

# BİNALARIN GÖZLENEN DEPREM PERFORMANSLARININ HESAPLANMASINDA MEVCUT YÖNTEMLERİN TUTARLILIĞI

## CONSISTENCY OF CODE ASSESSMENT PROCEDURES WITH OBSERVED EARTHQUAKE PERFORMANCE OF STRUCTURES

### Mustafa Kutanis<sup>1</sup>, Kemal Beyen<sup>2</sup>, İ. Engin Bal<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Yrd. Doç. Dr. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, [kutanis@sakarya.edu.tr](mailto:kutanis@sakarya.edu.tr)

<sup>2</sup>Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, [beyen@boun.edu.tr](mailto:beyen@boun.edu.tr)

<sup>3</sup>Dr., Eucentre, Pavia, Italy, [ihsanenginbal@gmail.com](mailto:ihsanenginbal@gmail.com)

#### ÖZET

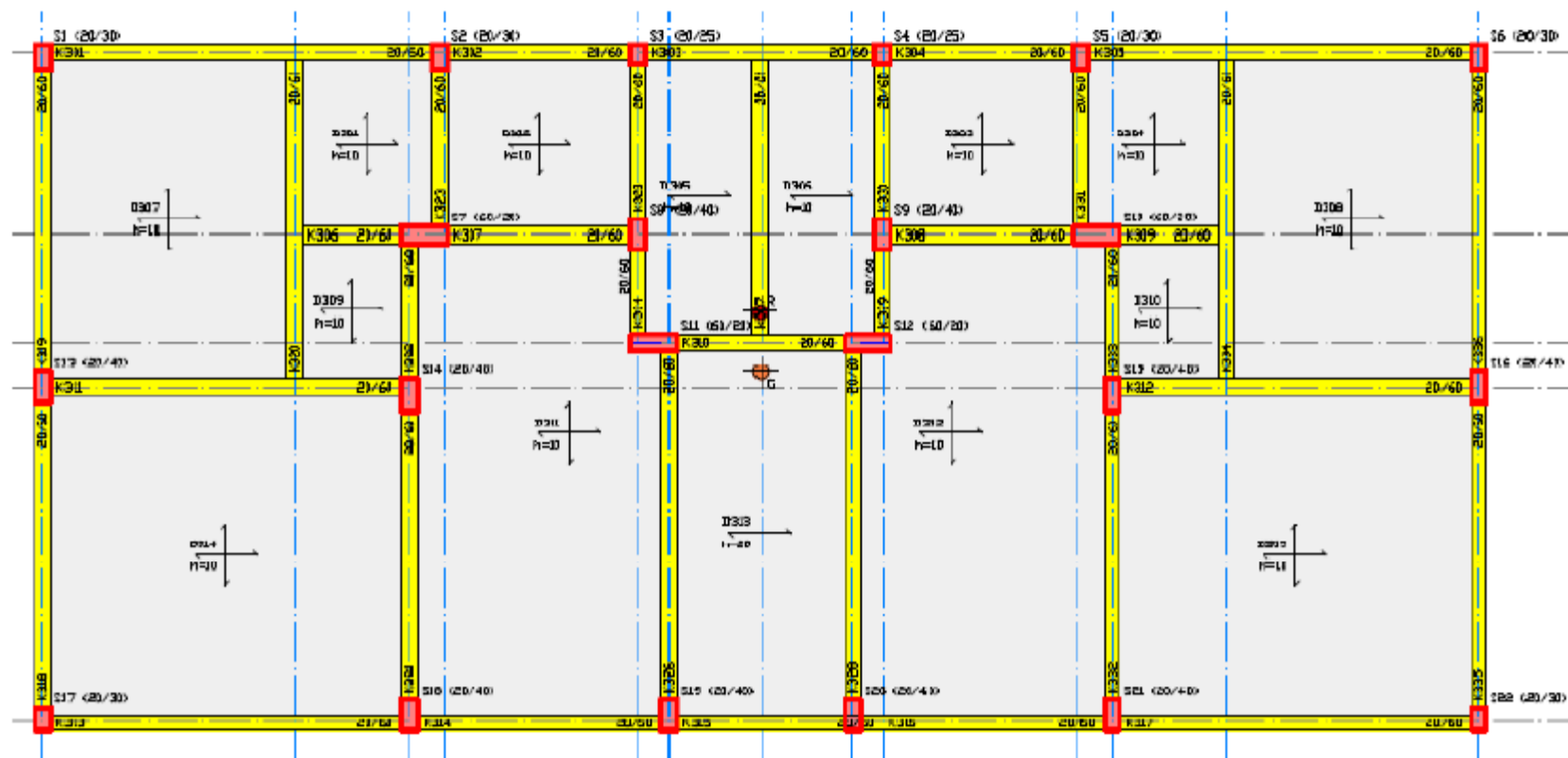
Bu çalışmada, Adapazarı ve Gölcük'te yer alan, 17 Ağustos 1999 depremini geçirmiş, az hasarlı, depremden bugüne hiç "dokunulmuş" 5 bina incelenmiştir. Çalışma, 108M303 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında yürütülmektedir. Araştırma kapsamındaki binalarda, hasar dağılımı, malzeme çalışması; taşıyıcı sistem çalışması yapılmıştır. Binaların bilgisayar modelleri oluşturulmuş; Türkiye Deprem Yönetmeliği'07'nin 7nci Bölümü'nde yer alan doğrusal elastik yöntem ve doğrusal elastik olmayan yöntemlere göre yapı performansları hesaplanmıştır. Bu çalışma ile sahadaki yapı performanslarıyla teorik değerlendirme performansının doğrulanması ve yeni kullanılan hesap tekniğinin geliştirilmesi veya düzeltme parametrelerinin gündeme gelmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapısal deprem mühendisliği, Deprem yönetmelikleri, Performansa göre Değerlendirme, 1999 Marmara depremi.

