

Deneylerde sayısal sonuçların karşılaştırılmasından ilk yöntemin (Durum 1) bu yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesini gerçekçi biçimde tanımlayamadığı bilinmektedir. Böyle bir güçlük çatlamış kesit hesaba katılarak yük taşıma kapasitesi yöntemi yardımıyla aşılabılır. İkinci yöntem (Durum 2) deney sonuçlarıyla iyi bir uyum sergilemektedir. İkinci yöntem, sadece endüstriyel zeminlerin tasarımında değil aynı zamanda beton yollar, hava alanı betonları, depolar ve benzeri yapıların tasarımında da kullanılabilir.

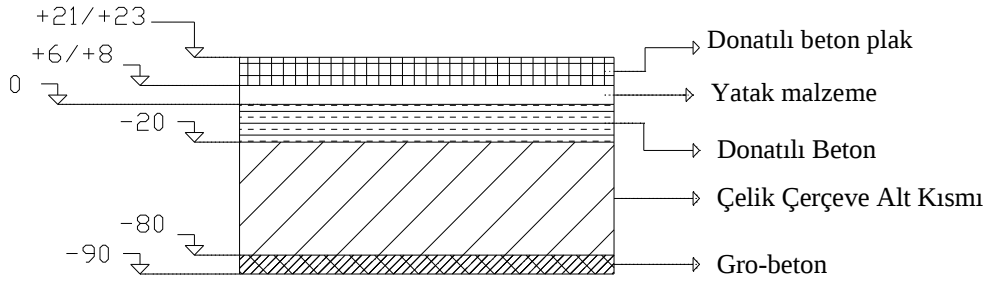
7.4 ELASTİK ZEMİNE OTURAN PLAKLARIN DAVRANIŞI (İ.T.Ü.'DE YAPILAN DENEYLER)

7.4.1 Giriş

Elastik zemine oturan çelik tel donatılı beton plakların merkezine etkiyen zımbalama yükü altındaki davranışı İ.T.Ü.'de son üç yıl boyunca detaylı biçimde incelenmiştir [17-20]. Plak merkezine etkiyen bu tekil yük, endüstriyel zeminin kullanım amacına bağlı olarak tekerlek yükünü, raf ayağının ilettiği yükü veya bir makine elemanının aktardığı yükü temsil etmektedir.

7.4.2 Plak Deneyleri

Deneylerde 3000 mm x 3000 mm x 150 mm boyutunda 8 adet çelik tel donatılı beton plak kullanılmıştır. Çelik tel içeriğinin ve plağın oturduğu elastik zeminin yatak katsayısının mekanik davranışa etkisinin incelenebilmesi amacıyla, dört farklı zemin yatak katsayısı ve üç farklı çelik tel içeriği kullanılmıştır. Deneye tabi tutulan plakların oturduğu zemin kesiti Şekil 7.16'da görülmektedir. Kesit, plak orta çizgisinde Y eksenine paralel alınmıştır.



Şekil 7.16 Donatılı beton plak altında kalan zeminin kesiti [17]

P1, P2, P3, P4, P5, P6 ve P9 plaklarının altında yatak olarak kullanılan Ekstrüde Polistiren Köpük (Styrofoam) levhalarının ve P7'nin altında kullanılan kauçuğun özellikleri Tablo 7.7'de verilmektedir. Tablo 7.8'de ise önemli bazı zemin türleri için ortalama yatak katsayısı değerleri verilmiştir.

Tablo 7.7 Donatılı beton plak altında yatak olarak kullanılan malzemelerin özellikleri [17-20]

Plak altında yatak olarak kullanılan malzeme	Donatılı beton plak	Elastisite modülü (N/mm ²)	Yatak katsayısı (N/mm ³)	Yoğunluk (kg/m ³)	Basınç dayanımı (%10 deform. için)	Yatak kalınlığı (mm)
Styrofoam (Floormate 500 SL-T)	P1, P2	4,85	0,081	40-48	500 kPa	60
Styrofoam (Roofmate 300 SL)	P3, P4 ve P9	3,10	0,039	32-38	300 kPa	80
Styrofoam (Floormate 200 SL-T)	P5, P6	2,16	0,018	30-36	200 kPa	120
Kauçuk (Arsan)	P7	8,28	0,0138	1250	*	60

(*) Kauçuğun Shore sertliği 60 ± 5 dir.

