# 7.3 ELASTİK ZEMİNE OTURAN PLAKLARIN DAVRANIŞI (BTÜ'DE YAPILAN DENEYLER)

## 7.3.1 BTÜ'de Yapılan Deneyler

Braunschweig Teknik Üniversitesi'nde [15] ve Thames Polytechnic'de [16] Elastik zemine oturan çelik tel donatılı plakların mekanik davranışı incelenmiştir. Braunschweig'deki deneylerde, mantar veya kauçuk zemine oturan 3000 x 3000 x 150 mm boyutlarındaki çelik tel donatılı ve hasır donatılı plaklar üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.12 Elastik zemine oturan plak deney düzeni [15]

Şekil 7.12'de görüldüğü gibi plakların merkezinde 120 x 120 mm lik bir alana yük uygulanmış ve 6 adet plakta mekanik davranışı yük-kıvrılma deformasyonları kaydedilerek incelenmiştir [15]. Thames Polytechnic'de 9 adet ÇTDB ve hasır donatılı beton plak üzerinde benzer biçimde karşılaştırılmalı deneyler yapılmıştır.

Braunschweig'de [15] yapılan araştırmanın plaklarında kullanılan betonun sınıfı C30, çimento dozajı 325 kg/m<sup>3</sup> ve Alman Beton Birliği esaslarına göre kıvamı (yayılma deney sonucu) 29 cm'dir. Braunschweig'deki deneyler aşağıdaki 6 adet plak üzerinde yapılmıştır.



P1, P2 ve P3 plakları mantar alt tabana, P4, P5, ve P6 plakları ise kauçuk alt temele oturtulmuştur.

Alt temel reaksiyon modülü mantar zemin için 0,025 N/mm<sup>3</sup>, kauçuk zemin için 0,05 N/mm<sup>3</sup> dür. Alt zemin reaksiyon modülünden ve lif türünden bağımsız olarak plakta yük taşıma ve deformasyon davranışı Şekil 7.13'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 7.13 Farklı bölgeler için yük-deformasyon eğrileri

20

II. Bölgede radyal çatlaklar artmakta, III. Bölgede plastik mafsal (akma doğrusu) şekillenmektedir. Şekil 7.14'de ise plaklara ait yüksek taşıma kapasitesinin ve ilk çatlak yüklerinin yatak katsayısının fonksiyonu olarak değişimi gösterilmektedir.



Şekil. 7.14 Plaklarda yük taşıma kapasitesi (F<sub>u</sub>) ve ilk çatlak yükünün (F<sub>cr</sub>) yatak katsayısının (k) fonksiyonu olarak gösterilmesi

#### 7.3.2 Değerlendirme

Bu şekil teorik ve deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyumun olduğunu göstermektedir. Alman Beton Birliği önerileri göz önüne alınarak Braunschweig'de yapılan araştırma iki farklı kavrama göre yapılmıştır:

- Elastik teoriye göre değerlendirme (Durum 1)
- Çatlamış durumu göz önüne alarak değerlendirme (Durum 2)

#### 7.3.2.1 Deney sonuçlarının teorik yaklaşımlarla karşılaştırılması

Elastik alt tabana oturan plakların dayanımını değerlendirmek için Elastik Teoriye dayanarak aşağıda verilen Westergaard bağıntısı kullanılmaktadır.

$$\sigma_T = \frac{0.275}{h} \cdot F \left[ \log \frac{E_c \cdot h^3}{k \cdot r^{*4}} - 0.436 \right]$$
(7.9)

burada, V = Poisson oranı (0,15) , F = yük, E<sub>c</sub> = betonun elastisite modülü, h = plak kalınlığı ve r<sup>\*</sup> = yük alanının yarıçapı

r<sup>\*</sup>'ın hesaplanmasında, gerçek yük temas alanının yarıçapı aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \tag{7.10}$$

Eğer r>1,25.h ise  $r^* = r$ 

r<1,25.h ise plağın merkezindeki yük temas alanı  $45^\circ$ lik yük dağılım esasına göre hesaplanabilir.

$$r^* = \sqrt{\frac{A}{\pi}} - 0,675.h \tag{7.11}$$

Eğilme çekme dayanımı f<sub>ft,fl</sub> Denklem 7.9'daki  $\sigma_T$ için yerdeğiştirilebilir ve F'ye göre dönüşüm yaparak, F<sub>er</sub> ilk çatlak yükü aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$F_{cr} = \frac{f_{fr,fl} \cdot h^2}{0,275.(1+\nu) \left[ \log \frac{E_c \cdot h^3}{k \cdot r^{*4}} - 0,436 \right]}$$
(7.12)

Böylece, Westergaard'a göre plaklar için teorik çatlak yükü Tablo 7.5'deki gibi hesaplanabilir

Tablo 7.5 Deney plaklarının teorik ilk çatlak yükü değerleri

	Plak numuneleri					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Çatlak yükü (kN)	69,98	89,08	77,76	89,72	81,03	81,30