#### ABSTRACT

This study focuses on five real structures that were slightly damaged during the August 17, 1999 Earthquakes but not been "touched" since then. The research is being conducted under the contract of a TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) funded project 108M303. Material properties, characteristics of the structural bearing system and damage map of the case study structures have been determined. The case study buildings have been modeled and the structural performances have been determined by employing the linear and nonlinear methods described in the latest Turkish Earthquake Code of 2007. This study aims to compare and verify the observed damage states of the case-study structures with the theoretical design and assessment targets thus proposing to improve the assessment method employed and the parameters involved.

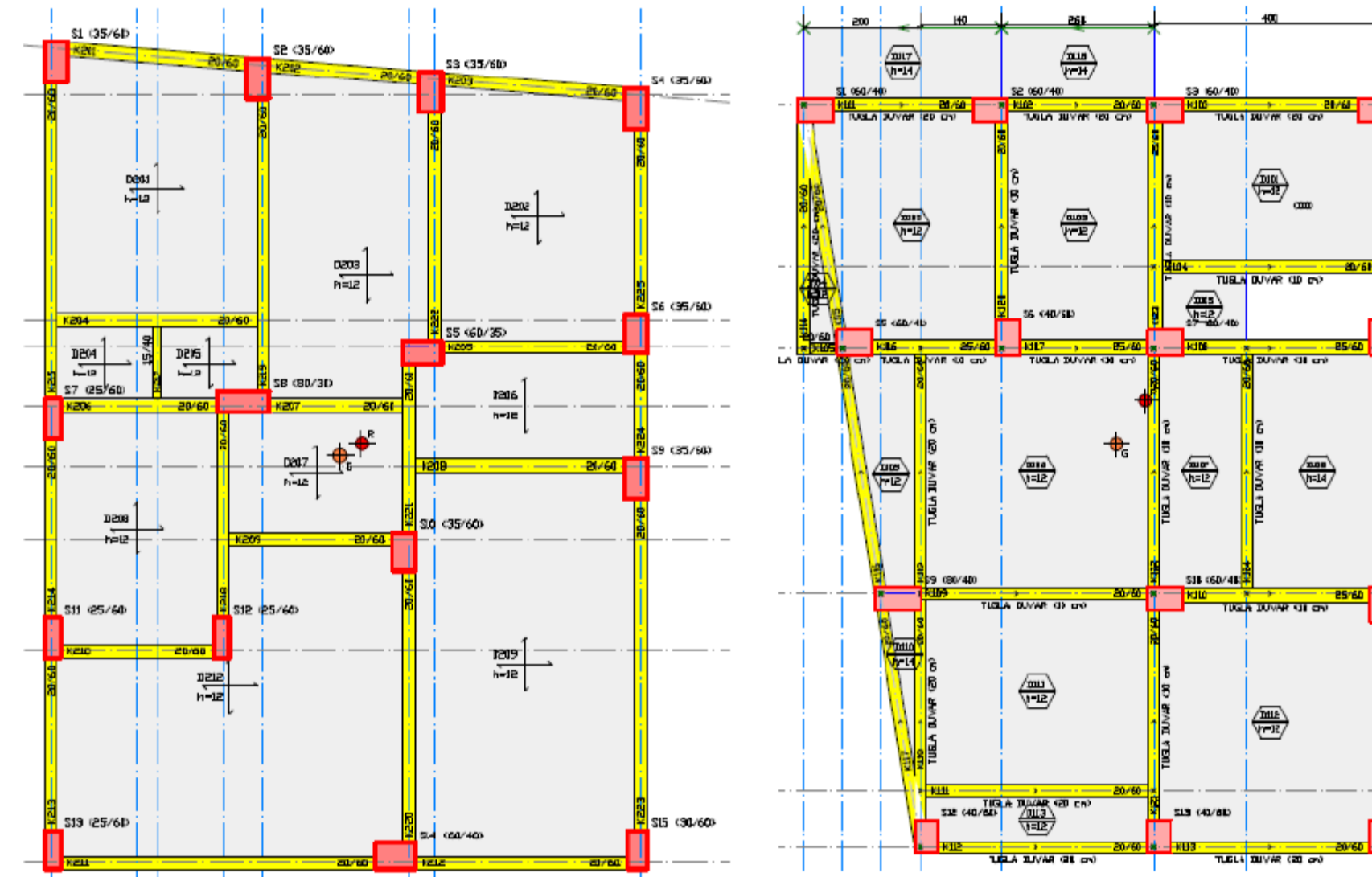
Keywords: Structural Earthquake Engineering, Earthquake codes, Performance based assessment, 1999 Marmara earthquake