Tablo 7.7 ve Tablo 7.8'in karşılaştırılmasından görüldüğü gibi Floormate 500 SL-T "sıkı kum", Roofmate 300 SL "orta sıklıkta kum", Floormate 200 SL-T "dolgu toprak" veya "gevşek kum", ve Kauçuk ise "sıkı kum ve çakıl" türü zemine karşı gelmektedir.

Tablo 7.8. Önemli zemin türleri için ortalama yatak katsayıları

Zemin Türü	Ortalama Yatak Katsayıları (N/mm ³)
Balçık, turba	< 0,002
Plastik kil	0,005 – 0,010
Yarı sert kil	0,010 – 0,015
Sert kil	0,015 – 0,030
Dolgu toprak	0,010 – 0,020
Gevşek kum	0,015 – 0,030
Orta sıklıkta kum	0,020 – 0,050
Sıkı kum	0,050 – 0,100
Sıkı kum ve çakıl	0,100 – 0,150
Sağlam şist	> 0,5
Kaya	> 2

Tablo 7.9’da deneye tabi tutulan plaklar ile bunlara ait çelik tel içerikleri, plak merkezinde ortalama düşey yerdeğiştirmeler, köşelerde ölçülen düşey yerdeğiştirme miktarları, ölçülen en yüksek çatlak genişliği değerleri ile göçme yükleri verilmektedir.

Tablo 7.9 Plakların taşıdığı en büyük yükler, ölçülen büyük çatlak genişliği ile en yüksek düşey yerdeğiştirme değerleri [17-20]

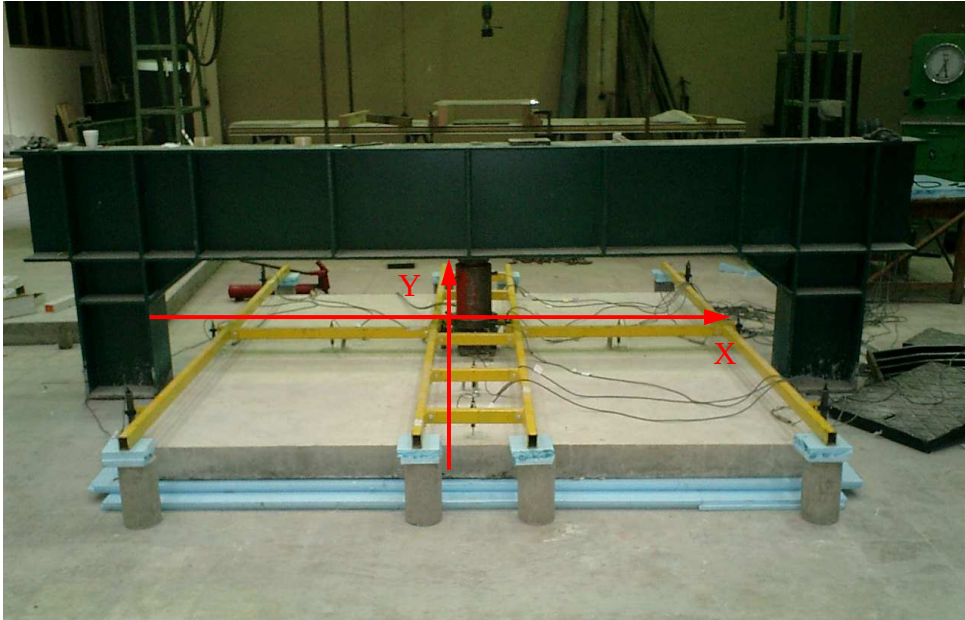
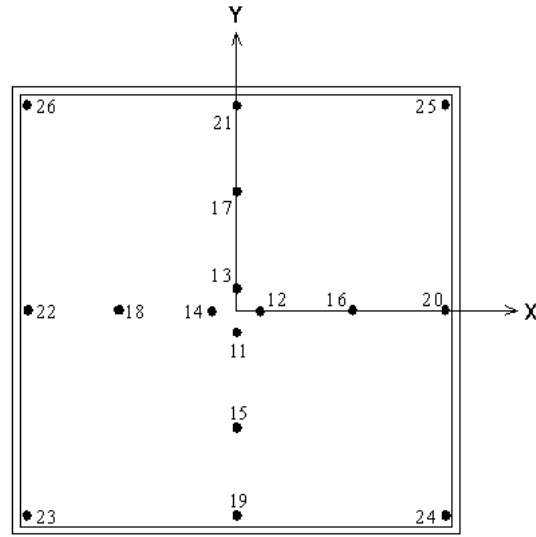
Plak No.	Çelik tel içeriği (kg/m ³)	Plağın taşıdığı en büyük yük (kN)	Köşelerde ölçülen ort. en büyük yerdeğiştirmeler (+), mm	Plak ortasında ort. en büyük çökme (-) (mm)	Ölçülen en büyük çatlak genişlięi (mm)
P1	30	552	15,66	11,60	1,8
P2	20	456	13,69	13,48	2,0
P3	30	424	19,84	14,31	2,0
P4	20	373	22,10	17,32	2,3
P5	30	369	30,50	16,01	2,3
P6	20	302	26,37	17,44	2,3
P7	15	671	36,18	8,10	2,7
P9	15	372	27,00	16,60	3,0

