

# PROFİLLENMİŞ ÇELİK SAC-BETON KOMPOZİT DÖŞEME SİSTEMLERİNİN BOYUNA KAYMA DAYANIMININ DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Mahmut BAŞSÜRÜCÜ ve Hakan T. TÜRKER<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Mustafa Kemal Üniversitesi, 31100, İskenderun, Türkiye

## ÖZET

Bu çalışmada, profillenmiş çelik sac-beton kompozit döşemelerin boyuna kayma dayanımının belirlenebilmesi amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Uzun ve kısa açıklıklı, toplam altı adet kompozit döşeme numunesi, Eurocode 4'e göre üretilmiş ve test edilmiştir. Kompozit döşemelerde beton ve profillenmiş çelik döşeme sacı arasındaki boyuna kayma dayanımı, Eurocode 4'de belirtilen m&k ve kısmi kayma bağlantısı metotları kullanılarak hesaplanmış ve kompozit döşemelerin yapısal davranışları incelenmiştir. Ayrıca m&k ve kısmi kayma bağlantısı metotları karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit Döşeme, Profillenmiş çelik Döşeme Sacı, Boyuna kayma dayanımı

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF LONGITUDINAL SHEAR CAPACITY OF COMPOSITE SLAB SYSTEM

### ABSTRACT

In this study, to determine longitudinal shear strength of composite slab which compose profiled steel deck and concrete, experimental tests have been performed on full scale composite slabs. Six composite slabs, three long span and three short span were prepared and tested according to Eurocode 4. Longitudinal shear strength between profiled steel deck and concrete in composite slab was calculated using m&k method and partial shear connection method. Comparisons between m&k method and partial shear connection method were done.

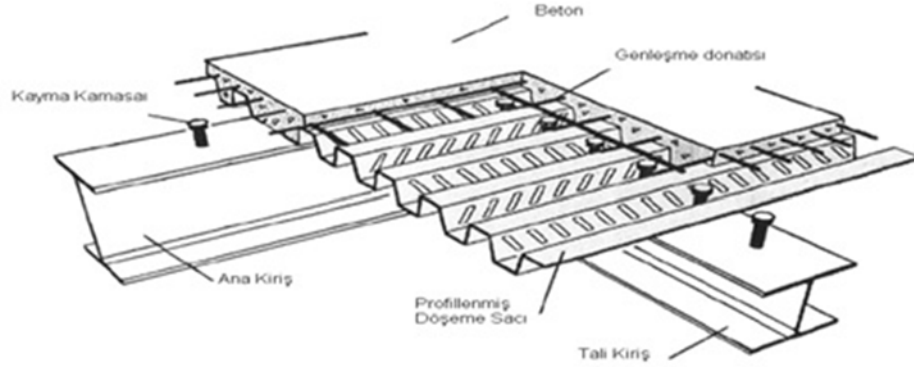
**Keywords:** Composite floor system, Profiled steel deck, Longitudinal shear strength

## 1. GİRİŞ

Dünyada çok yaygın olarak kullanılan profillenmiş çelik sac-beton kompozit döşeme sistemleri, geniş açıklıkları geçmek için kullanılmaktadır. Kompozit döşeme; profillenmiş çelik döşeme sacın normal veya hafif betonla birlikte çalışmasıdır. Profillenmiş çelik döşeme sacı, inşaat sırasında beton prizini alana kadar kalıp olarak, beton prizini aldıktan sonra ise pozitif çekme donatısı olarak görev yapar [1].

Kompozit döşeme sistemi Şekil 1' de görüldüğü gibi, ana kirişlere bağlanan tali kirişlere oturtulan çelik döşeme sacı, çelik sac üzerinden kirişlere kaynaklanan kayma kamaları (shearstud), genleşme donatısı ve betondan oluşur.

\*Tel.: +90 (326) 6135600 ; Fax: +90 (326) 6135613. e-mail: [hturker@mku.edu.tr](mailto:hturker@mku.edu.tr)



Şekil 1. Tipik kompozit döşeme detayı

Kompozit döşeme sistemleri birçok avantajlarından dolayı tercih edilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu avantajlardan bazıları; sistemin kalıp gerektirmemesi, kolay montaj edilmesi, ekonomik olması ve profillenmiş çelik sacın donatı olarak kullanılabilmesidir [2].

