



**Makale
(Article)**

Sonlu Eleman Yazılımı İle Ankrajın Doğrusal Olmayan Kesme Davranışının Belirlenmesi

İffet Feyza ÇIRAK*, **Salih YILMAZ****, **Hasan KAPLAN****

*Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Mim. Fak. İnşaat Müh. Böl., Isparta/TÜRKİYE

**Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl., Denizli/TÜRKİYE

feyzacirak@sdu.edu.tr

Özet

Kimyasal ankrajlar farklı zamanlarda imal edilen yapı elemanlarının arasındaki yük aktarımının sağlanması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ankrajların önemli bir kısmı da kayma etkilerine maruz kalmaktadır. Dolayısıyla, ankrajların kayma yükleri altındaki davranışlarının araştırılması önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, farklı zamanlarda imal edilen yapı elemanlarının arasındaki yük aktarımını sağlayan ankrajların kesme davranışını belirlemek için farklı mühendislik disiplinlerinde yaygın şekilde kullanılan ANSYS yazılımı ile doğrusal olmayan modellemeler yapılmıştır. Programda girdi olarak kullanılan parametrelerde yapılan değişikliklerin sonuçlara olan etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, aynı model üzerinde bazı parametrelerde yapılan küçük değişikliklerin birbirinden çok farklı sonuçlar ortaya çıkarabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kimyasal Ankraj, Güçlendirme, Kayma Davranışı, Doğrusal Olmayan Analiz

Determination of Nonlinear Shear Behavior of Anchor With Finite Element Software

Abstract

Chemical anchors are widely used to ensure transfer of the loads between the structural elements which are constructed at different times. A significant part of these anchors are exposed to shear loads. Therefore, investigation of the anchor behavior under shear loads is important. In this study, nonlinear modelling is verified for determining shear behavior of anchors ensuring load transfer between the structural elements constructed different times by using ANSYS Software that is widely used in different engineering disciplines. The effect of the changes in parameters used as input to the results is investigated. As a result, it is discussed that, small changes in input parameters on the same model can expose very different results.

Keywords : Chemical Anchor, Strengthening, Shear Behavior, Nonlinear Analysis

Bu makaleye atf yapmak için

Çırak İ.F., Yılmaz S., Kaplan H., "Sonlu Eleman Yazılımı İle Ankrajın Doğrusal Olmayan Kesme Davranışının Belirlenmesi" Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2011,7(1) 28-38

How to cite this article

Çırak İ.F., Yılmaz S., Kaplan H., "Determination of Nonlinear Shear Behavior of Anchor With Finite Element Software" Electronic Journal of Construction Technologies, 2011,7(1) 28-38

1. GİRİŞ

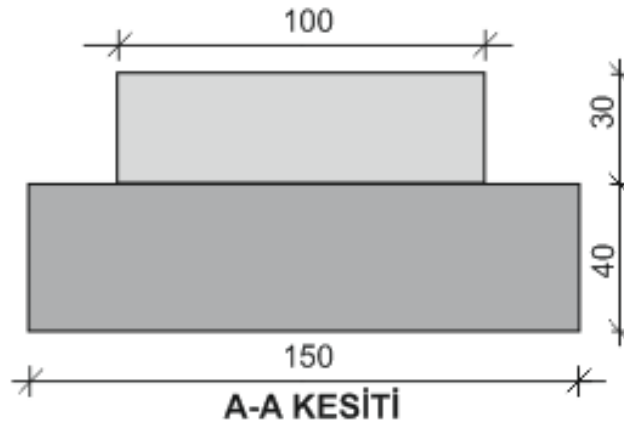
Mühendislik uygulamalarında betonarme yapılar yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu tür binaların tasarımı yapılırken, daha çok deneysel yöntem ve sonuçlara başvurulmaktadır. Ancak karmaşık ve büyük sistemlerin çözüm ve tasarımlarının gerçekleştirilmesinde sonlu eleman yöntemi de gerçekçi sonuçlar sağlayabilmektedir [1].

Bilgisayar sistemlerindeki gelişmeye paralel olarak yapısal analizlerde doğrusal olmayan yöntemlerin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Ancak, yapılan bazı araştırmalarda kullanılan yazılımın dikkate aldığı bazı parametrelerin doğrusal olmayan davranışı ciddi miktarda değiştirebildiği gösterilmiştir [2]. Katı modelleme yapan bazı programlarla betonarme elemanların davranışına yönelik çalışmalar da yürütülmektedir [3]. Katı modelle yapılan çözümlerde sağlıklı sonuca ulaşabilmek için malzeme model ve davranışlarının ve mesnetlenme şartlarının bilgisayar yazılımlarına gerçekçi olarak yansıtılabilmesi gerekmektedir [4]. Yapılan literatür araştırmasında ANSYS ile betonarme elemanlarda yapılan çalışmaların eğilme davranışının araştırılması konusunda yoğunlaşma görülmektedir [1,5,6]. Ancak betonarme elemanlarda kesme davranışının hâkim olduğu durumlara yönelik ANSYS’de yapılan çalışmalar ise sınırlı düzeydedir [7]. ANSYS ile yapılan çalışmalar incelendiğinde, açık ve kapalı çatlak yük aktarım katsayılarının sırasıyla 0.0001 ve 0.85 [5], 1 ve 1 [8] gibi farklı değerlerde alındığı görülmüştür. Ayrıca, Moaveni [6] çalışmasında, donatısız beton için açık ve kapalı çatlak yük aktarım katsayılarının sırasıyla 0.25 ve 0.70, donatılı normal dayanımlı betonda açık çatlak yük aktarım katsayısının sırasıyla 0.35-0.40, kapalı çatlak yük aktarım katsayısının ise 0.65; donatılı yüksek dayanımlı betonda açık çatlak yük aktarım katsayısının 0.75-0.80, kapalı çatlak yük aktarım katsayısının ise 0.90 olabileceğini ifade etmiştir.