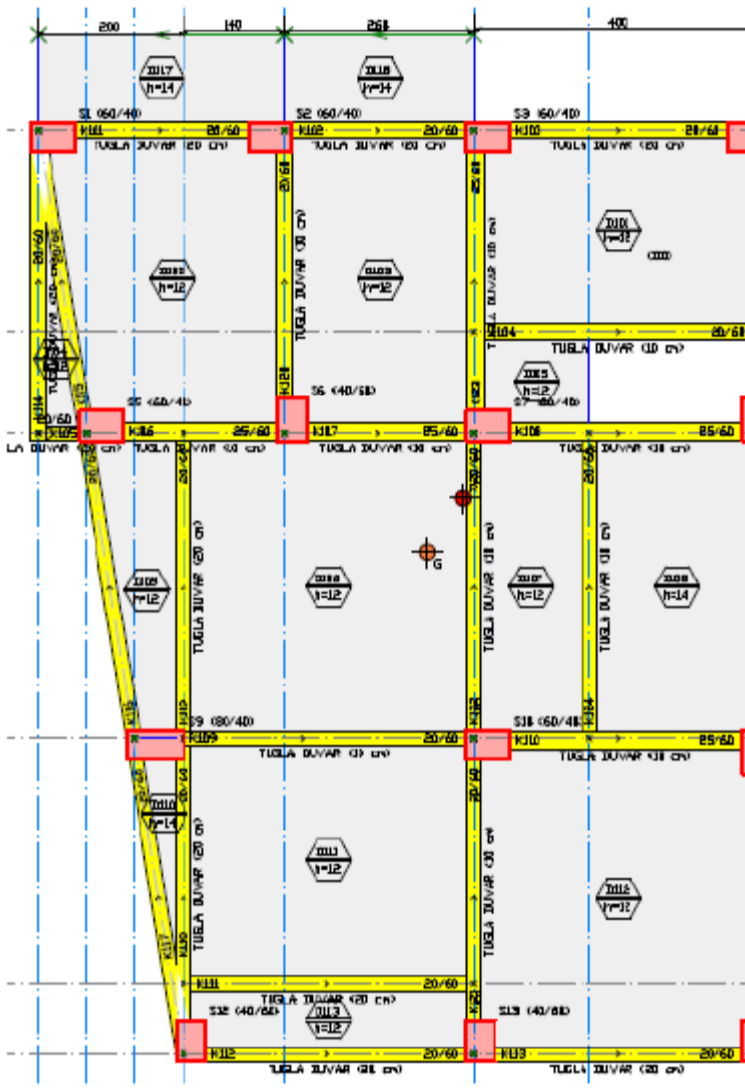
Şekil 1. Durusoy binası kalıp planı

Tablo 2. Durusoy binası çatlanma ve çatlama kesitler halinde dinamik özellikler

Mod	Periyot (s)	Etkin Kütle Oranı (%)			Etkin Periyot (s)	Etkin Kütle Oranı (%)		
		X-Yön	Y-Yön	Z-Dönme		X-Yön	Y-Yön	Z-Dönme
1	0.539107	75.630843	0.003505	7.672818	0.710283	74.615674	0.003754	8.470505
2	0.465129	8.825076	0.54405	67.799214	0.618301	9.505055	0.327113	68.02379
3	0.447484	0.036846	76.33068	0.510238	0.587917	0.019711	77.36655	0.310204
4	0.21462	1.208228	0.019934	10.493628	0.275457	1.351474	0.017218	9.787171
5	0.197714	0.006966	12.15408	0.014379	0.252837	0.009238	11.493811	0.010964
6	0.181118	10.078492	0.001983	0.879971	0.235371	9.930486	0.003179	1.063265