Kompozit döşemelerin kapasite sınır durumlarını; eğilme dayanımı, kesme dayanımı, boyuna kayma dayanımı belirlemektedir. Kesme dayanımı, çelik sacın etkisi ihmal edilip sadece betonun katkısı dikkate alınarak hesaplanır. Boyuna kayma dayanımı; profillenmiş çelik sac yüzeyinde oluşturulan girinti ve çıkıntılara, profillenmiş çelik sac formunun şekline, ilave donatı veya açıklık uçlarına yerleştirilen bağlantı araçlarına ve çelik sac beton arasındaki doğal aderansa bağlıdır [3]. Boyuna kayma dayanımı ancak ampirik formüllerle bulunabilmektedir. Bu ampirik formüllerin kullanılabilmesi içinde büyük ölçekli deneylerin yapılması gerekmektedir. Her sac formu için bu deneylerin yapılması zorunluluğu vardır. Boyuna kayma dayanımını belirlemek için Eurocode 4'te belirtilen iki metot vardır. Bunlar m&k yöntemi ve kısmi kayma bağlantısı yöntemidir [1].

İlave donatı ve açıklık uçlarında bağlantı kullanılmadan üretilen, kısa ve uzun açıklıklı kompozit döşeme deney numunelerinde, profillenmiş çelik sac yüzeyindeki girinti ve çıkıntılarının (kabartmaların) boyuna kayma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca m&k ve kısmi kayma bağlantısı metotları karşılaştırılarak, kompozit döşemelerin yapısal davranışı irdelenmiştir.

## 1.1. Boyuna Kayma Dayanımı Tasarım Metotları

Bu çalışmada boyuna kayma dayanımı, Eurocode 4'te verilen m&k ve kısmi kayma metotları kullanılarak hesaplanmıştır.

### 1.1.1. m&k Metodu

Gerçek ölçekli kompozit döşeme testlerine dayanan bu yöntemde, tasarım bağıntısı için deneylerden elde edilen karakteristik değerlerle çizilen doğrular kullanılmaktadır [1]. Test sonuçları ile elde edilen m ve k faktörleri arasındaki ilişki Şekil 4'de görülmektedir. Döşemenin b genişliği için maksimum tasarım dik kesme kuvveti dayanımı  $V_{L,Rd}$  (1) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$V_{L,Rd} = bd_p \left( m \frac{A_p}{bL_s} + k \right) \frac{1}{\gamma_{vs}} \quad (1)$$

Formülde;

m ve k: Deneysel olarak belirlenmiş faktörler

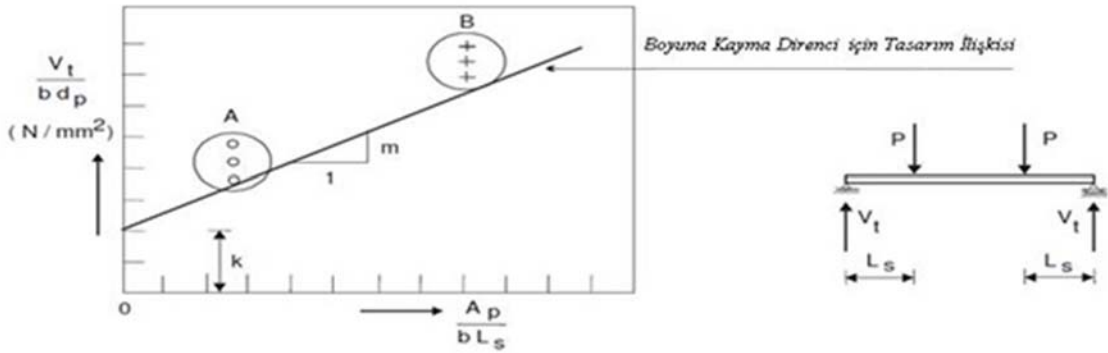
$A_p$  : Çelik sac enkesit alanı (mm<sup>2</sup>)

$L_s$  : Kayma açıklığı (Uniform yayılı yük için L/4), (mm)

b: Döşeme genişliği (mm)

$d_p$  : Çelik sac efektif ağırlık merkezinin döşeme üst kotuna uzaklığı (mm)

$\gamma_{VS}$  : 1.25 değerindeki emniyet katsayısı

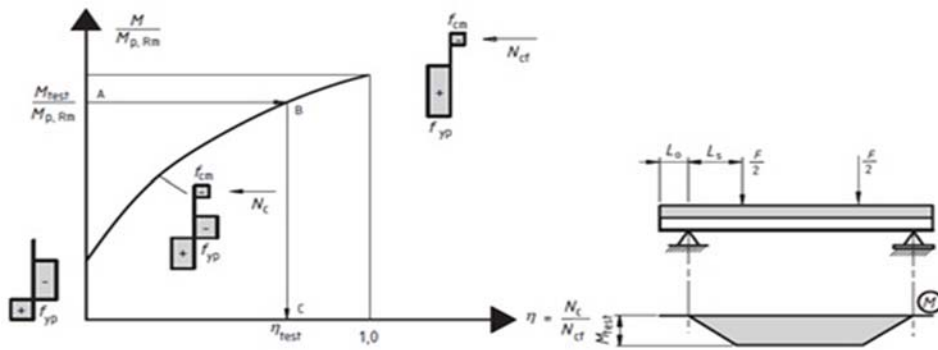


Şekil 2. Deneysel verilerden m & k faktörlerinin elde edilmesi [4].

