

## KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) KERESTESİ İLE YAPILMIŞ METAL PLAKALI KAFES KİRİŞ BİRLEŞTİRMELERİ İÇİN EMNİYET YÜKLERİ

Ergün GÜNTEKİN

SDÜ Orman Fakültesi, 32260 Isparta  
eguntekin@orman.sdu.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışmada Kızılçam kerestesi kullanılarak yapılmış metal plakalı birleştirmeler için emniyet yükleri ortaya konmuştur. Toplam 120 adet birleştirme örneği 38 x 89 mm enine kesitindeki kereste ve üç farklı ebattaki metal plaka kullanılarak birleştirilmiştir. Emniyet yüklerinin bulunmasında TPI tarafından önerilen dört-yönlü test metodu kullanılmıştır. Plaka büyüklüğünün ve yükleme yönünün emniyet yükleri üzerine etkisi de incelenmiştir. Çalışmada bulunan sonuçlar yükleme yönünün ve plaka büyüklüğünün emniyet yükleri üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermiştir. Uç birleştirmeleri ile T birleştirmeleri arasında önemli farklar bulunmuştur. Test edilen uç birleştirmelerinden 76 x 102 mm ve 76 x 152 mm plakalar arasında önemli sonuçlar bulunmamıştır. Ayrıca AA yönünün EA yönünden daha yüksek emniyet yüklerine sahip olduğu bulunmuştur. Çalışmada bulunan değerler Kızılçam kerestesi ile yapılmış ahşap kafes giriş birleştirmelerinin tasarımında kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Emniyet yükleri, Metal plakalı birleştirmeler, Kızılçam.

## ALLOWABLE LATERAL RESISTANCE DESIGN VALUES FOR METAL PLATE CONNECTIONS CONSTRUCTED WITH TURKISH CALABRIAN PINE (*Pinus brutia* Ten.) LUMBER

### ABSTRACT

Allowable lateral resistance design values for metal-plate-connected (MPC) wood-truss-joints constructed with Turkish Calabrian pine were investigated. Total of 120 joints were constructed using 38 mm by 89 mm lumber and three different sizes of metal plate connectors. Allowable lateral resistance design values were evaluated using four-way plate test method. Effect of metal plate size and test method on the allowable lateral resistance design values was also investigated. Results indicate that method of loading and plate size significantly affects the allowable lateral resistance design values of the joints. Among the splice joints tested, there was no significant difference between 76 x 102 and 76 x 152 mm plates in strength. AA orientation had higher allowable values than EA orientation. Results of this study can be used in truss design of Turkish Calabrian pine lumber.

**Keywords:** Allowable lateral resistance values, Metal plate connected joints, Turkish Calabrian pine.

## 1. GİRİŞ

Son yarım asırda özellikle gelişmiş ülkelerde metal dişli plakalar (Şekil 1) ve bu plakaları kullanılarak yapılan birleştirmeler ahşap yapı sektöründe önemli bir yer tutmaktadır. Günümüzde kullanılan dişli metal plaka ilk defa 1952’te kullanılmaya başlanmıştır. Bu tarihten sonrada metal plakalı ahşap kafes kirişler geliştirilerek yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Metal plakalı birleştirmeler ile yapılmış çatı ve taban kirişleri konut, endüstriyel ve ticari binaların yapımında özellikle ABD ve Kanada ile Kuzey Avrupa ülkelerinde sık olarak kullanılmaktadır. 90’lı yıllarda ABD’de yapılan konut amaçlı çatı ve taban kafes kirişlerinin % 90’ı nı metal plakalı birleştirmeler ile yapılmış kafes kirişler olmaktadır (Gupta vd., 1996).