Şekil 3. Yansokak binası kalıp planı



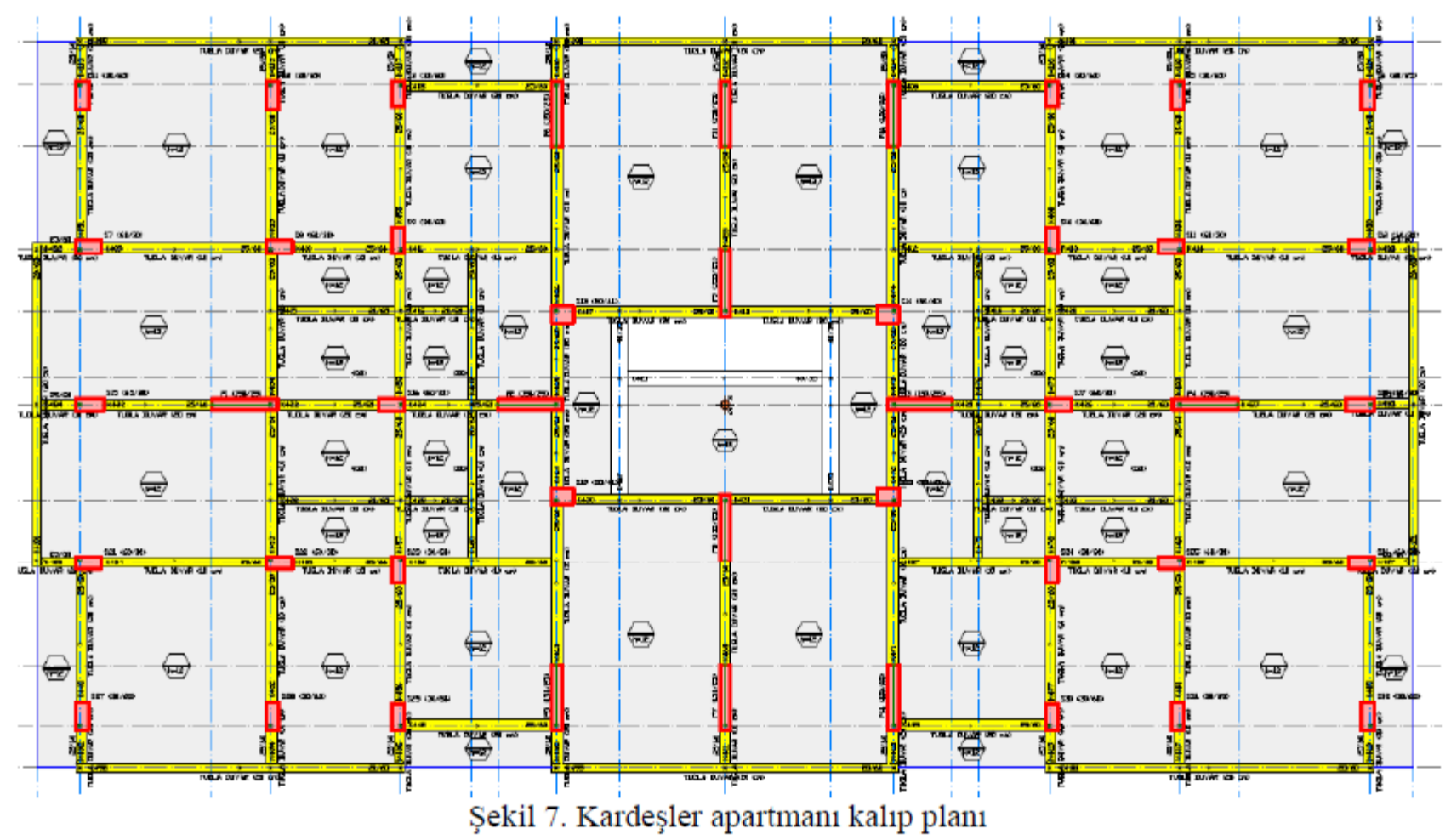
Şekil 5. Karadere binası kalıp planı

Tablo 3. Yansokak binası çatlanma ve çatlama kesitler halinde dinamik özellikler

Mod	Periyot (s)	Etkin Kütle Oranı (%)			Etkin Periyot (s)	Etkin Kütle Oranı (%)		
		X-Yön	Y-Yön	Z-Dönme		X-Yön	Y-Yön	Z-Dönme
1	0.564489	73.728826	0.445115	5.198782	0.77326	72.584604	0.480229	6.152373
2	0.485969	2.194476	68.181886	9.418047	0.668566	2.378272	68.801654	8.303912
3	0.448504	3.692974	11.160098	62.572562	0.61368	4.596842	10.207221	62.248759
4	0.185549	11.15745	0.041871	0.537668	0.251061	10.709747	0.041008	0.663709
5	0.160239	0.262705	8.459077	2.249743	0.217174	0.292002	8.574446	2.001614
6	0.150553	0.243649	3.186121	7.157422	0.203127	0.317443	2.863636	7.334768