İlk çatlak yükleri ise tüm plaklarda 100-110 kN arasında değişmiştir.

İlk altı plakta (P1-P6) kullanılan betonun ortalama silindir basınç dayanımı ve elastisite modülü sırasıyla 32,7 N/mm² ve 26,8 kN/mm², son iki plakta (P7 ve P9) ise söz konusu mekanik özellikler sırasıyla 50,6 N/mm² ve 29,2 kN/mm² dir. Plak deneyleri üretimden sonra yaklaşık 120 gün içinde yapılmıştır. Mekanik özellikler plak deneyleriyle eşzamanlı olarak elde edilmiştir. Plakların üretiminde tek tip çelik tel kullanılmıştır. Teller kancalı uçlu olup narinliği 80, boyu 60 mm ve çekme dayanımı 1100 N/mm² dir. Deneylerde düşey yerdeğiştirmeleri ölçmek için (1/1000) mm duyarlıklı 16 adet transdüser Şekil 7.17’de görüldüğü gibi plağa monte edilmiştir. Şekil 7.17’de ölçüm yapılan noktalar, yükleme çerçevesi transdüserleri taşımak için tasarlanmış olan bir ölçüm çerçevesi ve buna bağlı transdüserler ile işaretlenen X-Y eksen takımı görülmektedir. Ölçme kapasitesi 50 mm’ye kadar olan transdüserlerin 4 adedi (11, 12, 13 ve 14) merkeze ve 4 adedi (23, 24, 25 ve 26) köşelere ve geri kalan 8 adet 25 mm’lik transdüser ise X-Y doğrultularında (15, 16, 17, 19, 20, 21 ve 22) yerleştirilmiştir. Tüm plaklarda merkezde 150 mmx150 mm’lik bir kesite zımbalama yükü uygulanmıştır. Yük vereninin civarında merkeze yerleştirilen transdüserler Şekil 7.18’de görülmektedir.

Şekil 7.19’da P1 plağında X eksenindeki düşey yerdeğiştirmeler görülmektedir. Şekilde, ölçülen şekil değiştirmelerin negatif olanları çökmeyi, pozitif olanları kıvrılmayı (kalkmayı) göstermektedir.