Önceki çalışmalar değerlendirildiğinde katı modellerle yapılan doğrusal olmayan analizde önerilen parametre aralıklarının oldukça geniş olabildiği görülmektedir. Bu çalışmada önceki çalışmalarda önerilen betonun göçme moduna ve sürtünme katsayılarına ait farklı değerlerde yapılan değişikliklerin analiz sonuçlarına etkileri incelenmiştir.

2. MALZEME ve METOT

ANSYS yazılımı ile ölçüleri Şekil 1’de verilen modeller oluşturularak Tablo 1’de bulunan farklı parametreler için analizler yapılmıştır. Alttaki temel tabakası, beton kalitesi C10 olacak şekilde modellenmiş, 12 mm çapa sahip ankrajlar, 20 cm ara ile gömme derinliği 10Φ olacak şekilde ekilmiştir. Alttaki temel bloğu ile ankrajların arasındaki aderansın sağlanması için bağlayıcı olarak epoksi modellenmiş, yüksek dayanımlı beton olarak modellenen yükleme blokları ile ankrajların üzerleri kapatılmıştır.



Şekil 1. ANSYS modelinde kullanılan eleman ölçüleri [9]

Tablo 1. ANSYS modelinde kullanılan eleman parametreleri

Parametre	Analiz modeli detayları
Temel beton sınıfı (C)	C10
Blok beton sınıfı	C25
Ankrajlar arası mesafe	20 cm
Ankraj çapı (D, mm)	12
Ankraj derinliği (L)	10 Φ (Φ : ankraj çapı)

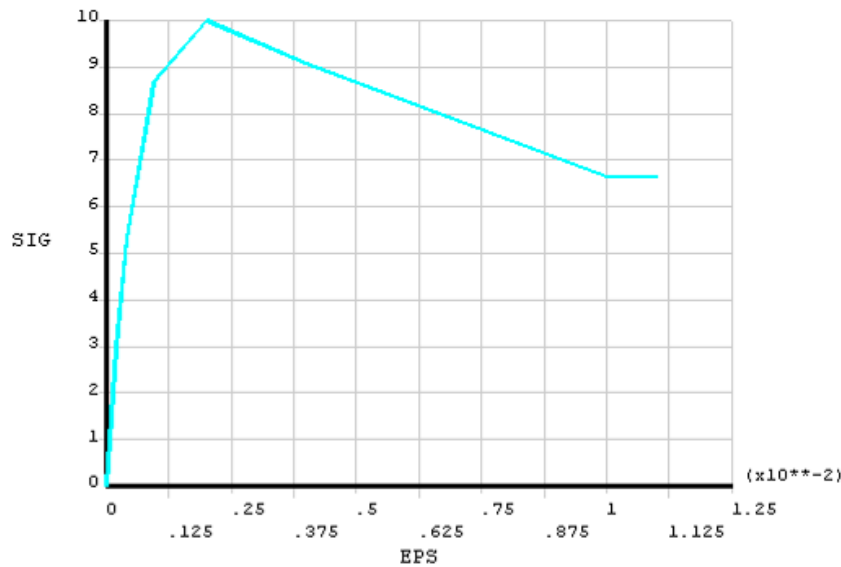
Bu çalışmada, temel bloğu C10, ankraj çapı 12 mm ve ankrajın gömme derinliği 12 cm olan modelin kesme yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışını araştırmak için analizler gerçekleştirilmiştir.