Tablo 4. Karadere binası çatlanma ve çatlama kesitler halinde dinamik özellikler

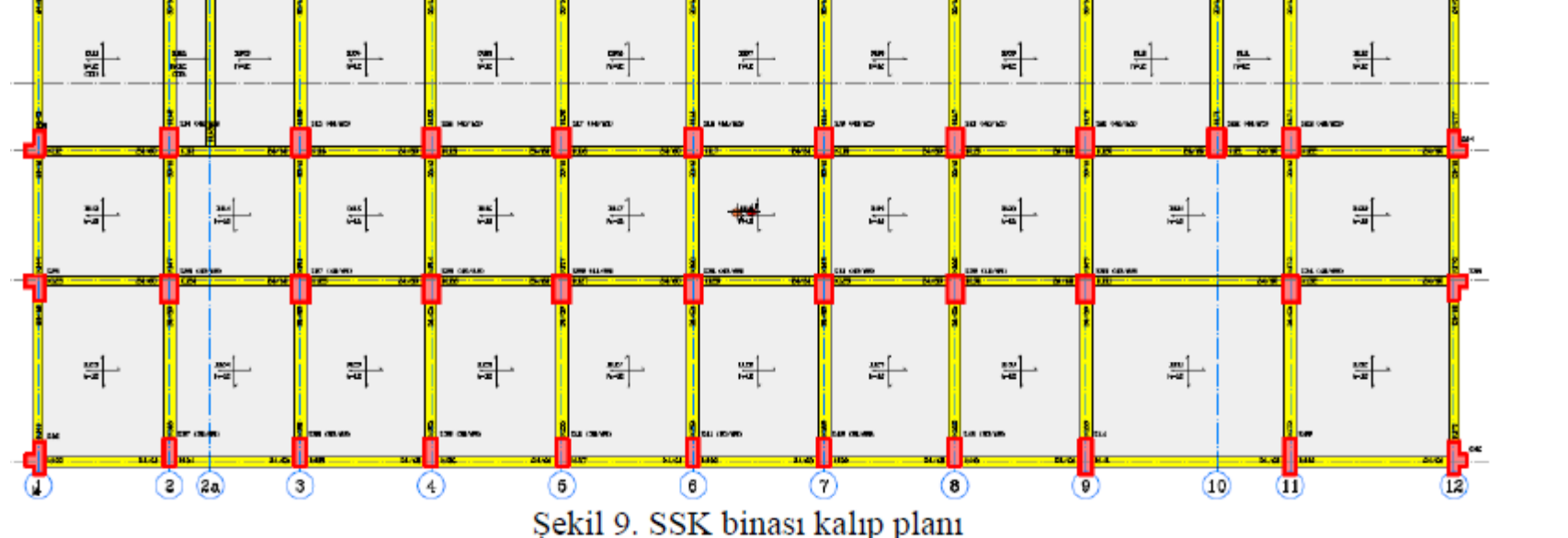
Mod	Periyot (s)	Etkin Kütle Oranı (%)			Etkin Periyot (s)	Etkin Kütle Oranı (%)		
		X-Yön	Y-Yön	Z-Dönme		X-Yön	Y-Yön	Z-Dönme
1	0.578394	2.43733	67.692514	12.023613	0.793864	2.002818	69.896007	9.897859
2	0.505761	48.571267	12.089689	24.968082	0.694401	46.43891	10.308187	28.070758
3	0.423542	34.847112	3.612757	47.837626	0.577436	36.826475	2.637291	46.056686
4	0.19566	0.351512	10.215305	2.585689	0.262788	0.322677	10.36084	2.252324
5	0.171061	5.873106	1.593751	3.22961	0.230036	5.688693	1.450899	3.73386
6	0.144745	4.518816	0.367776	5.485549	0.193437	4.752818	0.299338	5.499298



Şekil 7. Kardeşler apartmanı kalıp planı

Tablo 5. Kardeşler binası çatlanma ve çatlama kesitler halinde dinamik özellikler.

Mod	Periyot (s)	Etkin Kütle Oranı (%)			Etkin Periyot (s)	Etkin Kütle Oranı (%)		
		X-Yön	Y-Yön	Z-Dönme		X-Yön	Y-Yön	Z-Dönme
1	0.665701	0.003809	7.29E-06	74.310288	0.903072	0.005402	9.76E-06	74.592887
2	0.56662	74.659332	1.25E-06	0.004235	0.793137	74.791305	1.49E-06	0.00588
3	0.522942	1.27E-06	72.680579	4.74E-06	0.728235	1.50E-06	73.404323	6.59E-06
4	0.218802	7.09E-04	1.63E-07	15.106921	0.29383	9.42E-04	1.74E-07	14.183069
5	0.184835	14.867704	2.13E-07	2.82E-04	0.256557	14.233239	5.81E-07	4.43E-04
6	0.164857	2.06E-07	15.878485	4.44E-07	0.229704	4.95E-07	14.759757	5.68E-07



Şekil 9. SSK binası kalıp planı

Tablo 6. SSK binası çatlanma ve çatlama kesitler halinde dinamik özellikler.

Mod	Periyot (s)	Etkin Kütle Oranı (%)			Etkin Periyot (s)	Etkin Kütle Oranı (%)		
		X-Yön	Y-Yön	Z-Dönme		X-Yön	Y-Yön	Z-Dönme
1	0.420646	82.888623	5.09E-04	0.021561	0.563352	82.674403	6.87E-04	0.046561
2	0.333285	0.023266	9.80942	71.471181	0.458413	0.046443	13.837104	66.922764
3	0.325154	9.89E-04	70.89086	10.064745	0.447973	0.004645	66.502843	14.163218
4	0.150684	12.162883	7.59E-06	0.001148	0.196179	12.04111	8.21E-06	0.001865
5	0.10981	4.27E-06	12.31136	0.067624	0.145861	6.10E-06	12.312598	0.068337
6	0.107057	3.30E-04	0.041726	12.138365	0.141427	6.89E-04	0.040189	12.275535

Durusoy binasında dolgu duvar etkisinin önemli olabileceği düşünülmektedir. İnşa edildiği dönemde harman tuğlaların (dolu veya az delikli tuğlalar) yaygın bir şekilde kullanıldığı göz önüne alınarak yeniden bina analiz edilmelidir. Durusoy binasının inşa eden müteahhidin hiçbir binasının depremden yıkılmamış olması ise ayrı bir konudur. SSK binasında ise dolgu duvar etkisinin çok az olduğu düşünülmektedir. Binada, yerel zemin şartlarının deprem etkisini ne ölçüde değiştirebileceğini, derin sondaj kuyusu verileri ile desteklenen mikrotremör kayıtları ile birlikte değerlendirilerek çözümlenecektir.

