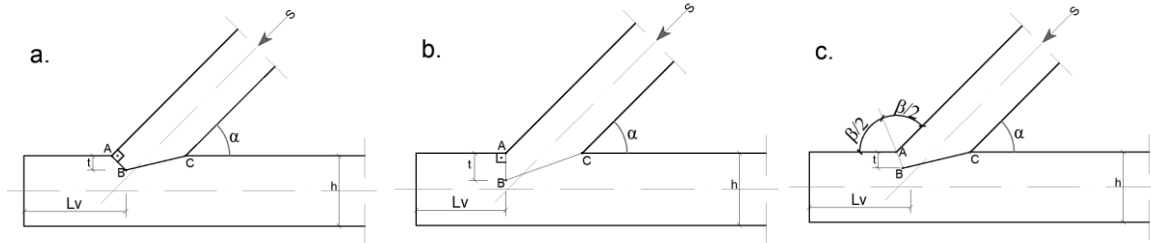
Sedir odunlarından $20 \times 20 \times 30$ mm ölçülerinde toplam 20 adet örnek hazırlanmıştır, 20 örneğin 10 tanesi ile yoğunluğun belirlenmesi diğer 10 örnek ile de rutubet değerleri belirlenmiştir. Deney örneklerinin yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla (Denklem 5) TS ISO 13061-2 (2021)'de belirtilen esaslara, Rutubet (r) kontrolünde ise (Denklem 6) TS ISO 13061-1(2021)'de belirtilen esaslara uyulmuştur.

$$\delta 8 = \frac{m 8}{v 8} \quad (5)$$

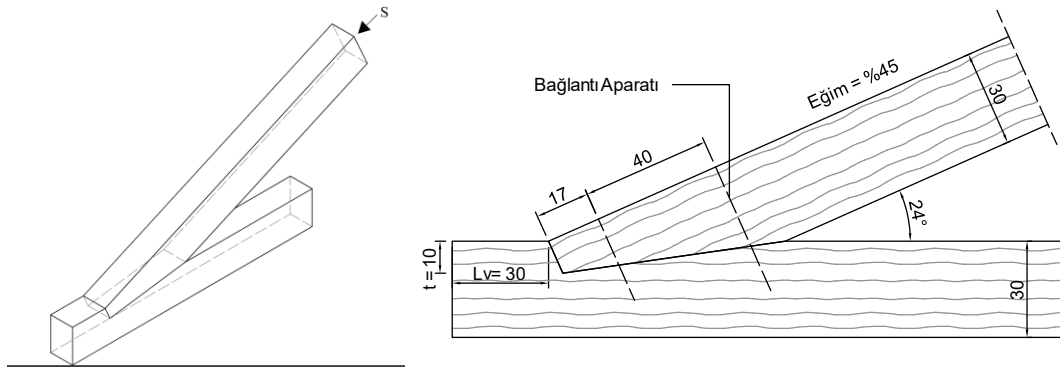
$$r = \left(\frac{(mr - mo)}{mo} \right) \times 100 \quad (6)$$

Burada $\delta 8$:Yoğunluk, m = Örnek ağırlığı, v = Örnek hacmi, mr: Rutubetli ahşabın ağırlığı, mo: Tam kuru ağırlık, r: Rutubet yüzdesi.

Sedir odunundan; eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değeri için $20 \times 20 \times 340$ mm ölçülerinde 10 adet, dinamik eğilme direnci için ise $20 \times 20 \times 300$ mm ölçülerinde 10 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesi için Instron-5969 universal test cihazı; dinamik eğilme değerlerinin belirlenmesi için ise Impact test cihazı kullanılmıştır. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesi amacıyla (Denklem 7) TS ISO 13061-3 (2021)'de belirtilen esaslara, dinamik eğilme (şok) direnci deneyleri ise (Denklem 8) TS ISO 13061-10 (2021) esaslarna göre yapılmıştır.



Şekil 1. a) 1.hal_mertekte 90° , b) 2.hal_tabanda 90° , c) 3.hal_açılırtay
Figure 1.a) 1.condition_on rafter 90° , b) 2.condition_on beam 90° , c) 3.condition_bisector



Şekil 2. Deney örneklerinin a) İzometrik perspektifi, b) Bağlantı elemanlarının yerleri
Figure 2. Test samples a) Isometric perspective, b) Fastener locations

$$E = \frac{(3 \times F \times L_s)}{(2 \times b \times h^2)} \quad (7)$$

$$A_W = \frac{1000 \times Q}{b \times h} \quad (8)$$

Burada E: Eğilme direnci, F: Kırılma anındaki kuvvet, L_s: Dayanak açıklığı, b: Örnek genişliği, h: Örnek kalınlığı. A_w: Dinamik eğilme şok direnci, Q: Deneş örneğinin kırıldığı andaki iş miktarı.

2.3. Deneş örneklerinin üretilmesi

Bu çalışmada deneş örnekleri Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü atölyelerinde hazırlanmış ve laboratuvarlarında test edilmiştir.