Şekil 2, Boyuna kayma dayanımının m&k metodu ile nasıl hesaplandığını temsili olarak göstermektedir. Her bir gruptan 3'er tane olmak üzere uzun ve kısa açıklıklı, iki farklı grup için hazırlanmış kompozit döşeme numunelerinin deney sonuçları şekil üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca Eurocode 4, katsayıları iki kesme açıklığında test edilip kaydedilen en küçük değerın %10 azaltılmışı olarak belirler ve bu değerleri eğim ve kesme noktasından belirlenebilen ilişkiyi tanımlamak için kullanır.

### 1.1.2. Kısmi Kayma Bağlantısı Metodu ( $\tau$ Metodu)

Kompozit döşemelerde boyuna kayma dayanımının belirlenmesi amacıyla kullanılan bu yöntemde, boyuna kayma dayanımı  $\tau_{u,Rd}$  döşeme testleri ile belirlenir. Her bir test elemanında kayma bağlantısı derecesini belirlemek için, profillenmiş çelik sac ve betonun deneylerle belirlenen dayanımları ve ölçülen boyutları kullanılarak elde edilen kısmi etkileşim diyagramı, Şekil 3'de görülmektedir [4].



Şekil 3. Kısmi Kayma Bağlantısı derecesinin belirlenmesi [4].

$$M = N_c z + M_{pr.Rd} \quad (2a)$$

$$z = h_t - 0.5x - e_p + (e_p - e) \frac{N_c}{A_p f_{yp} / \gamma_{ap}} \quad (2b)$$

$$x = \frac{N_c}{b \cdot 0.85 f_{cm}} \leq h_c \quad (2c)$$

(2a), (2b) ve (2c) eşitlikleri ile betonun taşıyabileceği aksel basınç kuvvetine karşı gelen moment değeri M hesaplanır. Yukarıdaki ifadelerde,

$N_c$  : Betondaki aksel kuvvettir ve değeri, sıfır (eğer etkileşim yoksa) ve  $N_{cf}$  (tam etkileşim varsa) değerleri arasında değişebilir.

$h_t$  : toplam döşeme derinliği

$e_p$  : etkili sac alanının tarafsız ekseninin çelik sac alt kenarına uzaklığı

$e$  : etkili sac alanının tarafsız ekseninin çelik sac alt kenarına uzaklığı

$f_{cm}$  : betonun ortalama basınç dayanımı

$h_c$  : çelik sac üzerindeki beton yüksekliği

$M_{pr.Rd}$  : etkili sac enkesitinin plastik moment dayanımıdır.

Maksimum eğilme momenti  $M_{test}$  tekil yük altındaki deneylerden elde edilen değerdir. Çelik sac ve beton ara yüzeyinde boyuna kayma dayanımı (3) eşitliği ile hesaplanır:

$$\tau_u = \frac{\eta N_{cf}}{b(L_s + L_0)} \quad (3)$$

Formülde;

$\eta$  : kayma bağlantısı derecesi

$N_{cf}$  : tam etkileşim sağlandığında (tam kayma bağlantısı) basınç kuvveti,

$b$  : döşeme genişliği

$L_s$  : kayma açıklığıdır.

Her bir test serisinin sonunda elde edilen minimum  $\tau_u$  değerlerinin %10 azaltılmasıyla karakteristik kayma dayanımı  $\tau_{u,Rd}$  tasarım kayma dayanımı ise  $\gamma_v = 1.25$  ile oranlanmış karakteristik değerdir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Profillenmiş Kompozit Döşeme Sacı

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere piyasadaki özel bir firmadan profillenmiş çelik sac temin edilmiştir. Kullanılan çelik sacın et kalınlığı 1mm'dir. Kullanılan profillenmiş çelik sacına ait kesit geometrik detaylar Tablo 1'de verilmiştir. Sacın akma dayanımı yapılan testlerde 300 Mpa olarak belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Profillemiş çelik sac geometrik detayları