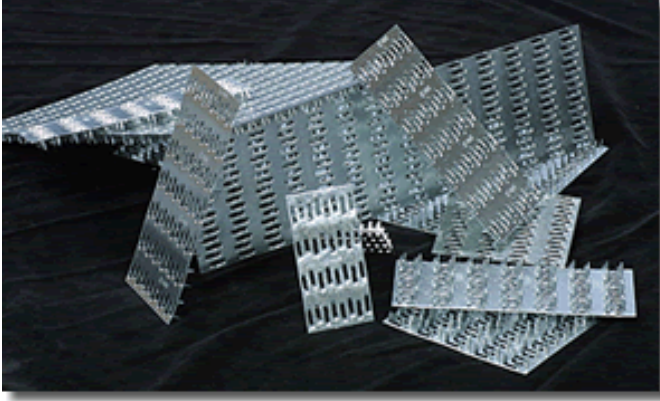
Birçok değişken kafes kiriş birleştirmelerinin performansını dolayısıyla emniyet yüklerini etkilemektedir. Bu değişkenler; diş büyüklüğü ve sayısı, plaka büyüklüğü kalınlığı ve yönü, lif ve yükleme yönü, ağaç türü, özgül ağırlık, rutubet miktarı, plakaların presi sırasındaki basınç miktarı, metal plakanın çekme ve kesme direnci ve presleme ile test zamanı arasında geçen süre (Qualie ve Keenan, 1979). Genel olarak birleştirmelerin direnç ve elastikliği özgül ağırlığın artmasıyla artmakta ve rutubetin artması ile azalmaktadır (Suddarth vd., 1979). Benzer plaka özelliklerinin ve özgül ağırlık olması farklı ağaç türlerinde (MacAlister ve Faust, 1992) veya kompozit malzemelerde (MacAlister, 1989) benzer performans özelliklerinin elde edilmesine sebebiyet vermektedir. Deprem yüklemelerine benzeyen tekrarlı yüklemeler uç ve açılı birleştirmelerde bir direnç azalmasına sebebiyet vermezler, fakat elastikiyette bir azalmaya sebep olurlar (Gupta vd., 2004). Plaka uzunluğunun plaka genişliğinin iki katı olması kırılmanın plakada olmasını sağlamaktadır (O’Regan vd., 1998).

Metal plakalı kafes kiriş sistemleri konut yapımında Türkiye’de 1999 depreminden beri kullanılmaktadır. Bu kafes kirişlerin imalatında genellikle Göknar, Sarıçam, ve Ladin gibi ithal ağaç türleri kullanılmaktadır. Fakat Türkiye’de önemli bir ayılış gösteren ve hızlı gelişen türlerden olan Kızılçam kullanılmamaktadır. Kızılçam koniferler arasında en büyük yayılışı gösteren türdür (3 096 064 ha). Bu aynı zamanda Türkiyedeki ormanlık alanların % 15.3’üne tekabül etmektedir. Hızlı gelişen türlerden olan Kızılçam odunu kağıt yapımından, inşaat kalıplık kerestesi, lambri, vb. alanlarda kullanılmaktadır (Bektas et al., 2003).

Bu çalışmanın amacı Kızılçam kerestesi ile imal edilmiş kafes kiriş birleştirmelerinin dört yönlü test yöntemi ile müsaade edilir yüklerin ortaya çıkarılmasıdır. Tasarımda kullanılabilen bu değerler Kızılçam kerestesinin sözü geçen endüstri dalında kullanılmasına katkıda bulunabilir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada yapılan testler ANSI-TPI (1995) standartlarında belirtilen kurallara uygun olarak yürütülmüştür (Şekil 2). Toplam 120 adet uç ve T birleştirme örneği yerel bir üreticiden sağlanan Kızılçam kerestesi ve üç farklı büyüklükteki metal plaka kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 1. Metal plakaların genel görünüşü.

300 cm uzunluğunda ve 38 x 89 mm enine kesitindeki keresteler 50 cm'lik parçalara kesilmiştir. Budak, çatlak vb. kusurlar olan parçalar çalışmada kullanılmamıştır. Kullanılan kerestenin özgül ağırlığı (ÖA) ve rutubet (R) miktarı birleştirme noktasına yakın kısımdan testlerden sonra kesilen temsili örnekler üzerinden hesaplanmıştır. Temsili örneklerin büyüklükleri yaklaşık olarak 20 x 20 x 25 mm'dir. Kerestenin elastikiyet modülü (MOE) ve eğilme direnci (MOR) ise birleştirme yapımında kullanılan parçaların bitişiğinde olan parçalardan hesaplanmıştır.

