

67823

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜÇÜK AYASOFYA CAMİ KUBBESİNİN
YAPISAL ANALİZİ

İnş. Müh. Elif BAYRAM


F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Asım Güralp

İSTANBUL, 1997

Doç. Dr. Görün ÖZGEN



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
1.0 GİRİŞ	1
2.0 YAPININ TAŞIYICI SİSTEMİ	3
2.1 Yapının Tanımı	3
2.2 Kubbenin Rölevesi	10
2.3 Kubbenin Geometrisi	12
3.0 YIĞMA YAPILARIN MEKANİK DAVRANIŞI	16
3.1 Genel Tanımı	16
3.2 Gerilme- Şekil Değiştirme Davranışı	17
4.0 KUBBENİN YAPISAL ANALİZİ	19
4.1 SAP 90 Modeli	19
4.1.1 Malzeme Özellikleri	19
4.2 Gerilmelerin ve Mevcut Çatlaklar	25
5.0 SONUÇ	72
KAYNAKLAR	74
EK 1	75
EK 2	77
EK3	78

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez danışmanım Doç. Dr. Asım Güralp' e teşekkür ederim. Çalışmalarım da Mimarlık Fakültesi Öğretim üyelerinden Doç. Dr. Görün Özşen, Arş. Gör. Mine Özkaraman ve yapıyı modelleme aşamasında yardımlarından dolayı Prof. Dr. Zekeriya Polat'a ve çalışmalarım sırasında desteklerinden dolayı Ali Süha Akın, Esra Bayram ve Tahsin Bora'ya en derin teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu çalışmada Küçük Ayasofya Camii (St. Sergius ve Bacchus Klisesi) kubbesinin kendi ağırlığı altında yapısal analizi yapılmıştır. 6. yy da yapılmış olan bu yapıda günümüze kadar büyük ölçüde şekil değiştirmeler ve çatlaklar oluşmuştur.

Kubbenin geometrisi ve kendi ağırlığından kaynaklanan çatlak nedenlerini araştırmak amacı ile SAP 90 statik analiz yazılımı kullanılarak kubbenin sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve bu model üzerinde çalışılmıştır.

Bu çalışmada, statik analiz sonucu çıkan gerilmelerin ve yapının geometrisinin çatlakların oluşmasını hangi yönde etkilediği araştırılacak ve olası çatlak yerleri öngörülecektir. Kubbenin göçme durumuna gelmesini pek çok parametre etkilemektedir. Yapının mimari, fotogrametrik ölçümler, malzeme özellikleri, tren titreşimlerinin yapıya etkisi ve zemin etüdü araştırmaları YTÜ Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyelerinden Doç.Dr. Görün Özşen tarafından yürütülülen bir proje kapsamında araştırılmıştır. Bu çalışmada bu proje verileri kullanılmaktadır.

ABSTRACT

In this study, the structural analysis of the dome of Küçük Ayasofya Mosque -St. Sergius and Bacchus Church- to own weight is investigated. Large deformations and cracks was occurred in this edifice which was constructed in the 6. centry until today.

Aiming to study causes of cracks in the dome, finite element model is prepared using with SAP 90 software.

Stresses which found from structural analysis and geometry of the dome will study to understand behavior of growing cracks and estimate the locations of the future cracks. Effects of soil, railway vibrations, material properties, architecture is being researched by Doç. Dr. Görün Özşen, YTÜ Faculty of Architecture.

1.0 GİRİŞ

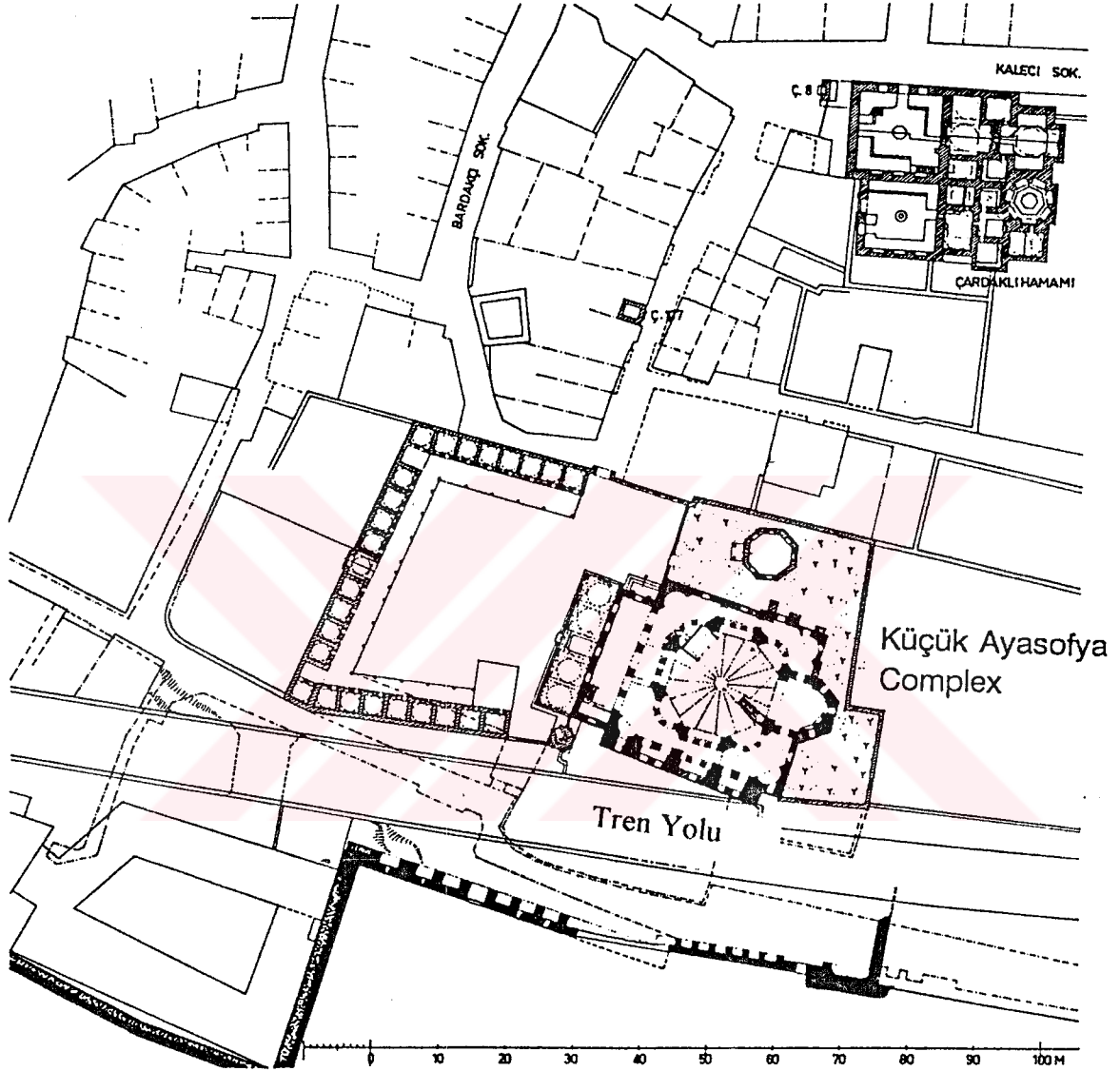
Küçük Ayasofya Cami eski adıyla St. Sergius ve Bacchus Kilisesi İstanbul'daki Bizans mimarisinin en eski ve en önemli örneklerinden biridir. 527-536 yılları arasında Justinian döneminde yapılmış ve kilise olarak hizmete açılmış bu yapı 1504 tarihinde camiye çevrilmiştir. Halen günümüzde cami olarak hizmet vermektedir. Şekil 1.0.1 da Küçük Ayasofya Cami'nin genel yerleşim planı gösterilmektedir. Yapının bugüne kadar geçirdiği değişiklik ve onarımlar Ek 1'de ayrıntılarıyla verilmiştir.

Küçük Ayasofya Cami merkezi planlı, birinci dönem bizans kiliselerinin tipik örneklerinden biridir. Düzgün olmayan dikdörtgen planlı kilisenin batısında narteks kısmı, doğusunda yarım altıgen biçiminde apsis kısmı yer almaktadır. Bu yapının kubbesi, dünyada başka örneği bulunmayan silindir ve eliptik paraboloid parçalarının sıralanmasıyla oluşturulmuş bir formda yapılmıştır. Yapının mimarı ve yapımına ait bir belge bulunamamıştır. Yapının taşıyıcı sistemi, kabuk, tonoz, yarım kubbe, kemer ve ayaklar gibi taşıyıcı elemanların bir arada kullanılmasıyla oluşmuş olup, sistem ve geometrisi Bölüm 2'de incelenmiştir.