Et kalınlığı t (mm)	Yükseklik h (mm)	Genişlik b (mm)	Çelik Sac Alanı $A_p$ (mm <sup>2</sup> )	Çelik Sac Alanı $A_p$ (mm <sup>2</sup> /m)	Tarafsız eksen e (mm)	Plastik Tarafsız eksen ep (mm)
1.00	80	900	1200	1333	37.8	33.58

### 2.1.1. Kompozit Döşeme Numunelerinin Üretilmesi

Kompozit Döşeme deney numunelerinin üretiminde hazır beton kullanılmıştır. Ortalama beton basınç dayanımı 35 Mpa olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada iki grup halinde (uzun ve kısa açıklıklı) toplam 6 adet kompozit döşeme numunesi üretilmiştir (Şekil 4). Üretilen numunelerin geometrik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan profillemiş döşeme sacı enkesit detayı Şekil 5'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Kompozit Döşeme Numune Detayları

Kompozit Döşeme Numuneleri						
Döşeme	L (mm)	L <sub>0</sub> (mm)	L <sub>s</sub> (mm)	hf (mm)	b (mm)	$A_p$ (mm <sup>2</sup> )
CS-1	3200	100	800	150	900	1200
CS-2	3200	100	800	150	900	1200
CS-3	3200	100	800	150	900	1200
CS-4	2000	100	500	150	900	1200
CS-5	2000	100	500	150	900	1200
CS-6	2000	100	500	150	900	1200

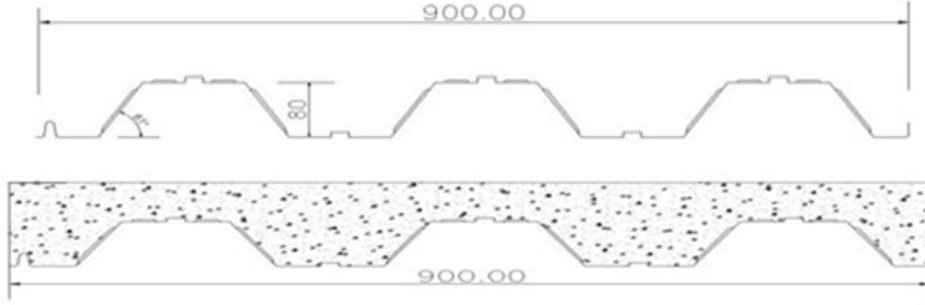
Deney numunelerinin üretilmesinde L/4 yükleme mesafelerinde, kesme ve eğilme bölgelerini ayırmak ve betonun çekme gerilmesi almasını engellemek amacıyla crack inducer yerleştirilmiştir [5] (Şekil 4).

Kompozit döşemelerde profillemiş çelik sacın geometrik özelliklerinin boyuna kayma dayanımına etkisi inceleneceğinden uç ankrajı, ek donatı kullanılmamıştır.



**Şekil 4.** Kompozit Döşeme Üretimi

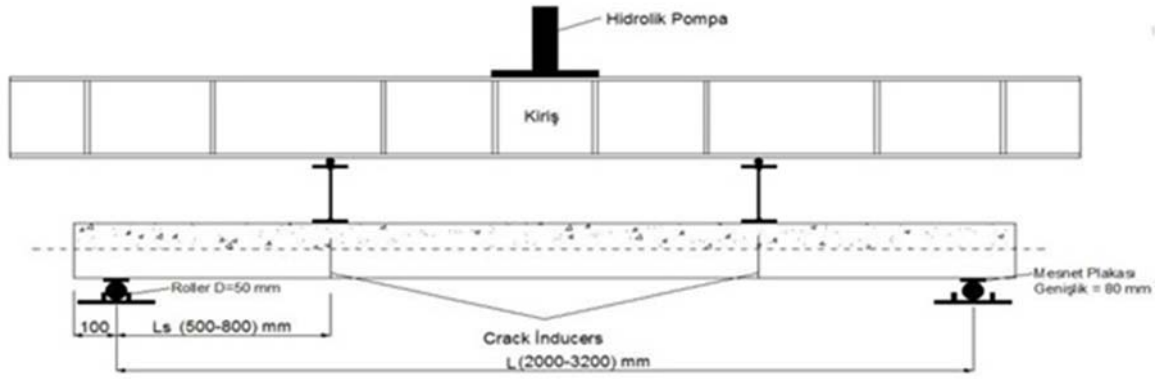
*PROFİLLENMİŞ ÇELİK SAC-BETON KOMPOZİT DÖŞEME SİSTEMLERİNİN BOYUNA KAYMA DAYANIMININ DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ*



Şekil 5. Profillenmiş çelik sac ve kompozit döşeme enkesiti

### 2.1.2. Yükleme ve Test Düzeni

Şekil 6'da deney düzeneğinin yükleme noktaları, mesnet koşulları ve çatlak oluşturulması temsili olarak gösterilmiştir. Yük çerçevesi ve numune deneyleri ile ilgili fotoğraflar Şekil 7'de gösterilmektedir.