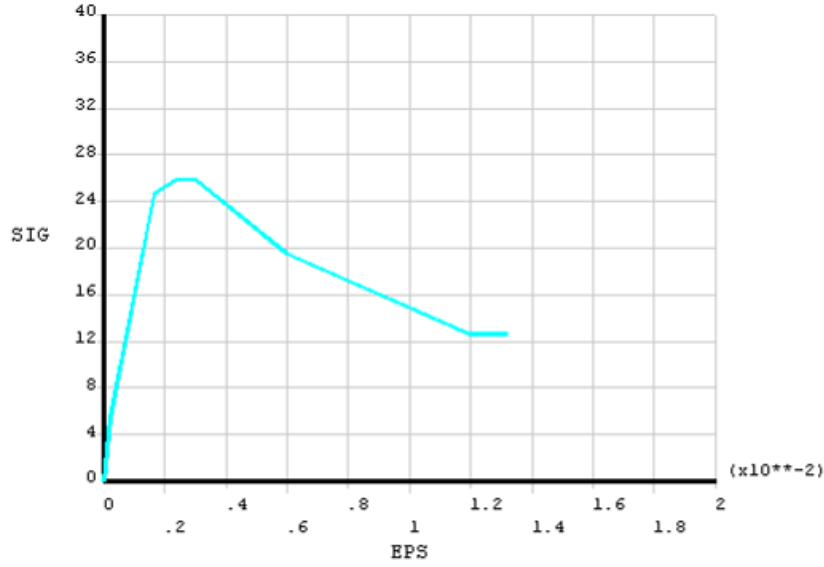
2.1. ANSYS Modelleri

Çalışmada kullanılan ANSYS, doğrusal ötesi problemlerin çözümlerinde Newton-Raphson metodunu kullanan, çok çeşitli mekanik problemlerin tasarımında ve sayısal çözümünde kullanılabilen, sonlu eleman programıdır. Ayrıca, programda davranışın gerçeğe yakın olarak elde edilmesi için gerekli girdilerin kullanılmasına olanak tanıyan seçenekler de mevcuttur.

2.1.1. Malzeme modelleri

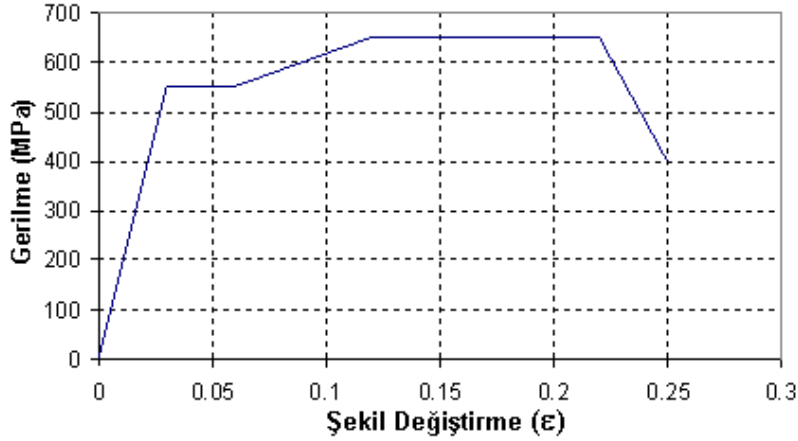
ANSYS ile yapılan çözümlerde sonlu eleman boyutlarının küçülmesi ve buna bağlı olarak da sayılarının artması analiz zamanını oldukça uzatmaktadır. Analizi yapılacak modelde tanımlanması gereken eleman ve buna bağlı olarak da malzeme modeli sayısının çok fazla olmasının analizi daha da uzun ve karmaşık hale getireceği düşünüldüğünden, temel ve blok betonların donatıları ayrı bir malzeme olarak modellenmemiş, sadece beton içerisindeki donatı oranı malzeme özelliği olarak tanımlanmıştır. Ancak, davranışı incelenen eleman olması dolayısıyla ankraj donatıları modelde kullanılmıştır. Hem taban hem de yükleme bloklarında sargı etkisi dikkate alınmıştır. Sargılı beton modeli olarak Mander Modeli [10] seçilmiş ve hesaplamaları da Pamukkale Üniversitesi'nde hazırlanan ve TÜBİTAK tarafından desteklenen 105M024 nolu proje kapsamında geliştirilen SEMAP adlı yazılım ile yapılmıştır [11].

**Şekil 2.** C10 temel beton modeline ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı



Şekil 3. C25 blok beton modeline ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı

C10 taban betonu için gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 2’de, C25 yükleme bloğu betonları için gerilme-şekil değiştirme diyagramları ise Şekil 3’de görüldüğü gibi idealleştirilerek ANSYS’de tanımlanmıştır. Ankraj donatıları için deneysel olarak elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme grafiği idealleştirilerek [9], Şekil 4’de verildiği şekli ile ANSYS modellerinde kullanılmıştır.



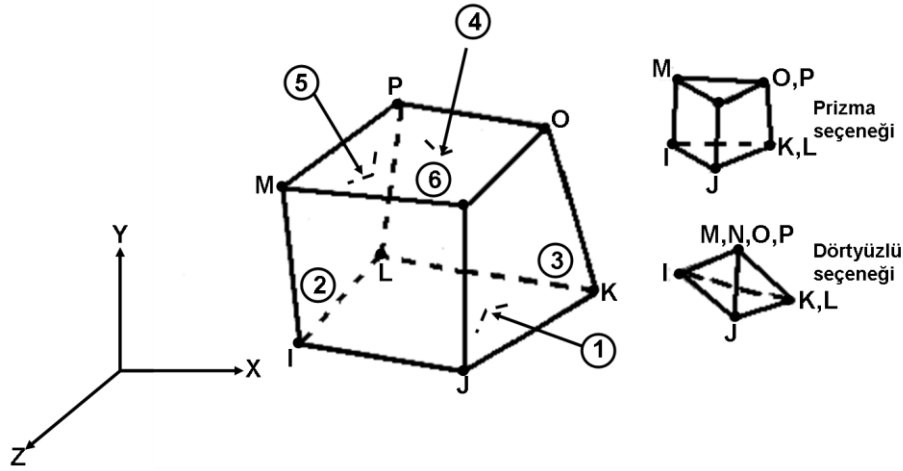
Şekil 4. Ankraj donatısının aksenal gerilme-şekil değiştirme grafiği