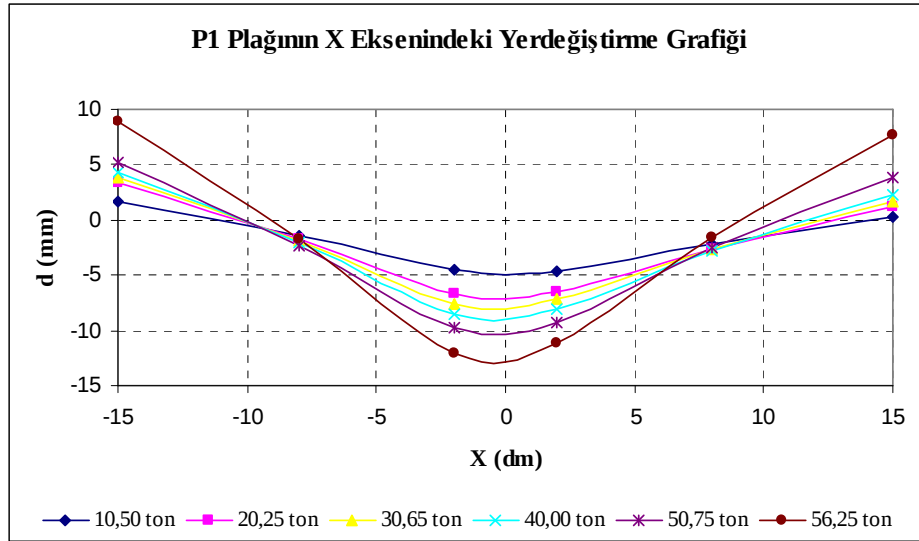
Şekil 7.20’de kenarlarda oluşan çatlaklar görülmektedir. Deneyler sırasında her 100 kN’luk yükleme adımımda plak kenarlarında oluşan çatlakların genişlikleri ölçülmüştür. Şekil 7.20’de, tipik iki çatlak gösterilmektedir. Her plak için ölçülen en büyük çatlak genişlikleri Tablo 7.9’da verilmektedir.



Şekil 7.17 Deney düzeninin genel görünüşü, transdüserlerin yerleştirildiği ve düşey yerdeğişirmelerin kaydedildiği noktalar ve eksenlerin plak üzerinde gösterimi [18]



Şekil 7.18 Yük vereninin yerleştirildiği plak merkezi ve monte edilen transdüserler [17]



Şekil 7.19 P1 plâğında X eksenindeki düşey yerdeğiştirmeler [17]



Şekil 7.20 a) P2 plağında X eksenine paralel kenarın ortasında gelişen çatlak [17]



Şekil 7.20 b) P9 plağında Y eksenine paralel kenarın ortasında gelişen çatlak [20]

Çatlak, plak kenarlarında gelişmiş, göçme olduktan sonra plak yüzeyinde belirginleşmemiştir. Ancak plak, deneyden sonra kenara çekici ile alındıktan sonra plak altındaki çatlaklar Şekil 7.21’de görüldüğü gibi üst yüzeyde belirginleşmiştir.



Şekil 7.21 P2 plağının üst yüzeyinde çatlağın yayılış biçimi [17]