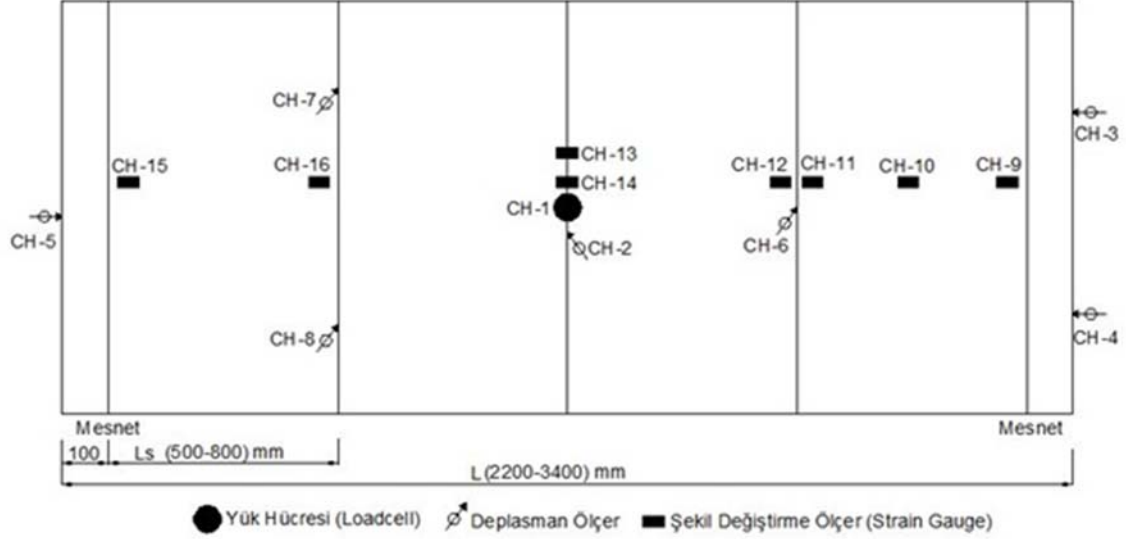


Şekil 6. Kısa ve Uzun Açıklıklı Numunelerde Kullanılacak Yükleme ve Mesnet Durumu



Şekil 7. Deney düzeneği

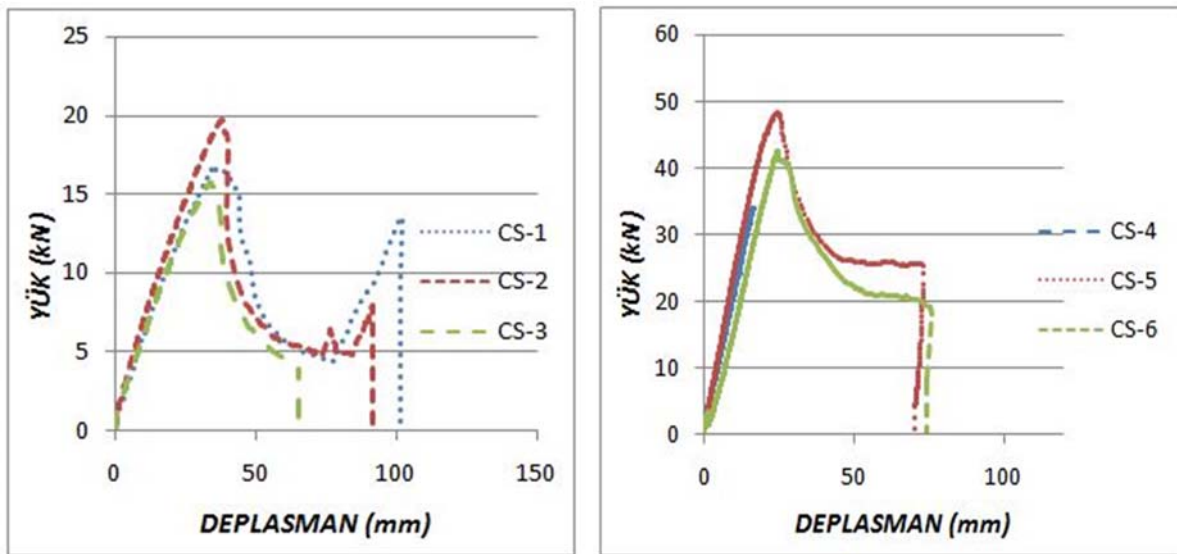
Şekil 8'de kompozit döşeme deneyi esnasında yük, deplasman ve birim şekil değiştirme okumaları için yerleştirilen sensörlerin konumları uzun ve kısa kayma açıklığına sahip kompozit döşemeler için gösterilmiştir. Deneysel esnasında beton ile profillenmiş çelik sac arasındaki kaymayı ölçmek amacıyla (end slip), hassas deplasman ölçerler yerleştirilmiştir. Ayrıca açıklık ortasında ve L/4 yükleme noktalarında dikey deplasman ölçümleri yapılmıştır. Döşeme sacına yerleştirilen gerinim pulları aracılığıyla birim şekil değiştirmeler ölçülmüştür.



