

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİFLİ HAFİF BETON PANEL DUVARLARIN
STABİLİTESİ**

Receb AĞABEYZADE

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Bengi ARISOY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 624.03.00

Sunuş Tarihi : 26.07.2010

Bornova-İZMİR

2010

Recep AĞABEYZADE tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan "Lifli Hafif Beton Panel Duvarların Stabilitesi" başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş vetarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Tarih

Jüri Başkanı : Prof.Dr. Yıldırım ERTUTAR

Y. Ertutar

26.07.2010

Üye : Yard. Doç. Dr. Bengi ARISOY

Bengiarsoy

25.07.2010

Üye : Yard. Doç. Dr. Ayhan NUHOĞLU

A. Nuhoglu

26.07.2010

ÖZET

LİFLİ HAFİF BETON PANEL DUVARLARIN STABİLİTESİ

Receb AĞABEYZADE

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Tez Yöneticisi: Yar. Doç. Dr. Bengi ARISOY

Bu çalışmada kısa liflerle donatılmış hafif beton panellerin yapılar da duvar ve döşeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Rasgele dağıtılmış kısa polipropilen liflerle donatılmış ve perlit (hafif agregalar) kullanılarak üretilmiş betonların lifler sayesinde artırılmış olan sünekliliğinden yararlanılarak, eğilmeye ve çekmeye çalışan duvar ve döşeme elemanlarında kullanılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada çimento ağırlığının %2'si ağırlığında polipropilen lif ve çimento ağırlığının %10'u ağırlığında genişletilmiş perlit agregası kullanılmıştır. Belirtilen karışım ile imal edilen betonun özgül ağırlığı $1,74 \text{ gr/cm}^3$ mertebelerindedir. Belirtilen lifli hafif betonun diğer malzeme ve mekanik özellikleri gerekli malzeme testleri ile yapılmış, eğilmede çekme dayanımı 7 MPa, basınç dayanımı 30 MPa, elastisite modülü 16800 MPa ve yarmada çekme dayanımı 6,4 MPa elde edilmiştir. Panel kesme dayanımının belirlenmesi için yapılan testlerde 500 x 500 x 80 mm boyutlarında imal edilen panel elemanlar diyagonal basınç testine tabi tutulmuş ve panelin kesme dayanımı 2,84 MPa olarak belirlenmiştir. Panellerin belirtilen yükler etkisi altındaki davranışları aynı zamanda kabuk eleman olarak modellenerek SAP2000 programında analiz edilmiş ve sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucu deney ve analiz sonuçlarının birbirini doğruladıkları belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hafif beton, lifli hafif beton, panel, sonlu elemanlar

ABSTRACT**STABILITY OF FIBER REINFORCED LIGHTWEIGHT
CONCRETE PANEL**

Receb AGABEYZADE

MSc in Civil Eng.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bengi ARISOY

In this study, the usability of short fiber-reinforced concrete panel in structures as a wall and floor element is investigated. In order to provide ductility 2.0% of cement weight short polypropylene fibers is used. In order to produce lightweight concrete, 10% of cement weight perlite aggregate is used. The lightweight fiber reinforced concrete proved itself that it is lightweight and ductile material. The density of manufactured lightweight fiber reinforced concrete is about 1,74 gr/cm³. Other mechanical properties of stated lightweight fiber reinforced concrete obtained by necessary material tests. Flexural strength is found about 7MPa, compressive strength is found about 30 MPa, modulus of elasticity is found about 16800 MPa and splitting tensile strength is 6,4 MPa. For determining panel shear strength, diagonal compressive test was performed over 500 x 500 x 80 mm panel specimen and as a result shear result get the value of 2,84 MPa. Behavior of panels under indicated loads were also analyzed as shell element in SAP200 and the results were compared with test results. The evaluations are presented in conclusion.

Keywords: Lightweight concrete, fiber reinforcement lightweight concrete, panel, finite element

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın her safhasında ilgi, teővik ve yardımlarını esirgemeyen Araő.Görev. Emre ERCAN'a teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLO DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
2. KONU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. PREFABRİKE PANELLER	5
3.1 Paneller ve Binalarda Kullanılan Panel Çeşitleri	6
3.2 Panel Sistemlerde Birleşim Noktaları	10
3.3 Panel Kaldırılırken Oluşacak Çekme Gerilmesi	11
3.4 Duvar panellerindeki boşluklar	12
3.5. Ülkemizde Beton Panellerin Gelişimi	13
4.METODOLOJİ	18
4.1 Giriş	18

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2 TS 4046 “Hazır Duvar Panelleri-Hafif Agregalı Betondan Yapılmış Boşluklu Duvar Paneller”.....	18
4.3 SAP 2000 Yapı Analiz Programı.....	18
4.3.1 SAP2000 kabuk (shell) eleman referans yönleri.....	19
4.3.2 Kabuk elemanlara etki eden yüklemeler.....	21
4.3.3 Kabuk elemanlarda iç kuvvet ve gerilmeler.....	21
4.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	24
4.4.1 Üçgen sonlu eleman için deplasman formülasyonu.....	24
5.DENEYSEL ÇALIŞMA VE SAP2000 ANALİZLERİ.....	28
5. 1 Giriş.....	28
5.2 Lifli Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	28
5.3 Hafif Beton Üretimi İçin Kabul Edilen Esaslar	29
5.4 Lifli Hafif Betonun Üretimi, Yerleştirilmesi ve Saklanması	30
5.5 Uygulanan Deneyler.....	30
5.5.1 Basınç dayanımı.....	31

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.5.2 Betonun elastiklik modülü.....	32
5.5.3 Çekme dayanımı.....	33
<u>5.5.3.1 Yarmada çekme deneyi.....</u>	<u>34</u>
<u>5.5.3.2 Eğilmede çekme deneyi.....</u>	<u>36</u>
5.5.4 Diyagonal basınç (kesme) testi.....	42
5.6 Paneldeki Boşlukların Panelin Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi.....	51
5.7 Panelin Kaldırılması ile Bağlı Sayısal Örnek.....	55
5.8 Üretilmiş Panelin Karşılaştırılması	56
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Panelde biçimsel çeşitlilik (PCI Design Handbook)

Şekil 3.2. Çift tabakalı, beton esaslı panel kesitleri

Şekil 3.3 Tek katlı panel ev

Şekil 3.4 Panellerdeki boşluk çeşitleri

Şekil 3.5 Isı yalıtımlı sandviç cephe panelleri

Şekil 3.6 Şantiye ortamında vibrasyonlu masada prefbrike cephe paneli üretimi

Şekil 3.7 Prefbrike cephe panelinin yerine taşınması

Şekil 3.8 Cephe panellerinde meydana gelen bozulmalar ve kırılmalar

Şekil 3.9 Metal ankraj üzerinde oluşan paslanmalar

Şekil 4.1 (a) Membran ve (b) plak eleman davranışı

Şekil 4.2 (a)Dört ve (b) üç düğümlü kabuk elemanı

Şekil 4.3 Plak elemandaki (a)yükler ve (b)gerilmeler

Şekil 4.4 Kabuk elemanın S11, S22, S12, S13, S23, Smax ve Smin gerilmeleri

Şekil 4.5 Dört düğümlü sonlu elemanın

Şekil 5.1 Genleştirilmiş perlitin görünümü

Şekil 5.2 Polipropilen lifin görünümü

Şekil 5.3 Üretilmiş küp numuneler

Şekil 5.4 Küp basınç test düzeneği

Şekil 5.5 Küp numunelerde oluşan çatlaklar

Şekil 5.6 Yarma deneyi sonucunda oluşan çatlaklar

Şekil 5.7 Lifli ve lifsiz küp numunelerinin yarma deneyi altındaki davranışı

Şekil 5.8 Eğilmede çekme deneyi düzeneği

Şekil 5.9 Kiriş numunelerde eğilme testi sonucunda oluşmuş çatlaklar

Şekil 5.10 Kiriş numunelerin eğilmedeki davranışı

Şekil 5.11 Kiriş numunenin eğilmedeki davranışı

Şekil 5.12 Kiriş numunenin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi

Şekil 5.13 Diyagonal basınç deneyi şeması

Şekil 5.14 Homojen elemanın saf kesme yüklemesi

Şekil 5.15 Diyagonal Çekme (Kesme) Testi düzeneği

Şekil 5.16 Panelde oluşan ezilme

Şekil 5.17 Panel numunede kesme gerilmesi-şekil değiştirme grafiği

Şekil 5.18 ASTM E519 Standardında Önerilen Yükleme Düzeneği

Şekil 5.19 Panelde oluşan ezilme

Şekil 5.20 Panel numunenin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi

Şekil 5.21 Sonlu elemanlarla analiz sonucu yükseklik boyunca S11 gerilme dağılımı

Şekil 5.22 Yükleme düzeneği

Şekil 5.23 Boşluksuz duvarın σ_{11} (mak. 1.5MPa ve min -7MPa) ve σ_{12} (mak. 2,3MPa ve min. -1MPa) gerilme dağılımı

Şekil 5.24 Açılan pencere boşluğu sonrası σ_{11} (mak. 3.5MPa ve min -7.0MPa) ve σ_{12} (mak. 3MPa ve min. -1,6 MPa) gerilme dağılımı

Şekil 5.25 Açılan kapı ve pencere boşluğu sonrası σ_{11} (mak. 6.0MPa ve min - 7.7MPa) ve σ_{12} (mak. 3,9MPa ve min. -2,9 MPa) gerilme dağılımı

Şekil 5.26 Kalıptan çıkarılacak olan panel

TABLO DİZİNİ

Tablo 5.1 1 m³ lifli hafif beton bileşenleri

Tablo 5.2 Küp numunelerinin basınç deneyi sonuçları

Tablo 5.3 Küp numunelerinin yarmada çekme deneyi sonuçları

Tablo 5.4 Kiriş numunelerinin eğilme sonuçları

Tablo 5.5 Panellerin karşılaştırma tablosu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

TS : Türk Standartları

ASTM : American Society for Testing and Materials

ACI : American Concrete Institute (Amerika Beton Enstitüsü)

PCI : Precast Prestressed Concrete Institute

RILEM: Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Materiaux

σ : Gerilme

ε : Şekil değiştirme

τ : Kayma gerilmesi

f_c : Beton basınç dayanımı

f_t : Beton çekme dayanımı

E :Elastisite modülü

ν : poisson oranı

M : Moment

N : Normal kuvvet

Q : Kesme Kuvveti

u, v ve w : yerdeğiştirme

t : kalınlık

L : Uzunluk

d : derinlik

h : yükseklik

ρ : yoğunluk

B : deplasman gerinim dönüşüm operatörü

K :Rijitlik matrisi

D : elastisite matrisidir

S11, S22, S33, S12, S23, S_{min} ve S_{max} : SAP2000 Gerilme İşaretleri

1.GİRİŞ

Prefabrike betonarme paneller yapı endüstrisinde bölme duvar, döşeme ve çatı örtüsü olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Prefabrike yapı sanayinde üretilen yapı elemanlarının kullanımının patik olmasının yanında performans-ekonomi ilişkisinin de hedeflenen mertebelerde olmasının önemi büyüktür. Dolayısı üretilcek elemanların performansının beklenen performansı sağlaması yanında ekonomik, kaliteli ve uygulanabilir olması gerekmektedir

Prefabrik paneller sadece yük taşımayan bölme duvar olarak tasarlanabildiği gibi yük taşıyan duvar, döşeme ve çatı örtüsü olarak da tasarlanabilirler. Kullanım amacına uygun kriterleri sağlayacak şekilde analiz edilerek tasarımları yapılabilir. Türkiye’de üretilen prefabrike paneller sadece bölme duvar amaçlı olarak kullanılacaksa donatısız hafif beton bloklar, taşıyıcı eleman olarak kullanılacaksa donatılı beton olarak imal edilirler. Bununla beraber taşıyıcı eleman olarak kullanılacak duvarlarda, duvar ağırlığını azaltmak adına hafif beton kullanılabilir. Hafif betonun mekanik özellikleri normal betona göre az olduğundan, hafif betondan donatılı ya da donatısız olarak üretilmiş panellerin yük taşıyıcı eleman olarak kullanımı daha az yaygındır. Son zamanlarda teknolojinin gelişmesine paralel olarak, hafif beton yapı alanında da önemli yol alınmaktadır. Özellikle çeşitli liflerin hafif betonda kullanılması hafif betonun mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Liflerle donatlandırılmış betonun mekanik özellikleri, kullanılan lifin mekanik ve malzeme özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde betonda yaygın olarak kullanılan fiberler; çelik, polimer (polipropilen, PVA), cam ve karbon esaslıdır. Liflerin betona katılması, betonun; çekme ve eğilme dayanımını, duktilitesini, enerji tüketme kapasitesini ve çatlak gelişim karakteristiklerini geliştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir (Bentur ve Mindess, 1990; Li, 1992; Li ve Leung, 1992; Li ve Wu, 1992; 2003, Şimşek, 2004, Topçu ve Canbaz, 2006). Bununla beraber liflerin beton içindeki dağılımı, lifli betonun mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Yaprak vd., 2004b; Chung, 2005).

Prefabrike panellerin imalatından sonra kullanım aşamasına gelinceye kadar karşılaşılabilecek yükler; taşınma, kaldırılma ve montaj sırasında alacağı yükler, işletme yükleri ile paralel olmayabilir. Dolayısı ile panellerin işletme yükleri altındaki davranışı yanı sıra stabilitesinin de incelenmesi gerekmektedir

Genel olarak beton panellerin fizibilitesi üretim aşamasındaki gereksinimler (karışım, karışım oranları, lif seçimi, lif miktarı), taşıma ve montaj zamanı, sünme, büzülme ve sıcaklığa bağlı olarak ortaya çıkan etkenler, ısı yalıtımı, yangın sınıflandırmasına uyması, ve minimum bakım maliyeti ile belirlenmektedir. Panellerin stabilitesi ise beklenen performansı sağlaması ile belirlenmektedir.

Panellerin stabilitesini etkileyen faktörler; paneli oluşturan malzemelerin karışımı, sünme, büzülme gibi faktörlerin etkisi, panellerin taşınması, depolanması, kaldırılması zamanı oluşabilecek gerilmeler, panellerin deprem, rüzgar yükleri altında davranışları ve benzeri gibi sıralamak mümkündür.

Bu çalışmada kısa liflerle donatılmış hafif beton panellerin yapılarda duvar ve döşeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Rasgele dağıtılmış kısa polipropilen liflerle donatılmış ve perlit (hafif agregalar) kullanılarak üretilmiş betonların lifler sayesinde artırılmış olan sünekliğinden yararlanılarak, eğilmeye ve çekmeye çalışan duvar ve döşeme elemanlarında kullanılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada polipropilen lif hacim fraksiyonu 0.01 ve perlit hacim fraksiyonu 0.2 olan lifli hafif betondan imal edilmiş paneller test edilmiştir. Belirtilen karışım ile imal edilen betonun özgül ağırlığı $1,74 \text{ gr/cm}^3$ mertebelerindedir. Belirtilen lifli hafif betonun diğer malzeme ve mekanik özellikleri gerekli malzeme testleri ile yapılmış, eğilmeye çekme dayanımı 7 MPa, basınç dayanımı 30 MPa, elastisite modülü 16800 MPa ve yarmada çekme dayanımı 6,4 MPa elde edilmiştir. Panel kesme dayanımının belirlenmesi için yapılan testlerde 500mm x 500mm x 80 mm boyutlarında imal edilen panel elemanlar diyagonal basınç testine tabi tutulmuş ve panelin kesme (çekme) dayanımı 2,84 MPa değerini almıştır. Panellerin belirtilen yükler etkisi altındaki davranışları aynı zamanda kabuk eleman olarak modellenerek SAP2000 programında analiz edilmiş ve sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmalar sonucu deney ve analiz sonuçlarının birbirini doğruladıkları belirlenmiştir.

2.KONU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sesigür ve Çılı (2006), yaptıkları çalışmalarında üç tabakalı kompozit panelli sistemi incelemişlerdir. Üç tabakalı kompozit panelli sistemin yatay yüklere göre hesabı, verilen bağıntılar yardımıyla açıklanmıştır. Duvar elemanlarının rijitliklerinin hesabında tablalı kesitler kullanılmış, çeşitli etkili genişlik-duvar kalınlığı oranları için kayma şekil değiştirme katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Literatürde tablalı kesitler için önerilen kayma şekil değiştirme katsayısı ile birlikte, elde edilen sonuçlar Sonlu Eleman Yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak bir tabloda özetlenmiştir.

Cavaleri, Miraglia ve Papia (2003), yaptıkları çalışmalarında donatılı paneller üzerinde yanal periyodik ve sabit düşey yükler altında panellerin davranışlarını incelemişlerdir. Pomzanın yapısal amaçlı beton panellerin üretilmesi için kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

Erciyas (1963), yaptığı çalışmada bims agregası ile yaptığı beton duvarların özelliklerini incelemiştir.

Barros, Pereira ve Santos (2007), yaptıkları çalışmalarında çelik lif katkılı hafif betondan yapılan panellerin bina cephelerinde kullanılmak amaçlı kullanılabilirliğini araştırmışlardır

Kesner (2005), yaptığı çalışmada düktil lif takviyeli panellerin güçlendirme amaçlı kullanılabilirliğini ele almıştır.

Massicotte, Macgregor ve Elwi (1990), yaptıkları çalışmalarında dört tarafından mesnetli donatılı narin beton panellerin aynı anda eksenel ve yanal yükleme altındaki beton panellerin davranışını incelemişlerdir.

Maneetes ve Memari (2009), prefbrike beton panellerin sonlu elemanlarla modellenmesi yapılmış ve panellerin yapısal çerçeve sistemine bağlantıları için özel modelleme stratejileri geliştirmişlerdir. Panellerin yapının yanal kuvvetlere beraber direnç göstermesini öngören model tasarlamışlardır. Deneysel çalışmalarla sonlu elemanlarla modelleme sonuçları arasında iyi ilişki elde edilmiştir.

Mackechnie, Bellamy ve Mcsaveney (2009), beton içinde vibrasyon yöntemiyle hafif ve ağır ağırlıklı agregaların ayrıştırılmasıyla çeşitli birim ağırlıklı beton paneller üretmişlerdir. Çalışmada betonun yapısal performansını aynı tutmakla yalıtım özelliğinin geliştirilmesi ana hedef seçilmiştir.

Matteis (2005), hafif ağırlıklı cephe panellerinin çelik çerçevelerin deprem performansına etkisini araştırmıştır.

Schults, Johal, Derecho ve İqbal (1979), niteliksel ve nicel olarak geniş beton panel yapıların tasarımını araştırmışlardır. Bağlantılar, ilk deprem tepkisi, aşırı rüzgar yükü, panellerde boşluklar, sünme ve ısı etkisi durumlarının hepsi için analiz teknikleri ve tasarım kriterleri geliştirilmişlerdir.