Bölüm 3'de yığma yapıların genel mekanik davranışı incelenmiştir

Kubbenin karmaşık geometrisinin klasik teorik yöntemlerle çözmek mümkün olmamış ve SAP 90 yazılımı kullanılarak lineer sonlu elemanlar modeli oluşturularak gerilme dağılımı incelenmiştir. Mühendislik yaklaşımı olarak sistemi basite indirgeyip modellemek sonuca çok daha kısa sürede ve yeterli yaklaşımla ulaşmayı sağlamıştır.

Bölüm 4'de yapının statik analizi yapılmış ve bulunan gerilmeler incelenmiştir. Gerilme değerleri şu anki yapının durumuyla karşılaştırıldığında lineer analiz yapıldığından daha farklı bulunmuş ve çatlakların yerleri bu gerilme dağılımına göre irdelenmiştir.



Şekil 1.0.1 Küçük Ayasofya Cami'nin Genel Yerleşim Planı

Yapının mimari, fotogrametrik ölçümler, malzeme özellikleri, tren titreşimlerinin yapıya etkisi, zemin etüdü araştırmaları YTÜ Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyelerinden Doç.Dr.Sn.Görün Özşen tarafından yürütülmektedir. Yapının malzeme özellikleri, tren titreşimleri ve zemin özelliklerine Bölüm 5'de değinilecektir.

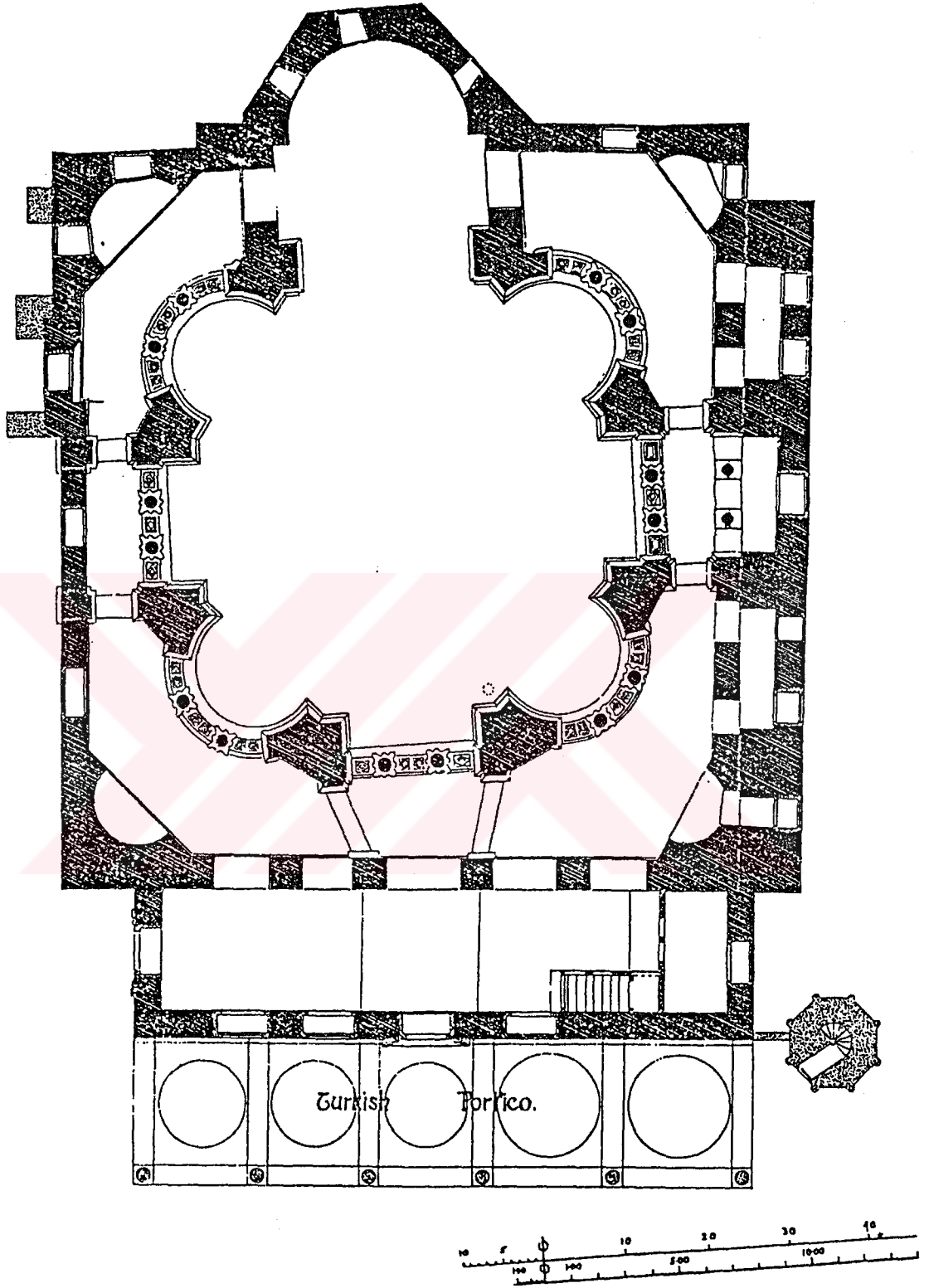
Bugün yaşamını tehdit eden çok ciddi çatlaklar ile karşı karşıya kalan ve 1000 yılı aşkın zamandır hizmet veren bu yapının büyük gerilmelere maruz kaldığı bu gerilmelerin, önlemler alınmadığı sürece büyüyeceği ve yıkılmasına yol açacağı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın sonucu Bölüm 6'da verilmiştir.

2.0 TAŞIYICI SİSTEMİ

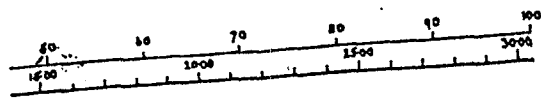
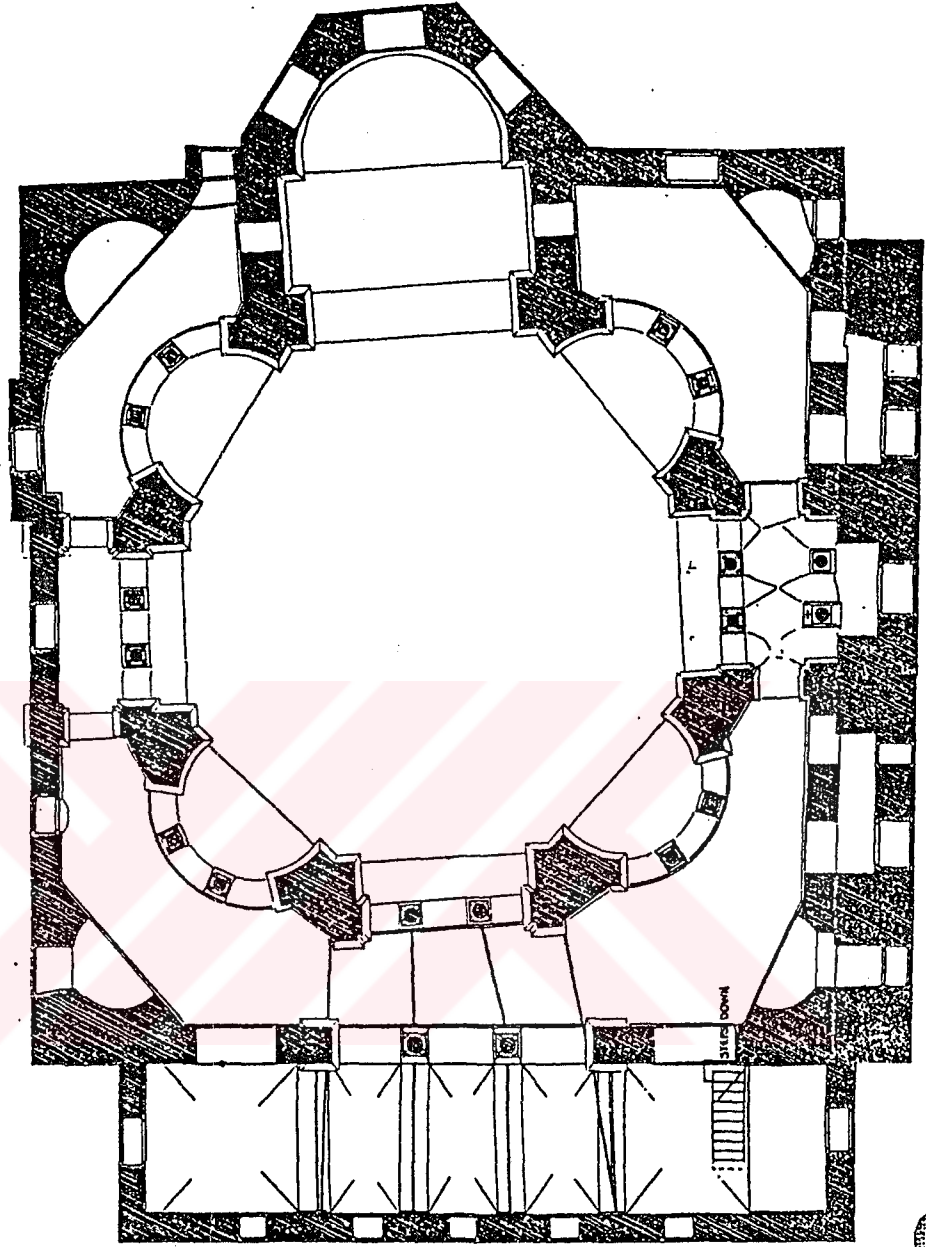
2.1 YAPININ TANIMI

