

# BETOPAN LEVHALARIN YÜK TAŞIMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Doç. Dr. Erdem Canbay

Doç. Dr. Barış Binici

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

İnşaat Mühendisliği Bölümü



22 Temmuz 2009

*Handwritten signatures of Erdem Canbay and Barış Binici.*

## 1. Amaç

Tepe Betopan Yapı Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş. tarafından yapılan müracaat akabinde imzalanan 09-03-03-2-00-50 sayılı proje kapsamında, Betopan levhaların döşeme olarak kullanımlarında taşıma güçlerinin belirlenmesi maksadıyla bu rapor hazırlanmıştır.

## 2. Kapsam

Teknik rapor kapsamında Tepe Betopan Yapı Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş. tarafından sunulan malzeme dayanım bilgileri ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yapı Malzemeleri Mühendisliği Dalı Laboratuvarında gerçekleştirilmiş olan deney sonuçları kullanılmıştır. Proje, Betopan ürünlerin dayanım bilgilerinin, kalınlık vb. geometrik verilerin gerçekleşmesi hususlarını içermemektedir. Aşağıda detayları sunulan kullanım ve yükleme yöntemlerinden farklı saha koşullarında hesaplanan yüklerin geçerli olmayacağı belirtilmelidir.

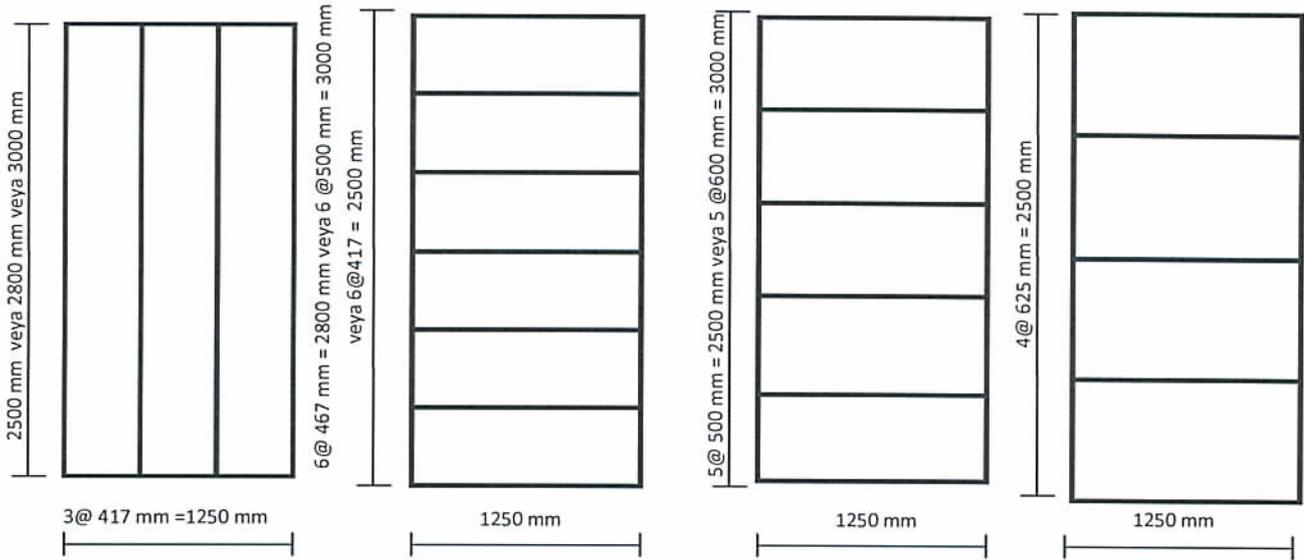
## 3. Yöntem

Kullanılan yöntem iki aşamalı bir sayısal analiz yöntemidir. İlk aşamada Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yapı Malzemeleri Mühendisliği Dalı Laboratuvarında gerçekleştirilmiş olan deney sonuçlarından elde edilen rijitlik, sehim değerlerinin sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde Tepe Betopan Yapı Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş. tarafından sunulan