Çalışmada kullanılan üç farklı büyüklükte plaka; 76 x 76 mm – 36 diş (S), 76 x 102 mm-48 diş (M) ve 76 x 152 mm-72 diş (L) ticari bir firma tarafından sağlanmıştır. Plakaların bazı özellikleri çizelge 1'de verilmiştir. M ve L ebatları endüstri tarafından kullanılan standart ebatlar olup S plakalar L plakaları ortadan keserek elde edilmişlerdir. Plakaların preslenmesinde C-tipi bir pres (Şekil 2) kullanılmıştır. Bütün birleştirmelerin direnci plakaların preslenmesinden sonra geçen yedi ile ondört gün içinde 50 kN kapasiteli vida sürücülü bir universal test makinesinde belirlenmiştir. Test makinesindeki 1 mm/ dakika yükleme hızı ile birleştirmelerde 5-8 dakika arasında maksimum kırılma yüküne ulaşılmıştır. Dört yönlü test metodu Şekil 3'te gösterilmiştir.

Dört yönlü test metodu adından da anlaşılacağı üzere metal plakaların performansını dört asal yönde ortaya çıkarmakta kullanılmaktadır. Bu yönler:

AA: Plakada diş delik yönü yük ve lif yönü ile paraleldir.

EA: Plakada diş delik yönü yüke dik ve lif yönü ile paraleldir.

AE: Plakada diş delik yönü yüke paralel ve lif yönüne diktir.

EE: Plakada diş delik yönü yüke ve lif yönüne diktir.

Günümüzde kafes kiriş birleştirmelerde emniyet yüklerinin belirlenmesinde kullanılan standart yöntemler ASTM, TPI ve ISO tarafından belirlenmiştir (Smulski, 1997). TPI standartlarına göre kritik kaymadaki (0.015" = 0,381 mm) yük ve maksimum yük (direnc) birleştirmenin davranışını belirlemektedir.

KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) KERESTESİ İLE YAPILMIŞ METAL PLAKALI KAFES KİRİŞ  
BİRLEŞTİRMELERİ İÇİN EMNİYET YÜKLERİ

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan metal plakaların bazı özellikleri.

Özellikler	
Tip	M20
Kalınlık	1 mm
Dış tipi	dalgalı
Genişlik	76 mm
Uzunluk	76-102-152 mm
Plaka alanı	57-77-115 cm <sup>2</sup>
Dış boşluğu genişliği	3 mm
Dış boşluğu uzunluğu	12 mm
Dış derinliği	8 mm
Elastikiyet sınırı	275. 790 MPa
Çekme direnci	379. 211 MPa
Emniyet çekme direnci	165. 474 PMa
Emniyet kesme direnci	110.316 MPa



Şekil 2. Birleştirmelerin hazırlanmasında kullanılan C tipi pres.

Ahşap kafes kiriş birleştirmelerinde emniyet yükleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır (TPI, 1995):

$$VLR = TLR (1 - 1,645 (COV) (0.84) / (DOL) (SF) \quad (1)$$

Burada:

VLR = metal plakalı birleştirmede emniyet yükü. Dağılım, kalite, yükleme süresi ve emniyet gibi faktörleri içerir,