Karadere binası ve Kardeşler apartmanında, mevcut HK performans düzeyine rağmen, TDY 2007 yöntemlerinin CG performansını hesaplamaları, gerçekte Yönetmelik yöntemlerinin başarılı olduğunu göstermektedir.

Sonuçların bazı binalarda tutarlı, bazılarında farklı çıkmasını genel olarak analitik modellerde kullanılan plastik şekil değiştirme davranışının uygun bir pekleşme modeliyle desteklenmesi ve duvar katkılarının gerçeğe yakın modellenmesi gerekliliği göstermektedir. İnşa edildikleri yılların dolu harman tuğla ile örülüşü bütün duvar kenarlarının çevre elemanlarla tam temas durumu duvarların düzlem içi taşıyıcı duvar yapısıyla esnek bir perde gibi çalıştığını düşündürmektedir. Bu ise çerçeve yapının global davranışını değiştirecektir. Çalışılacak örnek duvar test modeliyle uygun seçilecek pekleşen plastik şekil değiştirme davranışı ise eleman hasarlarını doğrultma açısından önemli olup, yapı performansını etkileyecektir. İnşa edildikleri yıllarda yürürlükte olan yönetmelik çerçevesinde tasarlanmış olan taşıyıcı elemanların kesit bilgilerinde (örneğin statikçe gerekli kesit, düşük aderanslı düz inşaat demiri, korozyon, etriye şartlarındaki yetersizlik v.s.) öngörülemeyen eksiklikler kapasitede belirsizlikler barındırdığı gibi analiz metodunda yapılan basitleştirmelerde örneğin plastik kesit oluşumunun artımsal itme analizinde deprem yüklerinin dağılımını etkilememesi sonuçlarda farklılıklar doğuracağını anlamaktayız.

Gözlenen hasar ile Yönetmelik'e göre bulunan değerlendirme sonuçları arasındaki farkların bir diğer nedeni de talep spektrumudur. Yönetmelik'te verilen tasarım spektrumu aynı zamanda değerlendirme için de kullanılmaktadır. Bu tasarım spektrumunun, 5 binanın maruz kaldığı deprem etkilerine sebebiyet veren depremin kayıtları ve bunların spektrumları ile ne kadar uyumlu olduğu da ayrı bir tartışma konusudur.

#### YÖNTEM

Üzerinde çalışma yapılan binalar, 17 Ağustos 1999 Marmara depremini geçirmiş, bugüne kadar yapısal anlamda müdahale edilmemiş, statik ve mimari proje paftaları bulunanlar arasından seçilmiştir. İnceleme kapsamına alınan binaların kat maliklerinden, özellikle, hasar rölövesi çıkarılması, malzeme dayanımlarını belirleme çalışmalarının yapılabilmesi, imalatın projeye uygunluğunun belirlenmesi, binaya yerleştirilecek cihazlarla çevrel veya zorlanmış titreşim ölçümlerinin ve yerel mikro titreşim ölçümlerinin alınabilmesi için, gerekli izinler alınmıştır.

Bu çalışmaya konu olan 5 bina, 17 Ağustos Marmara depremini hasarsız atlatmış, yapım yılları 1969 ile 2000 yılları arasında değişen betonarme karkas binalardır. Bu binalar, Gölcük'te bulunan Durusoy binası, Adapazarı Yenidoğan Mahallesi'nde bulunan Yansokak binası, Mithatpaşa'da SSK hizmet binası, Serdivan'da Karadere ve Kardeşler apartmanlarıdır.

Binalar, Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY) 2007'nin 7nci Bölümü'nde verilen doğrusal elastik yöntem ve artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemleri ile analiz edilmiştir. Bu amaçla, Türkiye inşaat mühendisliği pratiğinde kullanılan yazılımlar kullanılmıştır. Durusoy ve Yansokak binaları için, ek olarak, akademik amaçlı kullanılan, plastik deformasyonların eleman boyunca yayıldığı kabulü ile çalışan SeismoStruct programı ile zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesaplar yapılmıştır.

#### SAYISAL ANALİZLER

##### Yapının Genel Özellikleri

Durusoy binası, giriş katı işyeri olarak kullanılan ve dükkan+3 normal kat olmak üzere toplamda 4 katlı düzgün bir binadır (Şekil 1). Yapı, 1967 Mudurnu Vadisi Adapazarı depreminden iki yıl sonra, 1969 yılında inşa edilmiştir. Yapı tasarımının, 1961 Deprem Yönetmeliği'ne göre yapıldığı sanılmaktadır, çünkü 1968 Yönetmeliği ile getirilen minimum enkesit koşuluna projede uygulanmamıştır.

Durusoy binası, kısa doğrultu etrafında, simetrik bir yapıdır (Şekil 1). Yapı uzun yönde 18.8m, kısa yönde ise 8.8m kat gabari boyutlarına sahiptir ve yapı toplam ağırlığı 860 kN civarındadır.