malzeme elastisite modülü ve dayanım bilgilerinin gerçekliği ortaya konmuştur. Deney sonuçları ile doğruluğu kanıtlanmış bilgiler ve sayısal yöntem kullanılarak Şekil 1'de sunulan Betopan panel ebatları ve mesnet koşulları için kritik gerilmeye tekabül eden azami düzgün yayılı yük miktarları belirlenmiştir. Tüm analizler için plak sonlu eleman tekniği kullanılmış ve malzemenin donatısız gevrek bir malzeme olması sebebi ile lineer elastik davranış sonrası kritik gerilmeye ulaşılan noktada kırılmanın gerçekleşeceği varsayılmıştır. Bu varsayım Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yapı Malzemeleri Mühendisliği Dalı Laboratuvarında gerçekleştirilmiş olan deney gözlemleri ile de çakışmaktadır. Ayrıca TS 500 uyarınca plak döşemeler için verilen sehim kriteri kullanılarak servis durumu için de emniyetli sehim yapabilme kontrolü yapılmıştır.

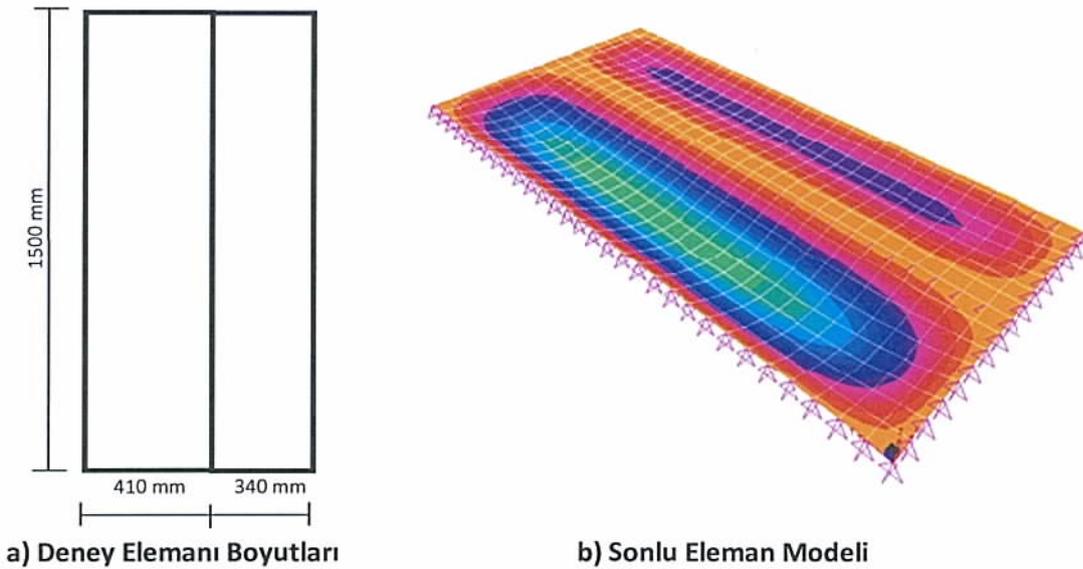
## 4. Sonuçlar

### 4.1 ODTÜ Deney Sonuçlarının Sonlu Eleman Metodu ile Modellenmesi

08.12.2007 tarihinde Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yapı Malzemeleri Mühendisliği Dalı Laboratuvarında yapılan deneylerde iki açıklıklı 750 mm x 1500 mm ebatlarına sahip üç değişik kalınlıktaki (17.9 mm, 18.3 mm, 17.2 mm) Betopan panellerin yayılı yükler altındaki yük-deplasman davranışlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Şekil 2'de gerçekleştirilen deneylerin şematik gösterimi sunulmaktadır. Deneyler yük kontrolü altında denenmiş olup her bir yükleme adımında azami deplasman ölçümü deplasman ölçerler vasıtası ile elde edilmiştir. Elde edilen yayılı yük-deplasman eğrileri Şekil 3'te sunulmaktadır.



**Şekil 1. Betopan levhaların mesnetlenme durumlarının planda şematik gösterimi (Tüm Çizgiler basit mesnet olarak görev yapan çelik kirişleri göstermektedir)**

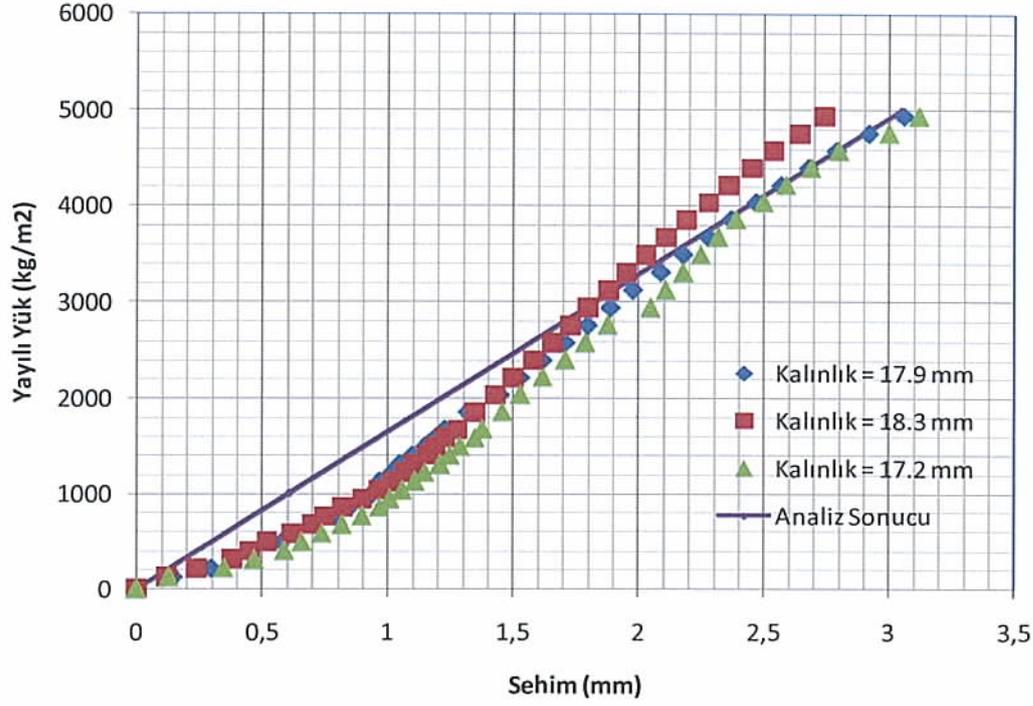


**Şekil 2. Deney Elemanı ve Matematiksel Modeli**

Deney numuneleri sonlu eleman tekniği kullanılarak Şekil 2’de sunulan sistem oluşturulmak sureti ile modellenerek yayılı yüke tabi tutulmuştur. Analizde, Betopan malzemenin elastisite modülü olarak malzeme tablolarında sunulan 5.000 MPa (en güvenli değer) değeri ve ortalama ölçülen kalınlık değeri (17,8 mm) kullanılmıştır. Elde edilen lineer elastik yük deplasman eğrisi Şekil 3’te sunulmaktadır. Görüldüğü üzere, kullanılan malzemenin elastisite modülü ile gerçekleştirilen sonlu eleman analizi, deney sonuçlarını oldukça yakın bir şekilde takip etmekte olup değişik açıklıklar için yapılacak analizlerde (bir sonraki bölümde anlatılmaktadır) kabul edilebilecek bir yaklaşımdır. Sonlu eleman analiz sonuçlarında mesnet ve açıklık azami gerilme değerleri de elde edilmiştir. Elde edilen maksimum açıklık çekme gerilmesi (plak alt yüzünde) ve maksimum mesnet çekme gerilmesi (plak üst yüzünde), 1.000 kg/m<sup>2</sup> yük için 1,1 MPa ve 3,4 MPa olarak tespit edilmiştir. Üretici tarafından sunulan HFB, Leipzig raporunda eğilme (eğilme çekme) dayanımı olan 11 MPa bu bağlamda kabul edilebilir bir

*Handwritten signature*

dayanım değeridir. Ayrıca, Tepe Betopan A.Ş tarafından ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarına gönderilen test numuneleri üzerinde yapılan basit mesnetli eğilme deneyleri de yukarıda bahsedilen Elastisite Modülü ve çekme dayanımı değerlerini (5.000 MPa ve 11 MPa) doğrulamaktadır.



Şekil 3. Deney ve Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

#### 4.2 Ebat, Malzeme Dayanımı ve Güvenlik Faktörleri ve Limit Durumlar

Üretici verilerine göre Betopan malzeme ortotropik bir özellik göstermektedir. Lif yönü ve dik istikametlerde elastisite modülü ve dayanım %13 civarında bir farklılık göstermektedir. Analizlerde bir miktar güvenli tarafta kalınarak Betopan izotropik bir malzeme olarak modellenmiş ve her iki yön için de aynı elastisite modülü (5.000 MPa) ve eğilme çekme dayanım limiti (11 MPa) HFB Leipzig raporundan alınarak kullanılmıştır. Bu yaklaşımın doğruluğu bir evvelki bölüm analiz-deney sonuç karşılaştırması ile gerçekleşmiştir.

Betopan panellerin kalınlıkları 16, 18, 24 ve 30 mm olarak tarafımıza iletilmiştir. Ancak 16 ve 18 mm kalınlığa sahip Betopan panellerde  $\pm 1.2$  mm, 24 ve 30 mm'lik levhalarda ise  $\pm 1.5$  mm kalınlık toleransı bulunduğu bildirilmiştir. Kalınlığın ortalama değerden aşağıda olabilme ihtimalinin dikkate alınması amacıyla güvenli tarafta kalınarak tüm Betopan plakların ortalama eksi tolerans kalınlığına sahip olduğu (14.8 mm, 16.8 mm, 22.5 mm, 28.5 mm) düşünülmüştür.

Betopan paneller Şekil 2'de sunulan boyutlarda ve mesnet koşullarında modellenmiştir. Her bir panel tüm çevre boyunca çelik profiller tarafından mesnetlidir. Ayrıca, panel içlerinde çelik profiller açıklıkları düşürecek şekilde ek mesnet sağlamaktadır.

Betopan panellerin limit duruma aşırı sehim veya azami gerilme durumuna ulaşma neticesinde gelebileceği düşünülmüştür. Sehim sınırı olarak TS500'de önerilen Açıklık/360 limiti, azami gerilme için ise plak herhangi bir noktasında Eğilme Çekme Gerilmesi/Emniyet Faktörü değerine ulaşılması koşuluna bakılmıştır. Emniyet faktörü, malzeme emniyet faktörü değerinin yüklemenden

*[Handwritten signature]*

kaynaklanabilecek düzensizlik faktörü ile çarpılması sonucunda elde edileceği varsayılmıştır. Betonarmede kullanılan 1,5'lik malzeme emniyet faktörü değeri Betopan ürünlerin daha az bilinen ve istatistiksel mekanik özellik dağılımının daha yayılmış olabileceği düşünülerek bu çalışmada 2 olarak alınmıştır. Yükleme düzensizlik faktörü ise yayılı yük ile noktasal yükün yaklaşık 1:2'lik bir fark yaratabileceği düşünülerek azami değer olan 2 olarak kabul edilmiştir. Bu bağlamda Betopan plaklar için emniyet gerilmesi  $11 \text{ MPa} / 4 = 2,75 \text{ MPa}$  olarak alınmıştır.

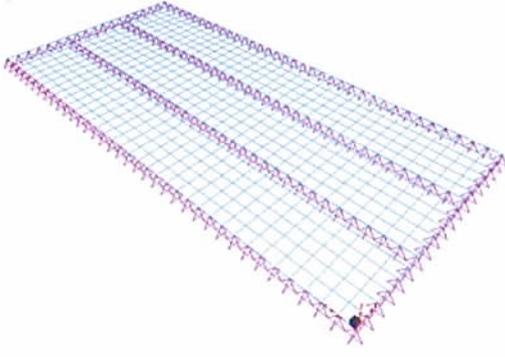
#### 4.3 Belirlenen Taşıma Gücü

Kısım 4.1'de sunulan yaklaşıma benzer bir şekilde lineer elastik sonlu eleman analiz metodu kullanılarak toplam 8 ayrı plak, her biri 4 ayrı kalınlık için modellenerek analiz edilmiştir. Kullanılan tipik sonlu eleman modelleri Şekil 4'te sunulmaktadır. Yükleme hem açıklık hem mesnet gerilmelerinin azami değerlerinin elde edilmesi için iki ayrı yükleme durumu kullanılarak tekrarlanmıştır (Şekil 5).

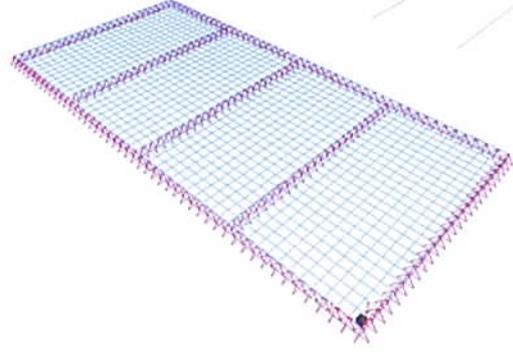
Toplam 32 ayrı Sürekli Betopan Levha geometrisi için gerçekleştirilen analiz sonuçlarından elde edilen taşıma gücü değerleri Çizelge 1'de sunulmaktadır. Her bir analiz sonucunun sunumunda, Levha uzunluğu, kirişler arası kullanılan açıklık mesafesi ve plak ortalama kalınlık değeri her bir levha tipi için aynı çizelgede belirtilmiştir. Davranışın lineer elastik olduğu dikkate alındığında, gerçek limit yük değerlerinin belirlenmesi için servis durumu için sehim limiti ( $L/360$ ) ve faktörlü yükleme durumu için azami gerilme limiti ( $2.75 \text{ MPa}$ ) değerlerine tekabül eden taşıma gücü değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca, taşıma gücüne ulaşılmadan evvel servis yüklemelerinde TS500 sehim limitinin aşılmayacağı da kontrol edilmiştir. Şekil 6'da sonlu eleman modelleri sunulan dört tarafı basit mesnetle bağlı tek ve iki açıklıklı betopan levhalar için taşıma gücü değerleri de 20 ayrı durum için Çizelge 2'de sunulmaktadır.

#### 4.4 TS 498 Azami Yük Değerleri

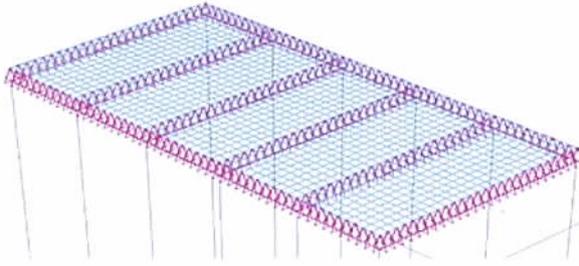
TS 498'de verilen düzgün yayılı yük hesap değerleri Çizelge 3'te sunulmaktadır. Görüldüğü üzere değişik bina ve yükleme tipleri için, değişik değerler alabilen yayılı yük miktarlarına göre ancak uygun Betopan mesnet aralığı seçildiği takdirde güvenli tarafta kalınabilir. Çizelge 1'de önerilen azami hareketli yük miktarlarının TS 498'te önerilen hareketli yük değerlerini geçmemesine dikkat edilmiştir.