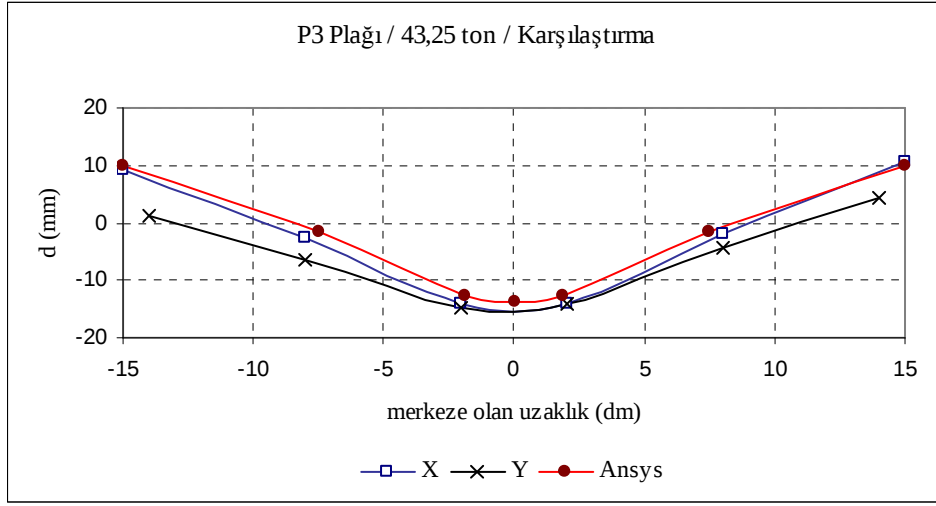
Deneyler sırasında düşey yönde en yüksek yerdeğiştirmelerin beklendiği üzere köşelerde olduğu görülmüştür (Şekil 5.22).



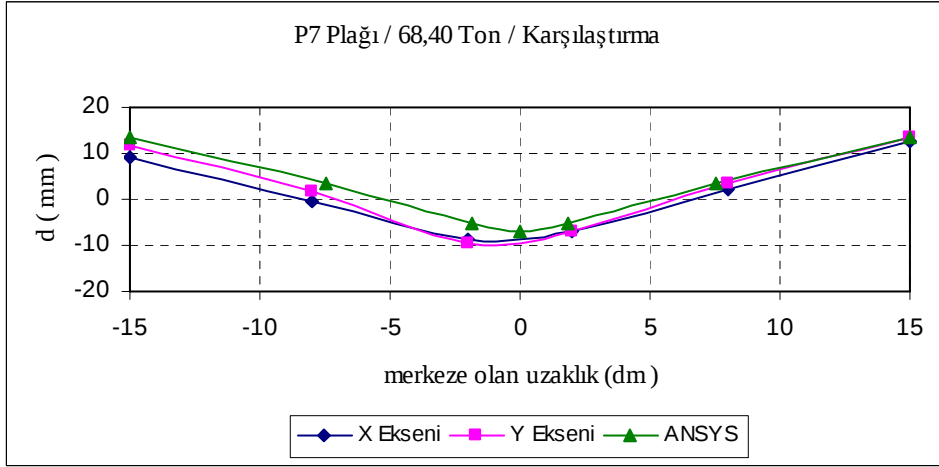
Şekil 7.22 P2 plağının köşesinde düşey yerdeğiştirme (kıvrılma) bölgesinin yakından görünüşü [17]

7.4.3 Ansys ile Çözüm

Çalışmada, plaklar Ansys sonlu eleman programı kullanılarak doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Kullanılan eleman tipi Solid 65'dir. Bu, yapısal analiz problemlerinde betonarme ve çimento esaslı kompozit malzemelerin modellenmesinde kullanılan elemandır. Tüm plaklarda X ve Y yönündeki düşey yerdeğiştirmeler Ansys ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan tipik iki örnek Şekil 7.23 ve 7.24'de gösterilmektedir.



Şekil 7.23 P3 plâğının 424 kN'luk yük altında X ve Y yönündeki düşey yerdeğiştirmelerin Ansys ile yapılan hesapla karşılaştırılması [17]