Mowrtage ve Karadogan (2009), bir katlı hafif ağırlıklı panelden yapılmış binanın yanal yükler altında davranışını incelemişlerdir. Paneller polisitren, çelikten ve püskürtme betondan imal edilmiştir. Böyle yapılarla ilgili literatürde fazla bilginin olmadığını da vurgulamışlar. Laboratuvar şartlarında 1/2 ölçekte panelden yapılmış bir katlı evde yanal yükler altında davranışını incelemişler. Tasarım deprem yüklerinden dört defa fazla yanal yüklemeye maruz kalan binada çok küçük çatlaklar oluşmuştur.

Janardhana, Prasad ve Menon (2010) yaptıkları boşluklu panellerin yanal yük, eksenel yük ve düzlem eğilmesi altında davranışlarını incelemişlerdir. Farklı genişlikli doldurulmamış panellerin burkulma yükleri raporlanmıştır. 1.02 m genişlikli ve 2.85 m yükseklikli panellerde eksenel yük taşıma kapasitesi sayısal analiz ve test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bernard (1999), yuvarlak çelik liflerin kullanıldığı beton panellerde çatlama sonrası noktasal yükler altında yük kapasitesi için ampirik tahminler elde etmeye çalışmıştır.

Chai ve Anderson (2005), yaptıkları çalışmalarında çalışmasında prefbrike panellerin yatay yükler altındaki davranışları incelenmiştir.

3. PREFABRİKE PANELLER

Donatılı beton paneller plak eleman gibi çalışırlar. Plak elemanın bir boyutu diğer iki boyutundan çok küçük olması nedeni ile elemanı düzlem gerilme ya da düzlem birim şekil değiştirme prensibine göre çalıştığı kabul edilir (Timoshenko ve Goodier, 1969). Buna göre plak teorisine uygun olacak şekilde analiz edilecek olan panellerde de plak teorisinde yapılan kabuller kullanılacaktır. Plak teorisine göre kullanılan malzeme lineer elastiktir, plak ortasında yer alan düzlem, yüklenmeden sonra da düzlem kalmaya devam etmektedir, orta düzlemdeki normal gerilmeler ihmal edilebilir mertebelerdedir. Panellerin plak teorisine göre analizleri detaylı olarak 'Elastisite Teorisi' (Timoshenko ve Goodier,1969)'de bulunabilir.

3.1 Paneller ve Binalarda Kullanılan Panel Çeşitleri

Genellikle beş farklı yapısal panel çeşidi vardır:

1. Kaplama/Giydirme Panelleri: Kaplama ve giydirme panelleri binalarda en çok kullanılan panel çeşitleridir. Bu çeşit paneller dikey yük transfer etmezler, sadece binayı çevrelemektedirler. Bu paneller rüzgar yüküne ve deprem yüklerine göre tasarlanmalıdır. Bu gruba duvar panelleri, pencere duvar panelleri, kemer üstü panelleri, pencere/kapı ayırma paneli ve kolon kaplamasını ait etmek mümkündür. Bu paneller istendiğinde kaldırılabilir.

2. Yük Taşıyıcı Duvar Panelleri: Duvar panelleri kendi ağırlığıyla beraber dikey yükleri de taşımaktadır. Yük taşıyıcı duvar panelleri yükleri karşılamakta ve transfer etmektedir, istendiğinde binanın stabilitesine ve mukavemetine etki etmeden kaldırılmazlar. Genel olarak panel duvarları, pencere duvarları ve kemer üstü panelleri taşıyıcı panellere girmektedir. Taşıyıcı duvarlar bir kat veya iki kat olabilmektedirler. Bu ikinci kat yapının içini dışarıdaki ısı değişmesine karşı korumaktadır ve panelin kendisini rutubete karşı güvenli hale getirmektedir. Çift katlı duvarların enkesit alanı fazla olması mimari açıdan yüz ölçüm alanını azaltmaktadır.

Bu tür sistemler daha çok konut türü yapılarda kullanılırlar. Taşıyıcı duvar panoları merdiven vb. durumlar hariç kat yüksekliğinde yapılmalıdır (TS 9967). Panolu sistemler çok katlı prefabrike binaların yapımında daha çok tercih edilirler. Bunun sebebi taşıyıcı sistemin oluşturulması ile birlikte iç bölmelerin ve

dış cephe duvarlarının da beraberinde oluşmasıdır. Ayrıca bu tür sistemlerin hızlı bir şekilde oluşturulmaları da tercih sebebidir.

Prefabrike panolu sistemler döşemelerden gelen düşey yükleri yüzeyleri boyunca önce birbirlerine daha sonra temele aktarırlar. Yatay yükler ise panoların birleşim bölgelerinde kesme dayanımı ile karşılanır. Deprem kuvvetleri genel olarak taşıyıcı panoların birleşim bölgelerinde kesme kuvvetleri oluştururlar. Bu yüzden taşıyıcı panoların birleşim bölgeleri oluşacak kesme kuvvetlerine karşı dayanıklı olarak tasarlanmalıdırlar. Birleşim bölgelerinde teçhizat bulunması ve pano ara yüzeylerinin kenetli olarak yapılması alınacak önlemlerin başında gelmektedir.

Yapısal özelliklerine göre paneller tek parçalı (monolitik) yapılabildiği gibi çok parçalı (kompozit) olarak da yapılabilmektedir. Monolitik paneller dolu gövdeli (Şekil 3.1-a), omurgalı (Şekil 3.1-b), ve boşluklu (Şekil 3.1-c), olarak üç grupta incelenebilir. Kompozit paneller dolu gövdeli, boşluklu gövdeli, omurgalı ve çerçeve iskeletler olmak üzere dört grupta incelenebilir (Şekil 3.2). Malzemelerin birbirleri üzerinde tabaka oluşturacak biçimde düzenlenmesi esasına dayanan dolu gövdeli kompozit paneller, sandviç paneller olarak da adlandırılmaktadırlar. Çerçeve iskelet panellerin en önemli özelliği, panelin imalatında kullanılan malzemelerden birinin çerçeve oluşturulmasında zayıf ve hafif özellikte olan ikinci malzemenin dolgu amacıyla kullanılmasıdır. Mukavemeti artırmak amaçlı yapılan omurgalı ve çift-t panelleri döşeme paneli olarak başarıyla uygulanmaktadır.

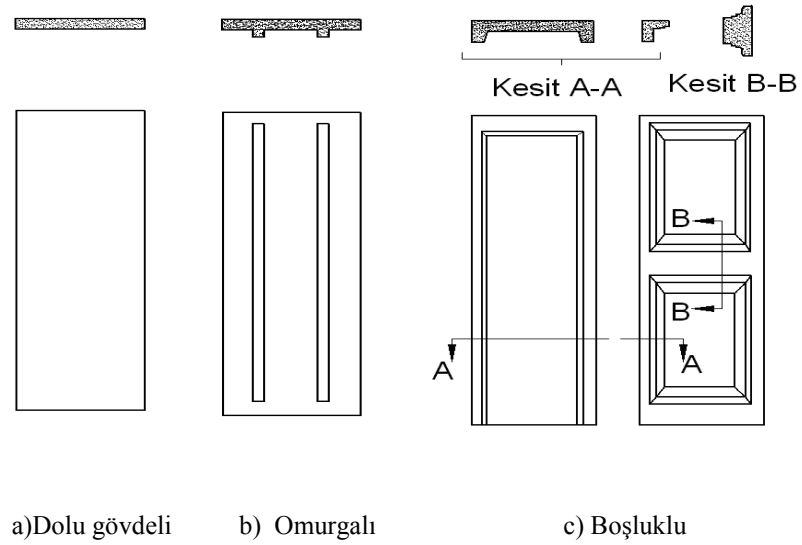
3. Perde duvar panelleri: Rüzgar veya deprem gibi yanal yükleri karşılayan panellerdir. Perde duvar panelleri sistemin yanal yüke karşı direnç gösterme özelliğini sağlamaktadır. Bu panellerin verimliliği panellerin birbirine olan bağlantılarına bağlıdır.

4. Yerinde Dökülen Betonlar için Kalıp Panelleri: Bazı durumlarda, paneller yerinde dökme betonlar için kullanılmaktadır. Bu paneller kalıp gibi davranarak sisteme görünür bir estetik katmaktadır.

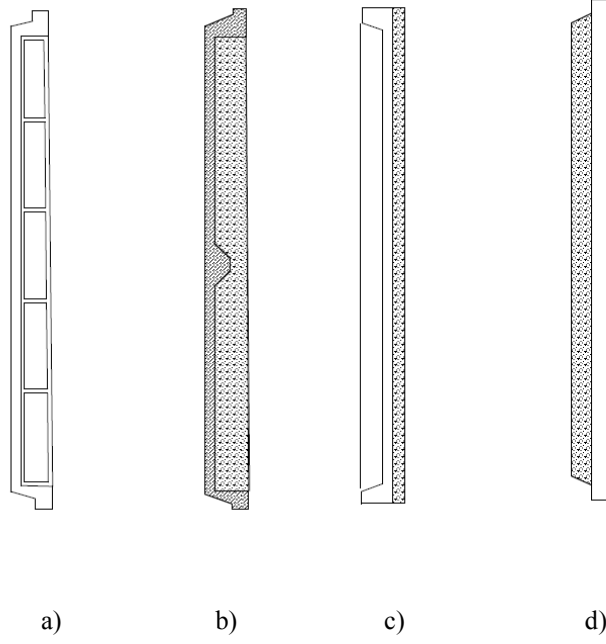
5. Özel işlevli panel sistemler: Panel yüzeylerinde boruların görülmesini önlemek amacıyla geliştirilen temiz su, pis su, ısıtma, havalandırma ve elektrik tesisatını içeren panellerdirler. Özel işlevli paneller, yapıda çoğunlukla düşey

konumda (duvar) kullanılmakla birlikte, ısıtma-havalandırma panelleri yatay konumda (döşeme) da kullanılabilirler.

Paneller çeşitli malzemelerden yapılabilirler. Kullanım amacına göre seçilen bu malzemeler; betonarme, çelik, alüminyum, ahşap, pişmiş toprak (seramik) ve plastik olabileceği gibi farklı konstrüktif özelliklerin sağlanmasına yönelik olarak bu malzemelerin çeşitli kombinasyonları da olabilmektedir (www.sanayiden.com), (Gaudette,2009).



Şekil 3.1 Panelde biçimsel çeşitlilik (PCI Design Handbook)



Şekil 3.2. Çift tabakalı, beton esaslı panel kesitleri a) Beton-tuğladan oluşan cephe paneli.

b,c,d) Beton- gaz betondan oluşan cephe paneli (Yücedağ G.)

Çeşitli panellerin uygulamasına yönelik yapı imalatları Şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.3 Tek katlı panel ev (PCI Design Handbook)

3.2 Panel Sistemlerde Birleşim Noktaları

Panel sistemlerde birleşim noktalarının düzenlenmesi en önemli konulardan biridir. Bir yandan farklı elemanların bir bütün olarak çalışmasının sağlanması,

diğer yandan da birleşim noktalarında ortaya çıkabilecek yalıtım sorunları, gerek tasarım gerekse gerçekleştirme aşamasında aşağıdaki konulara dikkat edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Yapının yatay ve düşey kuvvetlere karşı stabilitesinin sağlanabilmesi için birleşimin rijitliğinin sağlanması, panel akslarının bir noktada kesişecek biçimde düzenlenmesi gerekmektedir. Birleşim noktalarının hava ve su geçirimsizliğinin sağlanması, ısı köprüsü oluşumuna engel olması gerekmektedir. Panellerin birleşimde esas olarak açık ve kapalı olmak üzere iki birleşim tipi uygulanmaktadır. Kapalı birleşim; panellerin birleşim noktalarında oluşan derzlerin, bir dolgu malzemesi ile tamamen kapatılması esasına dayanmaktadır. Soğuğa karşı etkin görülmekle birlikte, panelin iç yüzeyinde oluşabilecek nem, dış yüzeye aktarılamamaktadır. Beton panellerin birleşiminde dolgu malzemesi olarak harç kullanılmakta, dışarıda kalan uç genellikle mastik türü bir malzeme ile kapatılmaktadır. Ahşap panellerde temel prensip aynıdır. Derz genellikle yapıştırıcılık özelliği olan bir malzeme ile kapatılmaktadır.

Açık birleşimde temel prensip, dıştan gelen rüzgârın balona benzetilebilecek ve basıncı azaltan bir boşluğa alınması ile iç kısma geçmesinin önlenmesidir. Bu boşluğa alçak basınç odası denilmektedir. Uygulamalar, bu tür birleşim ile yağmur suyunun da iç kısmına geçemediğini ortaya koymaktadır. Bu tür birleşimde derz doldurulmadığından bağlantı metal aksam aracılığı ile yapılmaktadır. Önemi olan nokta, bu metalin panellerin alt yüzeyine yerleştirilmesi ile basınç boşluğunda süzülen suyun uzaklaştırılmasıdır.

Kapalı birleşimler şantiyede bir dolgu betonunun dökümünü ya da yapıştırıcı bir malzeme kullanımı gerektirdiğinden ıslak birleşim olarak da adlandırılmaktadırlar. Açık birleşimler ise benzer nedenle kuru birleşim olarak adlandırılmaktadırlar (www.sanayiden.com).

3.3 Panel Kaldırılırken Oluşacak Çekme Gerilmesi

Beton panel kaldırılırken en ciddi yüklemeye maruz kalır. Tasarım yükleri panelin kendi ağırlığını, emme dediğimiz panelle döküm yüzey arasında kaldırma zamanı oluşacak yükü ve kaldırma zamanı oluşabilecek dinamik yükleri karşılamalıdır. Bu kuvvetlerin etkisi önce panelde daha sonra ise ankrajlarda dikkate alınmalıdır.(CCANZ, TM34 Tilt-up Technical Manual)

Kaldırma zamanındaki betonun çekme mukavemeti bu yükleri karşılamak zorundadır. Kaldırma sırasında oluşan çekme gerilmesi panelin kalınlığına ve kaldırma düzeneğine bağlıdır. Panelin çekme dayanımı yeterli olmalıdır ki, panelde çatlaklar oluşmasın. Basınç testi yapılmış betonun çekme mukavemetini basınç mukavemeti cinsinden ifade etmek mümkündür. TS 500'e göre betonun karakteristik eğilmedeki çekme dayanımı için verilen bağıntı yaklaşık olarak $0.7\sqrt{f_c}$ (MPa)'dır. ACI standartlarında eğilmedeki çatlama mukavemetini $0.75\lambda\sqrt{f_c}$ olarak belirlenmiştir. Ama kaldırma zamanı güvenli tarafta kalmak amacıyla $0.41\lambda\sqrt{f_c}$ ile sınırlamıştır. Burada verilen λ katsayısı beton cinsi için değişmektedir. Normal beton için bu değer 1 ve hafif beton için 0.7 alınmalıdır.

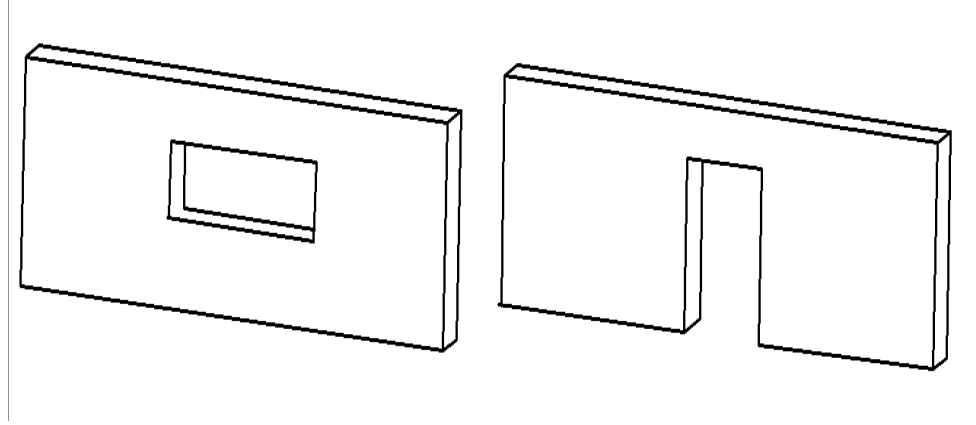
Kaldırma zamanı oluşacak gerilmeleri hesaplamak zordur. Günümüzde kullanılan bazı yapı analiz programları panellerde kaldırma zamanı oluşacak gerilme dağılımlarını, ankrajlarda ve ankaj bölgelerinde oluşacak gerilmeleri hesaplayabilmektedir.

3.4 Duvar panellerindeki boşluklar

Binanın pencere, kapı, havalandırma ve diğer ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla panellerde boşluklar açılmaktadır. Bu boşluklar dairesel, kare ve dörtgen şeklinde olabilmektedir. Bu boşlukların yerini ve ölçülerini mimari ve işlevsel gereksinimler belirlemektedir. Açılan bu boşluklar panelde yük dağılımının akışını bozmaktadır. Bundan dolayı boşlukların çevresinde yeterli donatı ilave edilmelidir. Bu donatının miktarı yük altında panelin davranışına göre belirlenmektedir.

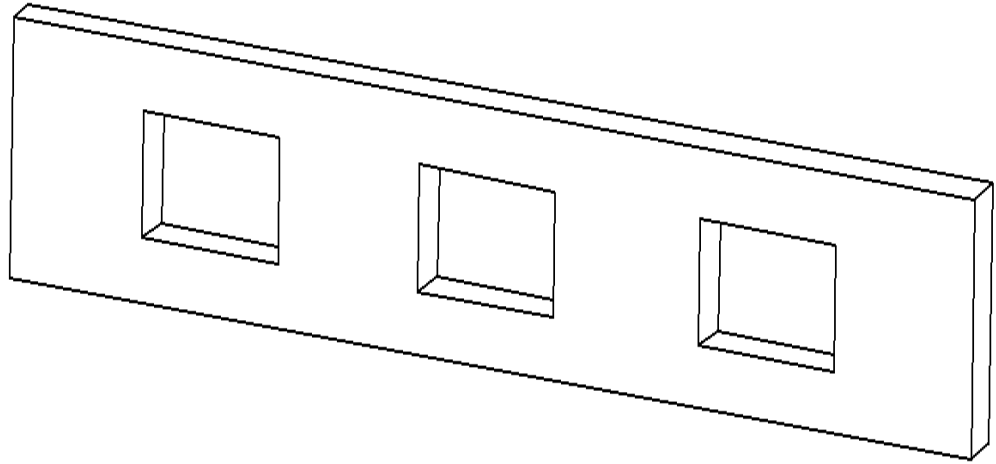
Duvar panellerinde açılan boşluk sayısına ve boşluk genişliğine göre gruplandırmak mümkündür (Şekil 3.4);

a) etrafı kapalı boşluk (pencere boşluğu), b) yarımada şeklinde boşluk (kapı boşluğu), c) Kafes tipi duvar paneli (çok boşluklu panel)



a) Pencere boşluğu

b) Kapı boşluğu



d) Kafes tipi duvar paneli

Şekil 3.4 Panellerdeki boşluk çeşitleri

Pencere ve kapı boşlukları panel duvarların tasarımında önemli yer almaktadırlar. Mimarlar genelde kapı boşluklarını panel kenarından 15 ila 30 cm uzaklıkta bırakmaktadırlar. Ancak bu ince elemanların dökülmesi zamanı çok zorluklar çıkarmaktadır. Bundan ilave bu ince elemanların, panellerin taşınması, kalıptan çıkarılması zamanı oluşacak zararlardan korumak oldukça zorlaşmaktadır. Panel ayaklarının, pencere ayırma dikmesinin en az mesafesi 60 cm ve pencere/kapı üst bölmesinin en az mesafesi 90 cm olması önerilmektedir. (D'Arcy, 1975).