Dikdörtgen plan içine yerleştirilmiş sekizgen planlı orta mekan, köşelerinde exedra denilen yarım daire biçimli nişlerle genişletilmiştir. Bu orta mekanın köşelerine çokgen biçimli ayaklar ile apsis hariç bunların arasına ikişer sütun yerleştirilerek orta mekan ile apsis arasında bir mekan bütünlüğü sağlanmıştır. Orta mekan üzerinde sekiz büyük ayak üzerine sekizi silindir, diğerleri eliptik paraboloid olmak üzere 16 dilimli kubbe oturtulmuştur. Koridorların üstü tonozla örtülerek üst katta galeri kısmı oluşturulmuştur. Galeri katında exedraların üstü üç kemerle taşınan yarım kubbelerle geçilmiştir. Yarım kubbeler ile sekizgen kabuk arasında yük iletimi olmamaktadır. (Şekil 2.1.1,2.1.2,2.1.3,2.1.4,2.1.5,2.16)

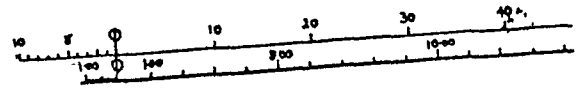
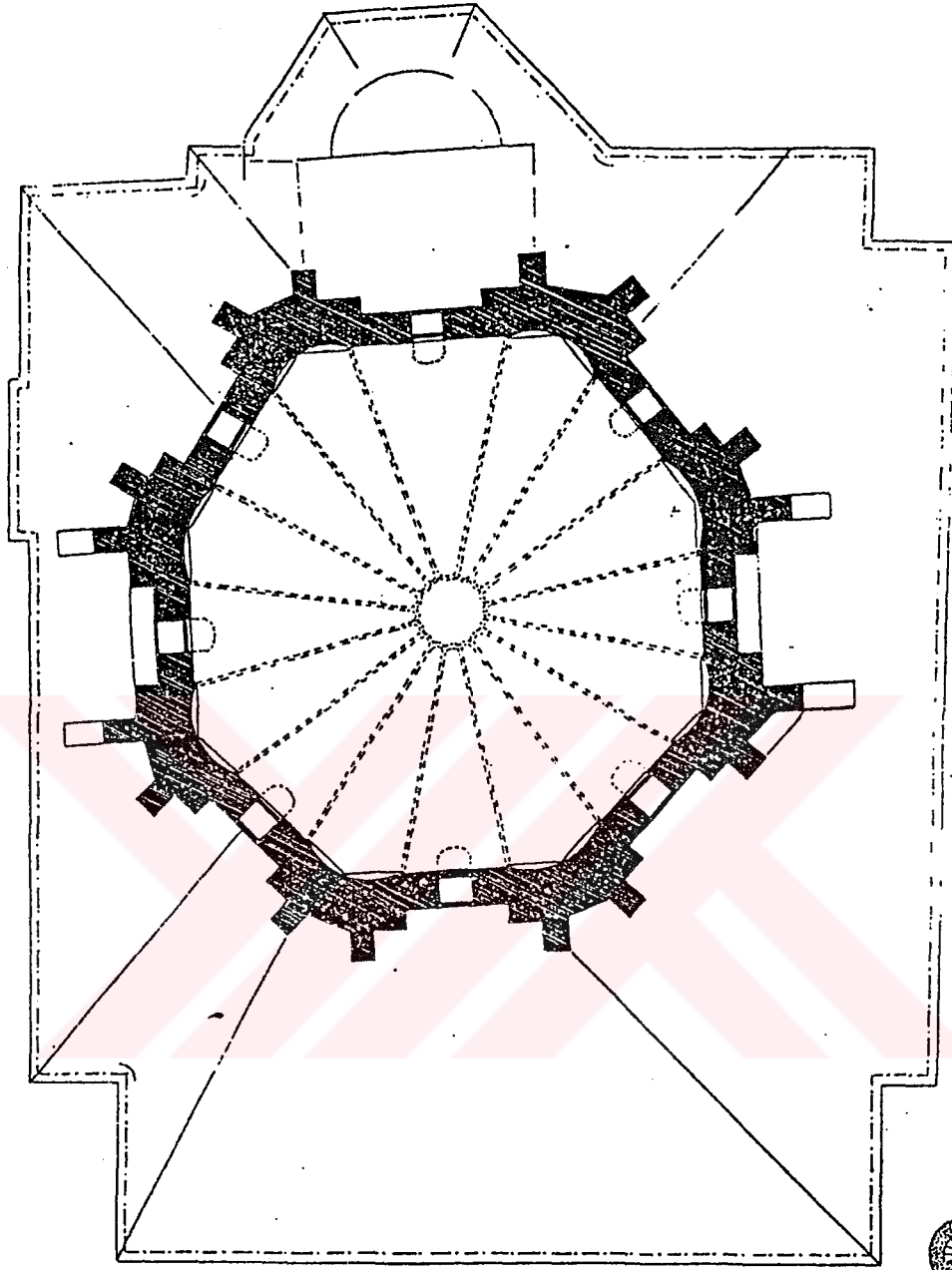
Doğu-Batı doğrultusunda apsisden dış duvarlara kadar olan uzunluk 44 m dir. Kuzey-Güney doğrultusunda genişlik 28 m dir. Kubbe yüksekliği deniz seviyesinden 30.69 m dir. Doğu-Batı doğrultusunda kubbenin çapı 16.5 m ve Kuzey-Güney doğrultusunda ise 16 m dir.



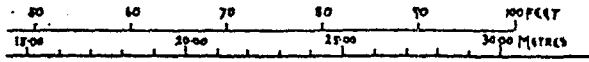
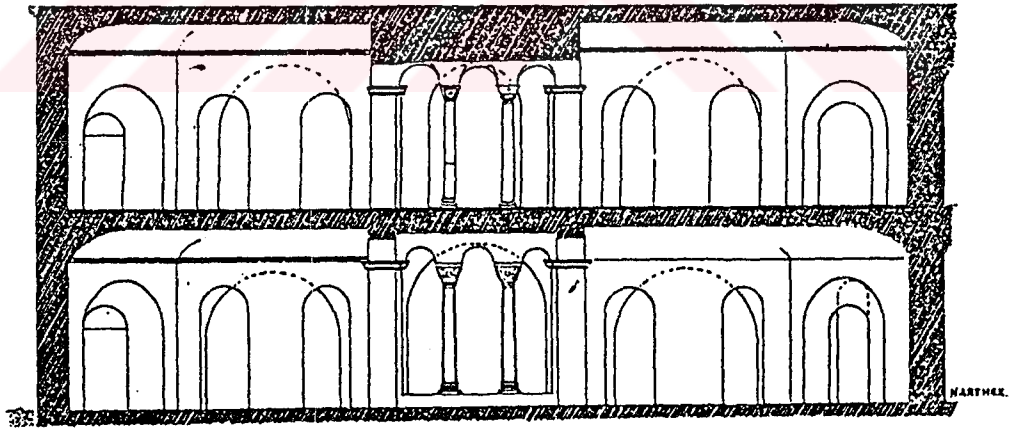
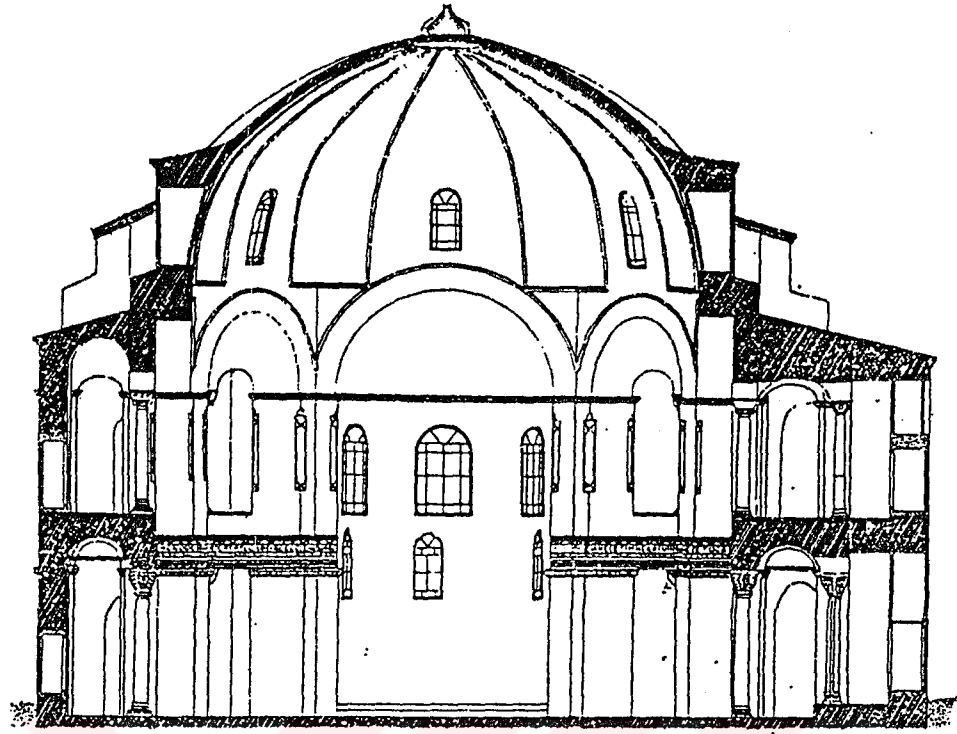
Şekil 2.1.1 Küçük Ayasofya Cami'nin Zemin Kat Planı



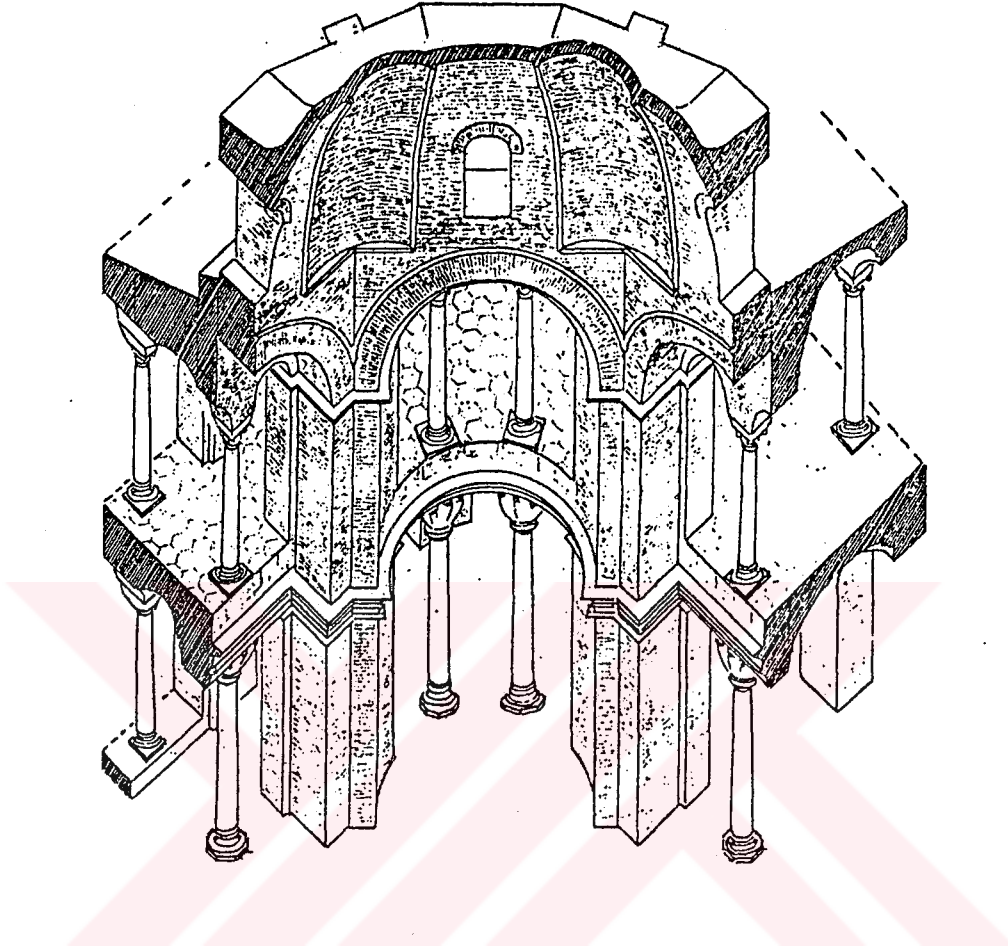
Şekil 2.1.2 Küçük Ayasofya Camii'nin Galeri Kat Planı



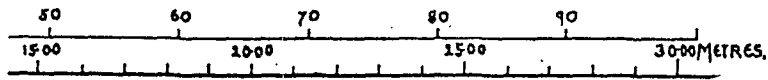
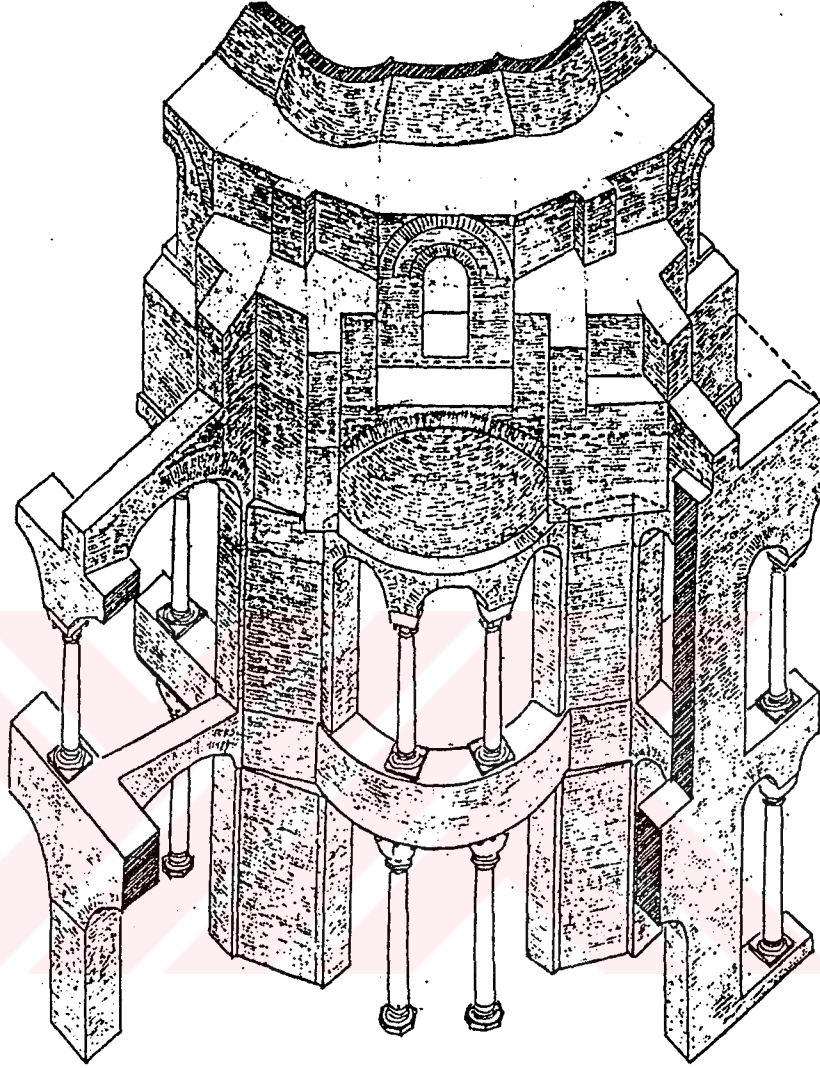
Şekil 2.1.3 Küçük Ayasofya Cami'nin Kubbe Tabanı