Yapının üst katları konut olarak kullanıldığından yoğun olarak dolgu duvarı bulundurmaktadır. Giriş katında ise dükkânlar bulunduğu için, özellikle uzun doğrultuda dolgu duvarları yoktur. Kolon kesitleri kat ağırlıkları ile doğrusal orantılı olarak üst katlara çıktıkça küçülmektedir.

Yansokak binası bodrum kat+5 normal kat olarak tasarlanmış, oldukça düzgün ve simetrik bir binadır (Şekil 3). Kütle ve ağırlık merkezleri arasındaki fark 25cm düzeyindedir. Yapı kat alanı 109.47 m<sup>2</sup> ve yapı toplam ağırlığı 900 kN civarındadır. Yapı, proje kapsamında açılan derin kuyu sondajına 300m mesafede olması, yapının bulunduğu alanda sivilaşma gözlenmemesi, yapı temelinin depremden hareket etmemesi nedeniyle seçilmiştir. Yapı 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanmıştır.

Projede Karadere olarak isimlendirilen ve Serdivan İstiklal Mah. Karadere Sok. No. 2'de bulunan binanın giriş katında, Meydan'a bakan ön kısmında 2 dükkan, arka kısmında ise garaj ve kömürlükler bulunmaktadır (Şekil 5). Dükkan+4 normal kattan oluşmaktadır. Bina TS500 ve 1975 Deprem yönetmeliği esasları çerçevesinde inşa edilmiştir. Binanın inceleme kapsamına alınmasının nedeni, çevresinde benzer özelliklere sahip bulunan mühendislik görmüş binaların, depremden tamamen yıkılmasına rağmen (Haldızoğlu binası gibi), incelenen binanın hiç hasar almamasıdır.

Karadere binası simetrik bir bina olmamasına rağmen bina rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasında kısa doğrultuda (x-yönü) %5.54 dışmerkezliği (49.88cm) ve uzun doğrultuda (y-yönü) %5.74 dışmerkezliği (73.31cm) hesaplanmıştır. Bina temel alanı, 119.6m<sup>2</sup>; toplam alanı 598m<sup>2</sup>'dir. Binada çıkmalar bulunmamakta, sadece A-A aksı üzerinde bir balkon bulunmaktadır.

Kardeşler Apartmanı incelenen binalar arasında en büyük alana sahip (441m<sup>2</sup>) binadır (Şekil 7). İki blok olarak inşa edilmiş ve her iki blok da depremi hasarsız geçirmiştir. Bina kaya zemin üzerinde oturmaktadır. Bina 2000 yılında kullanıma açılmıştır.

Sakarya eski SSK hizmet binası da proje kapsamında açılan derin sondaj kuyusuna 800m mesafede bulunması, binanın boş olması, düzgün simetrik olması ve binanın resmi hüviyet taşıması nedeniyle tercih edilmiştir (Şekil 9). Binaların genel özellikleri, aşağıda, Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. İncelenen binalara ait bazı özellikler

Binalar	X-yön (m)	Y-yön (m)	Kat sayısı	Toplam Kütle (kN m <sup>2</sup> /m)	Beton (MPa)	Çelik (MPa)
Durusoy	18.8	8.8	4	861.792	C14	S220
Yan sok	8.9	12.3	6	900.881	C16	S420
Karadere	10	12.8	5	818.051	C16	S420
Kardeşler	29.8	14.8	6	4525.615	C16	S420
SSK	34.6	12	4	2396.249	C14	S220

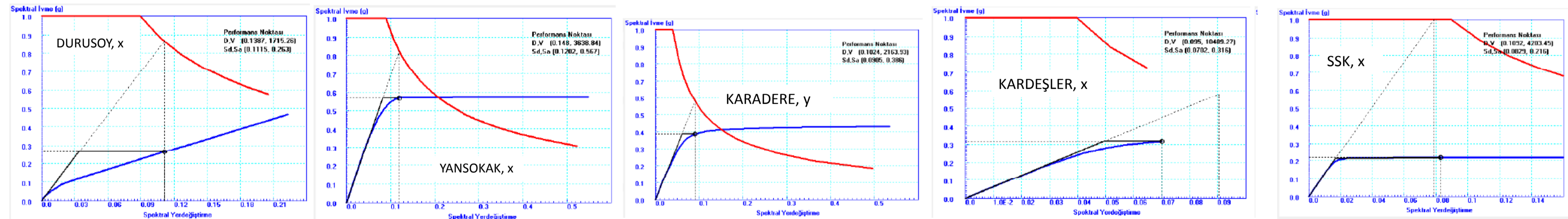
#### Malzeme Parametreleri ve Bilgi Düzeyi

Durusoy binasında karot numuneleri ile kalibre edilmiş beton çekici okumalarından elde edilen verilere dayanılarak, yapıda tüm betonarme elemanların karakteristik beton basınç mukavemetleri 14 MPa alınmıştır. Bina kullanımında olduğundan dolayı çelik numenesi alınmamıştır. Bu nedenle çelik sınıfı projede öngörülen S220 çeliği kabul edilmiştir. Benzer şekilde Yansokak, Karadere ve Kardeşler apartmanlarında tüm betonarme elemanların karakteristik beton basınç mukavemetleri C16; çelik sınıfı s420 olarak kabul edilmiştir. SSK binasında ise her kattan karot numuneleri alınmış ve laboratuvarında test edilmiştir. Test sonuçları C14 ve S220'yi sağlamışlardır. Tüm binaların orta bilgi düzeyinde bulunduğu kabul edilmiştir.