Şekil 8. Kısa ve Uzun Açıklıklı Numunelerde Kullanılacak Ölçüm Düzeni

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

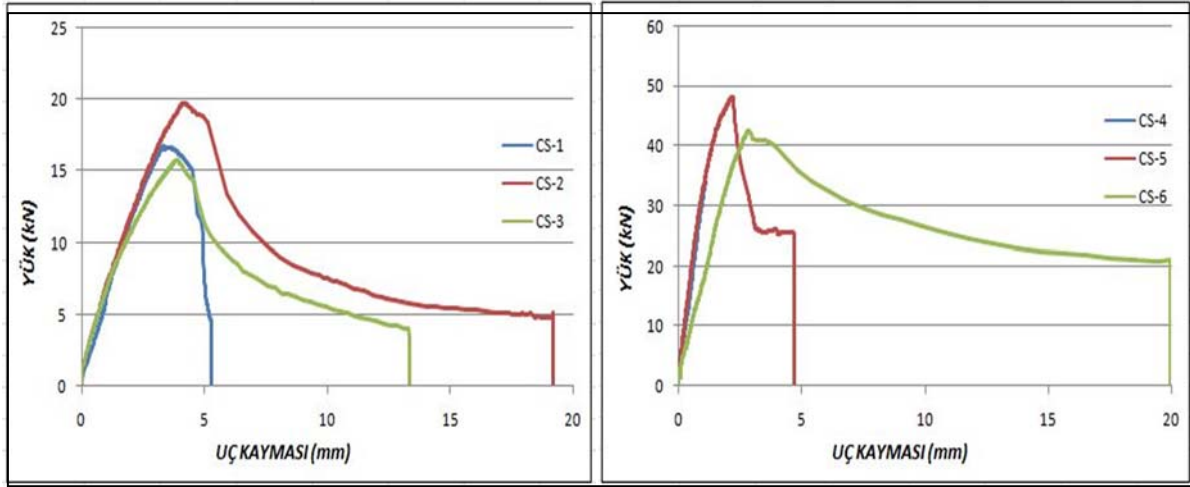
Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, uzun ve kısa açıklıklı kompozit döşeme deney numunelerine ait yük-deplasman ve yük-uç kayması arasındaki ilişki Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir. Her açıklık için üç adet deney yapılmıştır. CS-4 kısa açıklıklı kompozit döşeme deneyi esnasında meydana gelen elektrik kesintisinden dolayı veri okuması tam olarak yapılamamıştır.



Şekil 9. CS-1, CS-2, CS-3 ve CS-4, CS-5, CS-6 Kompozit Döşemeleri Yük (CH-1)-Deplasman (CH-2) İlişkisi



PROFİLLENMİŞ ÇELİK SAC-BETON KOMPOZİT DÖŞEME SİSTEMLERİNİN BOYUNA KAYMA DAYANIMININ DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ



Şekil 10. CS-1, CS-2, CS-3 ve CS-4, CS-5, CS-6 Kompozit Döşemeleri Yük (CH-1)-Uç kayması (CH-5) ilişkisi

Tablo 3. m & k katsayılarının hesaplanması

Döşeme	Ls (mm)	Döşeme Ağırlığı (N)	Wt (N)	Vt (N)	hf (mm)	Ap (mm <sup>2</sup> /m)	e (mm)	dp (mm)	b (mm)	Ap/b.Ls	Vt/b.dp
CS-1	800	9080	17461	13271	150	1200	37.8	112.2	900	0.001667	0.131417
CS-2	800	9080	18401	13741	150	1200	37.8	112.2	900	0.001667	0.136071
CS-3	800	9080	16516	12798	150	1200	37.8	112.2	900	0.001667	0.126738
CS-4	500	6620	41703	24162	150	1200	37.8	112.2	900	0.002667	0.23927
CS-5	500	6620	44316	25468	150	1200	37.8	112.2	900	0.002667	0.252208
CS-6	500	6620	39090	22855	150	1200	37.8	112.2	900	0.002667	0.226332