### 7.3.2.1.a Elastisite teorisine göre değerlendirme (Durum I)

Elastik bir zemine oturan çelik tel donatılı beton plak için kesit zorları ( $N_u$ ,  $M_u$ ) belirlenmiş ve aşağıda güvenlik katsayısı ile arttırılmış yükler için hesaplama yapılmıştır.

$$K_{N} \cdot \frac{N_{U}}{A_{0}} + \frac{M_{U}}{A_{0}} \le hesapf_{fi,fl}$$

$$(7.13)$$

Plakta normal kuvvet etkisi olmadığından Denklem 7.13 aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{M_{U}}{W_{0}} \le hesapf_{f_{f,f_{l}}}$$
(7.14)

Denklem (7.9) ve (7.14)'i kullanarak, göçme yükü aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$F_{U} = \frac{hesapf_{j_{1},j_{1}}h^{2}}{0,275.(1+\nu)\left[\log\frac{E_{c}.h^{3}}{k.r^{*4}} - 0,436\right]}$$
(7.15)

ve servis yükü ise  $F_{serv} = \frac{F_U}{\gamma}$  olur. Alman Beton Birliğine göre güvenlik katsayısı

$$\gamma = \frac{\gamma_o}{1 + K_D \cdot \frac{nomf_{ft,fl}}{hesf_{ft,fl}}}$$
(7.16)

burada,  $\gamma$  = güvenlik katsayısı,  $\gamma_o$  = güvenlik katsayısının temel değeri,  $K_D$  = düzeltme katsayısı ve

$$\frac{nomf_{ft,fl}}{hesf_{ft,fl}} \le 1,0 \tag{7.17}$$

Gerekli güvenlik katsayısı aşağıdaki endüstriyel zeminlerin koşullarına bağlı olarak Tablo 7.6'dan alınabilir.

- I : normal endüstriyel zemin
- II : çatlak genişliği sınırlı endüstriyel zemin
- III : çatlak açılmasına göre arttırılmış gereksinimler.

Tablo 7.6 Endüstriyel zemin uygulama alanına göre güvenlik katsayısı

Güvenlik katsayısı	Uygulama alanı				
Guvenink Katsayisi	Ι	II	III		
Esas değer $\gamma_o$	1,5	2,0	2,5		
Düzeltme katsayısı $K_D$	0,10	0,25	0,40		

Kancalı uçlu çelik tel donatılı plakta Alman Beton Birliği'nin önerisine göre servis yükü ve gerçek göçme yük arasındaki güvenlik katsayısı 5'den büyük çıkmıştır [15].

#### 7.3.2.1.b Yük taşıma kapasitesine göre değerlendirme (Durum II)

Kesit zorlarının hesaplanması için elastik bir yataklanma ve akma çizgisinde azaltılmış bir kesit alanı rijitliği varsayılmaktadır. Çatlamamış plağın rijitliği akma çizgileri arasında uygulanmaktadır. Akma çizgisi teorisine göre değerlendirme için akma çizgisinde en büyük gerilme eğilme deneylerinden türetilen eşdeğer eğilme dayanımının ( nom  $f_{ft,fl}$ ) hesap değeridir. Gerilme tahkiki aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$K \cdot \frac{Nu}{Ao} + \frac{Mu}{Wo} \le nom f_{f_{i,f_i}}$$
(7.18)

Normal kuvvetin olmaması halinde

$$\frac{Mu}{Wo} \le nom f_{f_{i,f_i}} \tag{7.19}$$

Ayrıca kesit zorları elastik teoriye göre de hesaplanabilir. Böyle bir durumda çatlamamış plak rijitliğinin en az 1/3' ü hesapla göz önüne alınmalıdır. Aşağıda Alman Beton Birliği önerilerine dayanılarak ve sonlu eleman yöntemi kullanılarak akma çizgisi teorisi esasına uygun bir yaklaşımla çelik tel donatılı plaklar için böyle bir tasarım yöntemi yapılmaktadır. Denklem (7.9) ve (7.13)'ü kullanarak göçme yükü aşağıdaki gibi yapılabilir:

$$Fu = \frac{nom f_{fr,fr} \cdot h^2}{0,275(1+\gamma) \left[ \log \frac{Ec \cdot h^3}{3kr * 4} - 0,436 \right]}$$
(7.20)  
$$r^* = \sqrt{\frac{A''}{\pi}} - 0,675h$$
(7.21)

r<sup>\*</sup>, A'' yük temas alanına göre saptanmalıdır ancak, yük plağın yüzeyine kadar 45<sup>0</sup>'lik açı altında yük dağılımı göz önünde bulundurulmalıdır. Hesaplarda  $f_{ft} = 0,37$  eşdeğer  $f_{ft,fl}$  alınmalıdır.

Şekil 7.15'de çelik tel donatılı ve donatısız plaklara ait deneysel yük-merkezdeki düşey yer değiştirme eğrileri teorik eğrilerle karşılaştırılmaktadır.



Şekil 7.15 Çelik tel donatılı ve donatısız plaklara ait deneysel yük - merkezdeki düşey yer değiştirme eğrilerinin teorik yöntemlerle karşılaştırılması