Betonarme elemanlar, özellikle büyük yükler altında doğrusal olmayan davranış sergileyen elemanlardır. Doğrusal olmayan analiz, yük adım adım etkiyerek ve her adımda da bir önceki adımda elde edilen sonuçlar kullanılarak analizin tamamlanması şeklinde gerçekleşir. Böylelikle yük-şekil değiştirme grafiği malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate alacak şekilde elde edilebilir.

Ankraj çubukları ve beton blok arasında kimyasal yapıştırıcı olarak epoksi kullanılmış, literatürde kesme etkisindeki ankrajlarda sıyrılma davranışı gözlemlendiğine dair bir kayıt bulunmadığından modellemede sıyrılma etkisi ihmal edilmiş, epoksi-beton ve epoksi-donatı arasında tam aderans olduğu kabulü yapılmıştır. Dolayısı ile sonlu eleman modeli hazırlanırken taban betonu epoksiye, epoksi de ankraj donatısına programda bulunan glue komutu ile yapıştırılarak modellenmiş, başka ara eleman tanımlanmamıştır.

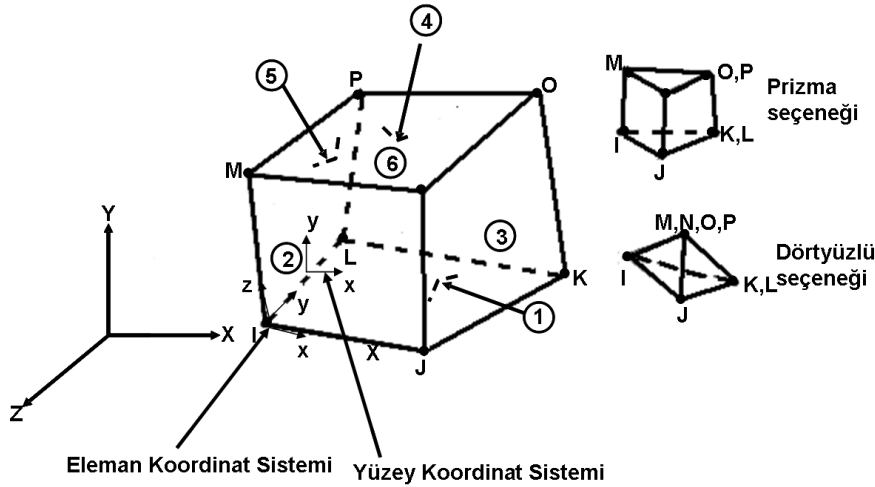
Bu çalışmada, beton ve ankraj donatısının malzeme özellikleri ayrı ayrı tanımlanmıştır. Betonarme elemanları oluşturan beton ve donatı elemanlarının modellenmesinde kullanılmak üzere, ANSYS sonlu

eleman programının eleman kütüphanesinde yer alan elemanlar arasında beton ve epoksi için SOLID65 ve ankraj donatıları için SOLID 45 eleman tipleri seçilmiştir. SOLID 65, çekmede çatlama, basınçta ezilme, plastik deformasyon ve sünme özelliklerini barındıran 8 düğüm noktalı ve her düğüm noktasında da 3 serbestlik derecesi bulunduran katı elemandır (Şekil 5).



Şekil 5. Solid 65'e ait sonlu eleman özellikleri

SOLID 45 ise, plastisite, sünme, rijitlik, büyük dönme ve deformasyon yapabilme özelliklerini içinde barındıran 8 düğüm noktalı ve her düğüm noktasında da 3 serbestlik derecesi bulunduran katı elemandır.(Şekil 6).