3.5. Ülkemizde Beton Panellerin Gelişimi

Ülkemizde beton paneller son zamanlarda geniş şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle son zamanlarda TOKİ (Toplu Konut İdaresi Başkanlığı)'nin tünel kalıp sistemleri ile yaptığı binalarda prefabrike cephe panellerinin kullanılması artmıştır. Cephe panellerinin uygulanması üretime hız kazandırmıştır. Bu cephe panellerinin üretimi fabrikalarda üretilebilecekleri gibi şantiye sahasındaki atölyelerde de üretilebilirler. Üretimi tamamlanan yapı elemanları, betonarme perdelerde ve döşemelerde kendileri için daha önceden boş bırakılan yerlere ankre edilmektedirler.

Tek katmanlı prefabrike cephe panellerinin yanı sıra, dıştan yalıtım (mantolama) işleminin gerçekleşmesinin zor olacağı ortamlarda (yüksek yapılar, soğuk iklimler) sandviç panel elemanlar kullanılarak çözüme gidilebilmektedir. Sandviç paneller, iki beton yüzey arasına ısı yalıtımı malzemesinin yerleştirilmesiyle üretilmektedir. Dıştaki panel yalıtımı ve estetiği sağlarken, içteki panel ise perde duvara ve döşemeye montajı gerçekleştirerek taşıyıcı görevi üstlenmektedir(Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Isı yalıtımlı sandviç cephe panelleri(Korur S.)

Prefabrike cephe panelleri kendileri için hazırlanan vibrasyonlu masalar üzerinde üretilirler. Masa içerisine projeye uygun olarak yerleştirilmiş olan donatılar üzerine katkılı betonun dökülmesiyle birlikte vibrasyona tabii tutulurlar (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Şantiye ortamında vibrasyonlu masada prefabrike cephe paneli üretimi (Korur S.)

Şantiye veya fabrikada üretilebilen cephe panelleri vinçler aracılığıyla taşınarak montajının gerçekleştirileceği kat seviyesine çıkartılır (Şekil 3.7). Cephe prefabriklerine önceden yerleştirilen elemanlara karşılık, döşeme plağında ve perde duvarda aynı aksı yakalayacak lamalar ve profiller bulunmaktadır. Cephe prefabrikinin perde duvardaki profile bağlantısı yapıldıktan sonra aynı işlem tüm katlarda uygulanır ve alt döşemeden ayarlamaları yapıp bütün prefabrikler şakulüne getirildikten sonra döşeme üzerinde bulunan lamalara kaynatılırlar (İnalpolat C., 1996).



Şekil 3.7 Prefbrike cephe panelinin yerine taşınması(Korur S.)

Günümüzde prefabrike cephe elemanlarını kullanarak üretim yapan bazı firmalar üretim toleransı hesapları yapmaksızın prefabrike bileşenleri yerlerine takmakta ve yapı elemanları arasındaki kalan boşlukları kapatırken de tek durdurmalı derz izolasyonunu uygulamaktadır. Prefabrike elemanların hatalı ve bilinçsiz şekilde takılması nedeniyle oluşan bu boşluklar doldurulsa bile rüzgarlı yağışlar sırasında dolgunun iki tarafında büyük bir basınç farkı oluşmaktadır. Bağlı olarak oluşan hava akımı ve pompalama etkisiyle en ufak bir delikten bile mekân içine su ve rüzgar geçirmekte, böylece iç cephe boyasının veya kaplama malzemesinin deforme olmasına neden olmaktadır. Derz izolasyonunun istenilen sonucu vermesi sızdırmazlık malzemesinin uygulanma zamanına da bağlıdır. Uygulama için en uygun zaman, ısının yıllık ortalamaya en yakın olduğu günlerdir. Özellikle büyük kesitli ve sıkıştırılarak uygulanan sızdırmazlık malzemeleri (fitiller) için en uygun zaman soğuk günlerdir. Uygun ortam ve yüzey ısılarında yapılmayan uygulamalarda çeşitli sorunlar yaşanabilir ve yerinde uygulanan sızdırmazlık malzemeleri üzerinde ek gerginlikler oluşabilir. Yüksek ısılarda genleşme nedeniyle daralan yapı derzlerine fitil sıkıştırılması sırasında malzeme zarar görebileceği gibi, donun oluşturacağı sorunlarda göz ardı edilmemelidir (MESA Teknik Şartname). İzolasyon uygulanacak yüzeyin ısı da

dikkate alınmalı ve sağlıklı bir derz yalıtımı için panellerin derz yüzeylerinin düzgün olması gerekmektedir (Korur S.,2010).

Düşey perde duvarlara “yandan asma” şeklinde bağlanırken, alttan ve üstten döşemelere tutturulan prefabrike cephe elemanlarının bağlantı biçimi seçiminde “bulon-dübel” ağırlıklı birleşimler yerine, daha fazla tolerans payı sağlayan kaynaklı birleşimler tercih edilmektedir. Bunun nedeni, cephe panelinin üretimi ve yerine montajı sırasında iş gücünün yeterli kalitede olmaması sonucu ortaya çıkabilecek hataların geniş tolerans payı sayesinde kapatılması yoluna gidilebilmesi ve aynı zamanda kaynaklı bağlantıların “bulon-dübel” ağırlıklı bağlantılara göre daha kolay ve ucuz olmasıdır. Statik açıdan bu tür bağlantılar sakıncalı olmamakla birlikte yapı dış kabuğunda ısı köprülerine neden olmak suretiyle panelin toplam ısı geçirgenlik direncini azaltıp, yoğuşmaya neden olabilmektedir. Bu sorunun ortadan kaldırılabilmesi ise montaj sırasında ek ısı yalıtım malzemelerinin kullanımını gerektirmektedir (Utkutuğ Z., Özmen F., 1991).

Bütün bunların yanı sıra ülkemizde prefabrike cephe paneli üretiminde kalıplama ve kalıptan alma işlemlerinde hataların minimize edilmesi güç olmaktadır. Cephe panellerinin taşınması, yerine yerleştirilmesi ve şantiye ortamında depolanması sırasında dikkatsizlik ve gerekli hassasiyetin gösterilmemesi sonucu özellikle köşe noktalarında kırılmalar veya çatlamlar oluşmakta, bu hasarların yoklama sıvası çekilmek suretiyle doldurulması fazladan işçilik gerektirmektedir (Şekil 3.8). Şantiyede istiflenen prefabrike elemanların metal ankrajları ise açık hava şartlarından dolayı paslanmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.8 Cephe panellerinde meydana gelen bozulmalar ve kırılmalar(Korur S.)



Şekil 3.9 Metal ankraj üzerinde oluşan paslanmalar(Korur S.)

Bu nedenle günümüzdeki uygulamaların büyük bir kısmında, sisteme kazandırdığı sürat, ekonomiklik ve işçilikten tasarruf gibi avantajları göz ardı edilerek, prefabrike cephe elemanları yaygın şekilde kullanılmamaktadır. Tünel kalıpla üretim yapan birçok firma tarafından yapılan uygulamalarda artık cepheler yatay delikli tuğlalar veya bims bloklar ile örülmektedir.

4. METODOLOJİ

4.1 Giriş

Panel duvarların stabilite analizinde çeşitli kaynaklara başvurulacaktır. İlk olarak TS 4046 standardında yer alan konulara kısaca değinilecektir. Daha sonra panel analizlerinde kullanılacak olan SAP2000 yapı analiz programından ve panellerin modellenmesinde kullanılan kabuk elemanlar hakkında genel bilgilere yer verilecektir. Son olarak elastisite teorisi ve sonlu elemanlar yöntemine konusuna kısaca değinilecektir.

4.2 TS 4046 “Hazır Duvar Panelleri-Hafif Agregalı Betondan Yapılmış Boşluklu Duvar Paneller”

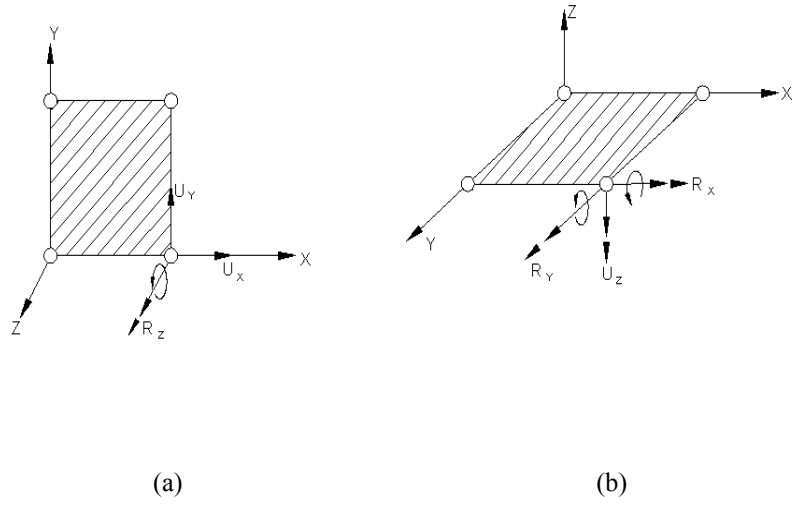
Bu standartta yapılarda duvar elemanı olarak kullanılacak hafif beton panellerin mekanik ve malzeme özellikleri, ve panellere uygulanacak testler yer almaktadır. TS 4046, hafif beton panellerin kullanılabilirliği için gerekli yapısal özellikleri vermektedir. Bu standarda göre duvar panellerinin basınç dayanımı kuru deney numunelerinde 4 MPa'dan; suya doymuş durumdaki deney numunelerinde kuru durumdaki basınç dayanımının 1/3'ünden ve 1,4 MPa'dan az olmamalıdır. İlave olarak duvar panellerinin çekme dayanımı en az 1,6 MPa olmalıdır. Panel numuneleri darbe yüklerine karşı dirençli olmalıdır; şöyle ki duvar panellerinin en az iki tanesinin düşey olarak yan yana getirilerek aralarının duvar harcıyla birleştirilmesiyle yapılan deney duvarına asılmış 30 kg ağırlığında çarpma yükünün 40 cm uzaklıktan çarpması sonucunda duvarda gözle görülür hiç bir hasar oluşmamalı, çarpma yükünün bu uzaklıktan çarpması sonucunda duvar yıkılmamalıdır. Duvar kalınlıkları ve metrekare ağırlıkları ile ilgili detaylı bilfile TS 4046'dan elde edilebilir.

4.3 SAP 2000 Yapı Analiz Programı

Bu çalışma aşamasında SAP2000 adlı üç boyutlu yapı modelleme programından faydalanılacaktır. Kaba hatlarıyla SAP2000, sonlu elemanlar yöntemine dayalı, hızlı ve kolay modelleyebilme, hazır model kütüphanesinden ve başka bir programdan model aktarabilme veya ekleme, model üzerinde her an değişik yapabilme, analiz sonuçlarını şeklen ve sayısal olarak izleyebilme, boyutlandırmada optimizasyon gibi pek çok işleve izin veren kapsamlı bir programdır (Kocabaş S.,2005).

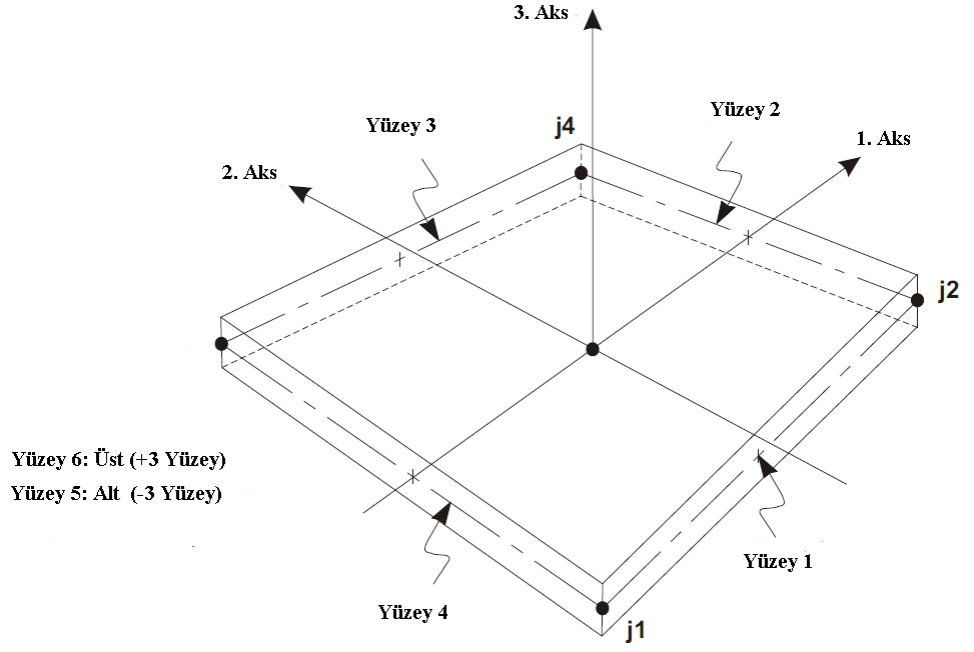
4.3.1 SAP 2000 Kabuk (Shell) Eleman Referans Yönleri

Kabuk elemanı (shell), membran, plak ve kabuk davranışı gösteren yapı sistemlerinin modellenmesinde kullanılır. Membran davranışta kabuk elemanı, düzlem içinde deplasman rijitliği ve düzlemine dik doğrultuda dönme rijitliği bileşenlerini sisteme katar (Şekil 4.1). Plak davranışta ise kabuk elemanı, düzlemine dik doğrultuda deplasman rijitliği ve düzlemi içinde dönme rijitliği bileşenlerini sisteme katacaktır.

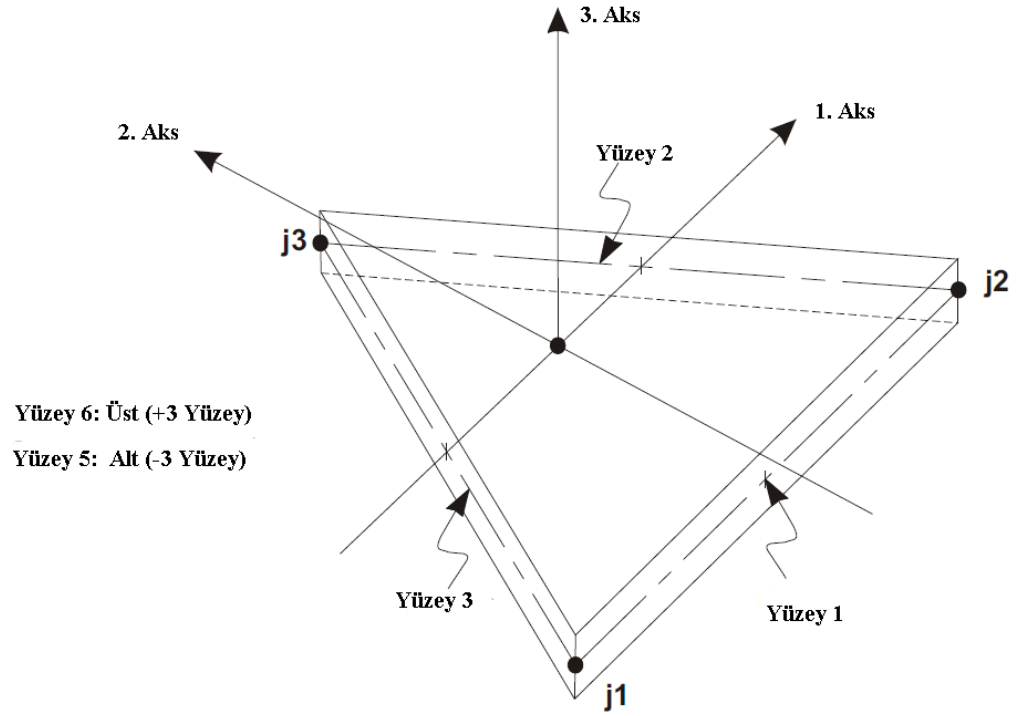


Şekil 4.1 a) Membran; b) plak eleman davranışı

Her bir kabuk elemanı, j_1, j_2, j_3, j_4 ile gösterilen dört düğüm noktası ile oluşturulan dörtgen veya üçgen eleman şeklindedir (Şekil 4.2).



a) Dört düğümlü kabuk elemanı



b) üç düğümlü kabuk elemanı

Şekil 4.2 (a)Dört ve (b) üç düğümlü kabuk elemanı

Genellikle yapı sisteminin modellenmesinde, dörtgen şeklindeki kabuk elemanları tercih edilmelidir. Zira daha sıhhatli bir çözüm verirler(Tan M.T. ve Arnott K.,2006). Üçgen elemanlar ancak, geçiş bölgelerinde kullanılmalıdır(Edward L.W.,2002) . Sunulan çalışmada panel analizlerinde 4 nodlu kabuk eleman kullanılmıştır.

4.3.2 Kabuk elemanlara etki eden yüklemeler

Genel olarak kabuk elemanlara elemanın kendi ağırlığı, dış etkilerden olan yükler (düşey yükler, rüzgar yükleri) ve çevresel yükler (ısısal yükler) etki etmektedir. Muhtelif tasarımlarda yukarıda belirtilen yükler dışında oluşabilecek yüklemeler de dikkate alınmalıdır (Çağdaş S.,1999).

4.3.3 Kabuk elemanlarda iç kuvvet ve gerilmeler

Kabuk elemanlarda, kalınlık boyunca etkiyen gerilmelerin entegrasyonu sonucunda bulunan kuvvet ve moment büyüklüklerine İç Kuvvetler veya Gerileme Bileşkeleri denir(Şekil 4.3). Bu iç kuvvetler aşağıdakilerdir.