#### Analiz ve Değerlendirme Sonuçları

Bu çalışmada, yapı sistemleri, TDY 2007'nin 7nci Bölümü'nde verilen doğrusal elastik mod birleştirme yöntemi (DEY), doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi (AE), doğrusal elastik olmayan artımsal mod birleştirme yöntemi (AMB) ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri (ZTA) ile analizleri yapılmıştır. DEY, AE ve AMB yöntemleri, Türkiye'de yazılan, bilimsel açıdan kabul görmüş, inşaat mühendisliği tarafından yaygın olarak kullanılan Probina Orion (2010), İdeYAPI (2010), Sta4cad (2010), ...gibi ticari yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ZTA analizleri için akademik programlar (SeismoSoft, 2010) kullanılmıştır.

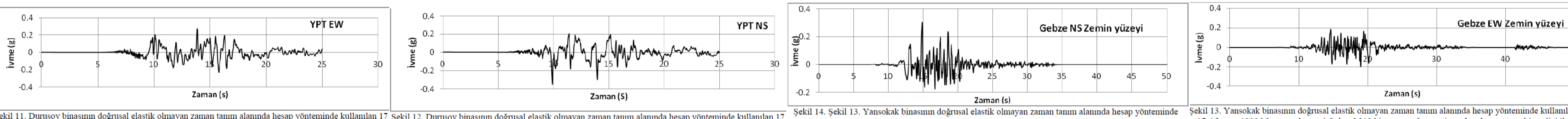
Bina dinamik analizleri ile ilgili sonuçlar Durusoy binası Tablo 2, Yansokak binası Tablo 3, Karadere binası Tablo 4, Kardeşler apartmanı Tablo 5 ve eski SSK hizmet binası için Tablo 6'da verilmektedir. DEY bütün binalar için uygulanmış; AE ise etkin kütle oranı %70 ve üzerinde olduğu binalarda; AMB ise Durusoy, Yansokak ve Karadere binalarında uygulanmıştır. ZTA ise Durusoy ve Yansokak binalarında gerçekleştirilmiştir. Durusoy binasının zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesabı için, 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde binaya 3km mesafede bulunan YPT istasyonu deprem ivme kaydının Doğu- Batı (EW) ve Kuzey-Güney (NS) bileşenleri kullanılmıştır. Durusoy binasında, kısa yönde (y doğrultusunda) yakınsama sağlanamamıştır. Yansokak binasında ise 17 Ağustos 1999 Marmara depremi Gebze MAM istasyonu deprem ivme kaydının Adapazarı'nda açılan derin sondaj kuyusu verileri kullanılarak yapılan yer tepki analizlerinden serbest zemin yüzeyinde elde edilen Doğu- Batı ve Kuzey-Güney bileşenleri kullanılmıştır.



#### SONUÇLAR

Durusoy binası, 1961 Deprem Yönetmeliği esaslarına göre inşa edildiği halde depremi hasar almadan geçirmiş olmasına rağmen tüm hesap yöntemlerine göre bina performansı "göçme" durumunda çıkmıştır (Tablo 7). Yansokak binasında ZTA ve mevcut deprem performansını örtüşmektedir. AE ve AMB yöntemlerine göre CG çıkışa da hasarlı eleman yüzdeleri çok yüksek bulunmuştur. DEY göre yapı "göçme öncesi" performans düzeyindedir. Karadere binasında DEY mevcut performans düzeyini hesaplamıştır. Kardeşler apartmanında ise mevcut performans bulunamamıştır. SSK binasında da mevcut performans yakalanamamıştır.

Yapı tepe noktası deplasmanları bakımından Durusoy ve Yansokak binaları incelendiğinde; Durusoy binasında, AE, AMB ve ZTA yöntemleri ile bulunan yapı tepe noktası deplasmanlarının yaklaşık olarak örtüşüğü görülmüştür. Ancak mevcut performans, hesaplanandan çok farklıdır. Yansokak binasında ise, ZTA ile AE ve AMB yapı tepe noktası deplasmanları arasında yaklaşık iki katı kadar fark hesaplanmıştır. Bu binada ZTA mevcut performansı yakalamıştır.



#### TARTIŞMA

Bu çalışmalar, bina üzerinden alınan zorlanmış titreşim ve çevrel titreşim ölçümleri ve mikrotremör kayıtları ile yapı modelleri kalibre edilmeden gerçekleştirilmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 108M303 kodlu proje kapsamında mali yönden desteklenmektedir. Bütün sonuç ve değerlendirmeler yazarlara ait olup kurumu bağlamamaktadır. Yazarlar bu katkısından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederler.