

Ankara Spor Sarayı Neden Çöktü?

Giriş

50 yıl önce 2 Haziran 1958 günü saat 20:30'da Ankara Spor Sarayı'nın betonarme kabuk çatısı çöktü (Şekil 1). Bu Türkiye'nin büyük açıklıklı ilk ve belki de son betonarme kabuk yapısıydı. Kabuk yapının açıklığı yaklaşık 40 metre, yüksekliği ise 20 metredir. Betonarme kabuk kalınlığı açıklıkta 10 cm; mesnete yakın yaklaşık 1.00 metre kadar uzunlukta bir bölümde 15 cm'dir. Kabuk dairesel biçimdedir. Tonoz biçimindeki kabuğun dik yönde uzunluğu 60 metredir.

Yapının çökme nedeni kesin olarak belirlenememiş, bir takım olasılıklar ileri sürülmüştür. Ama İnşaat Yüksek Mühendisi Sayın Selahattin Babüroğlu'nun (1959) dediği gibi yıkılmanın nedenleri de ayrıntılı araştırılmamış ve inşaat mühendislerinin merak ve beklentileri kuşkuyla yol açmayacak biçimde tam ve kesin bir biçimde karşılanmamıştır.

Yıkılmanın dolaylı ve açıkça söylenmeyen bir sonucu bu tür ince betonarme kabuk yapılı ve çok geniş açıklıklı yapıların yapılmasından kaçınmak olmuştur. Yıkılma bu tür geniş açıklıklı betonarme kabuk çatılı yapıların Türkiye'de yapılamayacağı görüşünün yerleşmesine de neden olmuştur (Erhan Karaesmen 2008).

Bu çalışmada kabuk yapısının özellikleri ve yıkılma nedeni olabilecek etmenler üzerinde durulacaktır. Yıkılma anında etkili olan kuvvetler kabuğun kendi ağırlığı, rüzgar yükü ve zamana bağlı sünme yüklerinin olabileceği sanılmaktadır. Bu arada ilerde daha ayrıntılı olarak ele alınacağı gibi statik ve betonarme projeyi yapan mühendis daha başka etmenlerden de söz etmektedir (İhsan İnan 1959). Bunlardan birisi ilk hesaplarda olmayan daha sonra eklenmiş havalandırma sistemidir. Yapıya 12 adet havalandırma fanları konulmuştur. Kabuğun kalıbının tam projeye göre yapılmamış olması nedeni ile üzerine 5 cm kalınlığında bir tür "tesviye" kaplaması yapıldığı ve bu ek ağırlığın tasarım hesaplarında dikkate alınmadığı da yıkılmaya katkı yapan etmenler olarak ileri sürülmektedir (İhsan İnan 1959).



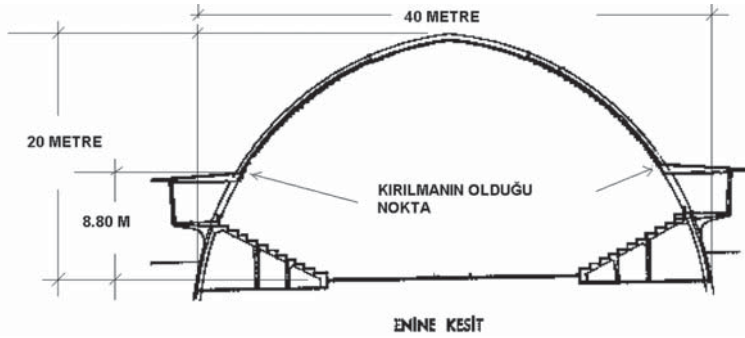
Şekil 1 - Çökmüş
Kabuk Çatının Spor
Salonunun İçinden
Görünüşü (4 Hazi-
ran 1958 Hürriyet
Gazetesi)

Spor Sarayı'nın yıkılma nedenini belirleme çalışması statik ve betonarme projesi yokluğunda yapılmıştır. Yapının ve kabuk çatısının boyutları ve donatıları ile ilgili bilgiler çeşitli kaynaklardan derlenen bilgilerden çıkartıldığı kadarı ile bilinmektedir. Gerçek, yapılmış durumundaki, boyut, beton ve donatının miktar ve mekanik özelliklerinin nasıl olduğu tam bilinmeden bazı kestirimlere dayanılarak bir yapı analizi yapılacaktır. Yazıdaki kabullerin yönlendireceği bir davranış ve yıkılma modeli belirlenecektir. Bulunacak yıkılma nedeni çeşitli varsayım ve kabullerin yönlendirdiği bir sonuç olacaktır.

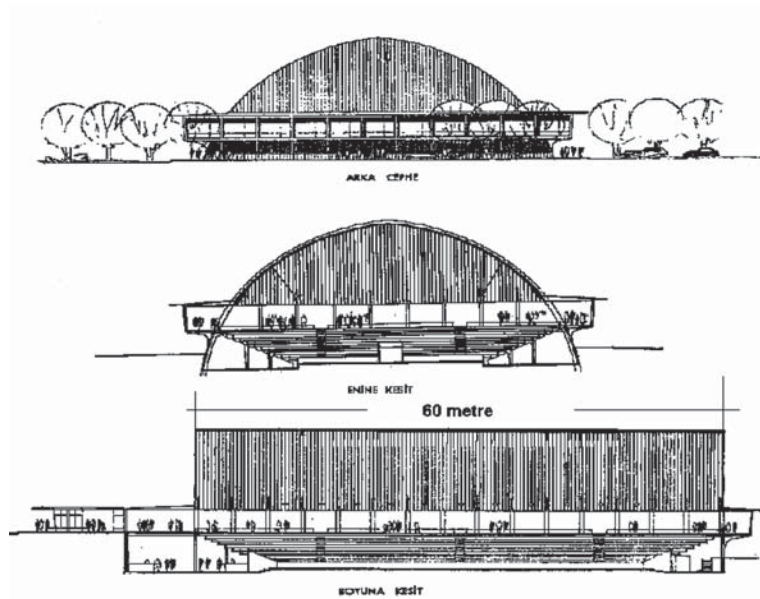
Uygulanan yöntem kısaca yapının dayanımını belirlemek ve daha sonra etkileyen yüklerle bu dayanımı karşılamaktır. Bu yüklerin yarattığı etkiler ve dayanımın karşılaştırmasının yıkılmanın nedeni üzerinde yorum yapma olanağı sağlayacağı sanılmaktadır. Önce kabuğun projesine göre olan en kesiti ve donatı miktarı dikkate alınarak aksel yük-moment ve moment-eğrilik ilişkileri Response 2000 programı ile hesaplanmıştır. Daha sonra yapının SAP2000 programı ile analizi yapılmıştır. Analizde yapının kendi ağırlığı, havalandırma motorlarının yaratacağı titreşim yükleri, zamana bağlı sünme ve rüzgar yükleri etkisi altında oluşan kesme ve basınç kuvvetleri ve eğilme momentleri ile dayanım karşılaştırılarak en kesitte taşıma gücünün yitirilmesine değişik yüklerin ve bu yüklerin birada bulunmasının yaratacağı toplam etkiler ile karşılaştırılarak yıkılmanın nedenleri üzerinde bir kestirme yapılacaktır.

Yapının Özellikleri

Yapının çatısının tasarımının sorun olduğu anlaşılmaktadır: Mimari projenin müellifi Mesut Evren kapalı spor salonlarının tasarımı konusunda bir yeterlilik çalışması yapmıştır (1954). Önce çatının arasında hafif plaklar olan çelik konstrüksiyon olarak düşünüldüğünü söylemektedir. "Ancak, çelik imalatın dışardan temininin zorluğu ve geçecek zamanın önemi konstrüksiyonun betonarmeye çevrilmesini zaruret haline koymuştur" demektedir. Statik ve betonarme hesapları özellikle kabuk hesabı İstanbul Teknik Üniversitesi'nden Prof. Dr. İhsan İnan tarafından yapılmıştır.