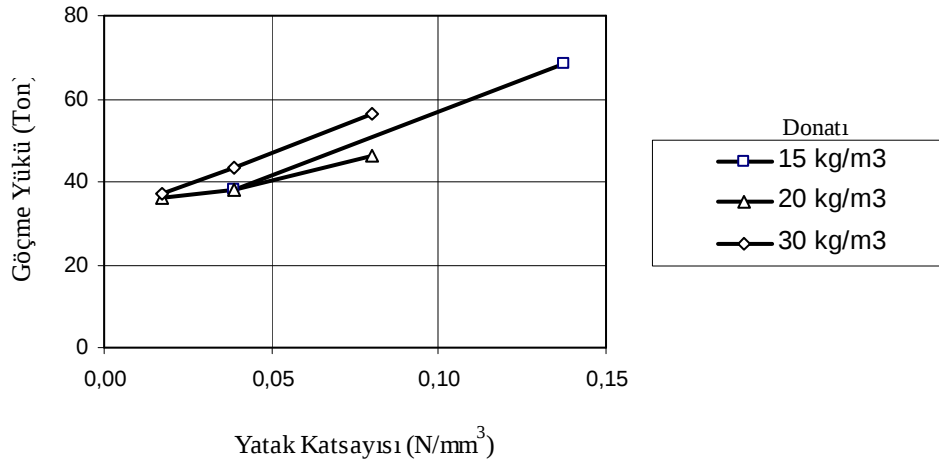


Şekil 7.24 P7 plâğında 671 kN'luk yük altında X ve Y yönündeki düşey yerdeğiştirmelerin Ansys ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması [20]

Şekil 7.23'ün incelenmesinden görüldüğü gibi Ansys ile yapılan hesaplama ile transdüserle yapılan deneysel ölçme değerleri arasında özellikle X doğrultusundaki düşey yerdeğiştirmeler arasında iyi bir uyum vardır.

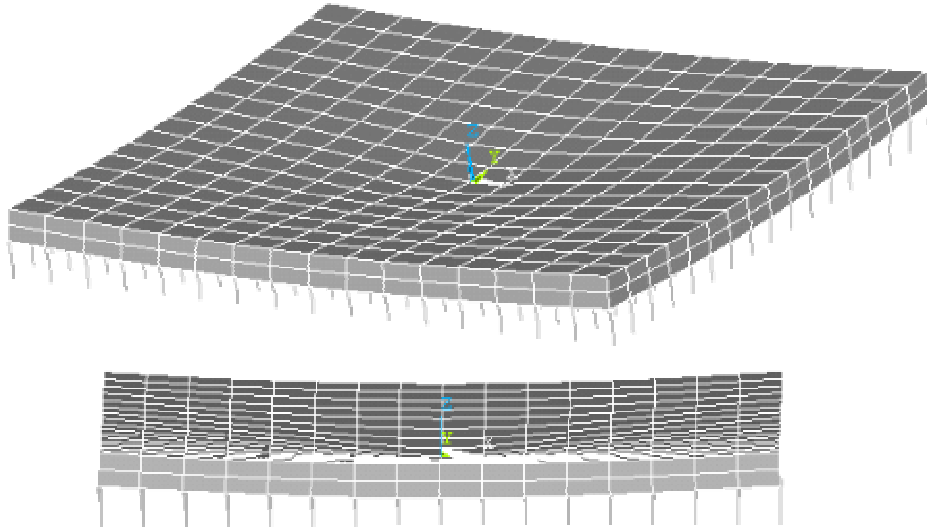
Şekil 7.24'de görüldüğü gibi Ansys ile yapılan hesaplardan hem X hem de Y yönünde ölçülen düşey yerdeğiştirmelere yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Şekil 7.25’de plağın yatak katsayısı ile taşıdığı maksimum yük arasındaki ilişki tüm plaklar için verilmektedir. Bu şeklin incelenmesinden görüldüğü gibi yatak katsayısı yükseldikçe plağın taşıdığı en büyük yük artmaktadır.