Şekil 6. Solid 45'e ait sonlu eleman özellikleri

3. SAYISAL ÇALIŞMALAR

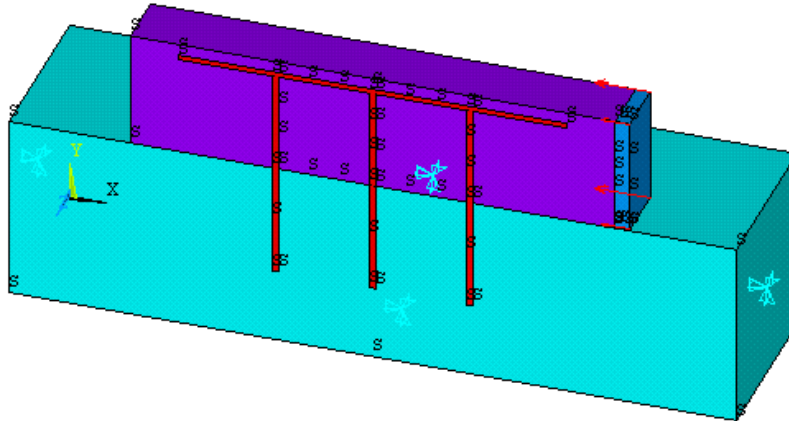
3.1. ANSYS Modelleri

Analizi yapılan modellerde 5 farklı malzeme modeli tanımlanmıştır. Bunlardan ikisi temel ve yükleme bloklarının betonlarını ifade etmekte olup, biri ankraj ve temel betonunun arasında bulunan epoksiyi, biri ankraj donatısını, diğeri de rijit yükleme plakasını modellemek üzere kullanılmıştır:

1. Altındaki temel betonunu temsil eder. Burada 3 adet girdi vardır. Bunlardan birincisi, betonun doğrusal özelliğini tanımlayan başlangıç elastisite modülü-poisson oranı ilişkisi; ikincisi, betonun göçme şekline karar vermek için kullanılan göçme kriteri özellikleri; üçüncüsü ise, Mander Modeli kullanılarak betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisini ifade

- eden çok doğrusal (multilinear) elastik özelliğidir. Ayrıca temel betonu için sürtünme özelliği de tanımlanmaktadır.
2. Üstteki küçük blokları temsil eder. Birinci maddede sayılan özellikler, blok betonuna ait değerlerle ifade edilir.
 3. Donatı ve temel betonu arasında bağlayıcı malzeme olarak kullanılan epoksiyi temsil eder. Burada 3 adet girdi vardır. Bunlardan birincisi, epoksinin doğrusal özelliğini tanımlayan başlangıç elastisite modülü-poisson oranı ilişkisi; ikincisi, epoksinin göçme şekline karar vermek için kullanılan göçme kriteri özellikleri; üçüncüsü ise, epoksinin gerilme-şekil değiştirme ilişkisini ifade eden çok doğrusal (multilinear) elastik özelliğidir.
 4. Ankraj donatısını temsil eder. Burada 2 adet girdi vardır. Bunlardan birincisi, çeliğin doğrusal özelliğini tanımlayan başlangıç elastisite modülü-poisson oranı ilişkisi; ikincisi ise, deney sonuçlarından elde edilen çeliğe ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisini ifade eden çok doğrusal (multilinear) elastik özelliğidir.
 5. Analiz sırasında yüklemenin yapıldığı kısmı temsil eder. Burada 2 adet girdi vardır. Bunlardan birincisi, çeliğin doğrusal özelliğini tanımlayan başlangıç elastisite modülü-poisson oranı ilişkisi; ikincisi ise, deney sonuçlarından elde edilen çeliğe ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisini ifade eden çok doğrusal (multilinear) elastik özelliğidir.

Temel betonu yatay ve düşey ötelenmesi engellenecek şekilde mesnetlenmiştir. Çözüm süresini kısaltmak için ise programda bulunan simetri özelliği kullanılarak elemanın yarısı modellenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Yüklerin ve mesnetlerin model üzerinde görünümü

ANSYS programında betonun göçme şekli tanımlanırken Willam-Warnke modeli [12] kullanılmaktadır. Bu model, betonun üç eksenli gerilme altındaki göçme şeklini temsil etmektedir. Ayrıca beton malzemesi açık ve kapalı çatlak kayma iletim katsayıları da programın istediği parametrelerdir. Bu çalışmada, tek bir model için (A1-A7) açık ve kapalı çatlak kayma iletim katsayıları değiştirilerek farklı analizler gerçekleştirilmiştir (Tablo 2). Çünkü literatüre bakıldığında açık ve kapalı çatlaklar için tanımlanan kayma iletim katsayılarının (ShrCf-Op, ShrCf-CI) bile çok farklı aralıklarda kabul gördüğü gözlenmiştir [7]. Farklı temel ve ankraj kombinasyonları dikkate alınarak ve literatürde kabul gören sürtünme katsayıları da değiştirilerek çözümler artırıldığında, elde edilen sonuçların tamamının burada sunulmasının mümkün olmayacağı açıktır. ANSYS programı ile yapılan analizler tümü yerdeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. ANSYS modellerinde kullanılan parametreler

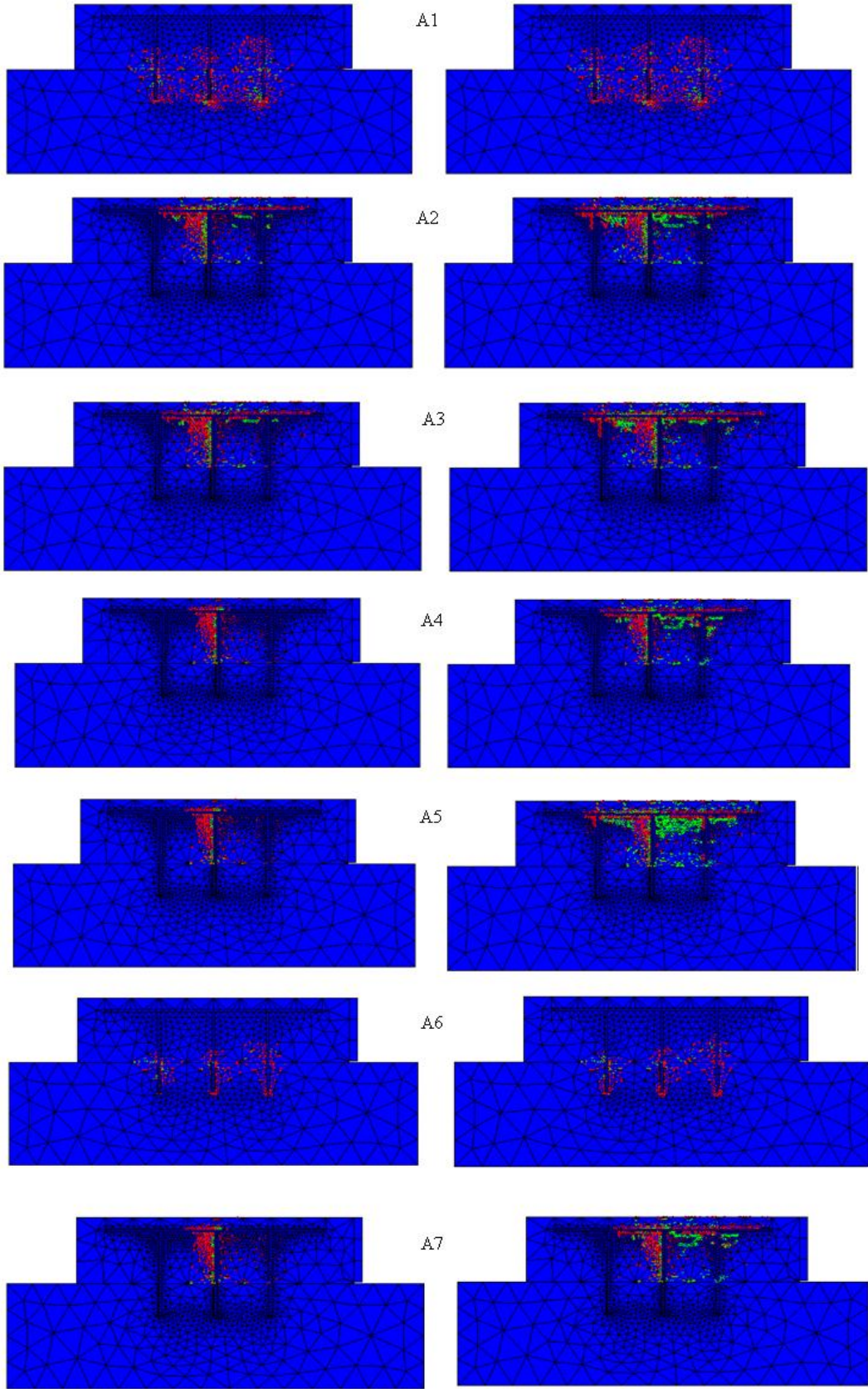
Model No	Açık Çatlak Katsayısı			Kapalı Çatlak Katsayısı			Sürtünme Katsayısı
	Epoksi	C10	C25	Epoksi	C10	C25	
A1	0.30	0.30	0.30	0.80	0.80	0.80	0.30
A2	0.40	0.0001	0.0001	0.80	0.70	0.70	0.30
A3	0.0001	0.0001	0.0001	0.85	0.70	0.85	0.29
A4	0.65	0.0001	0.0001	0.80	0.85	0.85	0.40
A5	0.0001	0.0001	0.0001	0.85	0.85	0.85	0.32
A6	0.65	0.0001	0.0001	0.80	0.85	0.85	0.30
A7	0.65	0.0001	0.0001	0.80	0.85	0.85	0.00

4. ANALİZ SONUÇLARI

Şekil 8.8’de A1-A7 modelleri için yüklemenin ilk ve son adımlarında elde edilen çatlak dağılımı gösterilmiştir. Modellerin arasında ciddi bir davranış farkı gözlenmektedir. Örneğin, A6 ve A7 modelleri arasındaki tek fark sürtünmenin dikkate alınması ve alınmamasıdır. Buna rağmen hasar A6 elemanında temel betonunda iken, A7’de yükleme bloğunda görülmektedir. Bu modeller arasında sadece A1 ve A6’da taban betonunda hasar oluşmuştur. Diğer elemanların tamamında hasar yükleme bloğunda görülmektedir.

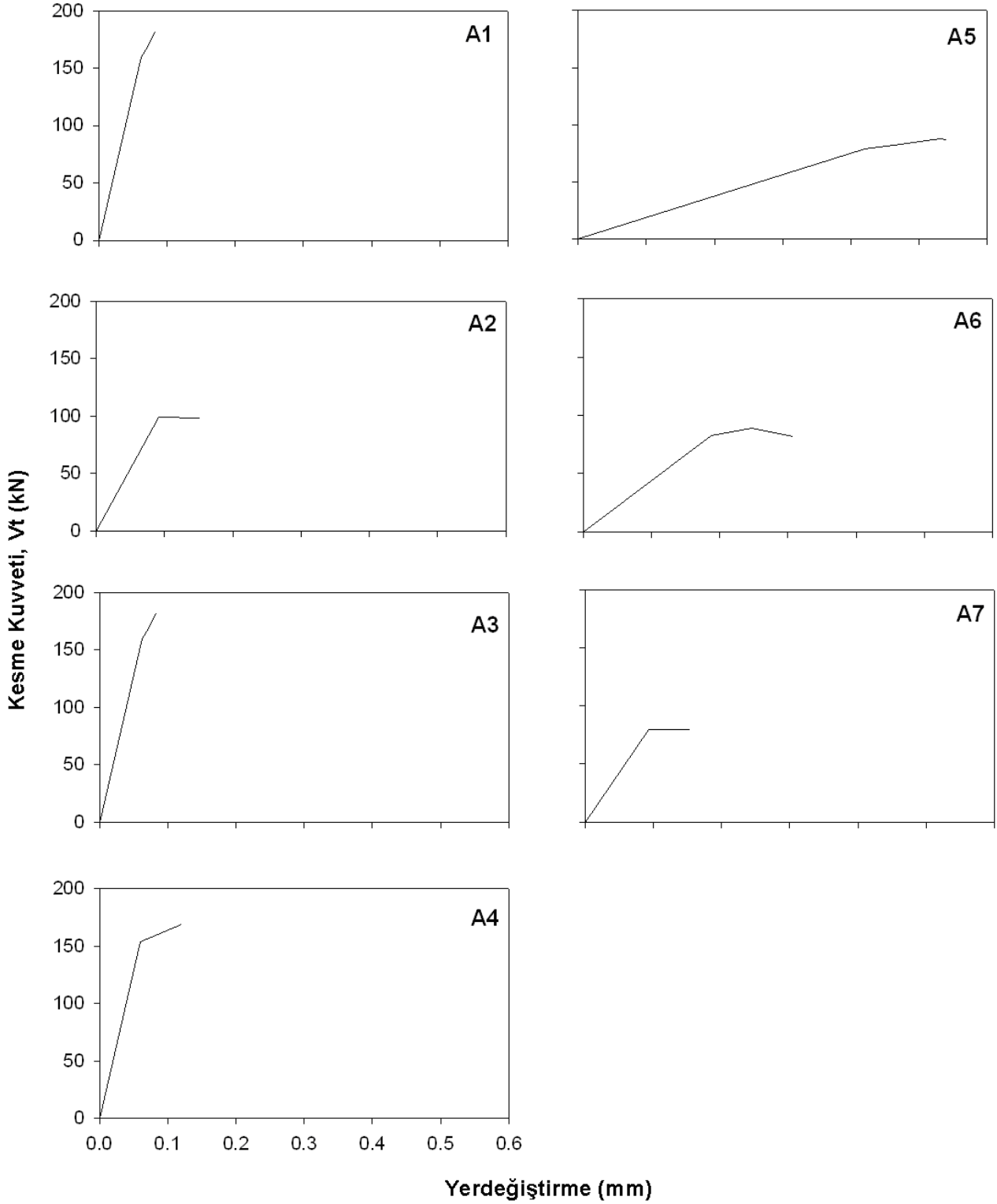
Betondaki çatlak dağılımı incelendiğinde de daha büyük gerilme etkilerine maruz kalması beklenen ara yüzeye yakın bölgelerde önemli bir hasar oluşmazken hasarın büyük kısmının donatı uçlarına yakın bölgelerde olduğu görülmektedir.

Tüm modellerin analizi sonunda elde edilen yük-yerdeğiştirme grafikleri Şekil 9’da gösterilmiştir. Hasar şekilleri birbirine benzeyen A1 ve A6 modellerinin dayanım ve rijitlikleri birbirinden oldukça farklıdır.



Şekil 8. Analiz sonucunda elde edilen ilk ve son adımlardaki çatlak dağılımı

Aynı model üzerinde sadece açık ve kapalı çatlak katsayıları ve sürtünme katsayılarının değiştirilmesiyle elde edilen kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrileri birbirinden çok farklı sonuçlar vermektedir. Kullanılan parametrelerde yapılan çok küçük değışikliklerin bile ciddi farklılara neden olduğu ortadadır.



Şekil 9. Farklı değışken parametrelerin kullanılması sonucu elde edilen kapasite eğrileri

Birbirine çok benzer parametrelere sahip A3 ve A5 modelleri arasında da hem dayanım hem de rijitlik bakımından ciddi bir fark oluştuğu görülmüştür.

A1 ve A2 analizlerine bakıldığında, açık çatlak iletim katsayılarında yapılan değişikliklerin hem kapasiteyi hem çatlak dağılımını ciddi şekilde etkilediği görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında kayma etkisindeki kimyasal ankrajların doğrusal olmayan davranışlarının modellenmesi için ANSYS yazılımı kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada ANSYS modelleri üzerinde açık ve kapalı çatlak yük aktarım katsayıları ile sürtünme katsayısı değerleri değişken olarak modellenmiştir. Yapılan analizlerde bu değişkenlerdeki küçük değişimlerin bile analiz sonuçlarında büyük farklar oluşturduğu görülmüştür. Örneğin, A4, A6 ve A7 analizlerinde bütün malzemeler için açık ve kapalı çatlak yük aktarım katsayılarının aynı olup, sadece sürtünme katsayıları değiştirilmiştir. Ancak bu analizlere ait sonuçlar incelenecek olursa, hasar bölgelerinde ve kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrilerinde ciddi farklar olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, ANSYS ile elde edilen sonuçların ankraj kapasitesinin belirlenmesi için sağlıklı olmayacağı görüşüne varılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçları destekler şekilde, literatürde ANSYS ile betonarme elemanlarda yapılan çalışmaların eğilme davranışının araştırılması konusunda yoğunlaştığı görülmektedir [1,5,6]. Betonarme elemanlarda kesme davranışının hâkim olduğu durumlara yönelik ANSYS’de yapılan çalışmalar ise sınırlı düzeydedir [7].

6. KAYNAKLAR

1. Barbosa, A., F., Riberio, G., O., 1998, “Analysis of Reinforced Concrete Structures Using ANSYS Nonlinear Concrete Model”, Computational Mechanics New Trends and Application, S. Idelsohn, E. Onate, and E. Dvorlin (editors), CIMNE, Barcelona, Spain.
2. İnel M., Özmen, H.B., 2006, “Effect of Initial-Phase Seismic Assessment Parameters of Existing Buildings on Structural Behaviour,” 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8 (Paper Reference 173), Geneva, Switzerland.
3. Sivri, M., Kaltakçı, M.Y., Kuyucular, A., Yavuz, G., 2011, “Kısmi Betonarme Perde İle Güçlendirilmiş Betonarme Çerçeve Sistemlerin Sonlu Eleman Nonlineer Analizi”, 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İTÜ.
4. Anıl, Ö., Belgin, Ç., 2007, “Monolitik Yükleme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrusal Olmayan Analizi”, Gazi Üniv. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 1, 191-197.
5. Benli, A., Türk, K., Calayır, Y., 2008, “Kendiliğinden Yerleşen Betondan Üretilmiş Kirişlerin Aderans Dayanımının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi” Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20(4), 599-607.
6. Moaveni, S., 1999, “Finite Element Analysis”, Prentice-Hall Inc.
7. Thomas, J., Ramaswamy, A., 2006, “Nonlinear Analysis of Shear Dominant Prestressed Concrete Beams Using ANSYS”, International ANSYS Conference Proceedings
8. Büyükkaragöz, A., Koprman, Y., 2008, “Eksenel Yük Etkisi Altındaki Kare Kesitli Mantolanmış Kolonun Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 23,2, 309-315.

9. Yılmaz S., Çetinkaya, N., Çalışkan, Ö., Çırak, İ. F., 2010, “Dış Perde Duvar İle Güçlendirme Yönteminde Ankray Uygulamalarının Deneysel Olarak Araştırılması”, TÜBİTAK Araştırma Projesi, Proje No: 107M572, Denizli.
10. Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.1988. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. Journal of Structural Engineering, ASCE, 114(8), 1804-1826.
11. İnel, M., Özmen, H.B., Bilgin, H., 2007, “Betonarme Elemanların Doğrusal Ötesi Davranışlarının Bilgisayar Ortamında Modellenmesi”, SEMAP. TUBİTAK Araştırma Projesi, Proje No: 105M024, Denizli.
12. Willam, K., J., Warnke, E., P., 1974, “Constitutive Model for the Tri-axial Behavior of Concrete”, IABSE, Report No.19, Bergamo, 1-30.
13. Celep, Z., Kumbasar, N., 2005, “Betonarme Yapılar”, İstanbul.
14. Celep, Z., 2008, “Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleri”, İstanbul.
15. Çalışkan, Ö. 2010. Mevcut Betonarme Binaların Dış Perde Duvar İle Güçlendirilmesinde Ankray Uygulamalarının Deneysel Olarak Araştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 135s, Eskişehir.
16. Çırak, İ.F., 2011, “Güçlendirme Perdeleri İle Mevcut Yapı Elemanları Arasındaki Kayma Davranışının Modellenmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 134s, Isparta.
17. Ersoy, U., Özcebe, G., 2004, “Betonarme”, İstanbul.
18. Fabbrocino, G., Verderame, G.M., Manfredi, G., 2005, “Experimental Behaviour of Anchored Smooth Rebars in Old Type Reinforced Concrete Buildings”, Engineering Structures, 27, 1575–1585.
19. Kent, D.C., Park, R., 1971, “Flexural Members with Confined Concrete”, Journal of the Structural Div., ASCE, V.97, ST7.