1.Plak eğilme momentleri:

$$M_x = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_x z dz \quad (\text{Nm/m}) \quad (4.1)$$

$$M_y = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_y z dz \quad (\text{Nm/m}) \quad (4.2)$$

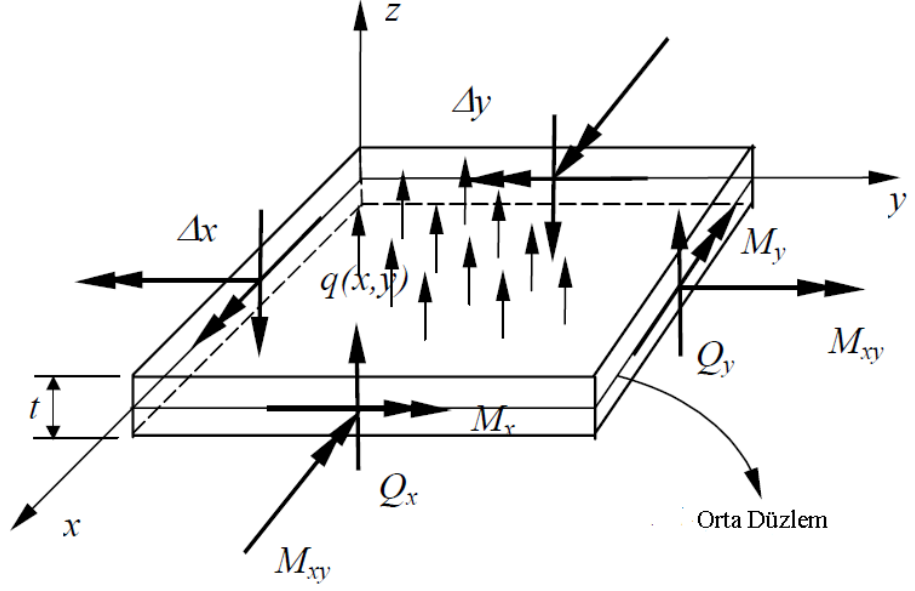
2.Plak burulma momentleri:

$$M_{xy} = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{xy} z dz \quad (\text{Nm/m}) \quad (4.3)$$

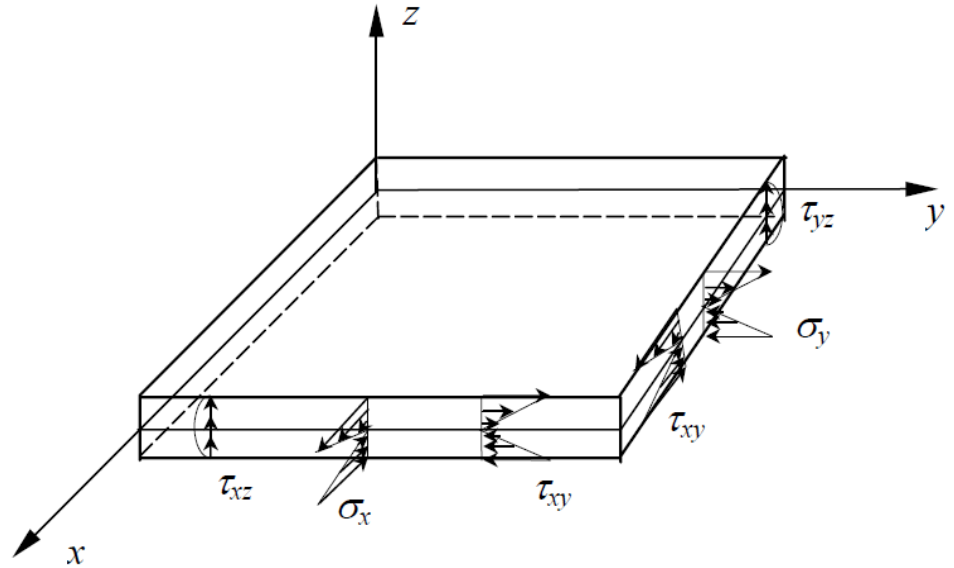
3.Plak kesme kuvvetleri:

$$Q_x = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{xz} dz \quad (\text{N/m}) \quad (4.4)$$

$$Q_y = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{yz} dz \quad (\text{N/m}) \quad (4.5)$$



a) Plak elemana etkiyen yükler ve momentler

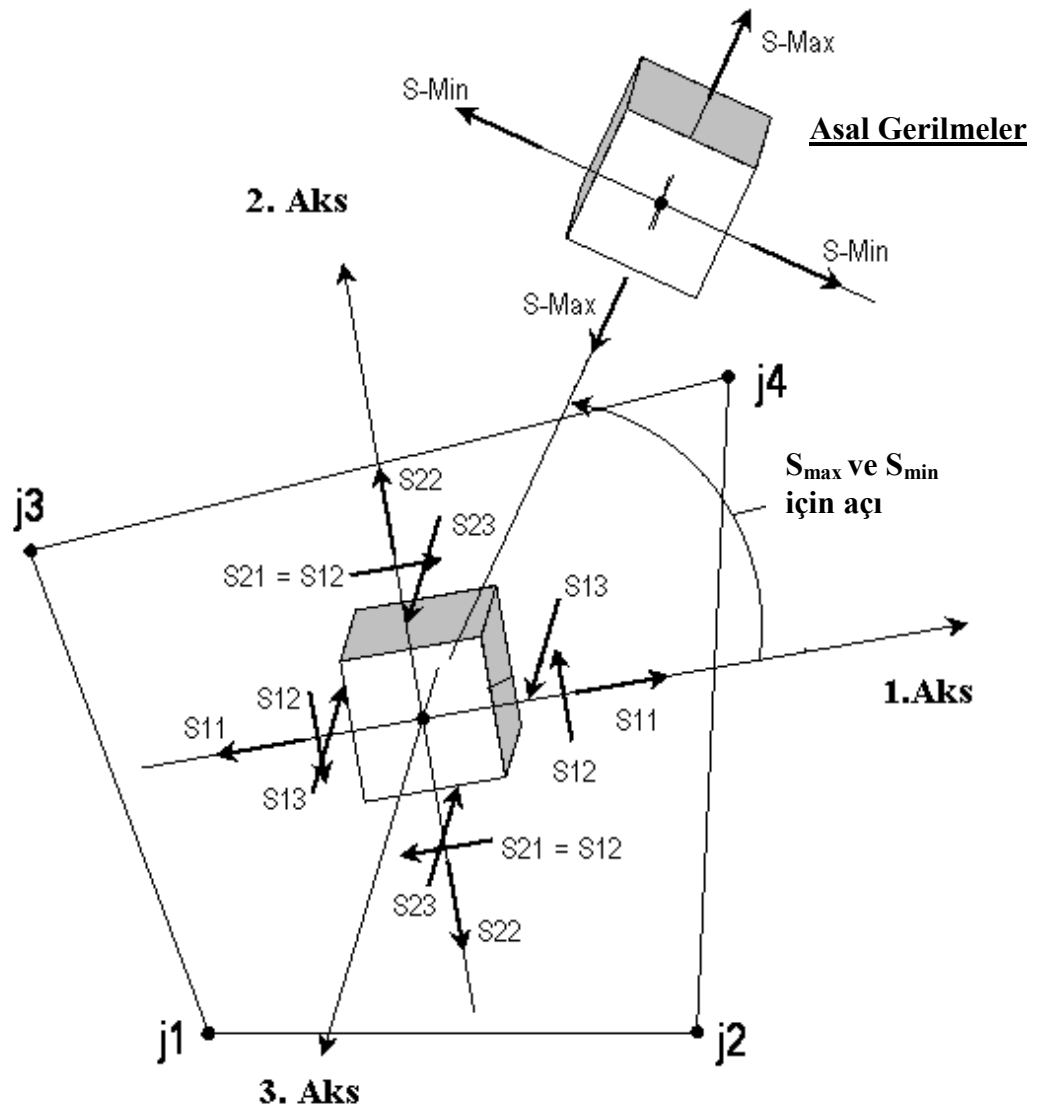


b) Plak elemana etkiyen gerilmeler

Şekil 4.3 Plak elemandaki (a)yükler ve (b)gerilmeler

SAP2000 Yapı Analiz Programında Kabuk Elemanın 6 yüzü Şekil 4.2'te görüldüğü gibi kabuk elmanın lokal eksen takımına göre belirlenmiştir. Eksen 1 yönü Pozitif 1 yüzünün normalidir. Aksi yön ise Negatif 1 yönünün normalidir. Diğer yüzeyler de benzer şekilde belirlenir(Çağdaş S.,1999).

SAP2000 programında kabuk Eleman Temel gerilmeleri S11, S22, S12, S13, S23 olarak adlandırılmıştır. S21, S12 ile aynı değeri ifade ettiği için ayrıca belirtilmemiştir. Sij ile ifade edilen gerilmelerde i indisi gerilmenin kabuk elemanın, hangi yüzünde meydana geldiğini, j indisi ise gerilmenin yönünü (lokal eksene göre) belirtir. Bu gerilmeler ayrıntılı olarak Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Kabuk elemanın S11, S22, S12, S13, S23, S_{max} ve S_{min} gerilmeleri

4.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi

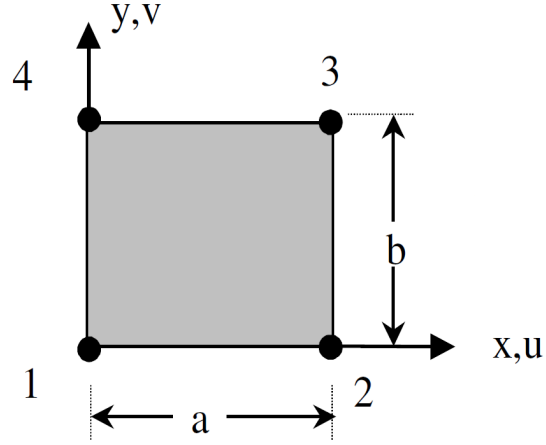
Yapısal analiz problemleri, fiziksel modeller ve matematiksel modeller oluşturularak, modellere uygun farklı metotlar ile incelenmektedir. Sayısal olarak yaklaşık çözümlene, basitleştirme kabulleri kullanarak yaklaşık çözümlene ve tam analitik çözümlene matematiksel modeli çözümlenmede kullanılan ana başlıklardır.

Sonlu elemanlar metodu matematiksel modeli sayısal olarak yaklaşık çözümlene yollarındandır. Burada, herhangi bir fonksiyonun (örn. deplasman fonksiyonu: $u(x,y)$) yaklaşık değeri, belirli bir sistematikte, fonksiyonun tanım aralığının alt parçalara ayrılması ile elde edilir. Sistemin küçük ayrı parçalarına *Sonlu Eleman* denilmektedir. Elemanlara ayrılarak oluşturulmuş olan modelde belirli sayıda nokta bulunur. Bu model, yaklaşık değeri elde edilmek istenen fonksiyonun bu noktadaki değerleri ile bu noktalar arasında, yani sonlu elemanın sınırları içerisinde fonksiyonun yaklaşık değerlerini içermektedir. Sonlu elemanlar içinde fonksiyonun yaklaşık değeri, noktalardaki değerler cinsinden ifade edilir. Fonksiyon tanım aralığı iki boyutta genellikle üçgen veya dikdörtgen gibi basit şekillere ayrılır. Üç boyutlu problemlerde ise tetrahedron ve hexahedron gibi geometrik cisimler kullanılır.

Paneller düzlem gerilme davranışı gösteren sonlu elemanlar ile modellenebilmektedir. Bu tarz düzlem elastisite problemlerinin çözümlenmesinde, deplasman, gerinim (birim şekil değiştirme) ve gerilmelerin, verilen sınır şartlarının kullanılmasıyla hesaplanmasında ve farklı yöntemlerin kullanılarak, tüm sistem için toplu halde gösterilmesinde sonlu elemanlar metodu yaygın olarak kullanılmaktadır (Reddy, 2005).

4.4.1 Dörtgen sonlu eleman için deplasman formülasyonu

Şekil 4.5`te saat yönünün tersi yönünde 1, 2, 3, 4 numaralı , dört düğümlü dörtgen sonlu eleman modeli verilmektedir.



Şekil 4.5 Dört düğümlü sonlu elemanın

Eleman içerisindeki deplasmanları, düğümlerdeki serbestlikler cinsinden ifade edebilmek için kullanılan en basit yaklaşım birinci dereceden polinom fonksiyon kullanmaktadır.

Her hangi bir düğümün deplasmanı iki bileşenden oluşmaktadır ve bunu basitçe aşağıdaki gibi gösterebiliriz:

$$\delta_i = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Dörtgen elemanın deplasmanı sekiz bileşenden oluşmaktadır ve bunu vektör şeklinde aşağıda gösterebiliriz:

$$\delta^e = \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \end{Bmatrix} \quad (4.7)$$

Elemanın deplasmanı bu sekiz değerle ifade edilebilmektedir. Bunun en basit ifadesi aşağıda verilen iki polinomla ifade edilmektedir

$$u(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 xy + \alpha_4 y \quad (4.8)$$

$$v(x, y) = \alpha_5 + \alpha_6 x + \alpha_7 xy + \alpha_8 y \quad (4.9)$$

Sekiz adet katsayı α_i ($i=1,2,\dots,8$), 4 adet denklem takımının aynı zamanda çözülmesiyle bulunacaktır.

Şekil değiştirme (toplam) : eleman içindeki herhangi bir noktadaki toplam şekil değiştirme üç bileşenle tanımlanmaktadır.

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial v(x, y)}{\partial y} \\ \frac{\partial u(x, y)}{\partial x} + \frac{\partial v(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Bu denklem aşağıdaki matris notasyonu şeklinde yazılabilir

$$\boldsymbol{\varepsilon} = B\boldsymbol{\delta}^e \quad (4.11)$$

Burada B deplasman şekil değiştirme dönüşüm operatördür.

Rijitlik matrisini aşağıdaki genel denklemle ifade edilebilmektedir.

$$K^e = \int_{V^e} B^T D B d(vol) \quad (4.12)$$

Burada D elastisite matrisidir ve aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır

$$D = \begin{bmatrix} \frac{E_x}{1-\nu_{xy}\nu_{yx}} & \frac{E_x\nu_{yx}}{1-\nu_{xy}\nu_{yx}} & 0 \\ \frac{E_x\nu_{xy}}{1-\nu_{xy}\nu_{yx}} & \frac{E_y}{1-\nu_{xy}\nu_{yx}} & 0 \\ 0 & 0 & G_{xy} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

Burada E_x ve E_y sırasıyla x ve y yönündeki elastisite modülü, ν_{xy} ve ν_{yx} sırasıyla xy ve yx düzleminde poisson oranı ve G_{xy} ise xy düzlemindeki kayma modülüdür(Asteris P.G.,2008).

Statik denge durumundaki eleman için aşağıdaki denge denklemi uygulanmaktadır.

$$\{F\} = [K]\delta \quad (4.14)$$

Burada, F yük vektörüdür.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SAP2000 ANALİZLERİ

5.1 Giriş

Bu çalışmada kısa liflerle donatılmış hafif beton panellerin yapılarda duvar olarak kullanılabilirliği malzeme ve eleman dayanımları açısından incelenmiştir. Kısa polipropilen liflerle donatılmış ve perlit (hafif agregalar) kullanılarak üretilmiş beton panellerin sünekliği lifler sayesinde artırılmış, dolayısı ile eğilmeye çalışan duvar elemanlarında kullanılması hedeflenmiştir.

Lifli hafif betonun mekanik özelliklerinin saptanması amacıyla yapılan deneyler Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında, panel testleri ise Celal Bayar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Beton deneylerinin uygulanmasında TSE ve ASTM standartları göz önünde bulundurulmuş ve bu standartlara titizlikle uyulmuştur.

5.2 Lifli Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Perlit katkılı hafif beton üretiminde; agrega olarak birim hacim ağırlığı 60 kg/m^3 ve tane çapı 10 ile 120 mikron arasında olan genişletilmiş perlit agregası (Şekil 5.1), bağlayıcı olarak birim hacim ağırlığı 3125 kg/m^3 olan portland çimentosu, taze betonda istenilen işlenebilirliğin sağlanması ve su/çimento oranının azaltılması için birim hacim ağırlığı 1220 kg/m^3 olan akışkanlaştırıcı katkı maddesi ve hafif betonun eğilme mukavemetini artırmak amacıyla birim hacim ağırlığı 910 kg/m^3 , uzunluğu 12 mm, elastisite modülü 3500 N/mm^2 olan polipropilen lif kullanılmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5.1 Genleştirilmiş perlitin görünümü



Şekil 5.2 Polipropilen lifin görünümü

5.3 Hafif Beton Üretimi İçin Kabul Edilen Esaslar

Denemeler sonucunda üretilen hafif betonların etkin su/çimento oranı 0,4 olarak belirlenmiştir. Bütün hafif beton karışımlara çimento ağırlığının yaklaşık % 1'i oranında akışkanlaştırıcı katkı maddesi eklenmiştir. Kullanılan lif ise karışımın hacimce %1 oranında alınmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan lifli

hafif beton karışımının 1m³'de bulunan bileşenler tablo halinde aşağıda verilmiştir (Tablo 5.1):

Tablo 5.1 1 m³ lifli hafif beton bileşenleri

BİLEŞENLER	YOĞUNLUK (G/CM³)	ORANLAR	AĞIRLIK (G)	HACİM (CM³)
Çimento	3,15	1.0	413799.97	131365,07
Akışkanlaştırıcı	1,20	0,01	4138,00	3448,33
Su	1,00	0,40	165519,99	165519,99
Agrega	0,06	0,10	41380,00	689666,61
Lif	0,91	0,01	9100,00	10000,00
Toplam	-	-	633937,95	1000000,00

5.4 Lifli Hafif Betonun Üretimi, Yerleştirilmesi ve Saklanması

Betonlar düşey eksenli zorlamalı karıştırılmalı 50 lt kapasiteli küçük bir betonyer ile üretilmiştir. Beton karışımlarına eklenmeden önce hafif agregalara, ön su emdirme uygulanmıştır.

Belirlenen karışımlarla mekanik değerlerinin bulunması amacıyla 10x10x60 cm boyutlarında 5'er adet kiriş numune, 15x15x15 cm boyutlarında 7'er adet küp numune ve 12 adet 50x50x8 cm boyutlarında panel numune üretilmiştir.

Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak 22±3°C'deki kirece doymun su içinde saklanmıştır.

Lif malzemesi kullanılmadan yapılan karışımların betonyerden kalıplara yerleştirilmesi sırasında zorlanıldığı halde, kalıp içinde kolayca yerleşmiştir. Lif kullanıldığı zaman ise tam tersi bir durumla karşılaşmıştır; betonun betonyerden kalıplara taşınması daha kolay olurken, kalıp içinde yerleştirilmesi zor olmuştur. Bu da liflerin beton içinde çok iyi bir matris özelliği gösterdiğinin sonucudur.



Şekil 5.3 Üretilmiş küp numuneler

5.5 Uygulanan Deneyler

Bu çalışmada duvar elemanı olarak önerilen lifli hafif beton panellerin çeşitli yükler altındaki davranışını belirlemek üzere basınç, eğilme, yarma, diyagonal kesme deneyleri uygulanmıştır. Deneyler sonucunda lifli hafif betonun basınç, eğilmede çekme, yarmada çekme ve kayma dayanımları elde edilmiştir. Deneyler TS EN 12390 ve ASTM E519 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. İmal edilen numuneler üzerinde yapılan birim hacim ağırlık testleri sonucu, lifli hafif betonun birim hacim ağırlığı ortalama 1.74gr/cm^3 olarak belirlenmiştir.