Şekil 2 - Ankara Spor Sarayı Yaklaşık Boyutları



Şekil 3 - Yapının Dış Görünüşleri (Mesut Evren 1954)

İnşaatı yapan Haymil Şirketi ise büyük yapılar konusunda deneyimlidir: Dil, Tarih ve Coğrafya Fakültesi, Emekli Sandığı Genel Müdürlüğü ve Etibank Genel Müdürlüğü binalarını yapmıştır (Ulus Gazetesi-1958). Bu yapılar gerçekten o günün "büyük" yapılarıdır. Ancak Spor Sarayı büyüklük yanında özel ve hassas ve geniş açıklıklı bir kalıp işçiliği isteyen bir yapıdır. Açıklığa göre çok ince bir beton kabuk dökülecektir. Normal kiriş-plak döşemeli yapılarda plak kalınlığı yaklaşık olarak açıklığın 1/40'ı kadardır. Plak açıklıkları da 5.00 metredir. Oysa Spor Sarayı'nın kabuk çatısı 40 metre açıklığındadır ve plak kalınlığı 10 cm'dir: $10 \text{ cm} / 4000 \text{ cm} = 1/400$.

Projesi bulunmadığı için kabuktaki donatılar bilinmemektedir. Yalnız bilirkişi raporunda (Mustafa İnan ve diğerleri 1958) kabuk donatılarının tek sıra olduğu ve en kesit ortasına konulması gerekirken alt yüze yakın olarak konulmuş olduğunun görüldüğü söylenmektedir. Yıkılmadan sonra kurulan bilirkişi içinde İnşaat Mühendisleri Odası tarafından görevlendirilmiş İnşaat Yüksek Mühendisi Ali Terzibaşoğlu (2008), kabuk donatısının yaklaşık $\phi 12$ mm çapında olabileceğini ve donatı aralıklarının da 10-15 cm kadar olduğunu sandığını söylemiştir. Kabuk tabanında yaklaşık 60 x 110 cm en kesitinde bir boylamasına kirişe oturmaktadır.

Şekil 4 ve Şekil 5'te yapının SAP2000 programı ile modellenmiş görünüşleri verilmektedir.

Statik Proje müellifi İnan, (1959) kalıpların yeterli hassasiyetle yapılmadığını ileri sürmektedir. Yıkılan kabuk çatının kalıpları 1956 Temmuz ayında sökülmüştür. Kabuk çatı yapısı ise yaklaşık 2 yıl sonra 2 Haziran 1958 günü akşamında yıkılmıştır. Spor Sarayı inşaatına 23 Nisan 1954 yılında başlanmıştır. Spor Salonu inşaatın bitmesinden sonra 18 Ekim 1957'de hizmete açılmıştır.

Projede kabuk inşaatın beton sınıfı B160 donatısı ise St-I sınıfı olarak belirlenmiştir. B160 sınıfı betonun 28 günlük silindirik dayanımı 140 kg/cm^2 , St-I dayanım sınıfında yumuşak demirin akma gerilmesi $2.2 - 2.4 \text{ ton/cm}^2$ olarak seçilmiştir (Bilirkişi Raporu 1958).

Yıkılma

Yıkılma 2 Haziran 1958 günü saat 20:30'da olmuştur. Yapı içinde ya da çok yakınında bulunan bir gece bekçisi kabuk çatının çok kısa zamanda ve yapı içinde bir rüzgar oluşturarak çöktüğü görmüştür. Kabuk çatının ani yıkılışı yapı içindeki havanın hızlı bir biçimde sıkışmasına ve patlama gibi yapının çevresindeki pencere camlarının büyük basınç altında kırılmasına ve cam kırıklarının yakın çevreye yayılmasına neden olmuştur. Spor salonunun birkaç yüz metre kadar yakınında Rüzgarlı Sokak'ta bulunan Ulus Gazetesi çalışanları yıkılmayı bir "patlama" gibi hissetmişlerdir (Ulus 5 Haziran 1958). Kısaca yıkılma çok ani olmuştur. Ani yıkılma gevrek ve betondan kaynaklanan bir yıkılma olasılığını güçlendirmektedir.

Yıkılmanın olduğu saatlerde Ankara'da büyük bir fırtına da vardır (Ulus Gazetesi 1958 ve Ali Terzibaşıoğlu 2008).

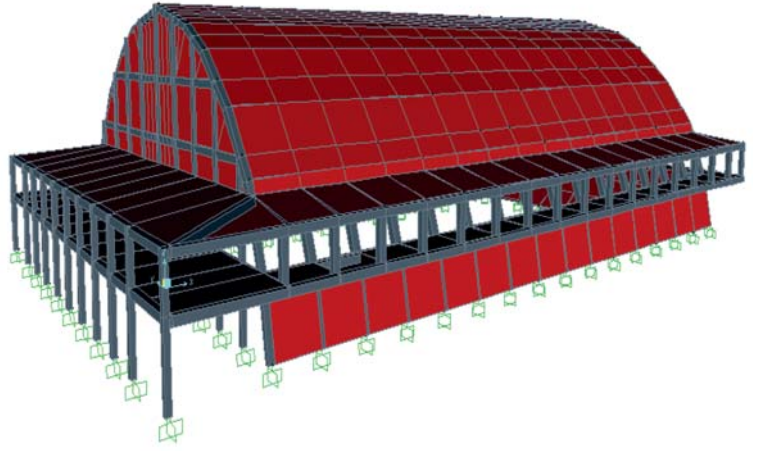
Kırılma Nerede Oldu?

Şekil 6'da kabuğun spor sarayı içindeki çökmüş görünümü verilmektedir. Bu resmin üzerine kırılma çizgileri işaretlenmiştir. Acaba kırılma nerede olmuştur?

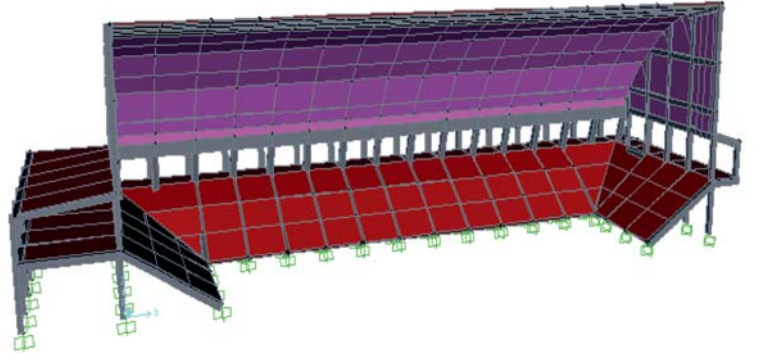
Bir görüşe göre kırılma kabuğun alt ucundaki $60 \text{ cm} \times 110 \text{ cm}$ en kesitindeki mesnet kirişi ile birleştiği yerde olmuştur (Terzibaşıoğlu 2008). Şekil 6'daki kırılma çizgileri kabuk çökmeden önce mi olmuştur yoksa kabuk yere düştüğü, çarptığı zaman mı oluşmuştur? Bu ayrıntı ilerde kabukta oluşan eğilme momentlerinin dağılımına bakılarak açıklanmaya çalışılacaktır.

Bilirkişi Raporu

Bilirkişi raporunda (Mustafa İnan ve diğerleri 1958) gözlemler ve bu gözlemlere dayanan yıkılma nedenleri verilmektedir. Bilirkişilerin gözlemleri şöyledir: 1-Temellerde bir hareket yoktur, 2-Beton kuru dökülmüş ve vibratörle sıkıştırılmamıştır, 3-Betonda hava boşlukları ve ayrışma gözlenmiştir, 4-Beton ve donatı projede istenen dayanımdadır, 5-Donatılar



Şekil 4 - Spor Sarayı Sap2000 Modelinin Genel Dış Görünüşü



Şekil 5 - Spor Sarayı Sap2000 Modelinin İçten Görünüşü



Şekil 6 - Yere Düşmüş Kabuk Yapısındaki Kırılma Çizgileri

tam olması gereken yerde değildir, 6-Yapı projesine göre yapılmıştır, 7-Hesaplarda dikkate alınmamış yapıya sonradan eklenmiş havalandırma motorları dışında bir aşırı yüklenme yoktur, 8-Uygulama ayrıntıları yapının önemine eşdeğer bir ayrıntı düzeyinde değildir, 9-Donatıların tek sıra olarak yerleştirilmesi düşündürücü bulunmuştur, 10-Hesaplarda bazı kabullerin birbirinin eksikliğini giderecek nitelikte olduğu ve sistemin yüksek hiperstatiklik derecesi nedeni ile hesap hatasından ya da eksik bazı kabulardan dolayı bir hatanın yıkılmaya etkimeyeceği varsayılmıştır.

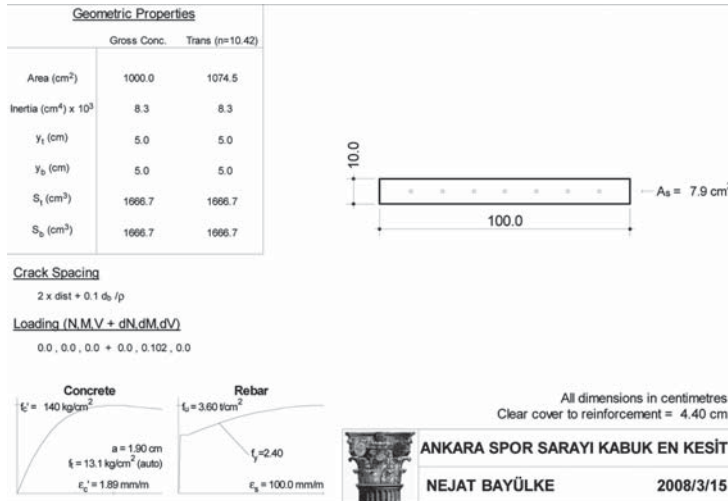
Bilirkişler yıkılma nedeni olarak aşağıdaki noktalar üzerinde yoğunlaşmışlardır. Kısaca yıkılma "stabilite güvenliğinin yetersizliğidir" denilmektedir. Yapılan hesaplarda yıkılma anında kabuk yükünün 330 kg/m² hesaplarda kabul edilen yükün ise 275 kg/m² olduğu, hesaplarda kabul edilen elastisite modülüne göre yıkılma yükünün 1000 kg/m² olduğu ileri sürülmektedir. Bu koşulda stabiliteden dolayı yıkılma söz konusu olmamaktadır. Ancak burada kabul edilmiş elastisite modülünün Avrupa'da yapılan deneylerde stabilite hesaplarında betonun elastisite modülünün betonun reolojik (ne demek?) özellikleri nedeni ile 1/3 oranında azaltıldığı söylenmektedir. Bu durum geçerli ise yıkılma yükünün de 1/3 oranında daha az olacağı ve yıkılma anındaki yapının taşıdığı yüke oldukça yakın olabileceği de yıkılma nedeni olarak öne çıkarılmaktadır.

Bu arada yapıya konulmuş 10 adet havalandırma fanının dinamik etkisinin betonu "yordduğu" ve yıkılma anındaki fırtınanın da kritik bir yük eşliğinin açılmasına katkısı olabileceği ima edilmektedir.

Statik Proje'yi Yapanın Yanıtı

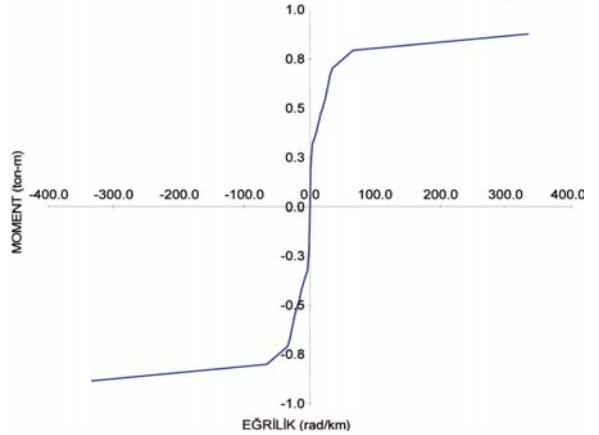
Projeyi yapan bilirkişi raporuna verdiği yanıtta (İnan 1959) 1-Betonarme ve donatı ayrıntılarının çiziminin yükleniciye ait olduğunu, 2-İmalat sırasında kendisine danışılmadığını imalatı görme isteğinin yerine getirilmediğini, 3-Projede tanımlanan nitelikte betonun 28 günlük basınç dayanımının 330 kg/cm² zaman içinde ise 400 kg/cm² dayanıma ve 400 000 kg/cm² gibi bir elastisite modülüne ulaşacağını öne sürmektedir. Yıkılan binadan alınan beton örneklerinin standart boyuttan küçük olduğunu bu nedenle standart boyutta örneklerle göre bulunana beton dayanımının daha düşük olacağını da ileri sürmektedir. Projeyi yapana göre inşaatın betonunun basınç dayanımının boşluklu ve ayrılmış olması nedeniyle de istenilen proje dayanımında olamayacağını söylemektedir. Ayrıca bilirkişi raporunda demirler tam yerine konulmamış olduğunun belirtilmesine karşı inşaatın "projesine göre yapılmış" olduğu ifadesi geçerli olamaz da denilmektedir.

Projeyi yapanca yıkılma nedeni hesap ve tasarım hatası değildir. Kalıp bozukluğu neden ile çatıya 5 cm şap yapılması yükü artırmıştır, beton basınç dayanımı projedeki dayanımda değildir, demirler projedeki yerine konulmamıştır, projede olmayan ve tasarım sırasında söz edilmemiş havalandırma fanlarının dinamik etkileri ve yıkılma anındaki fırtına yıkılma nedeni olmuştur denilmektedir.



Şekil 7 - Kabuk kalınlığı 10 cm, beton basınç dayanımı 140 kg/cm² ve donatı akma gerilmesi 2.4 ton/cm² ve donatı miktarı φ12mm/15 cm.

SPOR SARAYI KABUK MOMENT-EĞRİLİK İLİŞKİSİ



Şekil 8 - Kabuk kalınlığı 10 cm, beton basınç dayanımı 140 kg/cm² ve donatı akma gerilmesi 2.4 ton/cm²ye göre hesaplanmış moment-eğrilik diyagramı.

Kabuk Çatının Özellikleri

Kalınlık

Kabuğun en kesit kalınlığının ortalarda ve tepede 10 cm, olduğu, mesnete yakın yaklaşık 1.00 metrelik bir bölümde ise 15 cm kalınlığında olduğu "Bilirkişi" raporunda verilmektedir. Ancak aynı raporda ve proje müellifinin bu rapora verdiği yanıtta kabuk kalıplarının düzgün yapılmamış olması nedeni ile çatıya 5 cm kadar bir "tür" tesviye sıvası uygulandığı ve bu ayrıntının kabuğun ağırlığını artırdığı tezi savunulmaktadır.

Kabuğun mesnete yakın bölgelerinde de hatalı imalat olabileceği ve kırılmanın olduğu, kabuğun alt ucundaki kirişe bağlandığı mesnet bölgesinde kalınlığının, 15 cm yerine en çok 12 cm olabileceği de düşünülerek betonarme en kesit hesapları yapılmıştır

Donatı

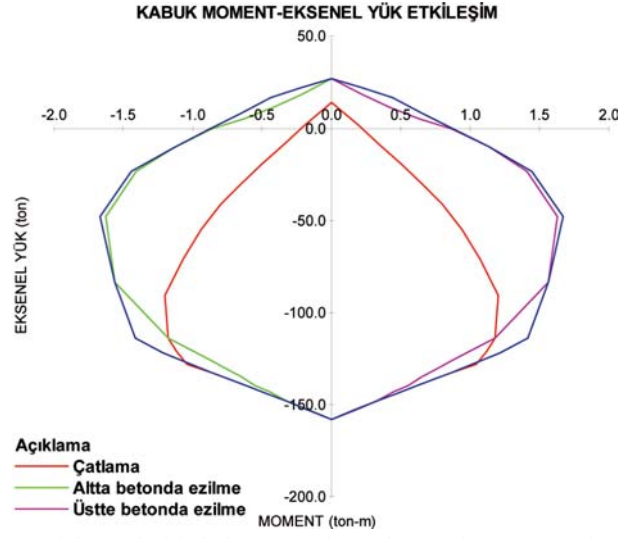
Kabukta tek sıra donatı kullanıldığı bilirkişi raporundan anlaşılmaktadır. Sayın Terzibaşoğlu (2008) mesnetlere yakın bölümlerde, kabuk kalınlığının 15 cm ve kırılmanın olduğu noktada, en kesite iki sıra alt ve üst, donatı konulmuş olabileceğinden söz etmiştir.

Kabuk donatısının her iki yönde $\phi 12$ mm/15 cm olduğu, beton basınç dayanımının 140 kg/cm², donatının akma dayanımının 2.2 ton/m² olduğu kabul edilerek moment-eğrilik ve moment-eksenel yük etkileşim eğrileri RESPONSE2000 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bilirkişi raporunda yıkılan binadan alınan beton örnekleri üzerinde yapılan deneylerden betonun B160 betonu sınıfı dayanımını sağladığı söylenmektedir. Ancak bir değer verilmemiştir.

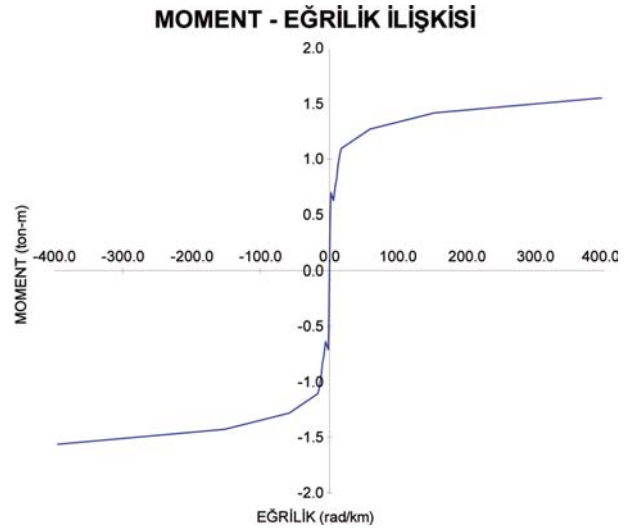
Beton basınç dayanımının projedeki dayanımda olması ne kadar doğrudur? O tarihte Türkiye'de hazır beton yoktur! Depremlerde yıkılan ya da hasar gören yapılardan alınmış betonların, bu betonlar da B160 sınıfındadır, ortalama basınç dayanımları 90 ± 30 -40 kg/cm² olarak bulunmaktadır (Bayülke 2001). Bu nedenle beton dayanımının en iyi koşullarda 120 kg/cm² olması daha gerçeğe yakın görünmektedir. Bu betonun Elastisite modülü, $= 15000 \sqrt{f'c}$ (kg/cm²) (DBYBHY-2007) denklemi kullanılırsa: yaklaşık 164 000 kg/cm² olmaktadır. Sonuçta yapıdaki betonun E değeri SAP2000 programında daha da düşük, 150 000 kg/cm² olarak alınmıştır.

Projeyi yapan tarafından (İnan 1959) ileri sürülen inşaattaki betonun zaman içinde 400 kg/cm² basınç dayanımına ulaşabileceği tezi Türkiye'nin geçmiş beton üretim koşulları açısından çok "ülkisel" bir yaklaşım olmaktadır. 400 kg/cm² beton basınç dayanımı Bugün 2000'li yıllarda, hazır beton santralleri, özel katkı maddeleri çok iyi agrega tane dağılımı ve bakım gibi koşullarda ancak üretilen bir beton dayanımıdır. Bugünkü beton üretim olanak ve koşullarından geriye bakılınca, 1954-1956 yıllarındaki en iyi olanaklarla değil 400 kg/cm², 150 kg/cm² basınç dayanımının gerçekleşme beklentisi de, yıkılan yapının betonu üzerindeki bilirkişilerin gözlemlerine bağlı olarak, olanak dışı görünmektedir.

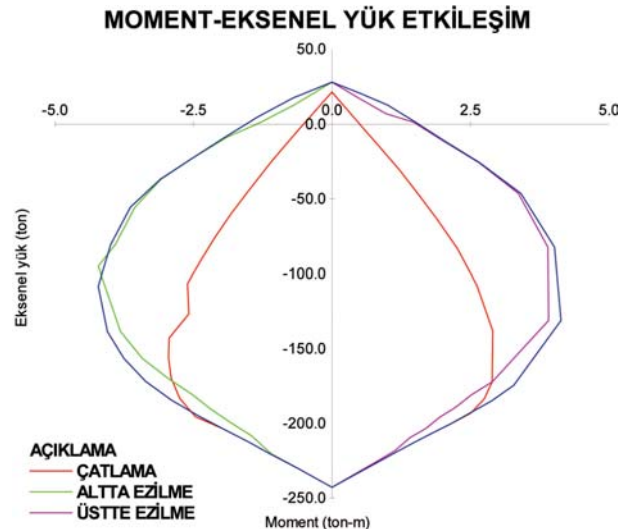
Kabuğun mesnete yakın bölgesinde en kesit kalınlığı 15 cm olmaktadır (Bilirkişi Raporu 1958). 15 cm kalınlıktaki kabuk için aynı beton dayanımı ve donatı miktarı için moment-eksenel yük ve moment eğrilik ilişkileri de şekil 7 ve 8'de verilmektedir.



Şekil 9 - Kabuk kalınlığı 10 cm, beton basınç dayanımı 140 kg/cm² ve donatı akma gerilmesi 2.4 ton/cm²'ye göre hesaplanmış Moment-eksenel yük etkileşim diyagramı.



Şekil 10 - Kabuk kalınlığı 15 cm, beton basınç dayanımı 140 kg/cm² ve donatı akma gerilmesi 2.4 ton/cm²'ye göre hesaplanmış Moment-eksenel yük etkileşim diyagramı.



Şekil 11 - Kabuk kalınlığı 15 cm, beton basınç dayanımı 140 kg/cm² ve donatı akma gerilmesi 2.4 ton/cm²'ye göre hesaplanmış Moment-eksenel yük etkileşim diyagramı

Tablo 1 - Enkesit kesme kuvveti taşıma gücü

En kesit	Vo	No
10 cm x 100 cm	29 ton	138 ton
15 cm x 100 cm	34 ton	198 ton

Kayma Kuvveti ve Eksenel Yük Taşıma Gücü

Kabuğun yukarıda verilen en kesitinin (10 cm ya da 15 cm x100 cm boyutunda kesit) kayma kuvveti taşıma gücü, beton çekme dayanımı 10 kg/cm² alınırsa ve 7 adet ϕ 12 donatı olduğu kabulü ile 10 ve 15 cm kabuk kalınlığı için aşağıdaki Tablo-1'de verilmektedir.

Kabuk Çatıdaki Yükler

Betonarme kabuk çatının mesnet kirişine bağlı olduğu noktada, kökünden, kırıldığı anlaşılmaktadır. Yapının statik analizi ile kabuğun uzunlamasına her 1.00 metre boyundaki bölümüne gelen düşey, yatay kuvvetler uzun yöndeki eğilme momentleri hesaplanacak ve yukarıda verilen taşıma güçleri ile karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırmada kabukta değişik yüksekliklerde oluşan kuvvet ve momentler yatay ve düşey kabuk şekil değiştirmeleri verilecektir.

Kendi Ağırlığı Altında

Kabuğun 10 cm kalınlığında olduğu varsayılmış ve kabuk betonunun birim ağırlığı 2.25 ton/m² olarak alınmıştır. Bu kabulde betonun üretim ve işleme durumları dikkate alınırken tam sıkıştırılmadığı bu nedenle de yoğunluğunun 2.5 ton/m³ olamayacağı varsayılmıştır. 1956 yılında Türkiye'de hazır beton yoktur. Şantiyede betonun hangi koşullarda üretilip döküldüğü bilinmemektedir. Bilirkişi raporunda betonun vibratörle sıkıştırılmadığı söylenmektedir. Yıkılan binadan alınan beton örneklerinden ölçülen beton basınç dayanımının proje dayanımında olduğu bilirkişi raporunda söylenmektedir (İnan ve diğerleri 1958). Ancak projenin statik hesaplarını yapan kişi (İnan 1959) boşluklu ve ayrışma göstere-betonun projedeki dayanımda olamayacağı kannahtindedir. Bu koşullarda yukarıda kabul edilen beton birim ağırlığının gerçeğe yakın bir değer olduğu sanılmaktadır.

Kabuğun Üzerinin 5 cm Kalınlıkta Sıva İle Kaplama Yükü

Bu yük kabuğun üstünde 5 cm sıva kaplaması olduğu dikkate alınarak 2500 kg/m² x 0.05 m = 125 kg/m² karşılık olmaktadır. Uygulanan "tesviye" sıvasının kalınlığının çatının her yerinde 5 cm kalınlığında olduğu kabulü bütün kabuk çatı için geçerli olmayabilir. Çatıda alüminyum kaplama olduğu da söylenmektedir. Bu nedenle kabuk yapısının kendi ağırlığına ek olarak yaklaşık 150 kg/m² gibi bir yük (sıva ve alüminyum kaplamadan gelen) daha taşıdığı varsayılmıştır.

Rüzgar Yükü Altında

Yarıya gelen rüzgar yükü 0.080 ton/m² olarak hesaplanmıştır. 2 Haziran 1958 günü Ankara'da fırtına vardır (Ulus Gazetesi 3 Haziran 1958). Rüzgar hızı olarak 20-25 m/sn alınmış ve TS-492'ye göre ve yapı- nın geometrisi de dikkate alınarak 80 kg/m² rüzgar yükü Y-yönünde, kısa yönde, uygulanmıştır.

Tablo 2 - Kabuk Çatının Öz Titreşim Periyotları

Periyot (sn)	Etkin Kütle (x)	Etkin Kütle (y)	Notlar
0.427	-	%33	Kısa yönde 1nci mod titreşimi
0.309	%28	-	Uzun yönde 1nci mod titreşimi
0.305	-	%11	
0.275	% 5	-	
0.227	%19		

Havalandırma Fan Motorların Çalışması Altında

Kabuk çevresindeki konsol yürüme yolları üzerinde 5 adet havalandırma fanı motoru (her iki tarafta toplam 10 adet) olduğu resimlerden çıkarılmaktadır. Ayrıca kabuğun uçlarındaki yürüme yolları konsolu üstünde de havalandırma motorları (4'er adet) olduğu sanılmaktadır. Ancak yapının kabuk bölümündeki konsol biçimindeki yürüme yollarında her iki tarafta toplam 10 adet havalandırma fan ve motor sisteminin sonradan konulmuş olduğu varsayılmıştır. Bunların her birinin ağırlığının 250 kg kadar ola-

bileceği ve 1500 ya da 3000 devir/dakika (25 ve 50 Hz frekans ya da 0.02 ve 0.04 sn periyot) ile dönen yaklaşık 100 kg ağırlıklı motor, ve fan bölümlerinin olabileceği tahmin edilmektedir. Bu havalandırma cihazlarının titreşim frekansları yapının hakim titreşim frekansları ile karşılaştırılmıştır. Tablo-2. Yapının kabuk bölümünün titreşim periyotları fanların olası periyotlarından yaklaşık 10 ile 20 kat daha büyük olup bir rezonans yaratma etkileri olamaz.

Burada etkin kütlelerin % 50 kadar olmasının nedeni yapının kabuğunun alt bölümündeki tribünlerdeki kütlelerin kabuk titreşimi ve periyoduna katkısının sınırlı olmasının sonucu olarak yorumlanabilir.

Bu titreşim periyotları kabuk yapısının analitik olarak (SAP2000 programı ile) hesaplanmış periyotlarıdır. Kabuğun öz titreşim periyotları havalandırma fanlarının periyotlarından çok uzaktadır. Bu nedenle bir rezonans olasılığı yoktur. Fanların titreşim yapan kütleleri ise 24 adet x 100 kg = 2.4 ton/9.81 m/sn² = 0.244 ton/m/sn² olarak varsayılabilir. Yapının SAP2000 programı modelinin toplam ağırlığı 4360 ton dur. 8.80 kotunun üzerindeki çöken kabuk bölümünün ağırlığı ise 600 ton kadardır. Kabuk bölümünün havalandırma fanlarının ağırlığının kabuk ağırlığına oranının yaklaşık 2.4 ton / 600 ton = 0.004 ve kabuk ağırlığının % 0.4 kadar olduğu düşünülürse havalandırma sisteminin gerek kütle ve gerekse titreşim özellikleri bakımından yapıda etkili bir rezonans yaratma olasılığı çok azdır. Bu nedenle de fan titreşimlerinin kabuk betonunda yolulma olayına neden olup yıkılmaya katkısının olduğu iddiası gerçekçi değildir.

Büzülme ve Sünme

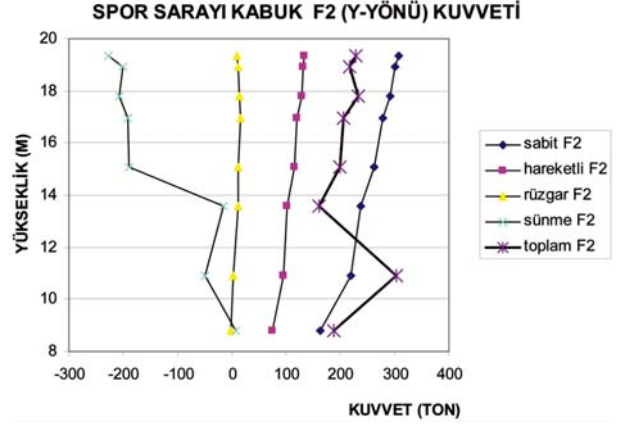
Yapı inşaatın bitiminden yaklaşık 2 yıl sonra yıkılmıştır. Bu süre, yıkılma nedenleri arasında betonun uzun dönemli davranışına etkiyen "sünme" olayının da dikkate alınmasını gerektirir. Sünme beton ortamında oluşan bir kırılmadır. Ani yıkılma gevrek bir beton kırılmasına işaret etmektedir. Bilirkişi raporunda sözü edilen betonun reolojik özellikleri nedeni ile hesaplarda elastisite modülünün 1/3 kadar alınması gerektiği görüşü, bir anlamda bu tür sünme ve büzülme etkisinin dikkate alınmadığını öne sürmektedir. O yıllarda betonda sünme olayının Türkiye'de ne kadar bilindiği belli değildir. Bu olay daha sonraki yıllarda incelenmeye başlamıştır (Ersoy 1981).

Büzülme

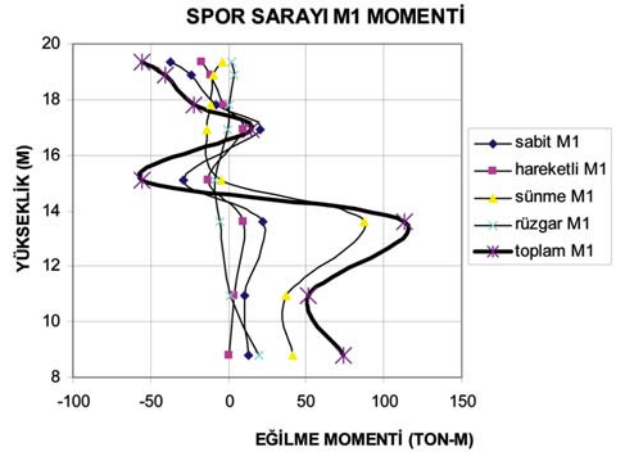
Taze betonun içinde çimentonun hidrasyonu için gerekenden daha çok su vardır. Bu su buharlaşınca betonun hacmi küçülmektedir. Beton "büzülme"ktedir. Betonun sertleşmesi için gereken su miktarı çimento ağırlığının %25'i kadar olmasına karşılık işlenebilirlik için bunun yaklaşık iki katına kadar su konulabilir. Bu gerekenden çok suyun buharlaşması ortamın sıcaklığına, nemine, elemanın ortama açık yüzeyinin alanına bağlıdır. Büzülmenin büyük bir bölümü ilk üç ay içinde olur ancak zaman içinde de hızı azalarak sürer.

Sünme

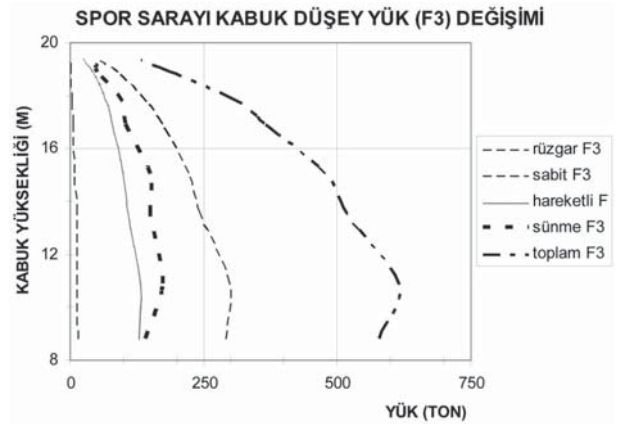
"Sünme" de temel olarak beton içindeki suyun azalmasına bağlı bir olaydır. Ancak "büzülme"den farkı su kaybının betondaki gerilme nedeni ile olmasıdır. Betondaki basınç ve çekme gerilmeleri



Şekil 12 - F2 Kuvveti (Y-Yönünde Kesme Kuvveti)



Şekil 13 - M1 Momenti Kabuk tabanında x-yönü, uzun yön aksı çevresinde eğilme momenti. Kabuğun kırılmasına neden olan moment



Şekil 14 - F3 Kuvveti Kabuğun kökündeki düşey yük (60 metre uzunluk için toplam)

çimento hamuru içindeki suyun dışarıya itilmesine neden olur; bu işlem de suyun yine buharlaşması gibi bir mekanizma ile uzaklaştırılması ile oluşur. Daha yavaştır ve daha uzun sürelidir.

“Ankara’da uzun açıklıklı bazı yapılarda sünmenin doğurduğu çekme gerilmeleri nedeni ile bazı önemli çatlamlar ve hasara zaman zaman rastlanmaktadır. ODTÜ Yapı Mekanikliği Laboratuvarında yapılan bazı deneylerde gece gündüz ısı farkının büyüklüğü ve nemin azlığı nedeni ile Ankara’da büzülme birim kılmasının Çizelge 1.7’de verilen değerlerin çok üstünde olduğu gözlenmiştir” (Ersoy ve Özcebe 2001). Sünme ve büzülme katsayısı hesabı aşağıdaki denklem ile yapılmaktadır. Bu denklem betonun yaşına, ortamın nem oranına betonarme elemanın inceliğine ve yükleme yaşına bağlıdır.

Ersoy ve Özcebe (2001) kitaplarında sünme katsayısının aşağıdaki denklem ile hesabını önerirler

$$\varphi = 0.4 \times \beta_d + \varphi_{f1} \times \varphi_{f2} \times \beta_f$$

Burada β_d beton döküldükten sonra geçen zamana ve ortamın bağıl nem oranına bağlı bir katsayıdır. 2 yıl ve Ankara gibi kurak bir ortam için 0.97’ye eşittir. φ_{f1} = kuru ortamlar için 3’e eşittir % 40 bağıl nem ve $\lambda=1.0$ eşittir. φ_{f2} = 1.55’e eşittir. Eşdeğer kalınlığa bağlıdır. Bu katsayı kalıp sökme süresi 7 ile 60 gün arasında ise 0.75 ile çarpılır. β_f = 200 mm eleman sanal kalınlığı ve 2 yıl için 0.83 değerini vermektedir. Bu katsayılar denkleme konulunca sünme katsayısı 3.35 olmaktadır.

Ancak Ersoy ve Özcebe (2001) Ankara gibi İç Anadolu’nun kurak bölgelerinde bu katsayını en az iki kat daha büyük olabileceğini de söylemektedirler.

Gilbert ve Guo (2005) deneysel çalışmalarında betonarme plak döşemelerin uzun dönemdeki sehimlerini incelemişlerdir. Hemen 1/1 ölçekli olan betonarme plaklar kapalı bir ortamda denenmiştir. Ancak ortamın nem oranı bilinmemektedir. Bu deneylerde sünme katsayısının betonun yaşı arttıkça büyüdüğü görülmektedir. 120 günlük sünme katsayısı 2.07 iken 450 günlük sünme katsayısı 2.7 olmaktadır. %30 düzende artış vardır.

Bu nedenle yapının yıkılmasında betondaki “büzülme” olayının önemli bir etkisi olabileceği sanılmaktadır.

Yüklerin Hesaplandığı Noktalar

Kabuğun çeşitli kotlardaki noktalarında yukarıda sözü edilen her

Tablo 3 - Düşey Yüklerin Kabuk Yüksekliği Boyunca Değişimi

Yükseklik	Rüzgar F3	Sabit F3	Hareketli F3	Sünme F3	Toplam F3
8.80	16.16	293	127	142	578.16
10.90	13.55	299	130	173	615.55
13.60	13.81	244	107	152	516.81
15.10	9.85	222	97	150	478.85
16.95	8.04	174	77	105	364.04
17.80	5.62	145	64	98	312.62
18.90	3.47	91	40	52	186.47
19.35	2.3	55	24	50	131.3

Tablo 4 - M1 Momentlerinin Kabuk Yüksekliği Boyunca Değişimi

Yükseklik	Sabit M1	Hareketli M1	Sünme M1	Rüzgar M1	Toplam M1
19.35	-37	-17	-3.9	2.31	-55.59
18.90	-24	-11	-9.3	3.42	-40.88
17.80	-7.9	-3.21	-11.44	0.44	-22.11
16.95	20	9.46	-14.1	-0.77	14.59
15.10	-29	-13	-4.4	-8.9	-55.3
13.60	22	9.35	87.03	-5.2	113.18
10.90	9.98	3.43	37.3	0.95	51.66
8.80	13	0	41.3	19.2	73.5

Tablo 5 - Y-Yönü Kesme Kuvvetlerinin Kabuk Yüksekliği Boyunca Değişimi

Yükseklik (m)	Sabit F2	Hareketli F2	Rüzgar F2	Sünme F2	Toplam F2
19.35	307	134	9.87	-223	227.87
18.90	300	131	12.72	-227.1	216.62
17.80	291	128	14.58	-201	232.58
16.95	277	121	15.52	-208	205.52
15.10	263	115	12.06	-191.5	198.56
13.60	237	103	10.92	-189.4	161.52
10.90	220	95	2.3	-15.3	302
8.80	164	75	-1.9	-49.7	187.4

bir yük cinsi için F1, F2, F3 kuvvetleri ve M1, M2 ve M3 eğilme momentleri SAP2-000 programı ile hesaplanmıştır. Burada F3, düşey yönde (Z-yönü), F1, Kabuğun uzun yöndeki (X-yönü), F2, kabuğun düzlemi dışına (Y-yönü) olan kesme kuvvetini vermektedir. M1 kabuğun x-ekseni çevresindeki momentidir, kabuğun tabanında, yapının yüksekliğinin 8.80 metre kotundaki, 60 x 110 boyutundaki boyuna X-yönünde uzanan kirişe bir burulma momenti olarak etkimektedir. Bu moment yukarıda verilen kabuk en kesitlerine bir eğilme momenti olarak etkimektedir.

Bu etkiler kabuğun kökünün başladığı 8.80 kotu ve üzerindeki kotlarındaki kesitler için hesaplanmış daha sonra 60 metre olan kabuğun x yönündeki uzunluğuna bölünerek 1.0 metrelik bölümlere gelen nominal bir moment olarak bulunmuştur. Bu değerler yukarıda hesaplanan taşıma güçleri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 12 ve 13'te farklı kottaki kabuk kesitlerinde F2 (Y-yönü), kabuğun düzlemi dışına kesme kuvveti, F3 düşey kuvvet ve M1 kabuğun uzun yöndeki aksı çevresinde eğilme momenti etkileri verilmektedir.

Tablo 3, 4 ve 5'den kabuğun kırıldığı nokta olan H = 8.80 metre kotundaki M1 momenti 73.5 ton-m / 60 m = 1.225 ton-m/m olmaktadır. Düşey yük ise 578 ton / 60 m = 9.63 ton/m olarak hesaplanmıştır.

Bu bölümün en kesiti 15 cm x 100 cm'dir. Bu aksel yük (9.6 ton/m) altında en kesit eğilme moment taşıma gücü Şekil 11'de verilen moment-eksel yük etkileşim eğrisinden 1.9 ton-m olarak bulunmaktadır. Bu gelen 1.225 ton-m/m ile karşılaştırılınca taşıma gücünün gelen momentten fazla olduğu görülüyor. Bu durumda beton dayanımı 100 kg/cm² olduğu ve kabuk kalınlığının da 15 cm daha az olması durumlarına göre yukarıdaki aksel yük altında oluşacak moment taşıma güçleri hesaplanmış ve gelen M1 momenti 1.225 ton-m ile karşılaştırılmıştır. Değişik beton dayanımı ve kabuk kalınlığı için hesaplanmış eğilme momenti taşıma güçleri Tablo 6'daki gibidir.

Kabuk kalınlığına bağlı olarak moment taşıma gücü azalmakta ve güvenlik katsayısı azalmaktadır. Bu durum çok ince olan beton kabuk kalınlığındaki üretim hatasının yıkılmaya önemli katkısı olabileceğini göstermektedir.

Kabuğun kalınlığının 15 cm yerine 12 cm olması en kesit moment- aksel yük ilişkisinde Şekil 15 ve Şekil 16'da gösterilen farkı yaratmaktadır:

Kabukta Oluşan Etkiler

Düşey Yükler (F3): Kabukta oluşan düşey yükler sünme etkisi olmadan ve sünme etkisi ile birlikte Şekil 17'de verilmektedir.

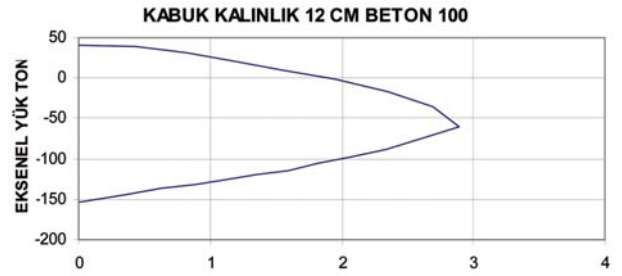
Kesme Kuvvetleri: Kabukta y-yönünde oluşan bir tür kesme kuvvetleri Şekil 18'de verilmektedir.

Eğilme Momenti: Kabukta 1-aksı, x-aksı çevresinde oluşan ve kabuğun saplandığı 60x110 cm kirişe bir tür burulma momenti olarak etkiyen moment Şekil 19'da verilmektedir.

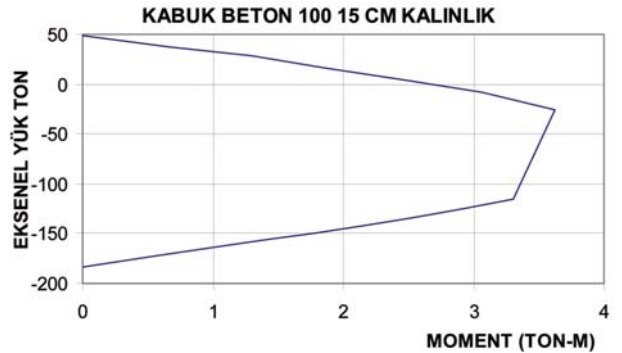
Kabuğun Şekil Değiştirmesi: Şekil 21' ve 22'de kabuğun düşey ve yatay şekil değiştirmeleri, düşey sehimleri verilmektedir. Şekil 20'de kabuğun kendi ağırlığı, tesviye sıvası ve kaplama ağırlığı, rüzgar yükü altında düşey sehimleri verilmektedir. Şekil 21'de ise bu yüklere ek olarak sünme etkisi altındaki şekil değiştirmeler

Tablo 6

Kesit kalınlığı	Moment taşıma gücü	Gelen moment	Güvenlik katsayısı
10 cm	0.96 ton-m/m	1.225 ton-m/m	0.78
11 cm	1.1 ton-m/m	1.225 ton-m/m	0.90
12 cm	1.227 ton-m/m	1.225 ton-m/m	1.001
13 cm	1.41 ton-m/m	1.225 ton-m/m	1.151
14 cm	1.53 ton-m/m	1.225 ton-m/m	1.249
15 cm	1.65 ton-m/m	1.225 ton-m/m	1.35



Şekil 15 - Moment Eksel Yük İlişkisi Kabuk Kalınlığı 12 cm



Şekil 16 - Moment Eksel Yük İlişkisi Kabuk Kalınlığı 15 cm

Tablo 7 - Kabuğun Sünmeli ve Sünmesiz Şekil Değişiklikleri

Z (m)	Düşey ΔZ (cm)		Yatay ΔY (cm)	
	Sünme Var	Sünme Yok	Sünme Var	Sünme Yok
20.00	-2.63	-0.96	0.35	0.29
19.78	-2.89	-1.20	0.27	0.24
19.56	-3.83	-1.60	0.15	0.14
19.35	-3.67	-2.00	0.06	0.06
19.13	-3.79	-2.10	0.028	0.03
18.90	-3.61	-2.01	0.05	0.05
18.58	-3.10	-1.62	0.14	0.14
17.80	-2.42	-1.16	0.37	0.37
16.94	-1.55	-0.61	0.74	0.64
15.08	-0.51	-0.0095	1.47	1.05
13.60	0.50	0.51	2.16	1.52
10.82	0.70	0.57	2.31	1.58
9.66	0.46	0.37	1.93	1.32
8.80	0.34	0.25	1.54	1.03

verilmektedir. Sünme etkisi ile kabukta düşey yöndeki şekil değişiklikleri yaklaşık olarak kabuk açıklığının orta bölümlerinde %100'e varan artışlar görülmektedir.

Kabuğun sünme etkisi ile ve sünme etkisi olmaksızın oluşan şekil değişiklikleri Tablo 7'de listelenmektedir. Kabuğun üst kotlarda sünme etkisi ile birlikte düşey sehiminde önemli %100 ve daha büyük artışlar olmaktadır. Bu durum sünme etkisinin yıkımda önemli bir payının olabileceğini göstermektedir.

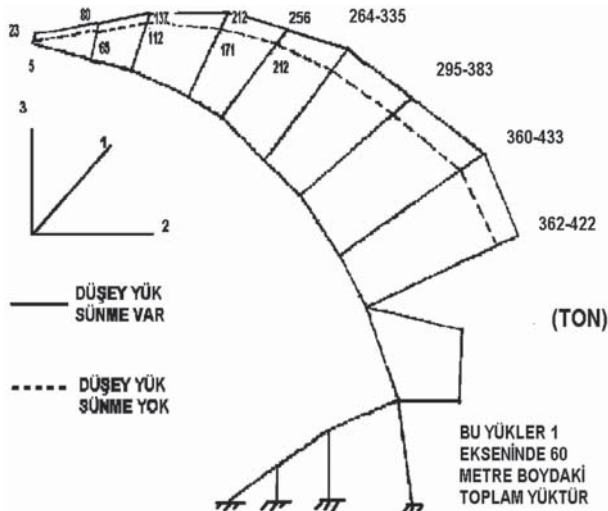
Sonuç

Spor sarayının kabuğunun yıkılmasında betonarmedeki zamana bağlı "sünme" olayının önemli bir katkısı olduğu izlenimi vardır. Bu sonucun daha ayrıntılı olarak bir makalenin boyutunun daha ötesinde boyutta ele alınması daha aydınlatıcı olabilir. Ankara gibi sıcak ve kurak iklimi olan yerlerde betonarmede sünme olayının önemi başka hasarlı betonarme yapı örneklerinde gözlenmiştir (Ersoy 1981). Spor sarayının kabuğunun da bu tür bir nedenle yıkıldığı sanılmaktadır. Bu

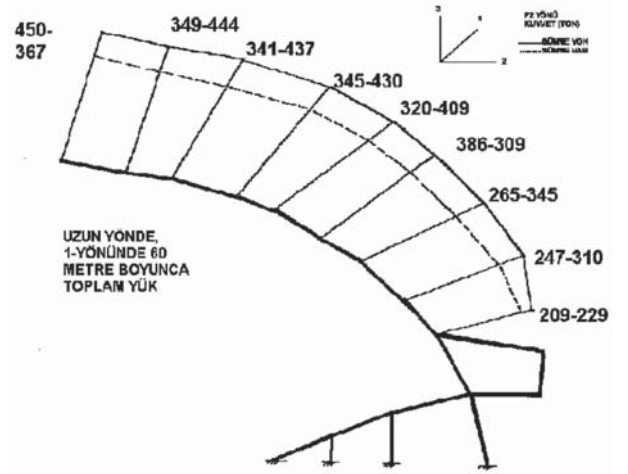
arada kabuğun en kesit kalınlığında olan değişimlerin ve donatı yerleştirme özelliklerinin ve beton dayanımının projedeki dayanımdan farklı olmasının da taşıma gücü üzerinde etkili olduğu da görülmektedir. Kalınlığın kabuğun her yerinde projeye uygun olmadığı tezi geçerli ise, bu imalat kusurunun yıkılmadaki payı artmaktadır. 15 cm olması gereken kalınlıkta 3.0 cm gibi fark olursa taşıma gücünde %20 kadar bir azalmaya neden olabilir. Bilirkişi raporundaki (Inan ve diğerleri 1958) donatının kalınlık içindeki yerinde kusurlar olduğu gözlemi de donatının yerindeki farklılıklardan dolayı kabuğun moment taşıma gücünde değişiklikler yaptığı için yıkılmaya katkısı olmuştur.

Kısaca yıkılma özellikle "sünme" etkisi ve etkisi daha az olduğu sanılan beton dayanımında, kabuk kalınlığında ve donatı yerleştirmede olmuş hataların getirdiği taşıma gücü kaybına bağlanabilir.

Eğilme etkilerini taşıyabilecek daha kalın ve çift sıra donatılı bir beton kabuk ve beton dayanımının projedeki dayanımda olmaması ve o günkü koşullarda yüksek dayanımlı betonun üretim olanağının kısıtlı olması ve betondaki büzülme olayının yeteri kadar bilinmemiş olması yapının talihsiz bir bi-



Şekil 17 - Kabuktaki Düşey Yükler



Şekil 18 - Kabuktaki Kesme Kuvvetleri F2

çimde yıkılmasına ve büyük açıklıklı betonarme kabuk yapıların Türkiye'ye girmesine engel olmuştur: Yıkılan Ankara Spor Sarayı'nın yerine yapılmış 19 Mayıs Kapalı Spor Salonu'nun çatısı çelik makas olarak yapılmıştır.

Teşekkür

Desteklerinden dolayı ARTI Proje Yöneticileri, Sayın Halime Şenol, Mehmet Şenol ve Abdullah İllez'e teşekkür edilir. Sayın Ali Terzibaşoğlu ve Dr. Erhan Karaesmen'e görüşleri ve değerlendirmeleri ile yaptıkları katkılar için teşekkür edilir.

Kaynaklar

Ali Terzibaşoğlu (2008) *Kişisel görüşme*

Bayülke, Nejat (2001) "Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, genişletilmiş 9ncu baskı" *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, 2001

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (1962) "Ortalama ve Ekstrem Kıymetler Meteoroloji Bülteni"

DBYBHY (2007) "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara*, 2007

Erhan Karaesmen (2008) *Kişisel Görüşme*

Ersoy, Uğur (1981) "Betonarmede Çatlama" *Toronto Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (İngilizce)*

Hürriyet, *Günlük Gazete*, 4 Haziran 1958 baskısı

Güney Özcebe ve Uğur Ersoy (2001) "Betonarme" *Evrım Yayınevi, Ankara*, 2001

İhsan İnan.Ord. Prof. (1959) "Ankara Kapalı Spor Salonun Yıkılma Sebepleri Raporuna Cevap" *Yapı Teknik Dergisi No 19 sayfa 19-20, Ankara*

Mesut Evren (1954) "Kapalı Spor Salonları ve Diğer Spor Tesislerine Umumi Bir Bakış" *İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Yeterlilik Çalışması, Pulhan Matbaası, İstanbul 1954*

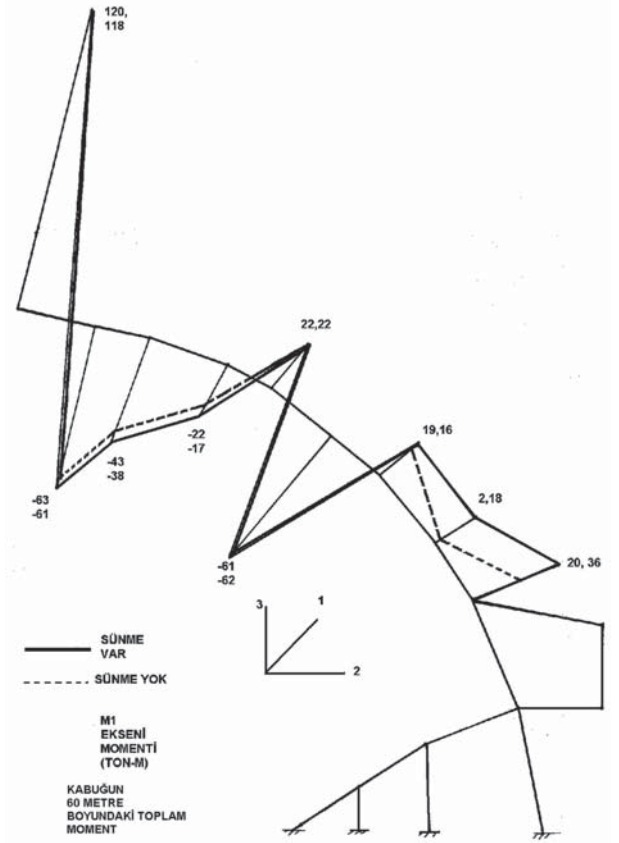
Mustafa İnan, Nurettin Evin, Muhittin Toköz, Ali Terzibaşoğlu, Mehmet Ali Terim, Fehiman Tokluoğlu ve Mahmut Nefesoğlu, (1958) "Ankara Kapalı Spor Salonu Yıkılması Sebepleri" *Bilirkişi Heyetinin Raporunun Tam Metni, Yapı Teknik Dergisi No 14, sayfa 13-14*

R. I. Gilbert and X.H.Guo (2005) "Time-Dependent Deflection and Deformation of Reinforced Concrete Flat Slabs-An Experimental Study" *ACI Structural Journal, Vo 102, No3, May-June 2005 sayfa 363-3731*

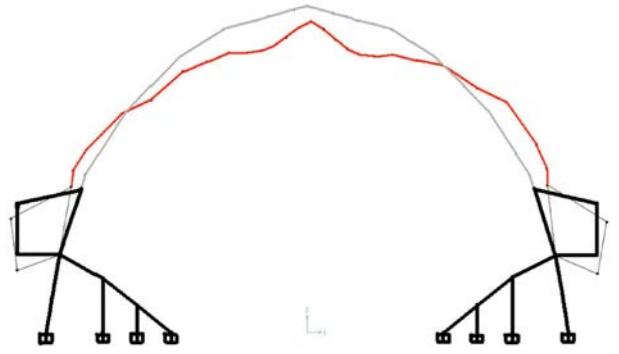
Selahattin Babüroğlu (1959) "Ankara Spor Sarayı Enkazının Kaldırılması Münasebetiyle" *Türkiye Mühendislik Haberleri, Mart 1959, sayfa 17*

Uğur Ersoy ve Güney Özcebe (2001) "Betonarme, Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesapları" *TMMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara*

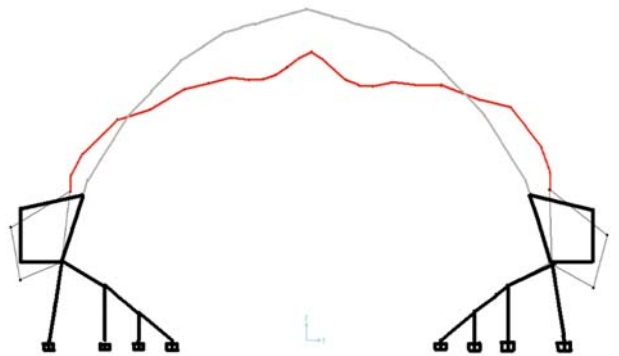
Ulus *Günlük Gazete*, 3, 4, 5 ve 6 Haziran 1958 günlü baskıları



Şekil 19 - M1 Aksı (X-Aksı) Çevresindeki Momentler



Şekil 20 - Kabuktaki Düşey Sehimler Sünme Etkisi Yok



Şekil 21 - Kabuktaki Düşey Sehimler Sünme Etkisi Var