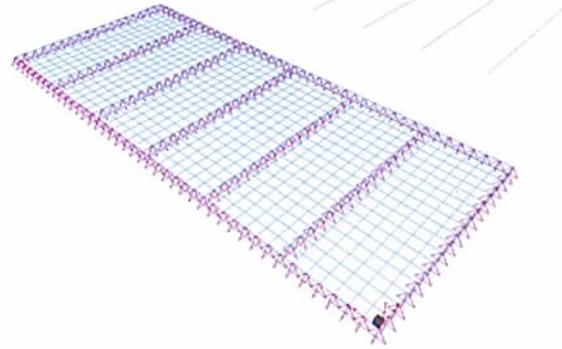
a) 3 Açıklıklı Model



b) 4 Açıklıklı Model

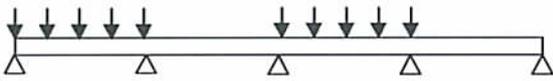


c) 5 Açıklıklı Model

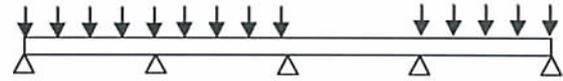


d) 6 Açıklıklı Model

Şekil 4. Kullanılan Sürekli (3-6 açıklıklı) Levha Sonlu Eleman Modelleri

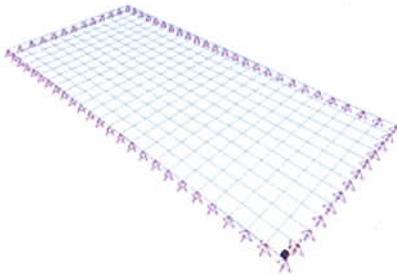


a) Azami Açıklık Gerilmeleri ve Sehim için Yükleme

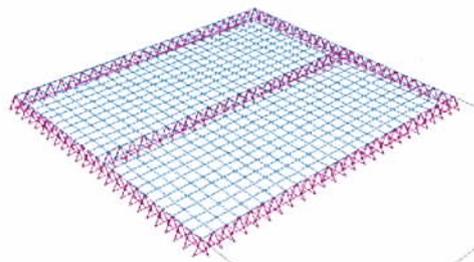


b) Azami Mesnet Gerilmeleri için Yükleme

Şekil 5. Analiz Edilen Yükleme Durumları (Sadece 4 açıklık durumu için gösterilmiştir)



a) Tek Açıklıklı Model



b) İki Açıklıklı Model

Şekil 6. Kullanılan Bir ve İki Açıklıklı Levha Sonlu Eleman Modelleri

Çizelge 1. Sürekli (3 veya daha fazla açıklıklı) Levhalar için Taşıma Gücü Değerleri

Levha Uzunlukları <sup>1</sup> (mm)	Merkezden Merkeze Destek Açıklığı (mm)	Anma Kalınlığı (mm)	Taşıma Gücü <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )
2500	417	16	500
2500	417	18	644
2500	417	24	1146
2500	417	30	1833
2800	417	16	500
2800	417	18	644
2800	417	24	1146
2800	417	30	1833
3000	417	16	500
3000	417	18	644
3000	417	24	1146
3000	417	30	1833
2800	467	16	387
2800	467	18	500
2800	467	24	887
2800	467	30	1410
3000	500	16	340
3000	500	18	437
3000	500	24	764
3000	500	30	1196
2500	500	16	340
2500	500	18	437
2500	500	24	764
2500	500	30	1196
3000	600	16	239
3000	600	18	306
3000	600	24	550
3000	600	30	859
2500	625	16	220
2500	625	18	284
2500	625	24	500
2500	625	30	809

1: 1250 mm den daha fazla uzunluğa sahip tam boydan kesilmiş parça levhaların taşıma gücü de 3 veya daha fazla açıklık olmak kaydı ile yukarıdaki çizelgeden bulunabilir.

2: Malzeme emniyet katsayısı ve yüklemekten kaynaklanabilecek düzensizlik katsayıları ve TS500'e göre kritik sehim (L/360) dikkate alınarak hesaplanmış nihai yük taşıma kapasiteleridir. Plak ağırlığı ve hareketli yük toplam değerini ifade etmektedir. Türkiye için TS498' göre Çizelge 3'te verilen değerler, yük emniyet katsayısı (Türkiye için TS 500'e göre düşey yük kombinasyonunda hareketli yük emniyet katsayısı 1,6'dır) ile çarpıldıktan sonra taşıma gücü ile karşılaştırılmalıdır.