Deneş örneklerinin planya makinesinde yüz-cumba rendeleme işlemleri sonrası, sırası ile net ölçülere getirebilmek için; kalınlık, daire testere makinesi ve freze makinelerinde işlemlere tabi tutulmuştur. Şekil 3.a'da çivi ile bağlantıyı, 3.b'de ise vida ile bağlantıyı ve 3.c'de ise bulon ile bağlantı örnekleri görölmektedir. Her bağlantı elemanına göre 30'ar adet olmak üzere toplam 90 birleştirme örneği hazırlanmıştır. Çalışma konusu olan bu çatı makaslarındaki mertek ve tabanların birleştirilmeleri yapılmadan önce hazırlanan örnekler 20 °C sıcaklık ve %65 bağıl nem şartlarında iklimlendirme odasında 120 saat bekletildikten sonra yoğunluk, Şekil 4'te göröldüğü gibi eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve dinamik eğilme direnci değerleri belirlenmiştir. Rutubet değerleri için ise örneklerin ilk olarak hava kuruşu ağırlıkları belirlenmiş, sonrasında örnekler 103 ±2 °C' de Etüv 'de değışmez ağırlığa ulaşmcaaya kadar bekletilmiş ve tam kuru ağırlıkları belirlenerek rutubet değerleri bulunmuştur. Yapılan deneşlere ilişkin elde edilen her bir testin ortalama değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 3. a) Çivi ile bağlantı işlemi, b) Vida ile bağlantı işlemi, c) Bulon ile bağlantı işlemi
Figure 3. a) Nail connection process, b) Screw connection process, c) Bolt connection process



Şekil 4. a) Eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve dinamik eğilme direncine ilişkin deneş öncesi numuneler, b) Eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve dinamik eğilme direncine ilişkin deneş sonrası numuneler, c) Dinamik eğilme direnci deneş düzeneği d) Eğilme ve Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin tespitine ilişkin deneş düzeneği

Figure 4. a) Samples before the test for bending strength, modulus of elasticity in bending and dynamic bending strength, b) Samples after the test for bending strength, modulus of elasticity in bending and dynamic bending strength, c) Dynamic bending strength test setup, d) Determination of values of bending and modulus of elasticity in bending according to the test setup

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Çalışmada kullanılan ahşap ve diğer bağlantı gereçlerine ait bazı fiziksel ve mekanik dirençler

Yapılan çalışmada; özellikle sedir odunu ile ilgili bazı fiziksel (Yoğunluk, rutubet) ve mekanik dirençler (Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değeri, dinamik eğilme direnci) belirlenirken; ilgili standartlardan olan TS ISO 13061-1 (2021), TS ISO 13061-2 (2021), TS ISO 13061-3 (2021), TS ISO 13061-10 (2021), standartları referans alınmıştır. Çalışmada kullanılan sedir odunu ile mertek ve tabanların birleştirmelerinde kullanılan bağlantı gereçlerine ait bazı özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

3.2. Basınç direncinin tespiti

TS EN 408+A1 (2014)’e göre çatı makaslarında deneysel yöntemlerle tespit edilen basınç emniyet gerilmelerine ilişkin istatistiksel veriler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2’ye göre sedir odunundan üretilen çatı makasının bağlantı noktalarındaki bağlayıcı gereç ile mertek ve gergilerin açılmasına bağlı olarak gerçekleşen basınç emniyet gerilmelerinin birbirlerinden farklı oldukları görülmüştür. Meydana gelen bu farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olup ya da olmadıklarını belirlemek için çoklu varyans analiz testi yapılarak; sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3’e göre bağlantı gereçleri, birleştirme açıları ve bunların ikili etkileşimlerinin çatı makasındaki mertek ve taban bağlantılarının basınç emniyet gerilmelerine olan etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ($p<0.05$) etkili oldukları tespit edilmiştir. Çoklu varyans analiz sonucuna göre, basınç emniyet gerilmesi değeri üzerinde etki düzeyi en yüksek ($F:3742,699$; %98.9) olan parametrenin bağlantı gereci olduğu görülmüştür. Yapılan çoklu varyans analiz sonucuna göre etkileri anlamlı olarak tespit edilen parametrelerin grupları arasındaki farklılıkları tespit amacıyla Duncan testi yapılmıştır. Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre bağlantı gereçleri arasındaki homojenlik gruplarına dair sonuçlar Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan sedir odunu ve kullanılan bağlantı gereçlerine ait bazı özellikler

Table 1. Some properties of the cedar wood used in the study and some properties of the fasteners used

Malzeme adı	Özellikler	Yoğunluk (g/cm ³)	Rutubet (%)	Eğilme direnci (N/mm ²)	Elastikiyet modülü (N/mm ²)	Dinamik eğilme (kJ/m ²)
Sedir ağacı	-	0.539	14	95.37	10793.57	16.142
Çivi	30 mm, 50 mm					
Vida	3.5×50 ve 4×50					
Bulon	M6 (Metrik 6)					

Çizelge 2. Bağlantı gereçleri ve bağlantı noktalarındaki birleştirme açılarına bağlı basınç emniyet gerilmelerine ait istatistiksel veriler (N/mm²)

Table 2. Strength data for compressive safety stresses depending on the connection materials and the breaking angles at the connection points (N/mm²)

Bağlantı gereci	Bağlantı Açısı	N	X _{min}	X _{max}	X _{ort.}	Std. sp.
Çivi	Mertekte 90°	10	38.93	43.03	40.83	4.40
	Tabanda 90°	10	34.42	51.23	40.10	4.55
	Açıortay	10	34.83	40.57	38.29	1.67
Vida	Mertekte 90°	10	216.38	272.52	239.56	15.86
	Tabanda 90°	10	221.29	280.71	251.50	21.50
	Açıortay	10	198.75	249.98	226.42	16.34
Bulon	Mertekte 90°	10	331.94	366.77	353.20	10.96
	Tabanda 90°	10	294.65	365.13	329.60	17.90
	Açıortay	10	278.67	306.94	292.93	9.13

X_{min}: Minimum Değer, X_{max}: Maksimum değer, X_{ort.}: Ortalama değer, Std. sp.: Standart sapma

Çizelge 3. Bağlantı gereçleri ve birleştirme açılarına bağlı gerçekleşen basınç emniyet gerilmelerine ait çoklu varyans analizi

Table 3. Multiple variance analysis of compressive safety stresses depending on connection materials and joint angles

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	SD	Kareler ort.	F	Anlamlılık düzeyi (p<0.05)
Bağlantı gereci (A)	1286891.453	2	643445.73	3742.699	0.000
Mesnet açısı (B)	11069.239	2	5534.62	32.193	0.000
A*B	10563.561	4	2640.89	15.361	0.000
Hata	13925.540	81	171.92		
Toplam	4972309.995	90			
Düzeltilmiş toplam	1322449.793	89			

Güven aralığı: %95, SD:Serbestlik derecesi, F:Etki gücü

Çizelge 4. Bağlantı gerecine bağlı olarak gerçekleşen basınç emniyet gerilmelerine ait homojenlik grupları

Table 4. Homogeneity groups of pressure safety stresses depending on the connection material

Bağlantı gereci	\bar{X} (N/mm ²)	HG
Çivi	39.74	C
Vida	239.2	B
Bulon	325.2	A

LSD: 6.73 N/mm², HG: Homojenlik grubu

Çizelge 4'e göre çatı makasındaki bağlantı noktasının sabitlemesinde kullanılan bağlantı gereçlerine bağlı olarak gerçekleşen basınç emniyet gerilmesi en yüksek (325.2 N/mm²) bulonlu bağlantıda iken en düşük basınç emniyet gerilmesi (39.74 N/mm²) ise çivi bağlantı gerecine bağlı olarak gerçekleşmiştir. Çizelgeye göre çivi bağlantı gerecine bağlı gerçekleşen direnç değerinin düşük olması; birleştirmede kullanılan çivinin düz bir gövdeye sahip olduğu ve ahşaba çakılırken ahşaptaki lifleri yararak ilerlemesi, buna karşın vidanın ise odun liflerini kendi adımlarına sararak ilerlemesine bağlı olarak gerçekleştiği söylenilebilir. Bulonda elde edilen yüksek basınç emniyet gerilmesinin nedeni ise bulonun uç kısmındaki somunun başlıkta açılan kılavuz deliğinden daha geniş olması ve bir stoplayıcı olarak görev yapmasına bağlı olduğu söylenilebilir.

Ahşap çatı konstrüksiyonlarında elemanlar arasında kuvvet aktarımı mesnet noktalarındaki temas yüzeylerinden basınç gerilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Birbirlerine temas edilecek yüzeylerin iyi bir işçilik ile oluşturulması ile birlikte bağlantı gereçlerinin kullanılması gerekmektedir (Can ve Tokgöz, 2008). Bağlantı gereçlerinden özellikle bulonlar basınç emniyet gerilmelerinde önemli oranda artış sağlamıştır (Palma vd., 2012). Mertek ve taban açısına bağlı olarak gerçekleşen basınç emniyet gerilmelerine ilişkin homojenlik grupları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Mertek ve taban birleştirme açısına bağlı olarak gerçekleşen basınç emniyet gerilmelerine ait homojenlik grupları

Table 5. Homogeneity groups of compressive safety stresses depending on the rafter and beam joint angle

Mesnet Açısı	\bar{X} (N/mm ²)	HG
Mertekte 90°	211.2	A
Tabanda 90°	207.1	A
Açıortay	185.9	B

LSD: 6.73 N/mm², HG: Homojenlik grubu

Çizelge 5'e göre bağlantı noktasındaki mertek ve taban birleştirme açılarında göre mertekte 90°'lik açının basınç emniyet gerilmesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak mertek ve taban arasındaki basınç emniyet gerilmeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı görülmüştür. Basınç emniyet gerilme dirençleri arasında gerçekleşen bu farkların açısal bağlanma açısının sonucu olarak merteye etki eden yükün tabandaki liflere 24°'lik bir açı (Şekil 5) ile aktarılması ve yapışma yüzey alanlarına bağlı olarak gerçekleştiği söylenilebilir.

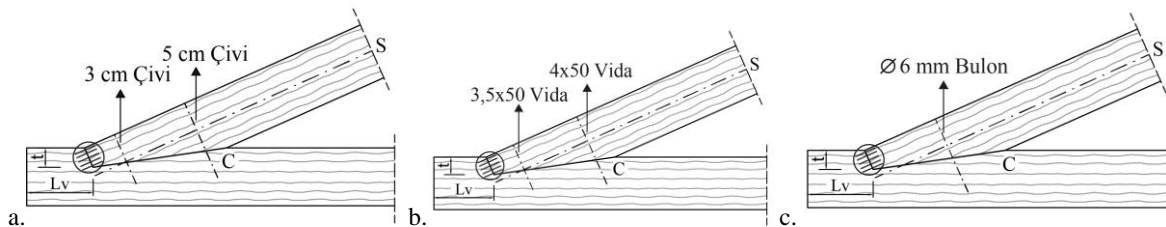
Bağlantı noktalarındaki çentikli yüzeylerin birbirlerine iyi bir şekilde temas etmesi basınç emniyet gerilmeleri açısından oldukça önemli bir etki sağlamaktadır (Palma vd., 2012). Çatı makaslarındaki bağlantı gereci ve mertek ile taban elemanlarının birleştirme açılarının ikili etkileşimlerine bağlı olarak gerçekleşen homojenlik grupları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Bağlantı gereci ile mertek ve taban elemanlarının birleştirme açısının ikili etkileşimine bağlı olarak gerçekleşen basınç emniyet gerilmelerine ait homojenlik grupları

Table 6. Homogeneity groups of compressive safety stresses resulting from the dual interaction of the connection material and the shear strength of the rafter and beam elements.

Bağlantı gereci	Bağlantı açısı	N	\bar{X} (N/mm ²)	HG
Çivi	Mertekte 90°	10	40.83	G
	Tabanda 90°	10	40.10	G
	Açıortay	10	38.29	G
Vida	Mertekte 90°	10	239.56	E
	Tabanda 90°	10	251.50	D
	Açıortay	10	226.42	F
Bulon	Mertekte 90°	10	353.20	A
	Tabanda 90°	10	329.60	B
	Açıortay	10	292.93	C

LSD: 11.65 N/mm², HG: Homojenlik grubu

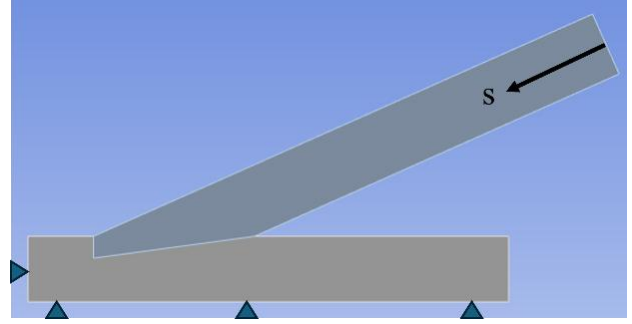


Şekil 5. Merteye etki eden yükün gergiye aktarılması ve a) Çivi, b) Vida, c) Bulon ile bağlantılarının oluşturulduğu detaylar
Figure 5. Details of how the load acting on the rafter is transferred to the tensioner and its connections are created with a) Nail, b) Screw, c) Bolt

Çizelge 6'ya göre çivi ve çiviye bağlı olarak çatı elemanlarının bağlantı noktalarındaki birleştirme açıları arasındaki ikili etkileşimlerine bağlı gerçekleşen basınç emniyet gerilmeleri arasında anlamlı bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Ancak gerek vida ve gerekse bulon ile diğer bağlantı noktalarındaki birleştirme açıları arasındaki basınç emniyet gerilmelerinin birbirlerinden istatistiksel anlamda farklı oldukları görülmüştür. Duncan testi sonuçlarına göre bağlantı gereci ve bağlantı noktalarındaki birleştirme açılarının ikili etkileşimine bağlı olarak en yüksek basınç emniyet gerilmesinin bulon bağlantı gereci ile mertekte 90°'lik açılı konstrüksiyonel uygulamada olduğu görülmektedir.

3.3. Sonlu elemanlar ile analiz

Bağlantı ve elemanların tiplerine göre imal edilen çatı malzemelerinin 2023 sürümlü Ansys Workbench adlı programın Static Structural modülü ile deney ortamına benzeştirilerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). Deneysel ortamda boyutsal azaltma faktörü kullanılmış ve Static Structural analizinde deneyler için hazırlanan numuneler 1:1 ölçekte çizilerek Ansys ortamına alınmış ve nümerik sonuçlar elde edilmiştir. Analizlerde malzemeler izotropik ve bağlantı elemanları demir, ağaç malzemeler sedir olarak tanımlanmıştır. Contact türleri ise ağaç ve bağlantı elemanları arasında "bonded", ağaçlar arasındaysa "frictional" şeklinde ayarlanmıştır. Ağaç malzemeler arasındaki sürtünme katsayısı 0,4 belirlenmiştir (Aira vd., 2014). Burada üçgenle gösterilmiş yüzeyler sabitlenmiş ve $s = 500 \text{ N}$ 'luk kuvvet uygulanmıştır. Analizlerde üçgenel ağ yapısı tercih edilmiş ve bağlantı bölgelerinde ağ yapısı sıklaştırılarak analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 7). FEM modellere ait eleman ve düğüm sayıları Çizelge 7'de gösterilmiştir. Analizle toplam yer değiştirme ve maksimum kayma gerilmeleri elde edilmiş ve Çizelge 8'de verilmiştir.



Şekil 6. Statik analiz sınır şartları

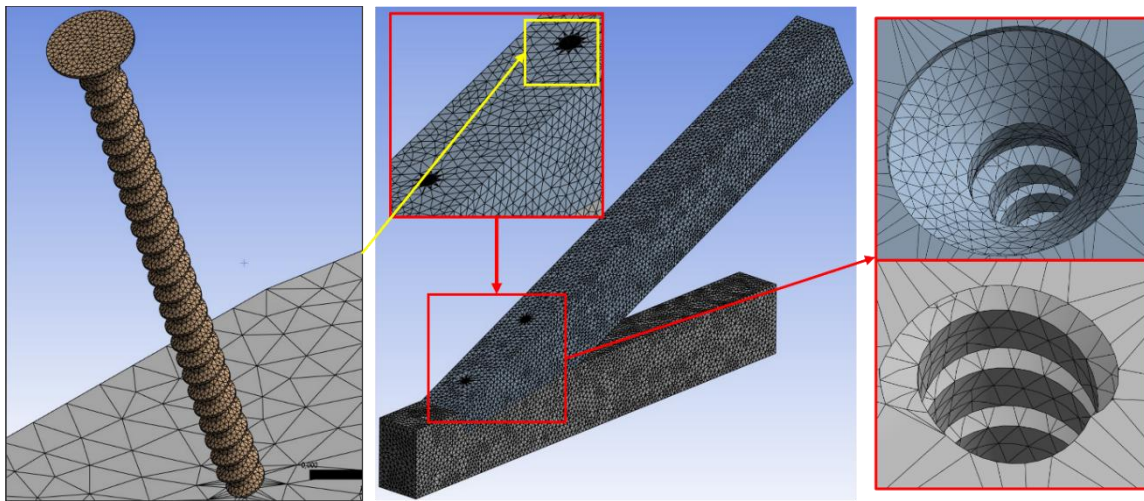
Figure 6 Static analysis boundary conditions

Çizelge 7. FEM modellerin ağ yapısı eleman ve düğüm sayıları

Table 7. Number of elements and nodes in the mesh structure of FEM models

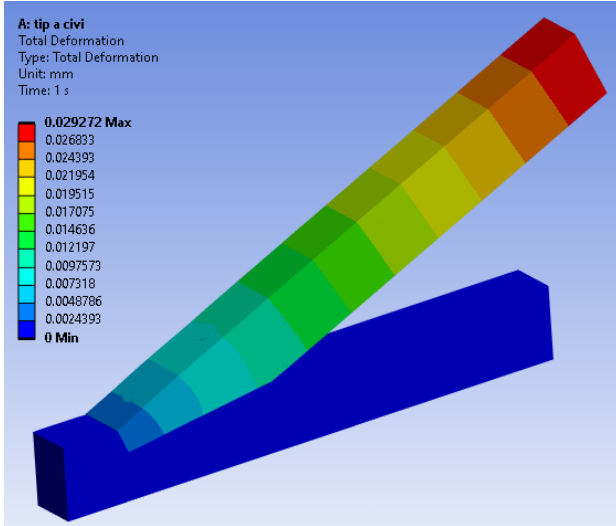
Bağlantı gereci	Bağlantı açısı	Eleman sayısı	Düğüm sayısı
Çivi ile bağlantı	Mertekte 90°	380653	553255
	Tabanda 90°	380013	552321
	Açıortay	381918	555647
Vida ile bağlantı	Mertekte 90°	445845	665627
	Tabanda 90°	445938	667554
	Açıortay	445396	665028
Bulon ile bağlantı	Mertekte 90°	413771	810293
	Tabanda 90°	423559	799802
	Açıortay	412217	803167

Çizelge 8 incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin çivi bağlantısına sahip açıortay'da, en küçük yer değiştirmenin ise vida bağlantılı mertekte 90° çatı bağlantısında olduğu tespit edilmiştir. Maksimum kayma gerilmeleri göz önüne alındığında en büyük kayma gerilmesi vida bağlantılı tabanda 90°'de, en küçük kayma gerilmesiyse bulonla birbirine bağlanmış mertekte 90°'de meydana gelmiştir. Yer değiştirmeler ele alındığında bütün bağlantı tiplerine göre en büyük yer değiştirmeler mertekte ve kuvvetin uygulandığı yüzeyde meydana gelmiştir (Şekil 8). Kuvvetin uygulandığı yüzeyle, bağlantı elemanları arasında oluşan momentten dolayı bu durum normal karşılanmıştır.



Şekil 7. FEM modelin ağ yapısı

Figure 7. Mesh structure of the FEM model



Şekil 8. Maksimum yer değiştirme
Figure 8. Maximum displacement

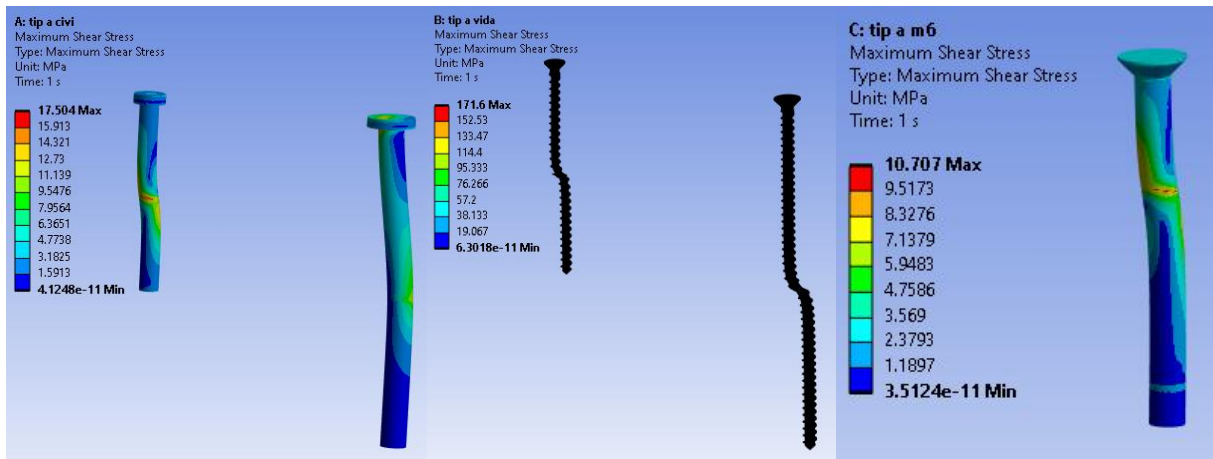
Çizelge 8. Çatı bağlantı elemanlarının maksimum yer değiştirmeleri ve maksimum kayma gerilmeleri
Table 8. Maximum displacements and maximum shear stresses of roof fasteners

Bağlantı gereci	Bağlantı açısı	Toplam yer değiştirme (mm)	Maksimum kayma gerilmesi (N/mm ²)
Çivi ile bağlantı	Mertekte 90°	0.029272	17,504
	Tabanda 90°	0.029720	20,218
	Açıortay	0.032639	18,304
Vida ile bağlantı	Mertekte 90°	0.001295	171,60
	Tabanda 90°	0.001305	280,34
	Açıortay	0.001303	128,48
Bulon ile bağlantı	Mertekte 90°	0.028161	10,707
	Tabanda 90°	0.028433	11,119
	Açıortay	0.028228	10,882

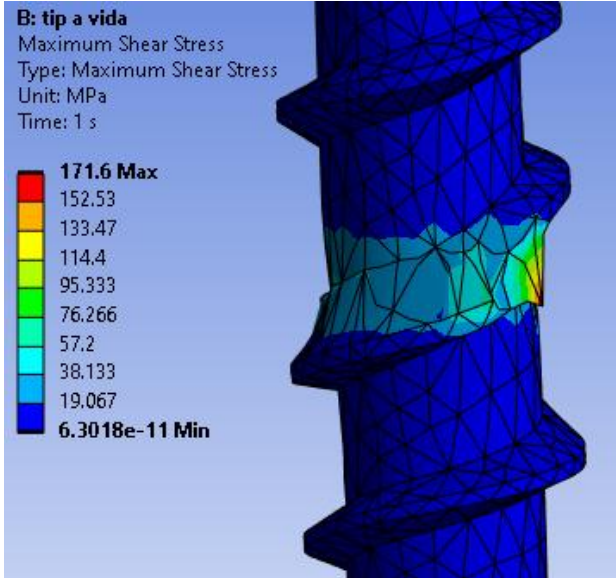
Maksimum kayma gerilmeleri ise bağlantı elemanları üzerinde oluşmuştur (Şekil 9). Ayrıca en büyük maksimum kayma gerilmeleri tabanda 90° bağlantısına sahip elemanlarda oluşmuştur. Bununla birlikte bağlantı elemanları kendi içerisinde incelendiğinde vidayla bağlanmış mertek ve tabanların kayma gerilmeleri çivi ve bulon bağlantı tiplerine göre oldukça yüksektir. Bunun nedeni vida üzerinde bulunan dişlerin sivri ve keskin köşelere sahip olduğudur (Şekil 10). Ayrıca kuvvetin yönünden kaynaklı bağlantı elemanlarının üzerine hem çekme hem de kesme gerilmesi oluşur. Bu durumda bağlantı elemanlarında bileşik gerilme meydana gelir. Vidalı bağlantıda vida dişleri mertek ve tabanların bağılı kavrayarak bağlantı yapıldığından kayma gerilmelerinin vida tipli bağlantıda vida üzerinde oluşması doğal karşılanmıştır. Çivi ve bulon bağlantılarında ise bu elemanların gövdeleri silindirik ve başlıkları kavramazlar bu yüzden maksimum kayma gerilmeleri vidaya göre düşük olduğu görülmüştür. Hesaplanan emniyet gerilmeleri ve analizlerle elde edilen maksimum kayma gerilmeleri incelendiğinde, mertekte 90° vidalı bağlantı dışındaki tüm maksimum kayma gerilmeleri emniyet gerilmelerinden küçüktür. Bu durum mertekte 90° vidalı bağlantı tipi dışındaki tüm bağlantıların emniyetli olduğunu göstermektedir. Çünkü maksimum kayma gerilmelerinin emniyet gerilmelerinden küçük olması istenmekte ve maksimum kayma gerilmesi hipotezine (Tresca) göre eş değer gerilmeyi veren denklem Formül 9'te verilmiştir (Şekercioğlu, 2017).

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \text{ve} \quad \sigma_{eş} < \sigma_{em} \quad (9)$$

Burada σ : basma veya çekme gerilmesi, τ : kesme gerilmesidir.



(a) (b) (c)
Şekil 9. Bağlantı elemanlarında oluşan gerilmeler. a) Çivi, b) Vida, c) Bulon
Figure 9. Stresses occurring in the connecting elements. a) Nail, b) Screw, c) Bolt



Şekil 10. Vidanın keskin köşesinde oluşan maksimum kayma gerilmesi

Figure 10. Maximum shear stress at the sharp corner of the screw

4. Sonuç ve öneriler

Yapılan çalışmada sedir ahşap malzemeden üretilen çatı makaslarındaki yanlama ve gergilerin farklı bağlantı gereçleri ve farklı birleştirme açılara bağlı olarak basınç emniyet gerilmeleri deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan incelemeye göre;

- Mesnet noktalarında kullanılan bağlantı gereçlerinin yanlama ve gergilerin basınç emniyet gerilmelerine etkilerinin oldukça önemli olduğu,
- Mesnet noktalarının sabitliği için kullanılan bağlantı gereçlerinin basınç emniyet gerilmeleri göz önüne alındığında en yüksek basınç emniyet gerilmesinin bulunlu bağlantıda meydana geldiği,
- Yapılan deneye göre mertek ve tabandaki 90°'lik birleştirme açıları arasında anlamlı düzeyde bir farkın olmadığı; ancak 90°'lik açının açıortay biçimindeki açıya oranla daha yüksek basınç emniyet gerilmesine sahip olduğu,
- Çalışma konusu olan çatı makasının mesnet noktasındaki basınç direncinin en yüksek olduğu bağlantı gereci ve bağlantı açısı uygulama şeklinin bulunlu bağlantı ile mertekteki 90°'lik açı ikili etkileşiminde elde edildiği,
- Yer değiştirmeler ele alındığında bütün bağlantı tiplerine göre en büyük yer değiştirmeler mertekte ve kuvvetin uygulandığı yüzeyde meydana geldiği,
- En büyük gerilmelerin bağlantı elemanları üzerinde olduğu,
- En büyük gerilmelerin vidalı bağlantı tipinde hesaplandığı, sonuçlarına varılabilir. Bu sonuçlara göre;
- Sonlu elemanlar analizinden elde edilen maksimum kayma gerilmelerine göre bulon bağlantılı tipler tercih edilebilir. Bununla birlikte mertek ve tabanlar tip A şeklinde üretilebilir.

Ayrıca sedir ahşap malzemelerden üretilen çatı makasındaki mesnet noktalarındaki basınç emniyet gerilmelerinin hem bağlantı gereçlerine ve hem de mertek ve tabandaki bağlantı açılara bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Dolayısıyla bu türden çatı makasları için mesnet noktalarındaki basınç emniyet gerilmelerinin artırılması için farklı ahşap türleri, farklı ahşap türlerinden üretilmiş lamine kerestelerin performans değerleri araştırılabilir.

Açıklama

Bu çalışmanın bir kısmı Akdeniz 11. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi'nde (2024, Mersin) sunulmuştur. Kongre kitabında özet olarak yayınlanmıştır.

Kaynaklar

- Aira, J. R., Arriaga, F., Íñiguez-González, I., Crespo, J., 2014. Static and kinetic friction coefficients of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), parallel and perpendicular to grain direction. *Materiales de Construcción*, 64(315): 1-9. <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2014.03913>
- Aker, E., 1998. Çatılarda seçenek özelliklerinin tanımlanması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Avlar, E., 1995. Türkiye'deki konut açığının giderilebilmesinde ön yapımlı ahşap konut üretiminin uygulanabilirliği yönünde bir model araştırması (Bursa örneği). Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ayata, İ., 1974. Ahşap Yapı ve Kafes Sistemlerinin Hesap Esasları. Diner Matbaası, İstanbul.
- Binan, M., 2010. Ahşap çatılar. Birsan Yayınevi, Lord Matbaası, İstanbul.
- Can, Ö., Tokgöz, H., 2008. Ahşap çatı makaslarının düğüm noktalarında ön ahşap uzunluğunun deneysel yöntemle tayini. *Technological Applied Sciences*, 3(4): 571-579.
- Erdoğan, E., 2003. Ahşap: Mükemmel bir yapı malzemesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 427: 89-92.
- Eriç, M., 1972. Dünün ve bugünün ahşap ve ahşaptan üretilmiş malzemesinin Türkiye şartları içinde yapıda rasyonel kullanıma imkanlarının araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Günay, R., 2002. Geleneksel Ahşap Yapılar Sorunları ve Çözüm Yolları. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Güneş, M., 2022. Ön ısıtılmış uygulanmış ahşap taşıyıcı yapı elemanlarının farklı iklim şartlarındaki davranışlarının incelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gür, Ö. Ş., Batur, A., 2000. Rural Architecture in the Eastern Black Sea Region. İstanbul: Milli Reasürans Yayınları, İstanbul.
- Hasol, D., 1995. Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü. YEM Yayınları, İstanbul.
- Kern, A., Kowarik, K., Rausch, A. W., 2008. Salz-Reich:7000 Jahre Hallstatt-Softcover. Naturhistorisches Museum Wien, Austria.
- Kolbay, S. D., 2010. Çatılarda ahşap strüktür bileşenlerinin tasarım etkenleri. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kutlu, İ., Ergün, R., 2020. Geleneksel Anadolu yapılarında ahşap üst örtü gelişiminin değerlendirilmesi. *International Journal of Mardin Studies*, 1(1): 93-109.
- Kütükçü, D. E., 2019. Düzlem çerçeve ahşap yapı sistemlerinin bazı mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Morton, F., 1984. Hallstatt, Verlag des Musealvereins. Austria.
- Odabaşı, Y., 1981. Ahşap Çatıların Hesap ve Detayları. Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.

- Öztürk, Y., Altunok, M., 2024. Ahşap yeşil ev konsepti tasarımına özgün yaklaşımlar. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 12(3): 550-569. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1496217>
- Palma, P., Garcia, H., Ferreira, J., Appleton, J., Cruz, H., 2012. Behaviour and repair of carpentry connections–Rotational behaviour of the rafter and tie beam connection in timber roof structures. Journal of Cultural Heritage, 13(3): S64-S73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2012.03.002>
- Şekercioğlu, T., 2017. Makine Elemanları Çözümlü Problemler. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Toydemir, N., Bulut, Ü., 2004. Çatılar. Yapı Yayın, İstanbul, Türkiye.
- Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L., 2001. Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme. Literatür Yayıncılık, İstanbul, Türkiye.
- TS EN 408+A1, 2014. Ahşap yapılar- yapı kerestesi ve yapıştırılmış lamine kereste – Bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini. T.S.E., Ankara.
- TS ISO 13061-1, 2021. Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri- Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi. T.S.E., Ankara.
- TS ISO 13061-2, 2021. Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri- Bölüm 2: Fiziksel ve mekanik deneyler için yoğunluğun belirlenmesi. T.S.E., Ankara.
- TS ISO 13061-3, 2021. Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri- Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 4: Statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini. T.S.E., Ankara.
- TS ISO 13061-10, 2021. Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 10: Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini. T.S.E., Ankara.
- Turgay, F.M., 2003. Endüstrileşmiş çatı bileşenleri üzerine bir inceleme. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yaman, B., Akyol, A. A., Aktaş, K., 2019. Akseki Sarıhacılar köyü ahşap teşhisi. Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences JONAS, 2(1): 44-49.
- Yeh, M.C., Lin, Y.L., 2011. Structural performance of roof trusses assembled with Japanese Cedar lumber using nailed steel gussets. Taiwan J. For. Sci., 26(4): 383-397.