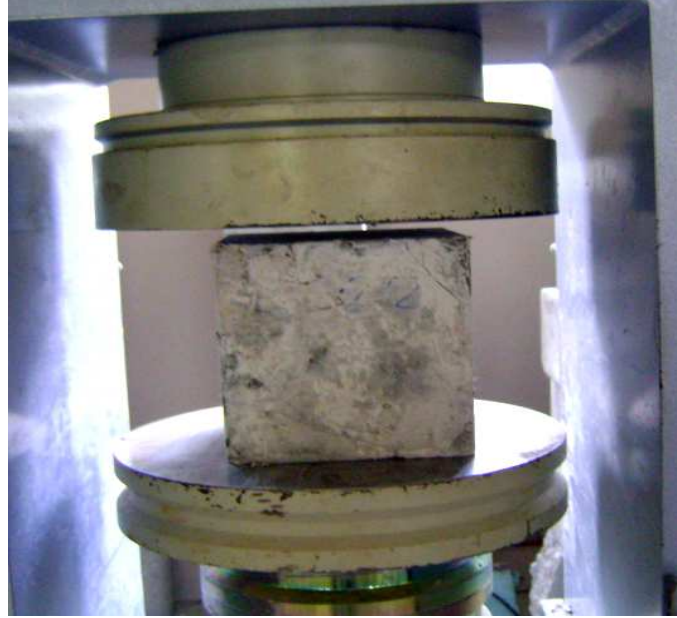
5.5.1 Basınç dayanımı

Bu çalışmada, 150mm x150mm x 150 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılarak basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir.. Basınç presine yerleştirilen küp numunelere üzerine sabit hızla tek eksenli basınç yükleri uygulanmıştır (Şekil 5.4). Numunelerin kırıldığı anda ulaşılan en büyük yük, göstergeden okunmuştur. Okunan yükün, numunenin basınç uygulandığı kesit alanına bölünmesiyle küp basınç dayanımları hesaplanmıştır. Yapılan deney sonucunda elde edilen küp basınç dayanımı 30~35MPa arasında değerler almıştır.

Tablo 5.2 Küp numunelerinin basınç deneyi sonuçları

	KIRILMA YÜKÜ (KN)	GERİLME (MPA)
1.numune	874.1	38.85
2.numune	828	36.8
3.numune	681.95	30.31

Basınç deneyi sonucunda numunelerde hiç bir dağılma gözlenmemiş olup, sadece ince çatlaklar görülmüştür (Şekil 5.5).



Şekil 5.4 Küp basınç test düzeneği



Şekil 5.5 Küp numunelerde oluşan çatlaklar

5.5.2 Betonun elastiklik modülü

Betonun elastiklik özelliği, yapıların ve yapı elemanlarının yük altındaki davranışını etkileyen basınç dayanımından sonraki en önemli özelliğinden biridir. Zhang and Gjorv (1991), Neville (1994) ve Choi et al.(2006) bu özelliğin de büyük oranda karışımda kullanılan agreganın rijitliğine bağlı olarak değiştiğini belirtmektedirler.

Yapılan çalışmalar sonucunda, perlit agregalı hafif betonun, teorik elastiklik modülünün, betonun basınç dayanımına bağlı olarak aşağıdaki denklem ile belirlenmiştir (ACI 318, Section 8.5). Bu formül birim hacim ağırlığı 14,4 kg/m³ ila 25,6 kg/m³ olan betonlar için geçerlidir.

$$E_c = 0.043 * \rho^{1.5} * \sqrt{f_c} \quad (5.1)$$

burada; E_c , betonun elastisite modülü (MPa), ρ , birim hacim ağırlığı (kg/m³), f_c , beton basınç dayanımı (MPa)'dır.

Bu bağıntıya göre lifli hafif betonun Elastisite Modülü 16800 N/mm² olarak belirlenmiştir.

5.5.3 Çekme dayanımı

Betonun çekme dayanımını; betonda çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır (Erdogan.,T.Y., 1995). Betonun çekme dayanımı üç değişik yöntem kullanılarak belirlenmektedir.

1-Çekme yüklerinin doğrudan uygulanmasıyla (Pul-off test)

2-Çizgisel basınç yükünün uygulanmasıyla (Yarmada-çekme dayanımı)

3-Kiriş numunelere eğilme yükünün uygulanmasıyla (Eğilmede- çekme dayanımı)

Bu üç yöntemle elde edilen sonuçlar bir birinden farklılık göstermekte ve eğilmede çekme dayanımı > yarmada çekme dayanımı > doğrudan çekme dayanımı gibi bir sıralanma mevcuttur (Neville 1995; Aitcin 1998; Erdogan 2003). Bu fark, yapılan kabullerden ve çekme dayanımını belirlemede kullanılan yöntem ve formüllerden kaynaklanmaktadır (Erdogan, 2003). Betonun çekme ve basınç dayanımları bir birleriyle yakından ilişkilidir (Neville 1994, Aitcin 1998, Erdogan 2003).

Beton testleri arasında doğrudan çekme testinin uygulanması çok zor olduğu için yaklaşık bağıntılar kullanılmaktadır. Malzeme çekme dayanımı, yarma deneyinden elde edilen yarma dayanımı (σ_{st}) ve eğilme deneyinde elde edilen kopma modülü (σ_{MOR}) kullanılarak Formül 5.5'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır (TS 500, Ün H.,2007):

$$\sigma_t \cong \frac{\sigma_{st}}{1.5} \cong \frac{\sigma_{MOR}}{2.0} \quad (5.2)$$

burada, σ_t betonun çekme dayanımı (MPa), σ_{st} yarmada çekme dayanımı (MPa), σ_{MOR} ise eğilmede çekme (MPa) dayanımıdır.

Bu çalışmada yarmada-çekme dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı testi uygulanmıştır. İlk önce yarmada çekme deneyi anlatılacaktır ve sonuçlar verilecektir. Daha sonra ise eğilmede çekme testinin değerlendirilmesi yapılacaktır.

5.5.3.1 Yarmada çekme deneyi

Yarmada çekme deneyinde, 150mm x150mm x 150 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılmıştır. Lifin davranışının incelenmesi amacıyla yarmada çekme testinde lifsiz kup numunesi de kullanılmıştır. lifli numuneye uygulanan aksenal yük miktarı lifsiz numuneye uygulanan yükten yaklaşık iki kat fazla olmuştur, buna rağmen lifli numunede sadece ince çatlaklar görülmüştür. (Şekil 5.6-7). Lifli numunelerin yarmada çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme mukavemeti değeri aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{st} = \frac{2P}{\pi a^2} \quad (5.3)$$

Burada, σ_{st} yarmada çekme dayanımı (MPa), P uygulanan en büyük yük (kN), a küp elemanın kenar uzunluğu (mm)'dur. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.3'te gösterilmiştir.

Tablo 5.3 Küp numunelerinin yarmada çekme deneyi sonuçları

	KIRILMA YÜKÜ (KN)	GERİLME (MPA)
1.numune(lifli)	262.4	7.43
2.numune(lifli)	197.2	5.58
3.numune(lifli)	228	6.45
4.numune(lifsiz)	96.1	2.72

Tablo 5.3'de görüldüğü gibi lifli numuneye uygulanan aksenal yük miktarı lifsiz numuneye uygulanan yükten yaklaşık iki kat fazladır. Uygulanan aksenal yük numunede çekme gerilmeleri oluşturduğu için lifsiz numuneye lifli numune arasındaki fark ortaya çıkmıştır.



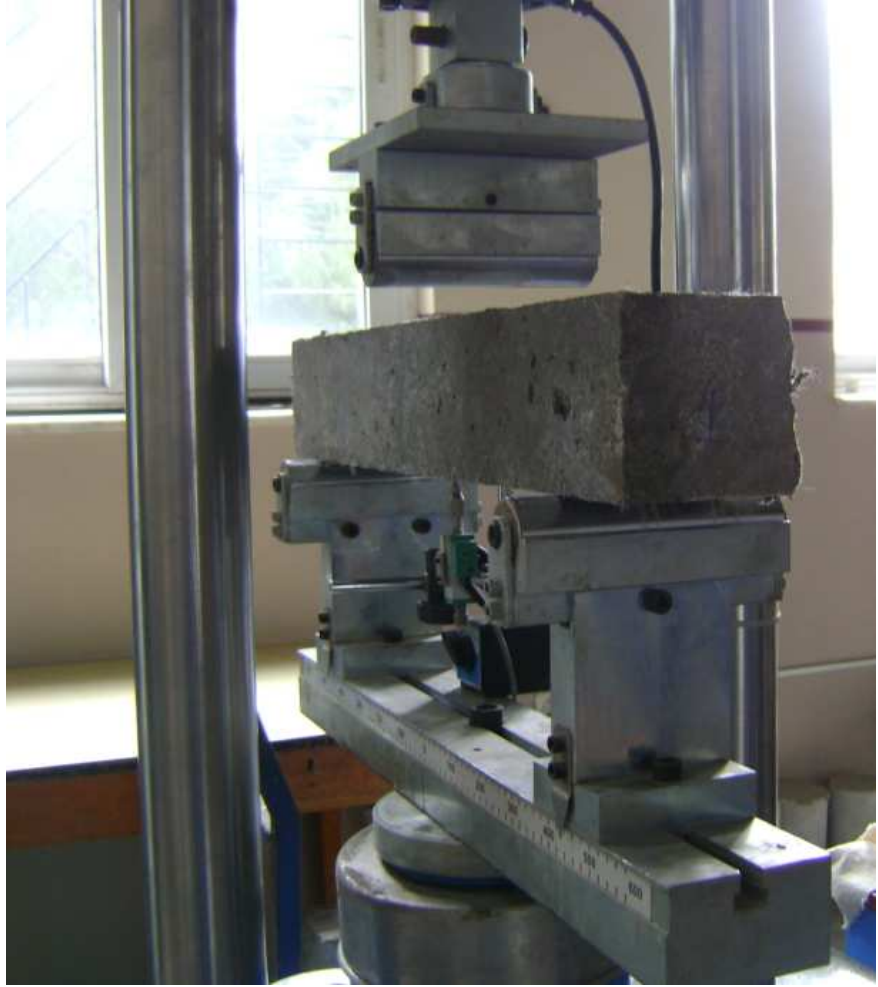
Şekil 5.6 Yarma deneyi sonucunda oluşan çatlaklar



Şekil 5.7 Lifli ve lifsiz küp numunelerinin yarma deneyi altındaki davranışı

5.5.3.2 Eğilmede çekme deneyi

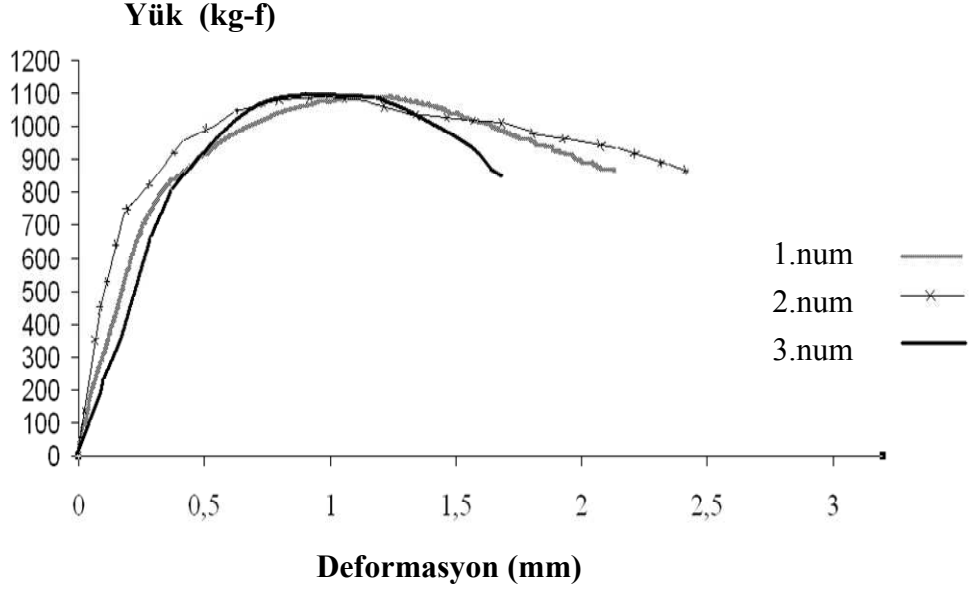
Eğilmede çekme dayanımı testinde 100mm x 100mm x 600 mm boyutlarında lifli beton numuneler kullanılmıştır (Şekil 5.8). Kiriş numunesinin alt kısmına lifli betonun yük altındaki davranışının gözlenmesi ve deplasmanın ölçülmesi amacıyla deplasman ölçer yerleştirilmiştir. Ortalama değer elde etmek amacıyla eğilme testi üç adet numune üzerinde uygulanmıştır. Deney sonucunda numunelerde dağılma gözlenmemiş ancak çok ince çatlaklar oluşmuştur (Şekil 5.9). Yük-deplasman grafiği Şekil 5.9’te görülmektedir.



Şekil 5.8 Eğilmede çekme deneyi düzeneği



Şekil 5.9 Kiriş numunelerde eğilme testi sonucunda oluşmuş çatlaklar



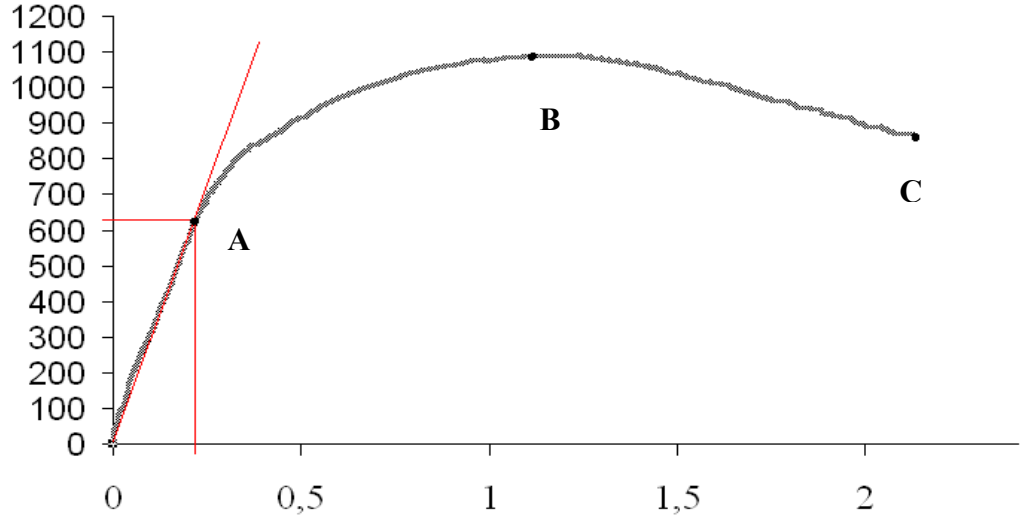
Şekil 5.10 Kiriş numunelerin eğilmedeki davranışı

Şekil 5.10'daki grafikten görüldüğü üzere elemanlar sünek bir davranış sergilemiştir. Lif içermeyen hafif beton eleman ilk çatlakta ani kırılmalar gösterecektir. Lifli elemanların sünek davranış göstermesi elemanın yük harcama kapasitesinin yüksek olduğunun göstergesidir. Bu yük deformasyon eğrisini üç kısma ayırmakla lifin sergilemiş olduğu davranışı daha iyi görürüz (Şekil 5.11). Yük deformasyon eğrisindeki A noktası ilk çatlama noktasını belirtmekte, ve ilk çatlak gerilmesi olarak isimlendirilmektedir (Mindess and Young, 1981) Bu yük seviyesi genellikle demirsiz betonların çatlattığı yük seviyesidir; bundan dolayı grafikteki OA parçası aynı olacaktır ve genellikle eşit eğime sahiptir. Matris çatlattığında uygulanan yük liflere aktarılacaktır. Lifler ise bu çatlakın daha da genişlemesine engel olmaktadır. Lifler deforme oldukça ilave dar çatlaklar oluşmakta ve maksimum yük B noktasındaki seviyeye ulaşmaktadır. Bu evrede bazı liflerin ayrışması gerçekleşir. Ama liflerin çoğunda akma gerilmesine ulaşmamıştır. BC kısmında ise matris çatlama ve liflerin ayrışması devam etmektedir. Bu C noktasında son bulmaktadır.

Başka bir sözle lifler çatlaklar arası köprü kurarak betona önemli ölçüde çatlama sonrası süneklik kazandırmaktadır. Bu tokluk olarak bilinmektedir. Tokluk yük deformasyon veya gerilme şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alan olarak tanımlanmaktadır. Tokluk elemanın deformasyon altındaki enerji yutma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Hsu (1999) tarafından öne sürülmüş tokluk indeksi bağıntısı aşağıdaki şekildedir:

$$TI = 1.421RI + 1.035 \quad (5.4)$$

burada; RI = donatı indeksi = $V_f (\ell/d_f) V_f$ = hacim fraksiyonu ℓ/d_f = en boy oranıdır. Bu bağıntıdan da anlaşıldığı gibi, karışım içindeki lif hacmi arttıkça karışımın tokluğu artmaktadır. Yine, kullanılan lifin uzunluğu arttıkça karışımın tokluğu artacaktır.



Şekil 5.11 Kiriş numunenin eğilmedeki davranışı

Lifli numunelerin eğilmede çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme mukavemeti değeri aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır. Sonuçlar tablo halinde Tablo 5.4`de verilmiştir.

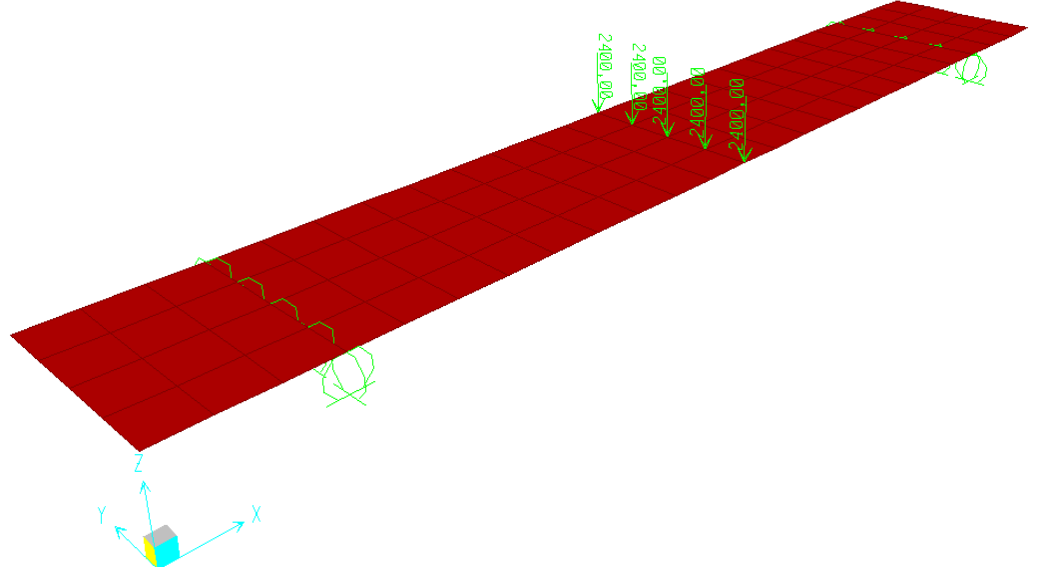
$$\sigma_{MOR} = 1,5 \frac{Pl}{bh^2} \quad (5.5)$$

Burada, σ_{MOR} betonun eğilme mukavemeti(MPa), P uygulanmış maksimum yük(N), l mesnetler arasındaki mesafe, b kiriş numunesinin eni ve h kiriş numunesinin yüksekliğidir.