Çizelge 2. Bir veya İki Açıklıklı (İki veya üç mesnetli) Levhalar için Taşıma Gücü Değerleri

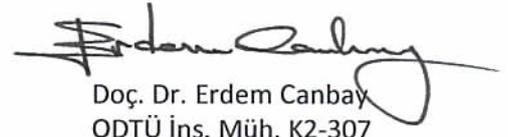
Merkezden Merkeze Destek Açıklığı <sup>1</sup> (mm)	Anma Kalınlığı (mm)	Tek Açıklıklı Durum için Taşıma Gücü <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	İki Açıklıklı Durum için Taşıma Gücü <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )
417	16	474	465
417	18	611	598
417	24	1100	1066
417	30	1719	1698
467	16	387	369
467	18	509	474
467	24	887	844
467	30	1440	1341
500	16	348	320
500	18	451	411
500	24	809	731
500	30	1250	1165
600	16	262	226
600	18	335	291
600	24	598	518
600	30	948	826
625	16	229	210
625	18	320	270
625	24	561	482
625	30	887	762

1: Uzun yön merkezden merkeze destek açıklığı 2000mm'den büyük olmayacaktır.  
2: Malzeme emniyet katsayısı ve yüklemeye kaynaklanabilecek düzensizlik katsayıları ve TS500'e göre kritik sehim (L/360) dikkate alınarak hesaplanmış nihai yük taşıma kapasiteleridir. Plak ağırlığı ve hareketli yük toplam değerini ifade etmektedir. Türkiye için TS498' göre Çizelge 3'te verilen değerler, yük emniyet katsayısı (Türkiye için TS 500'e göre düşey yük kombinasyonunda hareketli yük emniyet katsayısı 1,6'dır) ile çarpıldıktan sonra taşıma gücü ile karşılaştırılmalıdır.

Çizelge 3. TS 498'e Göre Düzgün Yayılı Düşey Hareketli Yük Hesap Değerleri

Kullanma Şekli			Hesap Değeri	
ÇATILAR Yatay veya 1/20'ye kadar eğimli	Döşemeler	MERDIVENLER (Sahanlık ve merdiven girişi dahil)	kN/m <sup>2</sup>	
1	Çatı arası odalar		1,5	
2	Zaman zaman kullanılan çatılar	Konut, teras oda ve koridorlar, bürolar, konutlardaki 50 m <sup>2</sup> 'ye kadar olan dükkanlar, hastane odaları	2	
3	Konut toleranslarının kullanılması ve çiçeklik (bahçe yapılması)	Hastanelerin mutfakları, muayene odaları, poliklinik odaları, sınıflar, yatakhaneler, anfiler	3,5	
4		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Camiler</li> <li>- Tiyatro ve sinemalar,</li> <li>- Spor dans ve sergi salonları,</li> <li>- Tribünler (oturma yeri sabit olan)</li> <li>- Toplantı ve bekleme salonları</li> <li>- Mağazalar,</li> <li>- Lokantalar</li> <li>- Kütüphaneler</li> <li>- Arşivler</li> <li>- Hafif ağırlıklı atölyeler</li> <li>- Büyük mutfaklar, kantinler</li> <li>- Mezbahalar</li> <li>- Fırınlara,</li> <li>- Büyükbaş hayvan ahırları</li> <li>- Balkonlar 10 m<sup>2</sup>'ye kadar</li> <li>- Büro, hastane okul, tiyatro sinema kütüphane depo vb. genel yapı koridorları</li> </ul>	Umuma açık yapılarda büro hastane okul, tiyatro, kütüphane kitaplık vb.	5
5		- Tribünler (oturma yeri sabit olmayan)	7,5	
6		- Garajlar (Toplam ağırlığı 2.5 tona kadar olan araçlar için)	5	

  
 Doç. Dr. Barış Binici  
 ODTÜ İnş. Müh. K2-308  
 Yapı Mekaniği Lab.  
 06531 Ankara  
 Tel: 312 - 210 24 57

  
 Doç. Dr. Erdem Canbay  
 ODTÜ İnş. Müh. K2-307  
 Yapı Mekaniği Lab.  
 06531 Ankara  
 Tel: 312 - 210 54 94