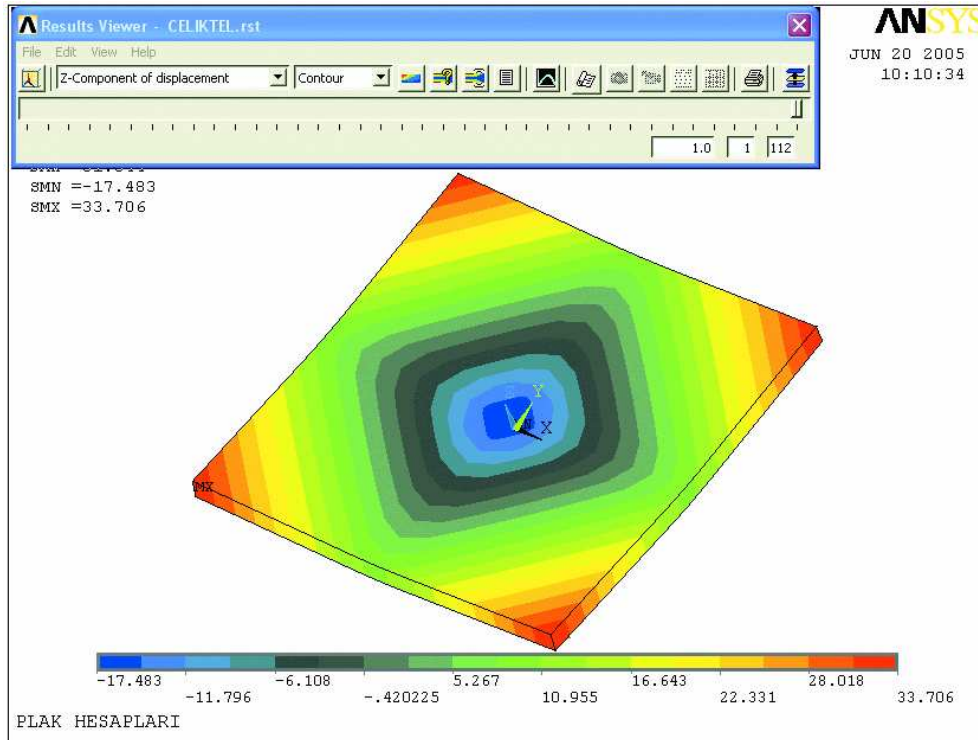


Şekil 7.25 Yatak katsayısı – Göçme yükü ilişkisi [20]

Ansys ile modellemede P6 plağının deforme olmuş hali Şekil 7.26’da, maksimum ve minimum düşey yerdeğiştirme değerleri ise Şekil 7.27’de verilmektedir.



Şekil 7.26 P6 plağının deforme olmuş hali [19]



Şekil 7.27 P6 plağının maksimum ve minimum deplasman değerleri [19]

7.4.4 Sonuçlar

Sekiz plak üzerinde yapılan deneylerin sonuçları ile gerçekleştirilen Ansys modellemesi sonucu elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ansys ile yapılan hesaplamalarla deneysel olarak transdüserlerle ölçülen düşey yerdeğiştirme değerleri arasındaki uyum yeterlidir.
- Plaklarda kaydedilen en büyük çatlak genişlikleri 1,8 ila 3,0 mm arasında değişmiştir.
- Plakların ilk çatlak yükleri 100 ila 110 kN arasında kalmıştır.
- Karşılaştırılabilen deney sonuçlarına göre, aynı miktar çelik tel içeren plaklarda zemin yatak katsayısının etkisi aşağıdaki gibi özetlenebilir:
 - Zemin yatak katsayısının yükselmesi plağın yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır.
 - Yük seviyeleri aynı iken, yatak katsayısı büyük olan zemine oturan plaklardaki düşey yerdeğiştirme değerleri diğerlerine kıyasla daha düşüktür.
 - Aynı yük seviyesi için, yatak katsayısı büyük olan zemine oturan plaklardaki çatlak genişlikleri diğerlerine göre daha küçüktür.

- Maksimum yükte, diğer bir deyişle göçme durumunda, yatak katsayısı büyük zemine oturan plaklardaki en büyük çatlak genişlikleri diğerlerine kıyasla daha düşüktür.
- v) Aynı tür zemine oturan plaklarda tel içeriğinin artması aşağıdaki sonuçları doğurmaktadır.
- Tel içeriğindeki artış yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır.
 - Aynı yük seviyesinde, tel içeriği fazla olan plaktaki düşey yerdeğiştirme değeri daha küçüktür.
 - Aynı yük düzeyinde, tel içeriği fazla olan plakta çatlak genişlikleri daha düşüktür.
 - En büyük yükte, diğer bir deyişle plağın göçmesi sırasında, ölçülen en büyük çatlak genişlikleri daha küçüktür.

Kaynaklar

1. Özkul, M.H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., ve Uyan, M., Beton, THBB Yayını, İstanbul Aralık 1999, 122s.
2. Ang, A.H.S. and Tang, W.H., Probability concepts in engineering planning and design, Vol. 1: Basic Principles, 1975, 409 p.
3. Taylor, G.D., Materials in construction, Longman Scientific and Technical, Essex, Second Edition, 1994.
4. Garber, G., Design and construction of concrete floors, Edward Arnold, London, 1991, 287 p.
5. Taşdemir, M.A., Bayramov, F., İlki, A. ve Yerlikaya, M., Prefabrik elemanlar için çelik tel donatılı betonlar, Beton Prefabrikasyon, Temmuz 2002., Sayı 63, s. 5-12.
6. ACIFC, Steel fibre reinforced concrete industrial ground floors, Association of Concrete Industrial Flooring Contractors, Warwickshire, 24 p.
7. Gebman, M., Application of steel fiber reinforced concrete in seismic beam-column joints, MSc Thesis, San Diego State University, San Diego.
8. Bayramov, F., Taşdemir, C. and Taşdemir, M.A., Optimisation of steel fibre reinforced concretes by means of statistical response surface method, Cement and Concrete Composites, Vol. 26, 6, 2004, pp. 665-675.
9. Bayramov, F., Taşdemir, C. and Taşdemir, M.A., Optimum design of cement-based composite materials using statistical response surface method, 5th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, 25-27 September 2002, pp.725-734.
10. Vondran, G.L., Applications of steel fibre reinforced concrete, Concrete International, November 1991, pp.44-49.
11. Falkner, H., Teutsch, N. and Klinkert, H., 1999. Leistungsklassen von stablfaserbeton, Institut für Baustoffe, Massivbau and Brandschutz, Braunschweig, 36 p.
12. Bayramov, F., Çelik tel donatili betonların eğilme halinde mekanik davranışı, Doktora tez izleme raporu, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
13. Bayramov F., İlki A., Taşdemir C., Yerlikaya M., Taşdemir M.A. and Yerlikaya M., SFRCs for concrete roads in heavily trafficked situations, The 9th International Symposium on Concrete Roads, Istanbul, Turkey, 27-30 April 2003.
14. Skurdal, S., Evaluation of test methods for fiber reinforced concrete, Technical Report, Dr. Techn. Olav Olsen A.S., Lysaker, 1989.

15. Falkner, H. and Teutsch, M., Comparative investigations of plain and steel fibre reinforced industrial ground slabs, Technical Report No. 102, TU Braunschweig.
16. Thames Polytechnic, Comparative tests on plain, fabric reinforced and steel fibre reinforced concrete ground slabs, Faculty of the Build Environment, Technical Report. TP/B/1, Dratford, September 1989, 34p.
17. Gökarp, İ., Elastik zemine oturan çelik tel donatılı plakların tekil yük altındaki davranışının deneysel ve sayısal analizi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2004, 83s.
18. Turan, Ö.T., Elastik zemine oturan çelik tel donatılı beton plakların tekil yük altındaki davranışının deneysel ve sayısal incelenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2004, 56s.
19. Uluşan, G., Elastik zemine oturan çelik tel ve çelik hasır donatılı beton plakların tekil yük altındaki davranışının sayısal analizi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2005, 116s.
20. Aldoğan, E., Elastik zemine oturan çelik tel ve çelik hasır donatılı beton plakların tekil yük altındaki davranışının deneysel incelenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz 2005, 141s.