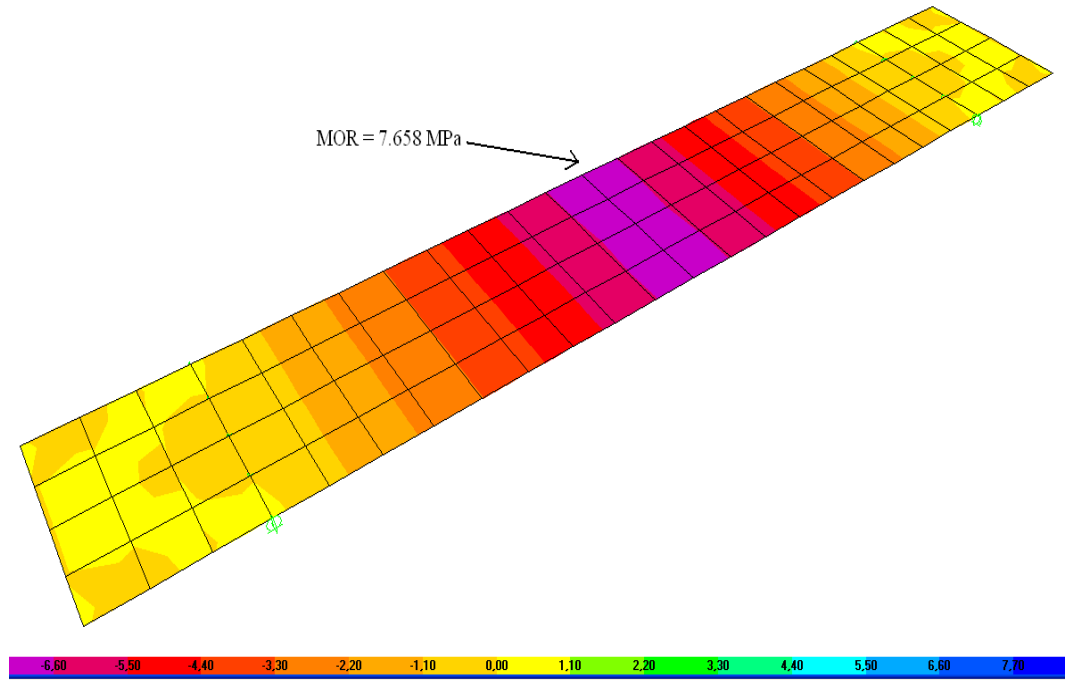
Tablo 5.4 Kiriş numunelerinin eğilme sonuçları

	KIRILMA YÜKÜ (KG-F)	SEHİM (MM)	MOR
1.numune	1089	2.18	7.35
2.numune	1072	2.70	7.25
3.numune	1185	4.30	8.00

Yapılan deneyin SAP2000 yapı analiz programında modellenmesi ve analizi sonucunda, deneyde bulduğumuz sonuca yakın bir değer bulunmuştur. SAP2000 yapı analiz programının sonuçları aşağıda gösterilmektedir (Şekil 5.12).



a) Yükleme Modeli



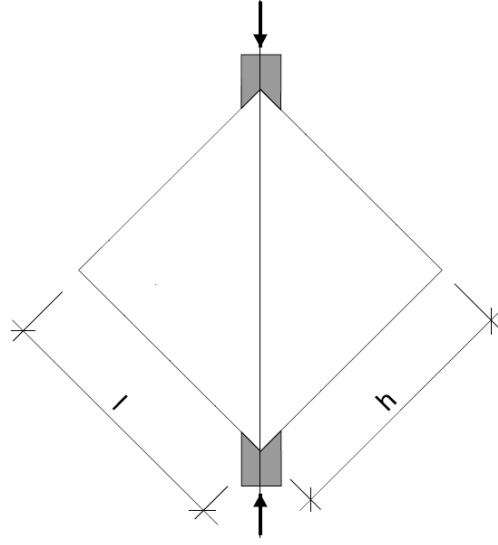
b) Analiz sonucu- S11 gerilmeleri

Şekil 5.12 Kiriş numunenin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi

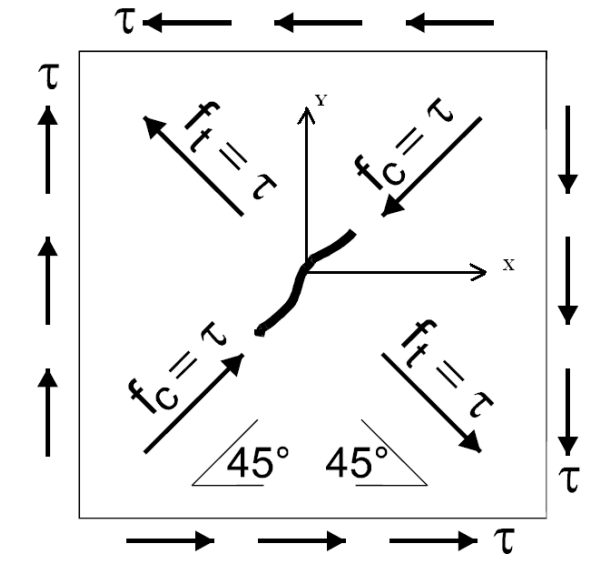
(5.2) bağıntısına göre, yarmada çekme deneyi ile eğilmede çekme deneyi sonuçlarını karşılaştırarak yaptığımız lifli hafif betonun çekme mukavemetini yaklaşık olarak 4 MPa alabiliriz. Çalışmalarda daha güvenli tarafta kalmak için $4/1.4=2.85$ MPa değeri kullanılacaktır.

5.5.4 Diyagonal basınç (kesme) testi

Bu testin amacı 500mm x 500mm ölçülerindeki panel numunesinin basınç ve kayma kuvvetlerinin aynı anda etkimesi sonucunda davranışının incelenmesidir. ASTM ve RILEM standartlarında diyagonal çekme gerilmesinin tahmini için bu testi tavsiye etmektedirler(Şekil 5.13). Homojen bir malzeme için elastisite teoremi bu düzenek için de uygulanabilir. Teoriye göre kare bir elemanda kayma gerilmeleri maksimum değerini almakta ve kayma gerilmeleri asal gerilmelere sebep olmaktadır. Bu asal gerilmelerinde biri basınç diğeri ise çekme, boylamasına eksene 45° eğimlidirler ve onların değerleri kayma gerilmesine eşittir(Marzahn G., 1998)(Şekil 5.14).



Şekil 5.13 Diagonal basınç deneyi şeması



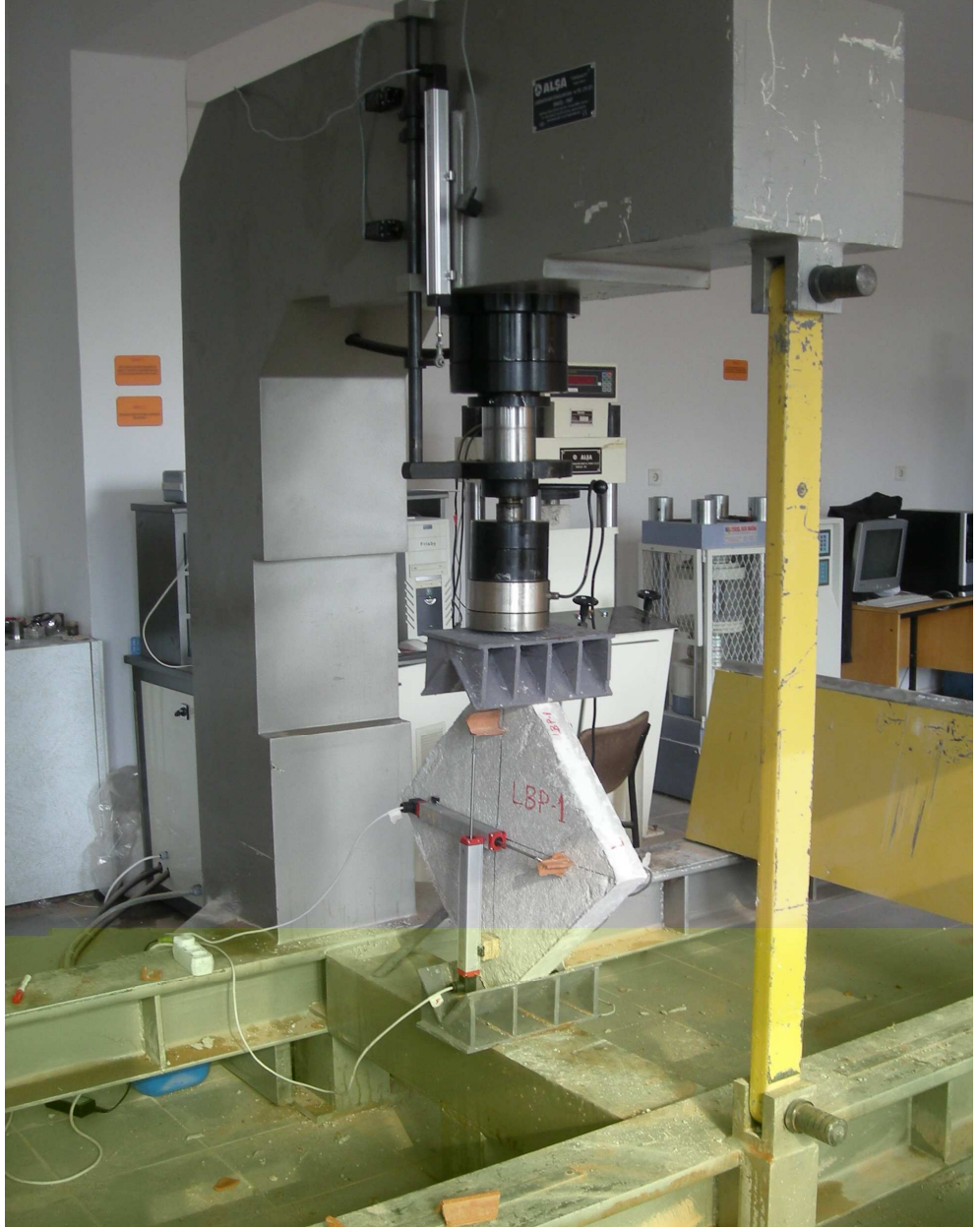
Şekil 5.14 Homojen elemanın saf kesme yüklemesi

Laboratuvar ortamında gerçekleştirdiğim bu testte elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır(Şekil 5.15).

Oluşacak gerilmenin hesabı için ASTM E-519'da verilmiş olan formülasyon kullanılmıştır. Asal gerilmelerin panel numunenin merkezinde maksimum değerine ulaştığında numunenin kırılma değerine ulaştığını varsayarak kesme gerilmesi hesaplanmaktadır. Kesme gerilmesinin formülü aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır:

$$\tau = f_t = \frac{0.707P}{bt} \quad (5.6)$$

Bırada P uygulanan maksimum yük, f_t, f_c asal çekme ve basınç gerilmesi, τ kayma gerilmesi, b panel numunenin kenarı ve t : panelin kalınlığıdır.



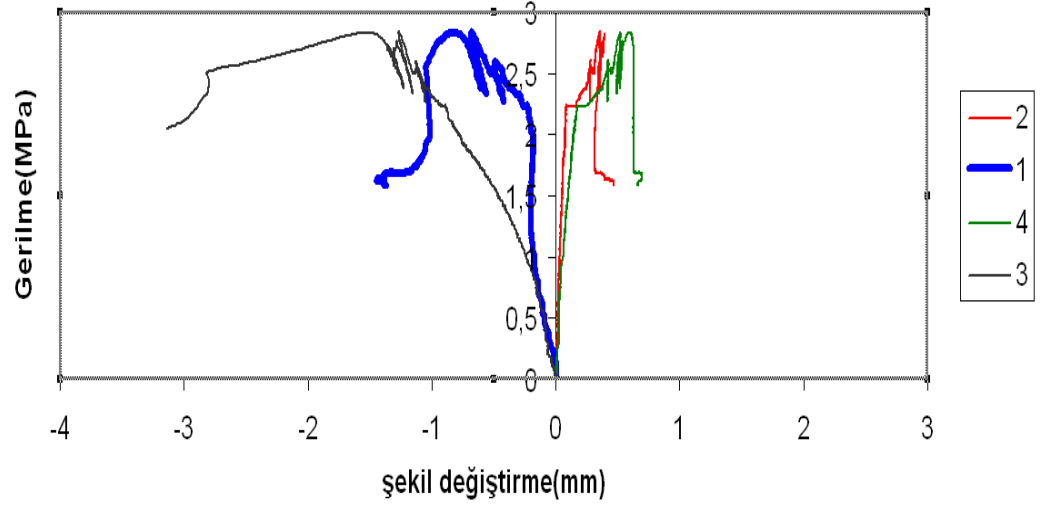
Şekil 5.15 Diyagonal Çekme (Kesme) Testi düzeneği

Test düzeneğinde panel numunenin her iki yüzüne dikey ve yatay olmak şartıyla iki adet potansiyometre yerleştirerek çekme ve basma uzaması kaydedilmektedir. Şelil 5.16`da potansiyometrelere verilen numaralar gözükmemektedir. Basınç yönündeki potansiyometreler “1” ve “3”, çekme yönündeki potansiyometreler ise “2” ve “4” diye isimlendirilmiştir. Gerektiğinde bu değerlerden kesme şekil değıştirmesi hesaplanabilmektedir.



Şekil 5.16 Panelde oluşan ezilme

Aşağıda grafik şeklinde elde edilmiş çekme gerilmesi-şekil değiştirme grafiği çizilmiştir(Şekil 5.17). Aynı numunenin farklı yüzlerine yerleştirilmiş bu potansiyometrelerdeki uzamalar farklı çıkmıştır. Gerçekte “1” ve “3” ile “2” ve “4” potansiyometrelerdeki okumalar aynı olması gerekirken, sonuçların farklı olması, beton içindeki lif dağılımının homojen olmamasıyla ilişkilendirilebilir.

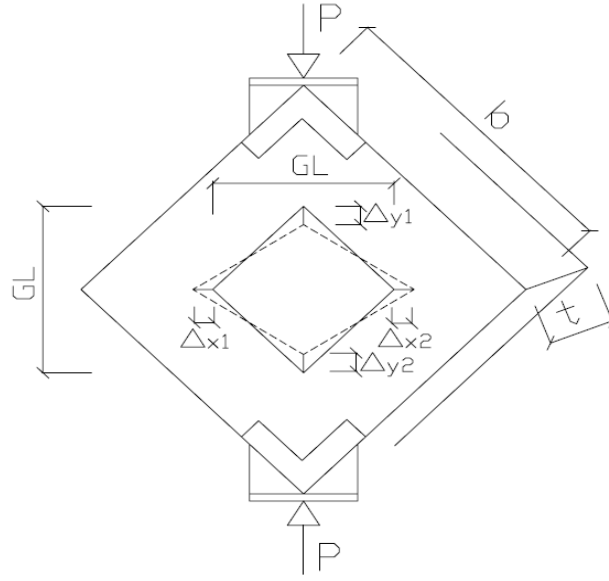


Şekil 5.17 Panel numunede kesme gerilmesi-şekil değiştirme grafiği

Panelin birim şekil değiştirmesi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\gamma = \frac{(\Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta x_1 + \Delta x_2)}{GL} \quad (5.7)$$

Burada γ kesme şekil değiştirmesi, GL ölçüm boyu, $\Delta = x$ veya y yönünde şekil değiştirme miktarıdır(Şekil 5.18).



Şekil 5.18 ASTM E519 Standardında Önerilen Yükleme Düzenegi

Verilen formüllere göre test sonucunda bulunan kesme gerilmesi ve kesme şekil değişimi aşağıda hesaplanmıştır:

$$\tau = f_t = \frac{0.707P}{bt} = \frac{0.707 * 160732N}{500mm * 80mm} = 2.84MPa \quad (5.8)$$

$$\gamma = \frac{(\Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta x_1 + \Delta x_2)}{GL} = \frac{2}{400} = 0.005mm/mm \quad (5.9)$$

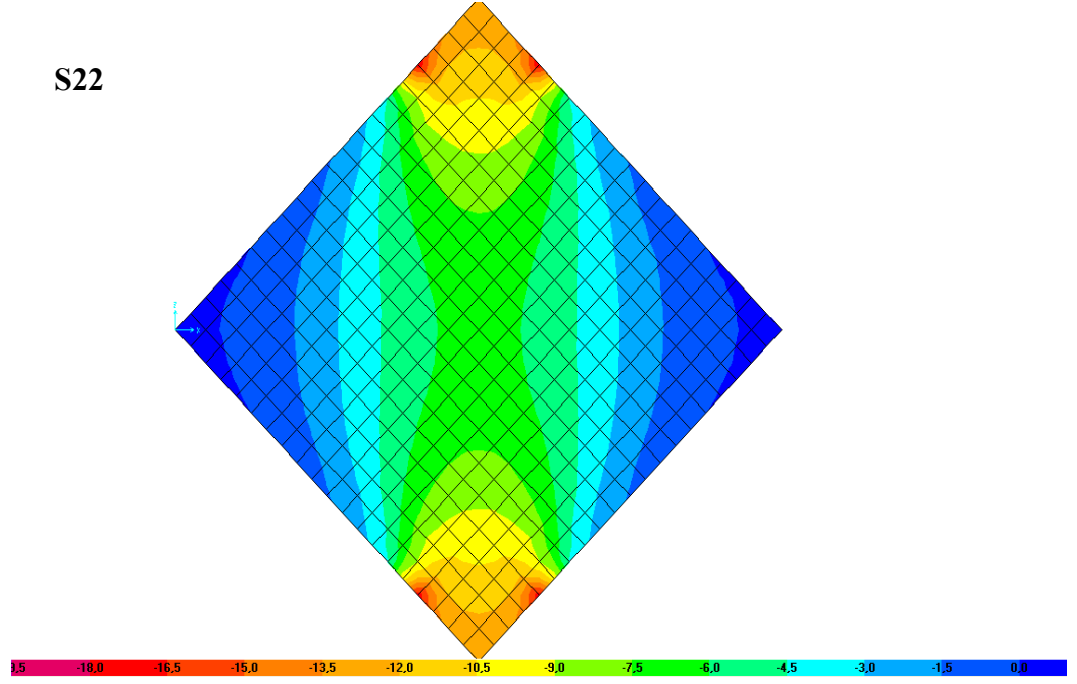
Yükleme sonucunda panel numunelerde kırılma gözlenmemiş, sadece merkezden başlayan çatlakların dikey doğrultuda çoğalması gözlenmiştir. Panelin başlık oturan kısmında ezilmeler oluşmuştur (Şekil 5.19). Bu test sonucundan da anlaşılmıştır ki, lifler çekme gerilmeleri sebebiyle oluşabilecek kırılmayı engellemektedir.



Şekil 5.19 Panelde oluşan ezilme

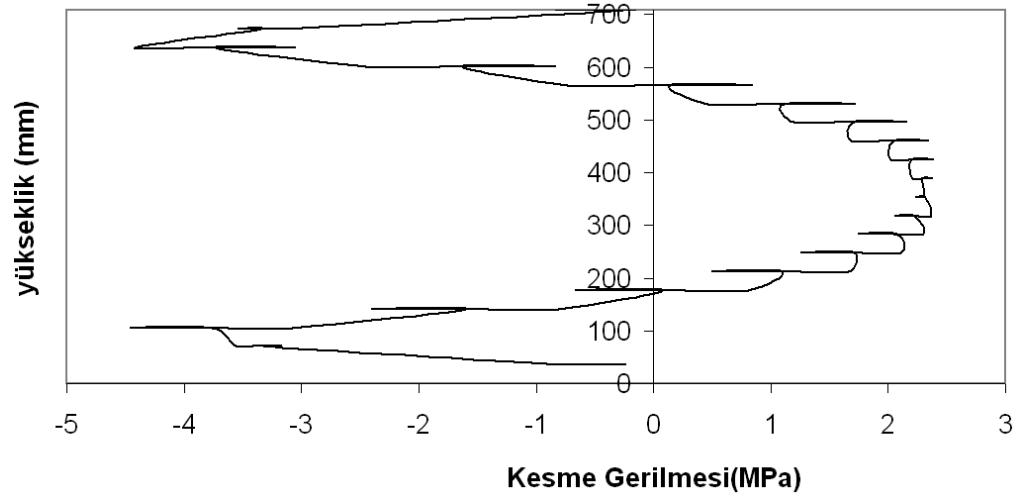
Yapılan deney Sap2000 yapı analiz programında modellenmiş ve elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Maksimum çekme gerilmeleri numunenin merkezinde yüksek basınç gerilmesiyle beraber bulunmuştur. (Şekil 5.20). Diyagonal boyunca göçmenin oluşumu yarmada çekmenin kesme kopmasından önce oluştuğunu bildirmektedir. Analiz sonucunda elde edilen çekme gerilmesi test sonucunda bulduğumuz değere yakın çıkmıştır.

Oluşan çatlakların merkezde başlaması, aslında SAP2000 analiz programında bulduğumuz sonuçla kendisini ispatlamaktadır. Maksimum çekme gerilmeleri, merkezde maksimum değerini almaktadır. Analiz sonrası, yükleme diyagonalı boyunca S11 gerilmelerini bir grafik şeklinde bir araya getirdiğimizde yarma deneylerinden hatırladığımız yükseklik boyunca gerilme dağılımı grafiğini elde etmiş oluruz. Bu da aslında yaptığımız testin yarmada çekme deneyi olduğunu ortaya koymaktadır(Şekil 5.21).



c) Analiz sonucu S22 gerilmeleri

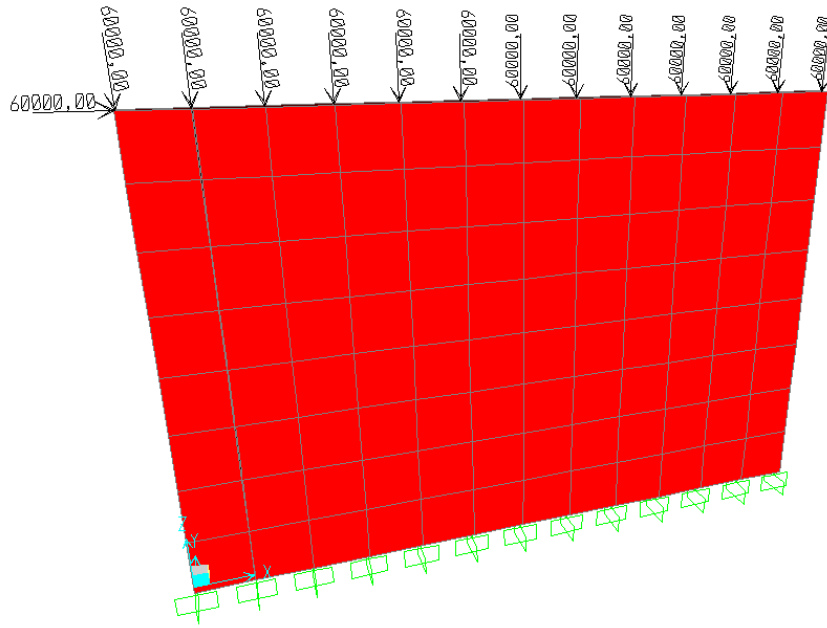
Şekil 5.20 Panel numunenin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi



Şekil 5.21 Sonlu elemanlarla analiz sonucu yükseklik boyunca S11 gerilme dağılımı

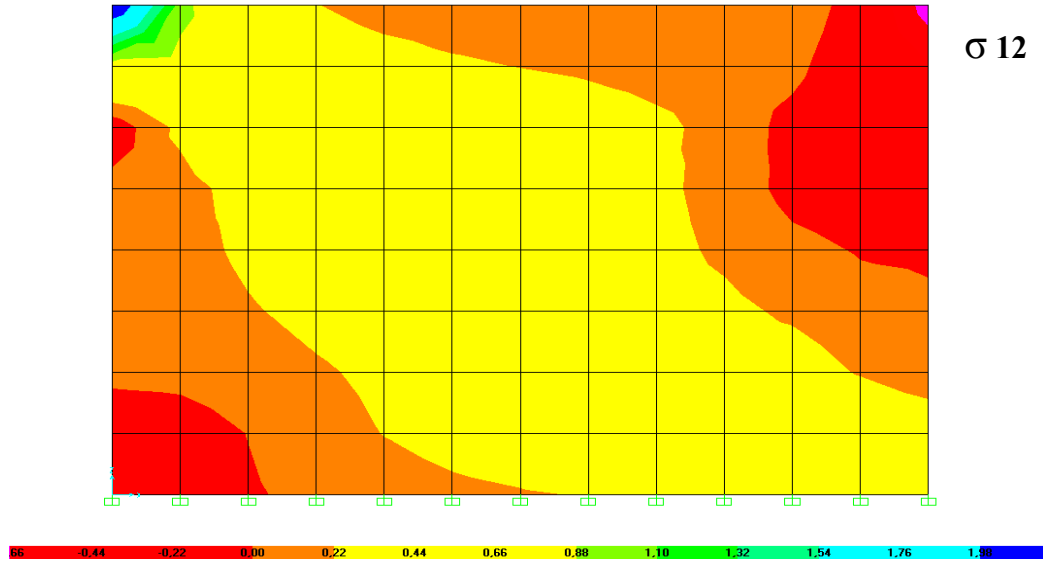
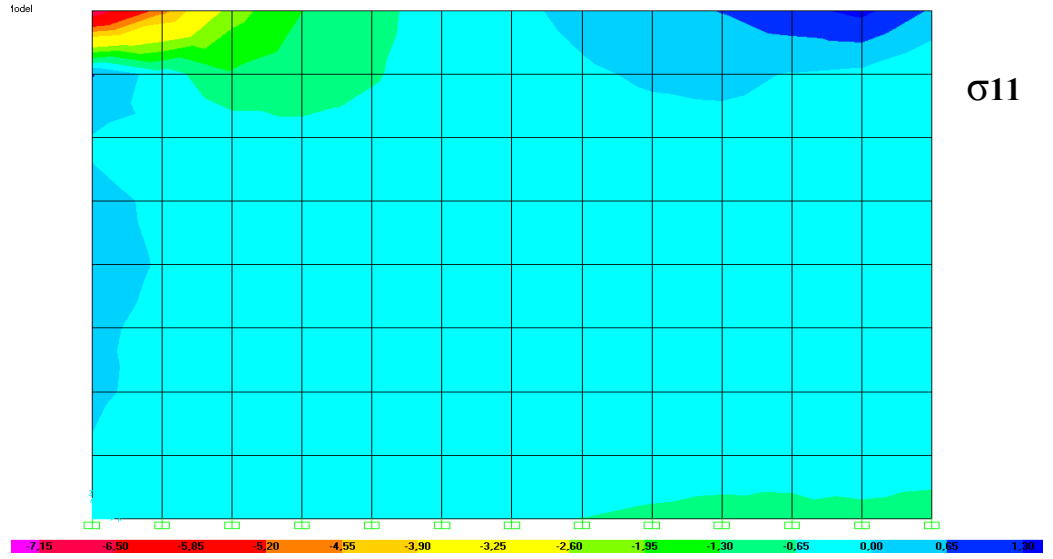
5.6 Paneldeki Boşlukların Panelin Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi

Şekil 5.22'de 3m x 2m boyutlarındaki panelde 60kN/m eksenel yayılı yük ve 60kN yanal deprem yükü uygulanarak, açılan farklı boyutlardaki boşlukların panelin davranışına olan etkisi incelenmiştir. Kenarlardan 50cm bırakmak şartıyla farklı ölçülerde boşluklar açılmıştır. Boşlukların boyutu arttıkça çekme gerilmelerinin değeri büyümüştür. Şekil 5.22'de panel ve yükler gözükmektedir.

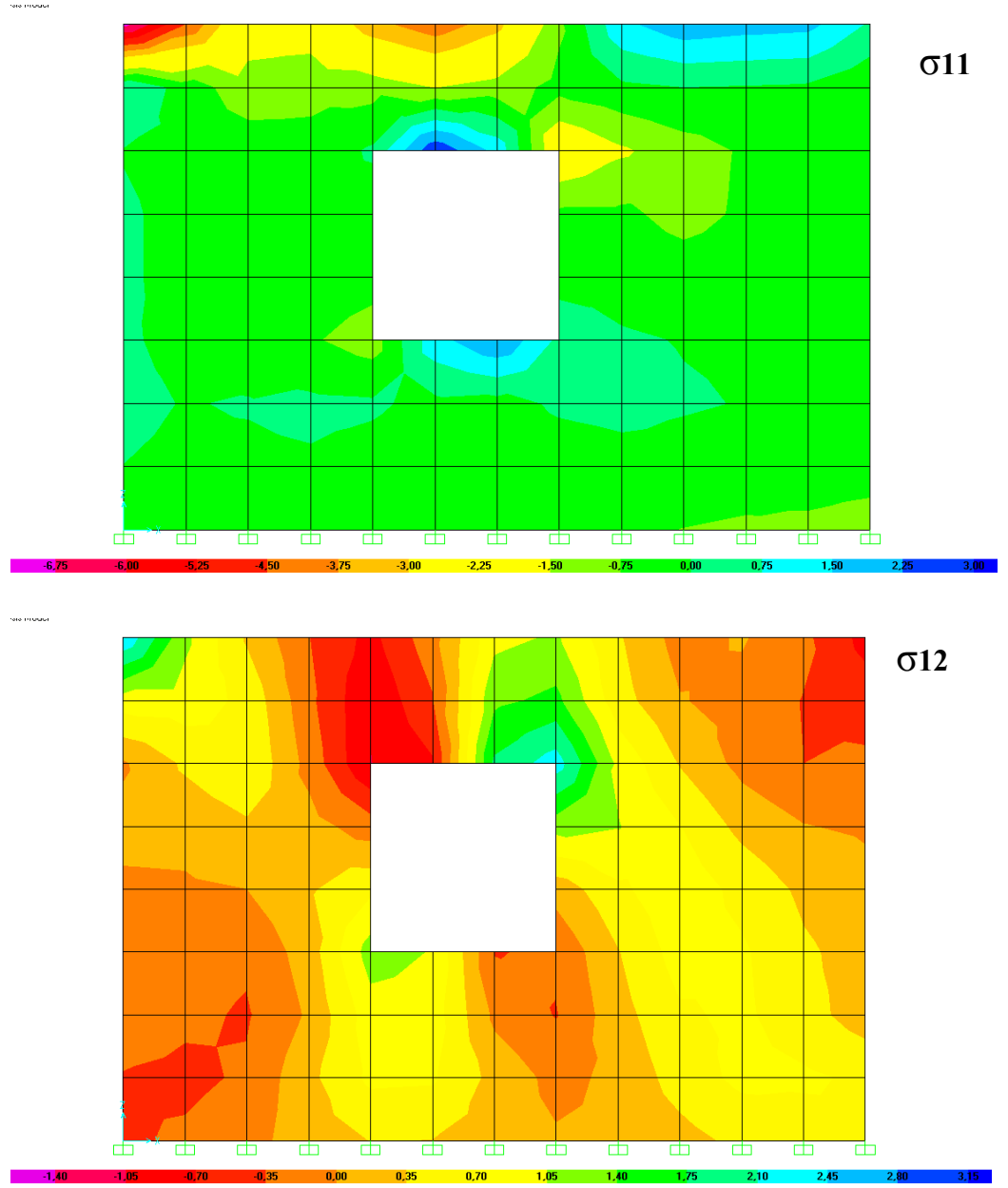


Şekil 5.22 Yükleme düzeneği

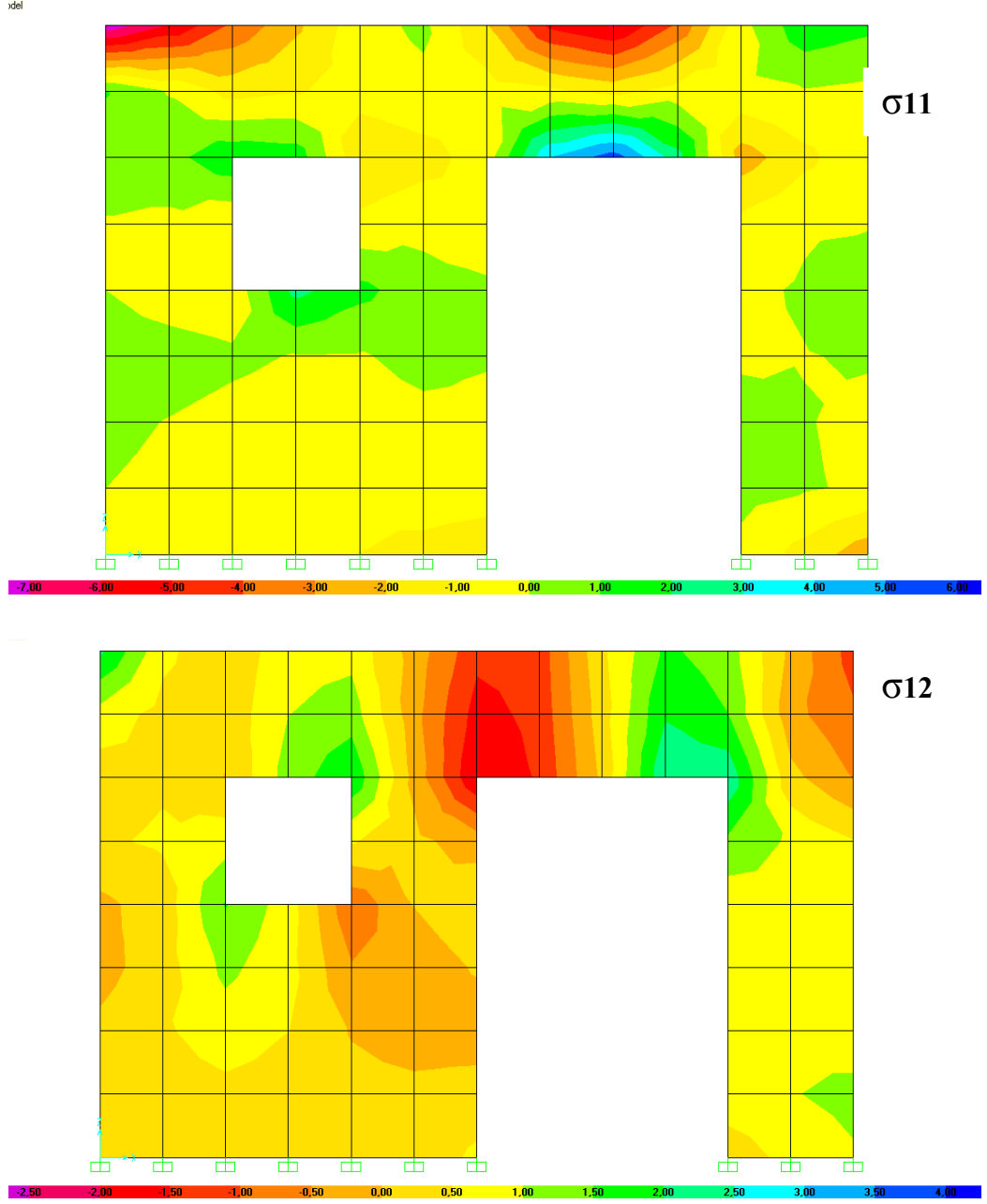
İlk önce boşluksuz bir paneldeki gerilmelere bakılacaktır(Şekil 5.23). Daha sonra ise pencere boşluğu, kapı boşluğu açılarak gerilmeler gözlemlenmiştir. Şekil 5.24-25'te 1.5m x 1m boyutunda açılan pencere ve kapı boşluk sonrası oluşan gerilmeler gösterilmiştir.



Şekil 5.23 Boşluksuz duvarın σ_{11} (mak. 1.5MPa ve min -7MPa) ve σ_{12} (mak. 2,3MPa ve min. -1MPa) gerilme dağılımı



Şekil 5.24 Açılan pencere boşluğu sonrası σ_{11} (mak. 3.5MPa ve min -7.0MPa) ve σ_{12} (mak. 3MPa ve min. -1,6 MPa) gerilme dağılımı



Şekil 5.25 Açılan kapı ve pencere boşluğu sonrası σ_{11} (mak. 6.0MPa ve min -7.7MPa) ve σ_{12} (mak. 3,9MPa ve min. -2,9 MPa) gerilme dağılımı

Yaptığımız beton deneyleri sonucunda lifli hafif betonun basınç gerilmesi 30MPa, çekme gerilmesi ise 5.5 bağıntısına göre yaklaşık olarak 4MPa bulunmuştur. SAP2000 analizleri sonuçlarına göre açılan pencere boşluğu sonrası ulaşılan maksimum çekme gerilmeleri 4MPa değerinden az olmuştur. İlave olarak açılmış kapı boşluğu sonrası ise çekme gerilmeleri 4MPa değerini aşmıştır. Sonuç olarak panellerde açılmış boşluklar panellerin kapı veya pencere boşluğu üzerinde büyük gerilmelere sebep olmaktadır. Boşluklu paneller açılacak boşluğun konumu

ve büyüklüğüne göre ayrı ayrı analiz edilmeli ve gerektiğinde boşluk çevresine donatı ilave edilmelidir.