TLR = metal plakalı birleştirmenin testlerden alınan ortalama direnci,

(1 - 1.645 (COV)) = ortalamanın %5'lik alt sınıra yaklaştırılması,

(0.84) = direnç oranı,

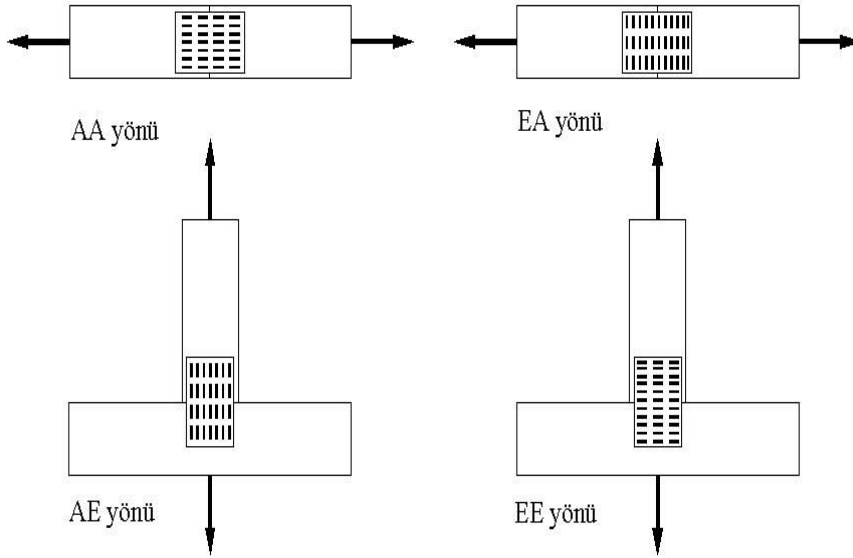
DOL = yükleme süresi faktörü (yaklaşık 10 dakikalık test süresinin 10 yıllık bir süreye göre ayarlanması (DOL = 1.6),

SF = aşırı yükleme, çevre etkileri vb. durumlar için emniyet faktörü (SF = 1.3)

Buna göre yukarıdaki eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$VLR = TLR (1 - 1.645(0.14) (0.84) / (1.6) (1.3)$$

$$VLR = TLR / 3.2$$



Şekil 3. Emniyet yüklerinin belirlenmesinde kullanılan dört yönlü test metodu.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan Kızılçam kerestesinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri çizelge 2’de verilmiştir. Kullanılan kerestenin rutubeti % 10 - 11 arasında, özgül ağırlığı ise 0.44 ile 0.67 arasında değişmiştir. Testlerden elde edilen direnç değerleri çizelge 3, bu değerler kullanılarak hesaplanan emniyet yüklemeye değerleri her bir birleştirme türü için çizelge 4’ te verilmiştir.

Test yönünün ve plaka büyüklüğünün emniyet yüklerine etkisi varyans analizi (ANOVA) ile ortaya konmuştur (Çizelge 5). ANOVA sonuçlarına göre test yönü ve plaka büyüklüğünün emniyet yükleri üzerine (% 5) önemli etkisi vardır ( $p < 0.0001$ ). Buda yük yönü ve plaka büyüklüğü değiştiğinde emniyet yükünün değiştiğini göstermektedir. Varyasyon katsayısının küçük olması (6.8) ve  $R^2$  ‘nin yüksek olması araştırma sonuçlarını güvenilir yapmaktadır.

Test yönü ve plaka büyüklükleri arasındaki farkları görmek için DUNCAN testi uygulanmıştır. Yük yönüne göre emniyet yükleri en yüksekte düşüğe sırasıyla AA, EA, AE ve EE şeklindedir ve aralarında anlamlı farklar bulunmaktadır. L ve M plakalar arasında anlamlı farklar bulunmamaktadır ve bu iki plaka S plakalardan daha yüksek değerlere sahiptir. L ve M plakalardaki ortak kırılma tipi plaka kırılması, S plakalarında ise dış çıkması şeklinde olması bu ilişkiyi açıklayabilir. Genel olarak uç birleştirmelerin emniyet yükleri T birleştirmelerin emniyet yüklerinden yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi liflere paralel yöndeki çekme direncinin liflere dik yöndeki çekme direncinden yüksek olması olabilir. T birleştirmelerinde görülen kırılma şekli bunu desteklemektedir.

L plakalar ile yapılmış ve AA yönünde test edilen birleştirmeler ile en yüksek rakamlarına ulaşılmasına rağmen S plakalar ile yapılmış ve AE ile EE yönünde test edilen birleştirmelerden en düşük sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4). Uç birleştirmelerde plaka yönünün emniyet yükleri üzerine etkisi önemli bulunurken T birleştirmelerde plaka yönü önemli bulunmamıştır. T birleştirmelerde (AE ve EE) test yönünün emniyet yükleri üzerine önemli etkisi olmamasını kırılmanın ahşapta olmasına bağlayabiliriz.

Çizelge 2. Kullanılan kızılçam kerestesinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.

Değer	Ortalama	Standart Sapma	Maksimum	Minimum	Varyasyon katsayısı (%)
Özgül ağırlık	0.53	0.05	0.67	0.44	9.4
Rutubet (%)	10.05	9.47	11.32	0.31	3
MOE (MPa)	8460	5740	11273	1322	16
MOR (MPa)	102	65	135	17	17

Çizelge 3. Dört yönlü test metodu kullanılarak elde edilen direnç değerleri (kN).

Yük yönü	Plaka büyüklüğü	Örnek sayısı	Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon katsayısı (%)
AA	L	10	34.76	0.53	33.91	35.60	1.52
	M	10	34.41	0.87	32.92	36.65	2.52
	S	10	23.64	2.07	20.61	26.20	8.75
EA	L	10	25.34	0.81	23.98	26.64	3.19
	M	10	25.31	0.99	23.50	26.76	3.91
	S	10	21.74	1.47	20.21	25.02	6.76
AE	L	10	25.98	2.32	22.19	29.79	8.92
	M	10	18.42	1.97	15.60	22.24	10.69
	S	10	11.95	1.66	10.17	14.69	13.89
EE	L	10	23.07	1.74	19.46	24.99	7.54
	M	10	18.50	1.46	15.75	21.17	7.89
	S	10	13.76	1.78	9.64	16.11	12.93

Çizelge 4. Direnç değerlerinden hesaplanan emniyet yükleri (kN).

Yük Yönü	Plaka büyüklüğü	Örnek sayısı	Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon katsayısı (%)
AA	L	10	10.86 a*	0.16	10.59	11.12	1.52
	M	10	10.75 a	0.27	10.28	11.45	2.52
	S	10	7.38 c	0.64	6.44	8.18	8.75
EA	L	10	7.91 b	0.25	7.49	8.32	3.19
	M	10	7.9 b	0.30	7.34	8.36	3.91
	S	10	6.79 c	0.45	6.31	7.81	6.76
AE	L	10	8.11 b	0.72	6.93	9.30	8.92
	M	10	5.75 d	0.61	4.87	6.95	10.69
	S	10	3.73 e	0.51	3.17	4.59	13.89
EE	L	10	7.20 c	0.54	6.08	7.80	7.54
	M	10	5.78 d	0.45	4.92	6.61	7.89
	S	10	4.3 e	0.55	3.01	5.03	12.93

\*Aynı harfle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklı değil.

KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) KERESTESİ İLE YAPILMIŞ METAL PLAKALI KAFES KİRİŞ BİRLEŞTİRMELERİ İÇİN EMNİYET YÜKLERİ

Çizelge 5. Emniyet yükleri için ANOVA tablosu.

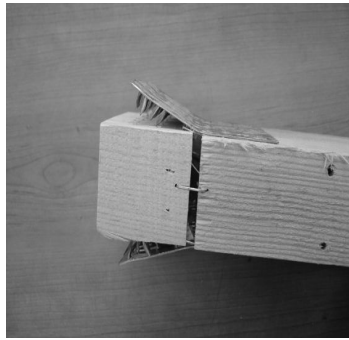
Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F-değeri	Olasılık Pr>F
Model	11	526.1058917	47.8278083	198.28	<.0001*
Test Yönü	3	301.1239245	100.3746415	416.13	<.0001*
Plaka büyüklüğü	2	183.7282787	91.8641393	380.85	<.0001*
Test*Plaka	6	41.2536885	6.8756148	28.50	<.0001*
Hata	108	26.0508228	0.2412113		
Toplam					
Düzeltilmiş Toplam	119	552.1567145			

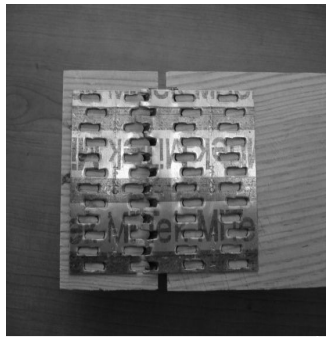
$R^2$	Varyasyon katsayısı	Genel ortalama
0.952820	6.810100	7.211828