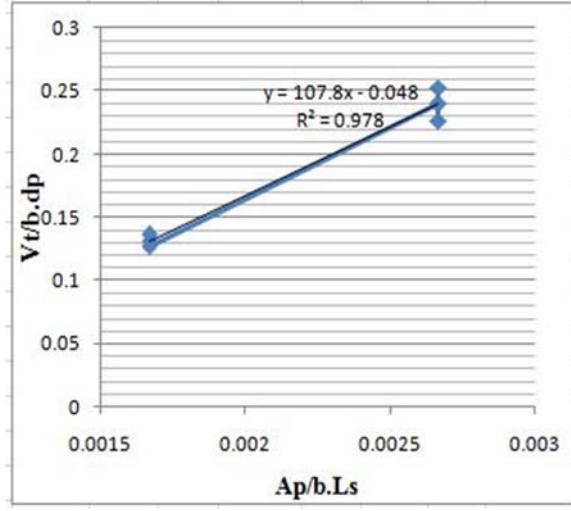
Tablo 4. Kısmi kayma bağlantısı metodu hesapları

Döşeme	Mtest (kNm)	Mtest/b (kNm/m)	Mtest/Mp,Rm (kNm/m)	η	τu (N/mm <sup>2</sup> )
CS-1	10.61	11.79	0.442	0.222	<b>0.0629</b>
CS-2	10.99	12.21	0.457	0.244	<b>0.0691</b>
CS-3	10.23	11.37	0.426	0.200	<b>0.0567</b>
CS-4	12.08	13.42	0.503	0.307	<b>0.1305</b>
CS-5	12.73	14.14	0.530	0.345	<b>0.1466</b>
CS-6	11.42	12.69	0.475	0.270	<b>0.1148</b>

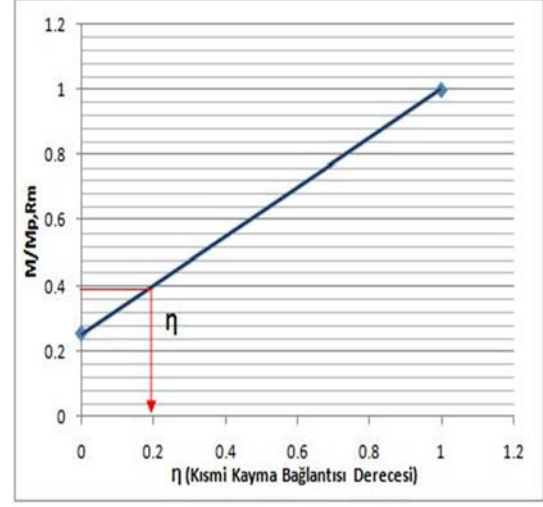
m ve k faktörleri, sırasıyla mekanik kenetlenme ve sürtünmenin kesme aktarımına katkısını ifade ederler. Tablo 3 ve Tablo 4 Eurocode 4 standardına göre yapılmış deney sonuçlarına göre hesapları göstermektedir. Ayrıca Eurocode 4 katsayıları, iki kesme açıklığında tespit edilip kaydedilen en küçük değerlerin %10 azaltılmışı olarak belirlenir ve bu değerleri eğim ve kesme noktasından belirlenebilen ilişkiyi tanımlamak için kullanılır.



Parametreler; azaltma yapılmadan  $m=107.8 \text{ N/mm}^2$ ,  $k=-0.048$  olarak bulunmuştur (Şekil 11). Şekil 12'de kısmi kayma bağlantısı derecesinin bulunuşu gösterilmiştir.



Şekil 11. m-k parametrelerinin elde edilmesi diyagramı



Şekil 12. Kısmi bağlantı derecesi diyagramı

Bulunan m&k ve  $\tau$  değerleri kullanılarak uzun açıklıklı döşeme kapasite hesapları m&k ve  $\tau$  metodu kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 5. m&k ve kısmi kayma bağlantısı metotlarının karşılaştırılması

Döşeme	m (N/mm <sup>2</sup> )	k (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	Deney Wdeney (kN/m <sup>2</sup> )	m&k Wdizayn (kN/m <sup>2</sup> )	$\tau$ metodu Wdizayn (kN/m <sup>2</sup> )	Wm&k/W $\zeta$	m&k hata (%)	$\tau$ hata (%)
CS-1	107.8	-0.048	0.0629	9.21	9.23	9.62	1.04	-0.22	-4.45
CS-2	107.8	-0.048	0.0629	9.54				3.25	-0.84
CS-3	107.8	-0.048	0.0629	8.88				-3.94	-8.33

#### 4. SONUÇLAR

Profillenmiş kompozit döşeme sacı ile üretilen kompozit döşemelerin kapasite hesapları yarı ampirik metotlarla yapılmaktadır. Bu çalışmada kompozit döşemelerin göçme biçimlerinden olan boyuna kayma dayanımının hesabı için kullanılan m&k ve  $\tau$  metotları için gerekli olan ampirik değerler, m&k katsayıları ve  $\tau_u$  değeri deneylerde kullanılan sac formu için bulunmuştur. Bu ampirik değerlerin her sac formu için deneysel çalışmalarla belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada bulunan ampirik katsayılar (m, k ve  $\tau_u$ ) kullanılarak, m&k metodu ve kısmi kayma bağlantısı metodu arasında karşılaştırma yapılmış ve sonuçların makul yakınlıkta çıktığı görülmüştür.

Kompozit döşeme numuneleri için yapılan deneylerde, döşemelerin yapısal davranışının benzer olduğu gözlemlenmiştir. Bütün döşemelerde göçme yükü, ilk uç kaymasına (0.1 mm) sebep olan yükün %10'undan fazla olduğu için sünek bir davranış gösterdikleri gözlemlenmiştir.

Uzun açıklıklı kompozit döşemelerde, profillenmiş kompozit döşeme sacı ve beton arasındaki uç kaymasının, daha küçük yük değerlerinde başladığı gözlenmiştir. Bu davranış, kayma modundan eğilme moduna yaklaştıkça sac ile beton arasındaki uç kaymasının daha küçük yük değerlerinde ortaya çıktığını göstermektedir.

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma 111M809 nolu proje kapsamında, TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Deneysel çalışmalarda katkısı olanlara bu vesile ile teşekkür ederiz.

## **KAYNAKLAR**

- [1] Yorgun C. Kompozit Döşemeler, Türk Yapısal Çelik Derneği Yayınları, 2002.
- [2] Shobaki E. H, The Behaviour of Profiled Steel/Concrete Composite Slabs, School of Environment & Life Sciences Division of Civil&Environmental Engineering University of Salford, Salford, UK, Ph. D. Thesis, 2000.
- [3] Türker H. T., Türker D., Polat M. İ., Tekin Ö., Çelik Sac-Beton Kompozit Döşemelerin Genetik Algoritma Tekniği ile Optimize Edilmesi, 3. Çelik Yapılar Sempozyumu, Gaziantep, pp.241-250, 2009.
- [4] 1994-1-1, Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, European Committee for Standardization.
- [5] LOPES E., SIMOES R., Experimental and Analytical Behaviour of Composite Slabs, Steel and Composite Structures, Vol:8, 361-388,2008.
- [6] Arda T.S., Yardımcı N., Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı, Birsen Yayınevi, 2000.
- [7] Özden Ş., Okay F., Kompozit Döşeme Trapezi kullanılarak imal edilen Kompozit döşemelerde Taşıma Kapasitesi Deneyleri ve m-k Metodu Katsayıları, Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, 2008.
- [8] CHEN S.,Load Carrying Capacity of Composite Slabs with Variousend Constraints, School of CivilEngineering, Tongji University, Shanghai 200092, People's Republic of China, 2002.
- [9] MARİMUTHU, V., SEETHARAMAN, J., JAYACHADRAN, S. A., CHELLAPPAN, A., BANDYOPADYAY, T. K., DUTTA, D., Experimental Studies on Composite Deck Slabs to Determine the Shear-Bond Characteristic (m-k) Value of the Embossed Profiled Sheet, J.Constructional Steel Research, 2006.
- [10] YILMAZ, S., Kompozit Döşeme Elemanlarda Pozitif Moment Taşıma Kapasitesinin İrdelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [11] LAM, D., QURESHI, J., Prediction of Longitudinal Shear Resistance of Composite Slabs With Profile Sheeting to Eurocode4, The Regency Steel Asia International Symposium on İnnovations in Structural Steel Singapore, RSA-ISISS, 2008.
- [12] JOSHANI M.,Nonlinear Finite Element Analysis of Steel-Concrete Composite Slabs Using Explicit Dynamics Procedure, (Master Thesis), Universiti Teknologi Malaysia, Fakulti Kejuruteraan Awam, 2010.