5.7 Panelin Kaldırılması ile bağlı Sayısal Örnek

Şekil 5.26`da görülen 2m x 1m x 0.08m boyutlarındaki panelin depolanması için kalıptan çıkarılması gerekmektedir. Kaldırma zamanında betonda gerilmelerinin yeterli olup olmadığı araştırılacaktır. Panel kalıptan çıkarılırken betonun kazanmış olduğu mukavemeti 20MPa`dır. Panelin ağırlığı 280kg`dır.

Panellerin kaldırılması zamanı emniyetli tarafta kalmak için kalıptan çıkarma katsayısı 1.3 olarak verilmiştir.(PCI Design Handbook) Yani, tahkik yapılırken panelin ağırlığı %30 artırılacaktır.

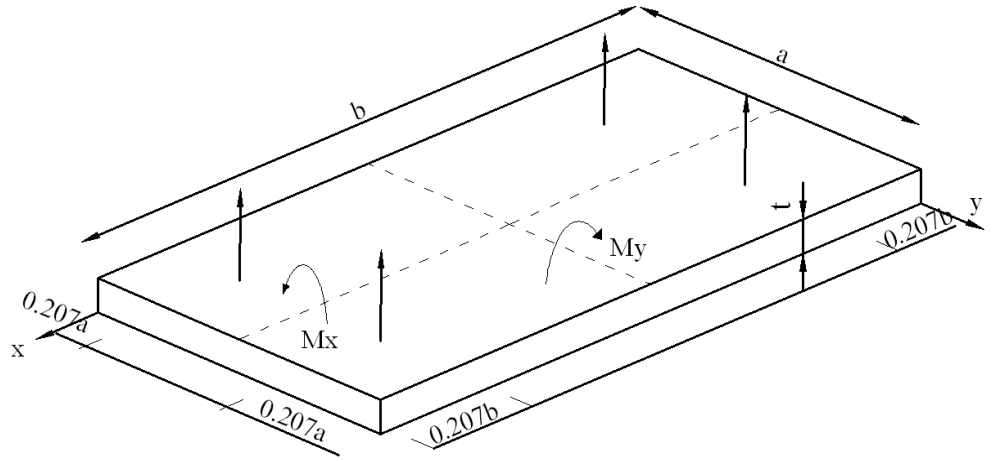
Kaldırma analizi yapılırken, moment diyagramı çizilerek panelde oluşan gerilmeler hesaplanır. Bu gerilmeler, $\sigma_x = 0.038 \text{ MPa}$ ve $\sigma_y = 0.14 \text{ MPa}$ olarak aşağıda hesaplanmıştır. Bulduğumuz bu gerilmelerin betonun taşıyabileceği maksimum çekme gerilmelerinden küçük olduğu tahkik edilecektir.

$$0.038 \text{ MPa} < 0.41 * 0.7 \sqrt{20} = 1.2 \text{ MPa} \quad (5.10)$$

$$0.14 \text{ MPa} < 0.41 * 0.7 \sqrt{20} = 1.2 \text{ MPa} \quad (5.11)$$

Görüldüğü gibi panel kaldırılırken oluşan çekme gerilmeleri betonun taşıyabileceği maksimum çekme gerilmelerinden küçük olmuştur.

Bulduğumuz gerilmelerin betonun taşıyabileceği maksimum çekme gerilmelerinden büyük olması durumunda yükleme noktası artırılarak işleme devam edilecektir.



Şekil 5.26 Kalıptan çıkarılacak olan panel

5.8 Üretilmiş Panelin Karşılaştırılması

Ülkemizde Yapı Merkezi Prefabrikasyon AŞ tarafından üretilmiş olan panellerin ve ürettiğimiz betonun özellikleri verilmiştir. Yüksek performanslı cam lifli katkı , çimento bazlı kompozit bir ürün olan Lifbeton çok çeşitli alanlarda kullanıma uygundur. Mimari elemanlarda, dış cephe panellerinde, hafif çatı sistemlerinde, kalıcı kalıplarda ve tabliye kalıplarında, sulama ve drenaj kanallarında, kablo kanallarında ve tarihi eser restorasyonlarında kullanılabilir.

Tablo 5.5 Panellerin karşılaştırma tablosu

1	2	3	4
Nitelik	Birim	YM Pref. AŞ Dökme Lifbeton	Polipropilen Lifli Hafif Beton
Ağırlığına göre lif miktarı	Ağırlık%	2-3.5%	1.4 %
Kopma Modülü-MOR	MPa	7-11	7-8
Çekme Dayanımı	MPa	4-7	3-4
Basınç Dayanımı	MPa	40-60	30-35
Elastisite Modülü	GPa	10-20	14-17
Kuru Hacim Ağırlığı	Ton *m ⁻³	1.8-2	1.4-1.6

Yukarıda tabloda 3. sütunda YM Pref. AŞ`nin üretmiş olduğu dökme lifbetona ait mekanik özellikler listelenmiştir. 4.sütunda ise bu çalışma kapsamında üretmiş olduğumuz betonun mekanik özellikleri sıralanmıştır. Daha az lif kullanılarak üretmiş olduğumuz betonun Kopma Modülü ve Elastisite modülü, dökme lif beton ile yakın değerler almıştır. İki betonun basınç dayanımı ve birim hacim ağırlığı arasında ise fark vardır. Bu fark, yapmış olduğumuz karışımda hiç kum kullanmadığımızdan kaynaklanmaktadır.

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hafif agregalı betonlara polipropilen lif ilave edilerek üretilen beton panele ait elde edilen sonuçların toplu olarak değerlendirilmesi neticesinde çalışmanın tümünden çıkarılacak bazı sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmiştir:

1. Bu çalışma polipropilen lifler ile donatılmış perlit katkılı hafif betonlar elemanlar üzerinde yapılmış basınç, yarmada çekme ve eğilme deneyleri sonuçlarını aşağıdaki tablo halinde özetlemek mümkündür:

MUKAVEMET DEĞERLERİ		
1.	Birim Hacim Ağırlık	$1.74gr/cm^3$
2.	Basınç Dayanımı	$30MPa$
3.	Eğilmede Çekme Mukavemeti (MOR)	$7 MPa$
4.	Yarmada Çekme Mukavemeti	$6.4MPa$
5.	Elastisite Modülü	$16800MPa$

Elde edilen değerleri yorumlarsak; birim ağırlık değerine göre TS EN 206-1`de belirtilmiş olan D 1,8 hafif beton sınıfına girmektedir. Küp dayanımına göre ise TS EN 206-1`de belirtilmiş olan LC 25/28 sınıfına girmektedir. Elastisite modülünün düşük değer almasına bakmayarak, çekme değerleri normal betona göre yüksek çıkmıştır.

2. Basınç dayanımı normal betonun basınç değeriyle aynı çıkmıştır. Çekme değeri ise yaklaşık %50 fazla çıkmıştır (TS500). Hiç kum kullanılmadan elde edilmiş bu değer olumlu sonuçtur.

3. Sadece hafif agrega olan genişletilmiş perlit kullanılarak üretilmiş hafif betonda yarmada çekme deneyi sonucunda lifli numune ile liffsiz numune arasında ciddi fark ortaya çıkmıştır. Lifli numune iki kat fazla çekme gerilmesine karşı koymuştur. Gevrek kırılmanın önlenmesinde ve gecikmesinde çok düşük bir maliyetle polipropilen lifin kullanışı potansiyel bir teknolojidir.

4. Deneylerde numunelerin kırılmadan kuvvet taşıyabilme özelliği betona has olan kırılma özelliğinin ortadan kaldırdığını ve binalarda tersinir yükler altında istenen sünek davranış özelliğini katmıştır.

5. Verilen malzeme oranları ile imal edilmiş 500mmx500mmx80mm'lik paneller diyagonal basınç testine tabi tutulmuş ve 2.8 MPa kayma mukavemeti elde edilmiştir. Elde etmiş olduğumuz basınç ve çekme değerleri TS 4046-**Hazır Duvar Panelleri-Hafif Agregalı Betondan Yapılmış Boşluklu Duvar Paneller**'de belirtilmiş basınç ve çekme değerlerini sağlamaktadır.

6. Gelecek çalışmalarda farklı ölçülerde ve kalınlıklarda paneller üretilmeli ve yapılacak testlerin sonuçları bu panelle karşılaştırılmalıdır. Bu karşılaştırma boyut faktörünün panelin mukavemeti üzerinde etkisini göstermesi açısından faydalı olacaktır.

7. Hafif agregalı betonlara polipropilen lif ilave etmek betonun işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle işlenebilirlik kaybının önlenmesi açısından beton üretiminde akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılmasında fayda vardır.

8. Hafif agregalı betonlarda mevcut ani kırılma özelliği polipropilen lif kullanılmasıyla ortadan kaldırılmıştır. Böylece betona daha sünek bir davranış kazandırılmıştır. Gelecek çalışmalarda daha uzun ya da kısa lifler kullanılarak betonun tokluğuna etkisi incelenmelidir.

9. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda perlit kullanılarak üretilen polipropilen lifli hafif beton panellerin daha büyük ölçekte yanal yük etkisi, yanal yük etkisi ve eksenel yük etkisinin beraber incelenmesinde fayda vardır.

10. Paneller üzerinde donma çözünme, ateşe dayanıklılık ve çarpma testleri yapılarak sanayide kullanılabilirliğinin araştırılmasında fayda vardır.

11. Gelecek çalışmalarda panellerde kapı veya pencere gibi boşluklar bırakılmalı ve panelin mukavemetine etkisi araştırılmalıdır.

12. Önerilen malzeme ile modüler elemanlar üretilip, bu elemanlar üzerine çalışılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

ACI 318-08, American Concrete Institute, 471p

Arun G.,2005, Yığma Kagir Yapı Davranışı, YDGA2005 - Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı

Asteris P.G.,2008, Finite Element Micro-Modeling of Infilled Frames, Electronic Journal of Structural Engineering

Barros, J., Pereira E. and Santos S., 2007, Lightweight Panels of Steel Fiber-Reinforced Self-Compacting Concrete, Journal Of Materials In Civil Engineering ASCE

Bentur A. and Mindess, S., 1990, Fiber Reinforced Cementitious Composites, An Elsevier Science Publishers Ltd.

Bernard E.S., 1999, Behaviour of round steel fibre reinforced concrete panels under point loads, www.springerlink.com (Erişim tarihi: 11 Nisan 2010)

Brasile, S., Casciaro, R., Formica, G., 2007, Multilevel approach for brick masonry walls part II: On the use of equivalent continua, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg, 196, pp. 4801-4810

Brown R., Shukla A. and Natarajan K.R., 2002, Fiber Reinforcement Of Concrete Structures, University of Rhode Island , 8p

Çağdaş S.,1999, Uygulamalı SAP 2000,Türkmen Kitabevi

Calderini, C., Lagomarsino, S., 2008, A continuum model for in-plane anisotropic inelastic behaviour of masonry, Journal of Structural Engineering, ASCE, 134(2),209-220

Cavaleri, L., Miraglia N. and Papia M., 2003, Pumice concrete for structural wall panels, Engineering Structures, Volume 25, Issue 1

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chai Y.H. and Anderson, J. D.,** 2005, Seismic response of perforated lightweight aggregate concrete wall panels for low-rise modular classrooms, *Engineering Structures*, Vol. 27
- Chandra S. and Berntsson L.,** 2002, *Lightweight Aggregate Concrete*, Noyes Publications
- Chung, D.D.L,** 2005, Dispersion of Short Fibers in Cement, *Journal of Materials in Civil Engineering*. ASCE
- Daniel, J.I., Roller, J.J., and Anderson.E.D.,** 1998, Fiber reinforced Concrete, Portland Cement Association, Chapter 5, pages 22-26
- D`Arcy J. T.,** 1975, Applicability and Relevance of Existing Codes, Specifications and Regulations as Related to Industrialized Construction, *Industrialization in Concrete Building Construction*, SP-48, American Concrete Institute
- Edward L.W.,**2002, Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, Computers and Structures, Inc.
- Erciyas, Y.,** 1963, "Bims Ve Bims Betonu Uzerinde Arastirmalar", İmar ve İskan Bakanlığı yayımları No: 5-17, Ankara
- Freedman S. and Kenney A.R.,** 1989, "Architectural Precast Concrete", Precast / Prestressed Concrete Institute, Chicago, USA.
- Gabor A., Bennani A., Jacquelin E. and Lebon F.,** 2006, Modelling approaches of the in-plane shear behaviour of unreinforced and FRP strengthened masonry panels, *J Composite Structures* 74, Elsevier
- Hannant, D.J.,** 1978, *Fibre cements and fibre concretes*, John Wiley and Sons, ltd., New York, , 213 pages
- IBC-International Building Code,** 2009, 701p

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- İnalpolat C.**, 1996, “Tünel Kalıp Sistemler ve İzolasyon Problemleri”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Janardhana M., Prasad A. M. and Menon D.**, Studies On The Behavior Of Glass Fiber Reinforced Gypsum Wall Panels, <http://www.frbl.co.in/Studies%20on%20the%20Behavior%20of%20GFRG%20Wall%20Panels.pdf> (Erişim tarihi: 3 Nisan 2010)
- Kesner K. E.**, 2005, Ductile Fiber Reinforced Panels for Seismic Retrofit, ASCE J. Struct. Eng., 131(11), 712–720
- Kocabaş S.**, 2005, Çelik Yapıların Sap2000 Programı İle Analiz Ve Tasarımı
- Korur S.**, 2008, Tünel Kalıp Sistemlerde Kullanılan Prefbrike Cephe Panellerinin Taşıyıcı Sistemle Entegrasyonu Ve Kalite Bağlamında Değerlendirilmesi, www.linsaat.com (Erişim tarihi: 3 Aralık 2009)
- Li V.C.**, 1992, Postcrack Scaling Relationships for Fiber Reinforced Cementitious Composites, J.of Materials in Civil Engineering, V.4, No.1
- Li V.C. and Leung C.K.Y.**, 1992, Steady-State and Multiple Cracking on Short Random Fiber Composites, J. of Engineering Mechanics, V.118, No.11, pp.2246-2264.
- Li, V.C. and Wu, H.C.**, 1992. Conditions for Pseudo Strain-Hardening in Fiber Reinforced Brittle Matrix Composites, J. of Applied Mechanics Reviews.
- Load Restraint Guide**, Guidelines and performance standards for the safe carriage of loads on road vehicles, 2004, 270p
- Maneetes H. and Memari A. M.**, 2009, Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Cladding Panels, Electronic Journal of Structural Engineering, 9

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Massicotte B., MacGregor J. G. and Elwi A. E.,** 1990, Behavior of Concrete Panels Subjected to Axial and Lateral Loads, J. Struct. Engrg. Volume 116, Issue 9, pp. 2324-2343
- Mackechnie J. R., Bellamy L. A. and McSaveney L. G.,** 2009, Development Of Stratified Concrete Wall Panels, 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies
- Marzahn G.,** 1998, The Shear Strength of Dry-Stacked Masonry Walls
- Matteis G. D.,** 2005, Effect of lightweight cladding panels on the seismic performance of moment resisting steel frames, Engineering Structures.
- MESA Teknik Şartname,** 1998, “Birleşim Derzleri ve Sızdırmazlık Malzemeleri Seçim Uygulamaları Teknik Şartnamesi”, Mesa Araştırma Geliştirme Birimi, Ankara.
- Mindess S. and Young J. F.,** 1981, Concrete, Englewood, NJ: Prentice Hall
- Mowrtage W. and Karadogan F.,** 2009, Behavior of Single-Story Lightweight Panel Building Under Lateral Loads, www.infamaworld.com (Erişim tarihi: 12 Nisan 2010)
- PCI Design Handbook,** Precast Prestressed Concrete Institute, 634 p
- Reddy J. N.,**2005, An Introduction to The Finite Element Method, McGraw-Hill
- Schults D.M., Johal L.S., Derecho A.T. and Iqbal M.,** 1979, Design and Construction of Large-Panel Concrete Structures, 1979, U.S. Department Of Housing And Urban Development- Office Of Policy Development And Research
- Sesigür H., ve Çılı F.,** 2006, Az katlı binalar için alternatif bir yapı sistemi, İtüdergisi/a, mimarlık, planlama, tasarım Cilt:5, Sayı:1, 47-56

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Şimşek, O., Erdal, M., Sancak, E.,** 2005, The effect of silica fume usage to the flexural strength of concrete reinforced with steel fibres, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.
- Tan M.T. ve Arnott K.,**2006, Perde Duvar Modelleme Teknikleri, Prota Yazılım Ltd.
- Timoshenko, S. ve Goodier, J.N.,** 1969, Elastisite Teorisi, Arı Kitabevi Matbaası, İstanbul.
- TM 34 Tilt-up Technical Manual,** 2004, Cement & Concrete Association of New Zealand, 41p
- Topçu İ.B., Canbaz M.,** 2006, Effect of Different Fibers on the Mechanical Properties of Concrete Containing Fly Ash. Construction and Building Materials.
- TS EN 206-1,** 2004, Beton
- TS 500,** Şubat 2000, Betonarme Yapıların Tasarım Ve Yapım Kuralları
- TS 9967,** Mart 1992 Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler Ve Binalar - Prefabrike Betonarme Ve Öngerilmeli Betondan – Hesap Esasları İle İmalat Ve Montaj Kuralları
- TS 4046** ``Hazır Duvar Panelleri-Hafif Agregalı Betondan Yapılmış Betondan Yapılmış,Boşluklu,
- TS 3681,** 1982. Genleştirilmiş perlit agregası, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Utkutuğ Z., Özmen F., 1991, “Endüstriyel Konut Üretiminde Cephe Panellerinin Taşıyıcı Sisteme Entegrasyonu ve Birleşim Yeri Sorunları”, Türkiye’de Son On Yılda Toplu Konut Uygulamaları Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, s: 213-220, İstanbul.

Ün H.,2007, Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri, Yapı Malzemesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Yamaguchi, E., 1999 “Basic Theory of Plates and Elastic Stability” 1754p

Yang P. ve Ohsako Y., 1992, Effect of Specimen Shape on Panel Shear Testing, Kumamoto University

Yaprak H., Simsek O., Önes A., 2004b., Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi, 7, 353-358.

ÖZGEÇMİŞ

Receb Ağabeyzade 1983 yılında Şeki-Azerbaycan`da doğdu. 2000 yılında Şeki Özel Türk Lisesinden mezun oldu. 2001 yılında Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi ve 2005 yılında mezun oldu. 2007 yılından bu yana Ege üniversitesi öğrencisiyim.