- önemli

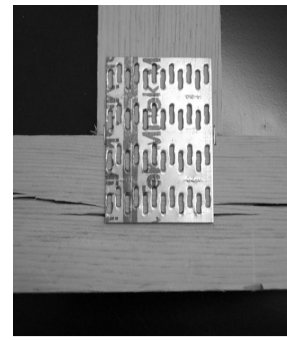
Birleştirmelerdeki kırılma tipleri genel olarak üç tiptir. Bunlar; dış çıkması (Şekil 4), plaka kırılması (Şekil 5), ve ahşapta kırılma (Şekil 6). Metal plaka dişlerinin ahşaptan çıkması S plakalı uç birleştirmelerinin tümünde gözlemlenmiştir. M ve L plakalı uç birleştirmelerinde ise plakanın kopması söz konusudur. T tipi birleştirmeler ise ahşapta kırılma ile sonuçlanmıştır. Burada farklı kırılma tiplerinin gözlemlenmesi emniyet yükleri ile ahşabın özgül ağırlığı, eğilme direnci ve elastikiyet modülü arasında bir ilişki kurmayı zorlaştırmaktadır.



Şekil 4. Testlerde görülen dış çıkması



Şekil 5. Plaka kırılması



Şekil 6. T birleştirmelerinde görülen kırılma.



Çalışmada bulunan sonuçlar Kızılçam kerestesi kullanılarak yapılacak metal plakalı kafes kirişlerin tasarımında kullanılabilir. Uç ve T birleştirmelerinin dışındaki açısız birleştirmeler için gerekli değerler Hankinson formülü kullanılarak bulunabilir. Hankinson formülünün bu tür birleştirmelerde kullanılabileceği Gebremedhin vd. (1992) yaptığı çalışmalarda ortaya konmuştur.

#### KAYNAKLAR

- ANSI/TPI 1-1995, 1995. National Design specifications for metal plate connected wood truss construction.
- Bektas I., Alma M.H., As N., Gundogan R., 2003. Relationship between site index and several mechanical properties of Turkish calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.). Forest Products Journal, 53(2): 27-31.
- Gebremedhin, K.G., Jorgensen, M.C., ve Woelfel, C.B., 1992. Load-slip characteristics of metal plate connected wood joints tested in tension and shear. Wood and Fiber Science. 24 (2): 118-132.
- Gupta R., Miller T.H., Redlinger M.J., 2004. Behavior of metal-plate-connected wood truss joints under wind and impact loads. Forest Products Journal, 54(3): 76-84.
- Gupta R., Vatovec M., Miller T.H., 1996. Metal-plate-connected wood joints: A literature review. Research Contribution 13, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR. USA.
- McAlister R.H., 1989. Interaction between truss plate design and type of truss framing. Forest Products Journal, 39(7/8): 17-245.
- McAlister R.H., Faust T.D., 1992. Load/Deflection parameters for metal plate connectors in yellow poplar and sweetgum structural lumber. Forest Products Journal. Vol. 42(3): 60-64.
- O'Regan P., Woeste F.E., Brakeman D.B., 1998. Design procedure for the lateral resistance of tension splice joints in MPC wood trusses. Forest Products Journal, Vol. 48 (6); 66-69.
- Qualie A.T., Keenan F.J., 1979. Truss plate testing in Canada: Test procedures and factors effecting strength properties. 1979 metal plate wood truss conference, FPRS Proceedings P-79-28; 1979 November. Madison, WI: Forest Products Society: 1979.
- Smulski, S., 1997. Engineered Wood Products: A guide for specifiers, designers and users. PFS Research Foundation, Madison, Wisconsin
- Suddarth S.K., Percival D.H., Comus Q.B., 1979. Variability in tension performance of metal plate connections. 1979 metal plate wood truss conference, FPRS Proceedings P-79-28; 1979 November. Madison, WI: Forest Products Society: 1979.