Şekil 2.1.4 Küçük Ayasofya Cami'nin Kesitleri



Şekil 2.1.5 Kucuk Ayasofya Cami İç Perspektif Görünüşü

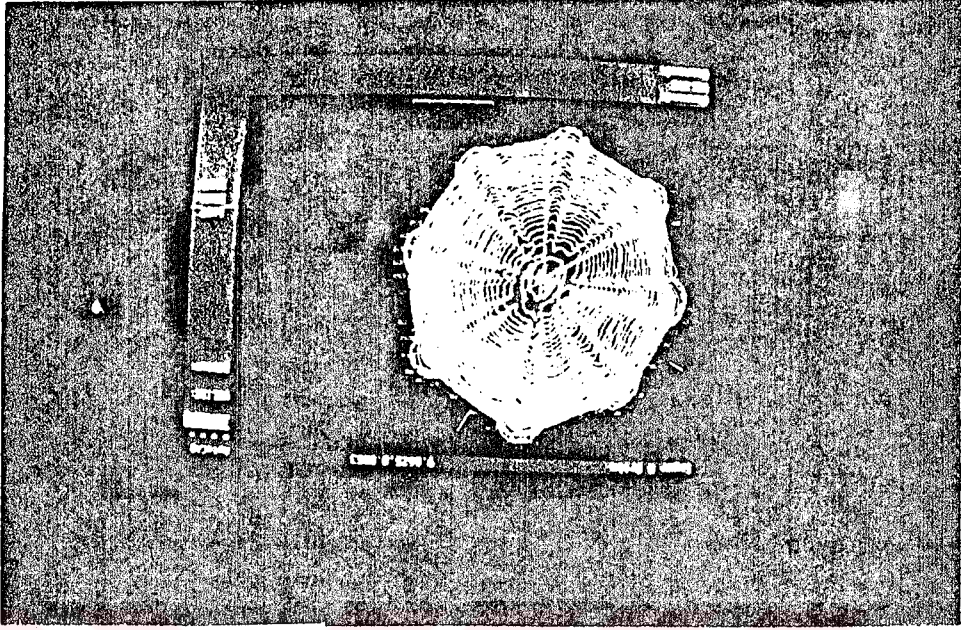


Şekil 2.1.6 Küçük Ayasofya Cami Dış Perspektif Görünüşü

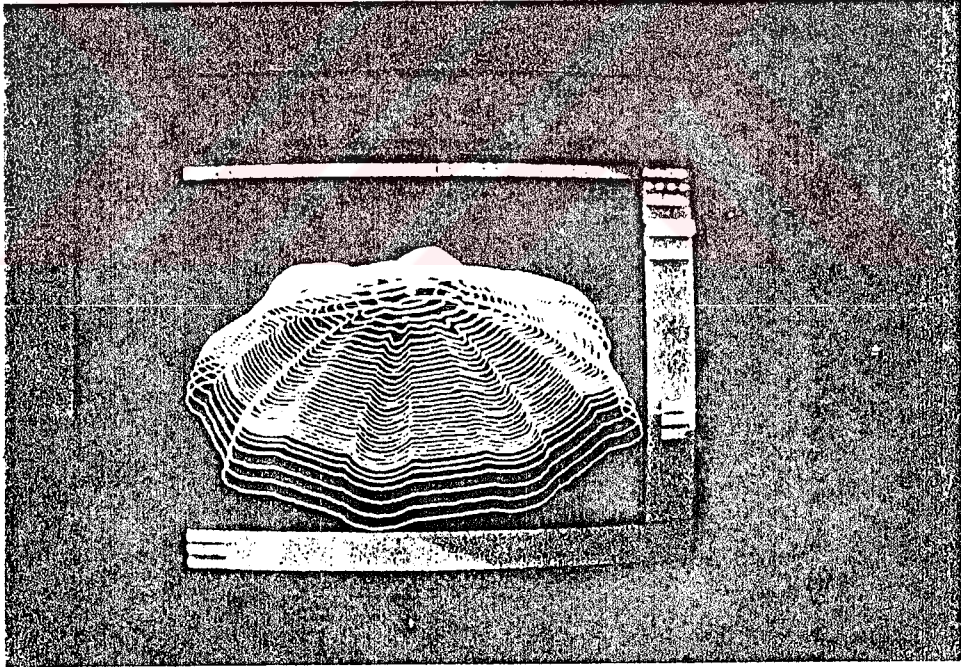
2.2 KUBBENİN RÖLEVESİ

Küçük Ayasofya Cami'nin bugünkü durumunu belirleyebilmek amacıyla bir röleve çalışması yapılmıştır. Röleve çizimleri genellikle klasik röleve teknikleriyle yürütülmüştür. Zamanla deforme olan kubbenin bugünkü durumunun anlaşılması ve karmaşık kubbe formunun tam olarak ortaya çıkarılması için kubbe ölçümleri ve çizimleri fotogrametri yöntemleri ile yapılmıştır (Şekil 2.2.1). Fotogrametrik ölçümler YTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü Prof. Dr. Ayhan Alkış tarafından UMK 1318 universal metrik geniş açılı fototeodolit kullanılarak yapılmıştır. Kubbenin yerden yüksekliği az olduğu için fotoğraflar ancak kubbe penceresi orta kotlarına kadar sağlıklı görüntü vermiş, kasmağa kadar inilememiştir. Fotogrametrik ölçümlerin alt kısmı klasik röleve yöntemleri ile tamamlanmıştır. Kubbenin iç yüzeyinin eşeğrelti haritasında eğim, kubbe tepesinde basık, eteklerde diktir. Bu nedenle izoips eğrileri tepeden 3 m'ye kadar 10 cm aralıklarla buradan 0.7 m aşağı kısmı 20 ve 30 cm aralıklarla, pencere üst kotuna kadar olan kısmı 50 cm aralıklarla çizilmiştir (şekil 2.2.1). Kubbe tepe kotu ile pencere üst kotu arası uzaklık 4.5 m, tepe kotu ile karnak kotu arası 7.5 m dir.

Kubbenin orjinal formunun tahmin edilme olasılığın çok düşük olması ve gerçek geometrisinin çıkarılmamış olması nedeniyle, bugünkü durumu göz önüne alınarak, fotogrametrik ölçümler sonucu elde edilen izoips eğrileri Autocad R12 çizim programına aktarılmıştır. Autocad R12 programında izoips eğrilerine kot verilmiştir. (Şekil 2.2.2, 2.2.3) Bu çalışmalar baz alınarak her bir noktanın koordinatları belirlenmiş ve SAP 90 programına aktarılmıştır.

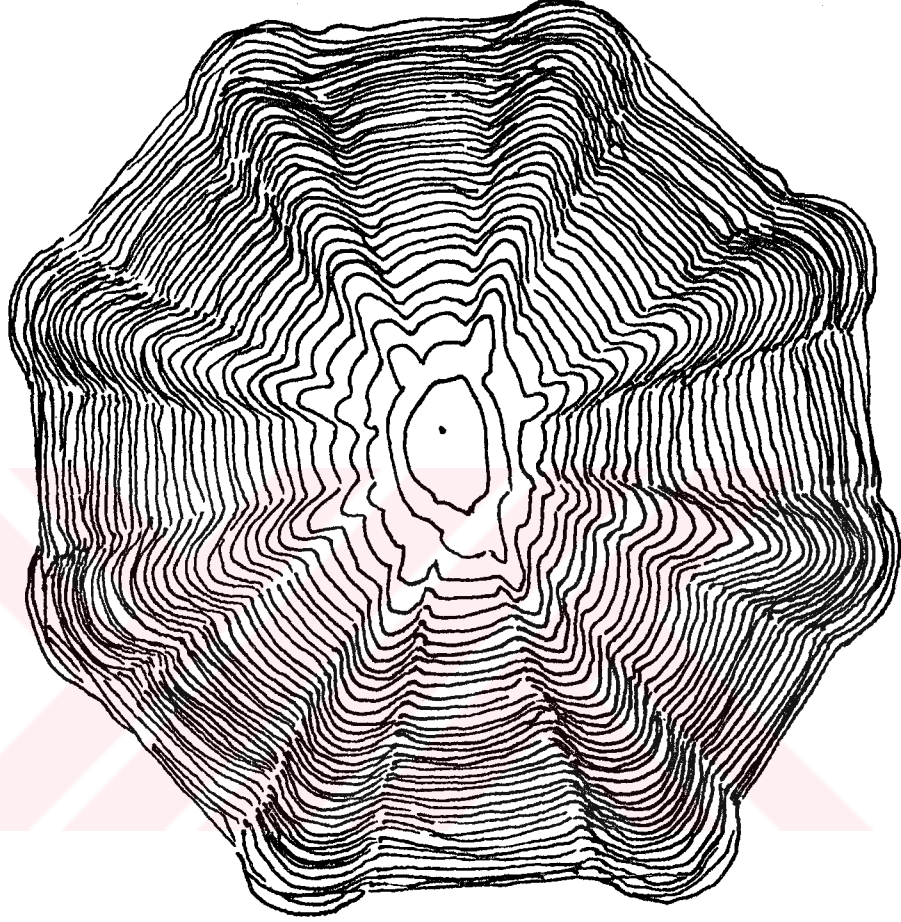


Şekil 2.2.2 Autocad R12 çizimleri (Plan)



Şekil 2.2.3 Autocad R12 çizimleri (Perspektif)

NARTEKS



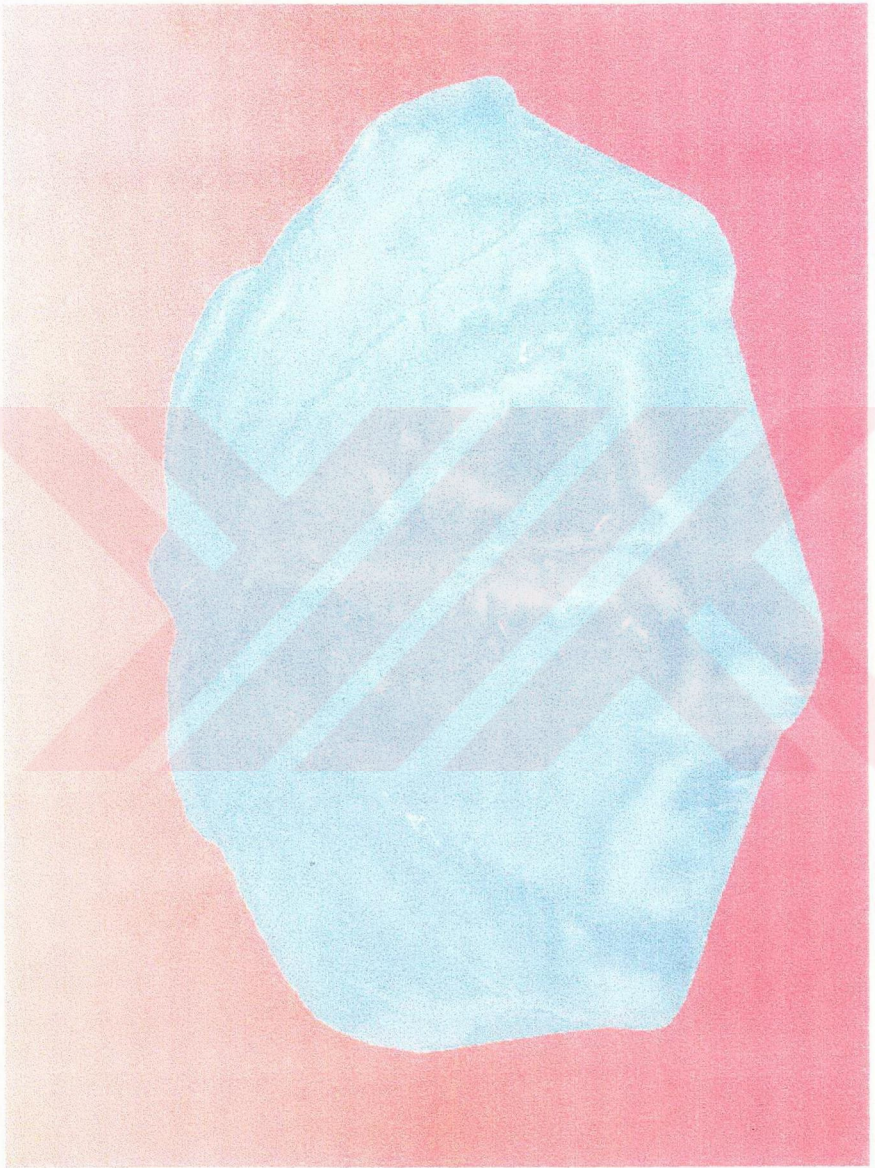
APSİS

Şekil 2.2.1 Küçük Ayasofya Cami Eşğreli Haritası

2.3 KUBBE GEOMETRİSİ

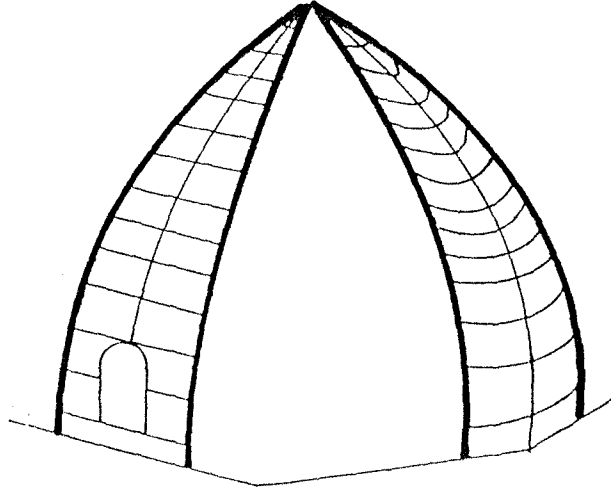
İki ayrı tip geometrik yüzeyden oluşan kubbe, bu yüzeylerin ardarda sıralanmasıyla 16 dilimli bir kabuk formunu almaktadır (Şekil 2.3.1). Bu yüzeylerin sekizi bir eğri üzerinde bir doğru parçasının kendine paralel kaydırılması ile oluşturulan silindir yüzey, diğer sekizi ise bir eğrinin, eğrilik merkezi aynı yöndeki bir başka eğri yüzey üzerinde kendisine paralel kaydırılması ile oluşturulmuş eliptik paraboloid yüzeydir (Şekil 2.3.2,2.3.3,2.3.4). Kubbe geometrisinin çıkarılabilmesi amacıyla her bir yüzeyden boyuna kesit çıkartılmıştır. Silindir için S ve eliptik paraboloid için E sembolleri kullanılmıştır. Hemen hemen tüm kesitlerin eğrilikleri birbirine çok yakın bulunmuştur. Büyük deformasyonları göz önünde bulundurursak kesit eğrilerinin aynı olduğu söylenebilir. Bu kesitler logaritmik eğrilerdir. Kubbe kesitleri Şekil 2.3.5 de gösterilmiştir.

Silindirik yüzeyli elemanlar kendi ağırlığı altında eğri ekseni etrafında basınç, doğru ekseni etrafında tepe kısmında basınç, alt kısımda çekmeye çalıştığı için, kubbeye bu yüzeyin alt tarafında boyuna gerilmelerin çekmeye çalışmaya başladığı yerde kemerli pencereler açılarak bu bölgenin de yığma yapı şartlarına uygun olarak basınca çalışması sağlanmıştır. Eliptik paraboloid yüzeyler yükleri her iki doğrultuda da kemer mekanizması ile aktardıklarından kubbeye bu bölgeler herhangi bir açıklık yoktur. Bu iki ayrı formdaki yüzeylerin kesişimleri alçak nervür olarak çalışmakta ve yüzeylerin dışa doğru aşılmasını önlemektedir. Kubbenin eliptik paraboloid yüzeyleri tabanından düzenlenen ayaklar, bu yüzeylerin radyal kemer itkilerini de karşılar. Ayaklar arasında düzenlenen kısa tonoz ve yarım kubbeler, sekizgen kubbe tabanını oluşturur. Narteks, koridor ve galeri üstleri basit tonoz ile geçilmiştir (Şekil 2.3.6).

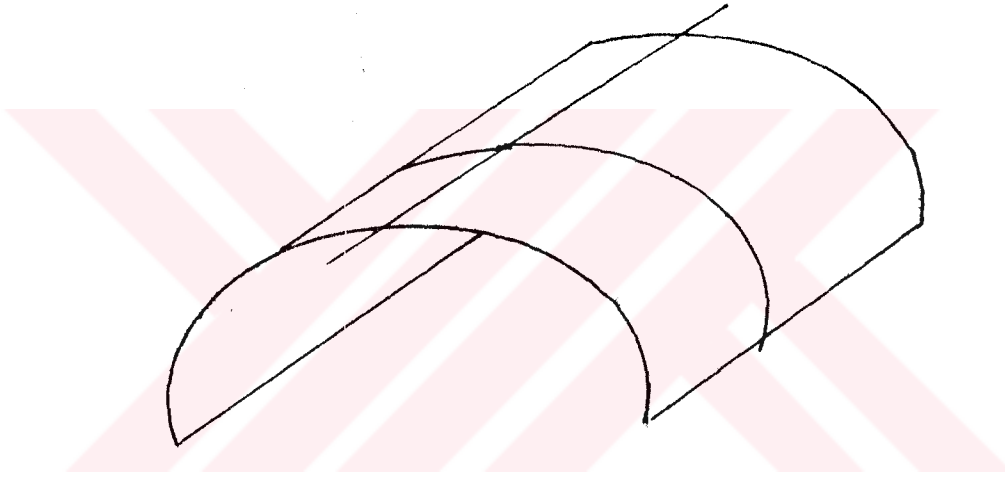


Şekil 2.3.1 Kubbenin Perspektif Görünüşü

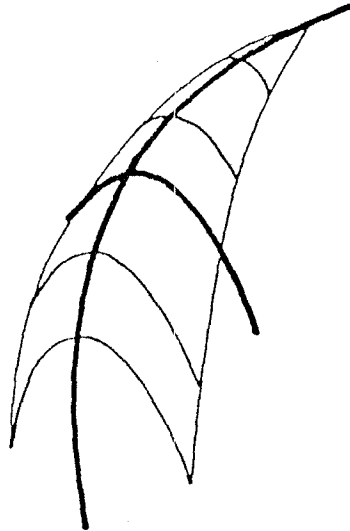
14



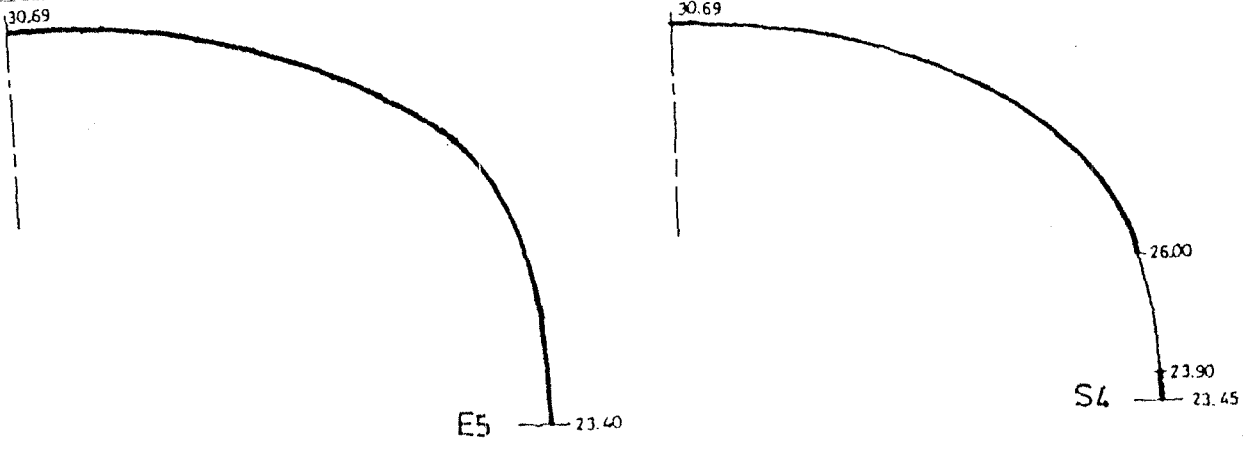
Şekil 2.3.2 Kubbeye Ait Eliptik Paraboloid ve Silindir Yüzeyler



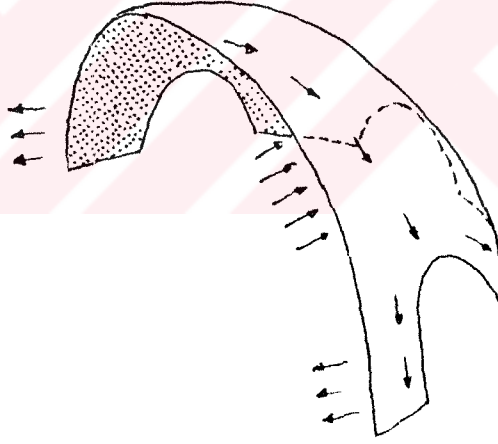
Şekil 2.3.3 Silindir Yüzeyi



Şekil 2.3.4 Eliptik PARaboloid Yüzeyi



Şekil 2.3.5 Kubbenin Kesitleri



Şekil 2.3.6 Yarım Kubbe Mekanizması

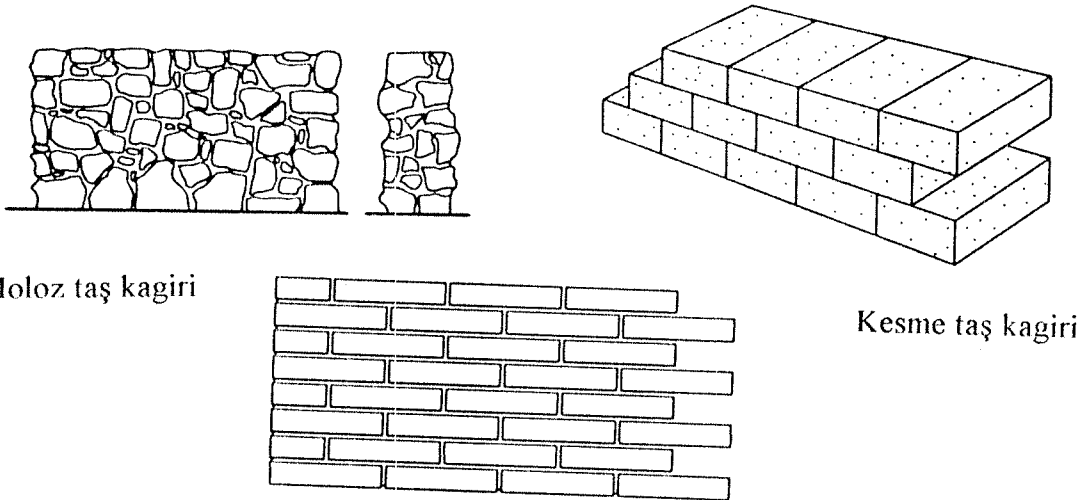
3.0 YIĞMA YAPILARIN MEKANİK DAVRANIŞI

3.1 GENEL TANIM

Yüzyıllar boyunca yapı malzemesi olarak taş, tuğla ve ahşap kullanılmıştır. Yiğma yapılar durabilitesi nedeniyle hep tercih sebebi olmuştur. Küçük Ayasofya Cami örneğinde olduğu gibi yapı çok ciddi çatlaklara rağmen 1000 yılı aşkın zamandır kullanılabilir. kullanılabilmektedir.

Bu tarz yapıların statik analizi, yapıya uzun zamandan beri etki eden yüklerin çeşitliliği ve yiğma yapıların malzeme özelliğinden dolayı spesifik zorluklar getirmektedir.

Yiğma yapılarda tuğla ve taş gibi elemanların birarada kullanılmasıyla oluşturulmuş kompozit malzeme kullanılmaktadır. Yiğma yapı malzemelerinin karakteristiği, yapının geometrisine göre üretilmiş olmasıdır. Tarihi yapılarda taş, tuğla gibi birim elemanların birleşimi kireçli harçla sağlanmıştır. Bu birimlerin örülmesiyle oluşturulan yüzey kombinasyonları, yapının geometrisinin yanında birim elemanların doğası ve harcın özelliklerine göre değişmektedir. Şekil 3.1.1'de temel örgü biçimlerinden örnek verilmiştir.



Tuğla kagiri

Şekil 3.1.1 Temel Örgü Biçimleri

Yığma yapıların genel mekanik davranışına bakıldığında çok az miktarda çekme dayanımı olduğu bilinmektedir. Bu özellik, yığma yapıların davranışının belirlenmesi için oldukça önemlidir.

3.2 GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME DAVRANIŞI

Genel olarak yığma yapıların gerilme-şekil değiştirme davranışı ve mukavemetine etki eden faktörlerden en önemlileri aşağıda sıralanmıştır.

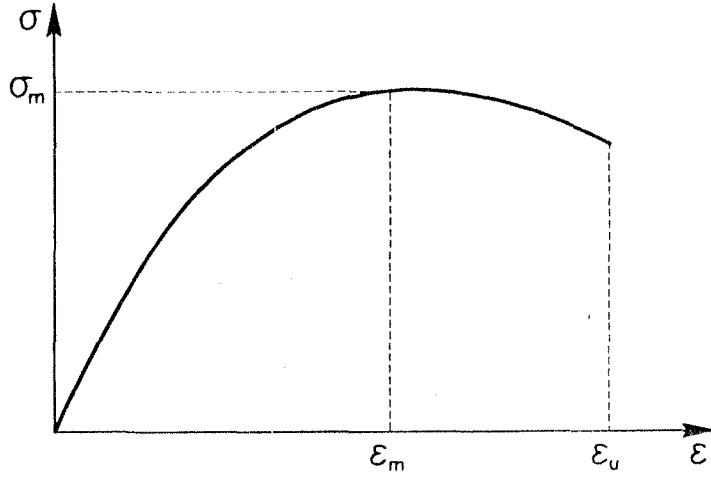
-Birim elemanlar için; dayanımı, tipi geometrisi ve absorpsiyonu

- Harç için; dayanımı, şekil değiştirme karakteristikleri ve kalınlığı

-Bütün olarak yığma yapıyı ele aldığımızda; birim elemanlar ve harçlar arasındaki bağlantı (yapışkanlık), gerilme doğrultuları ve bölgesel gerilme artışlarıdır.

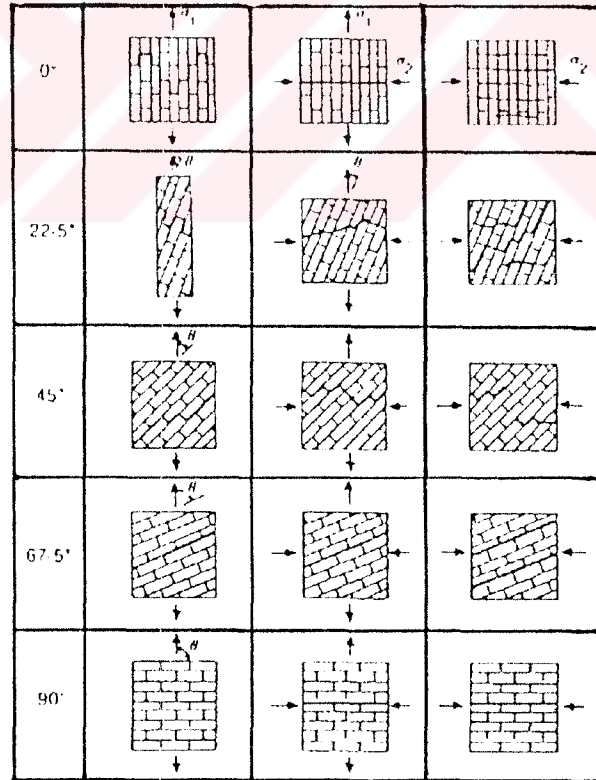
Yığma yapılar içinde harç, zayıf düzlemsel bağlantı noktaları (mafsal) olarak yer almaktadır. Kendi düzlemleri içinde duvarların iki eksenli anisotropik davranışı bu zayıf bağlantı düzlemi ile belirlenir. Diğer bir deyişle yığma yapıların gerilme-şekil değiştirme karakteristiği yükleme doğrultusu ile harç arasındaki açığa göre değişmektedir.

Yığma yapıların iki eksenli gerilme durumunda gerilme-şekil değiştirme ilişkisi elatoplastik olarak kabul edilmiştir (Şekil 3.2.1).



Şekil 3.2.1 Gerilme-Şekil Değişirme Diyagramı

Page'e göre basınç ve çekme gerilmelerine göre çeşitli çatlak mekanizmaları Şekil 3.2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2.2 Çatlak Mekanizmaları

4.0 YAPISAL ANALİZ

Kubbenin kendi ağırlığı altında statik analizi yapılmıştır. Dinamik etkiler ve yatay yükler hesaba katılmamıştır. Zati yük heasını, Tablo 4.1.1 de verilen birim ağırlık değeri verilerek SAP 90 programında otomatik olarak hesaplanmaktadır. Kubbe üzerindeki kurşun kaplama ağırlığı tuğla ağırlımın yanında ihmal edilmiştir.

4.1 SAP 90 MODELİ

Yapının sonlu elemanlar modeli SAP 90 yazılım programıyla hazırlanmıştır. SAP 90, 4000 düğüm noktası ve 10000 serbestlik derecesi için çözüm yapabilmektedir. Programın özellikleri Ek 2 de verilmiştir.

Küçük Ayasofya Camii kubbesinin geometrisinin karmaşık olması ve zamanla deforme olması nedeniyle yapısal analizde klasik kabuk teorisi yöntemleri problemi daha da zorlaştırdığı ve çözümü yapılamadığı için eldeki imkanlarla mühendislik bakımından yeterli yaklaşımı sağlayan bu program kullanılmıştır.

Model oluşturulurken kubbe, kabuk (shell) elemanı olarak tanımlanmıştır. Sadece kubbenin çözümü yapıldığından mesnet şartları sabit mesnet olarak kabul edilmiştir.

Kubbede çok büyük deformasyonlar olması ve kubbenin simetrik olmaması nedeniyle modelleme sırasında generasyon yapılamamıştır. Kubbeyi oluşturan silindir ve eliptik paraboloid parçalarının sonlu elemanlar modeli Şekil 4.1.1 ve Şekil 4.1.2'de gösterilmektedir.

Kubbede 793 düğüm noktası ve 757 eleman tanımlanmıştır. Şekil 4.1.3, Şekil 4.1.4 ve Şekil 4.1.5'de bütün olarak SAP90'da kubbenin değişik açılardan sonlu elemanlar modeli verilmiştir.

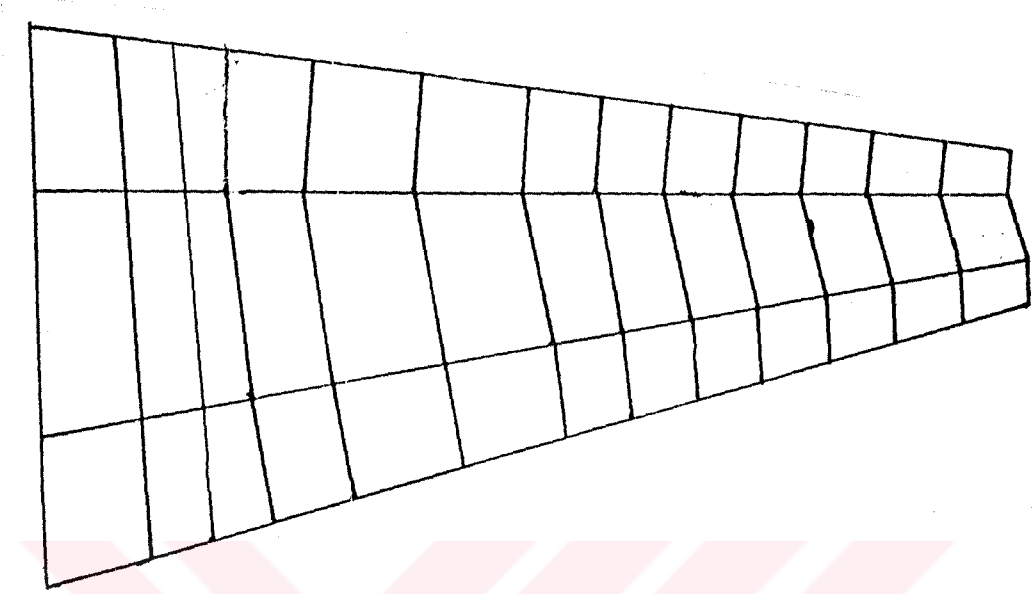
4.1.1 MALZEME ÖZELLİKLERİ

Küçük Ayasofya Cami'nde kullanılan malzemeler tuğla, taş ve harçtır. Yapının kubbesi ve tonozlarında tuğla kullanılmıştır.

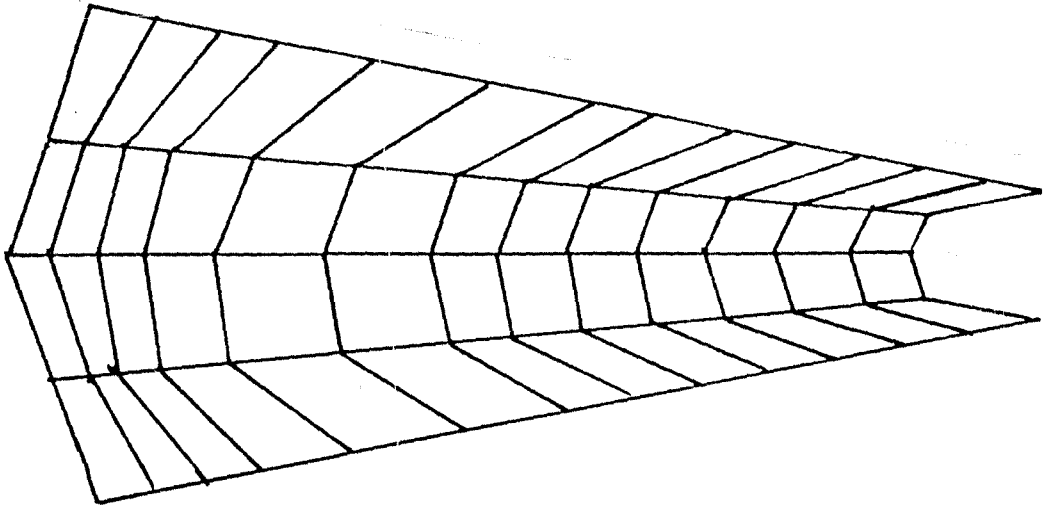
Yapı malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili çalışmalar İnşaat Fakültesi Malzeme Anabilim Dalı Öğretim Üyelerinden Doç. Dr. Fevziye Aköz tarafından yapılmıştır. SAP 90 da kullanılan malzeme özellikleri Kaynak 1 e göre Tablo 4.1.1 de gösterilmiştir.

Tablo 4.1.1

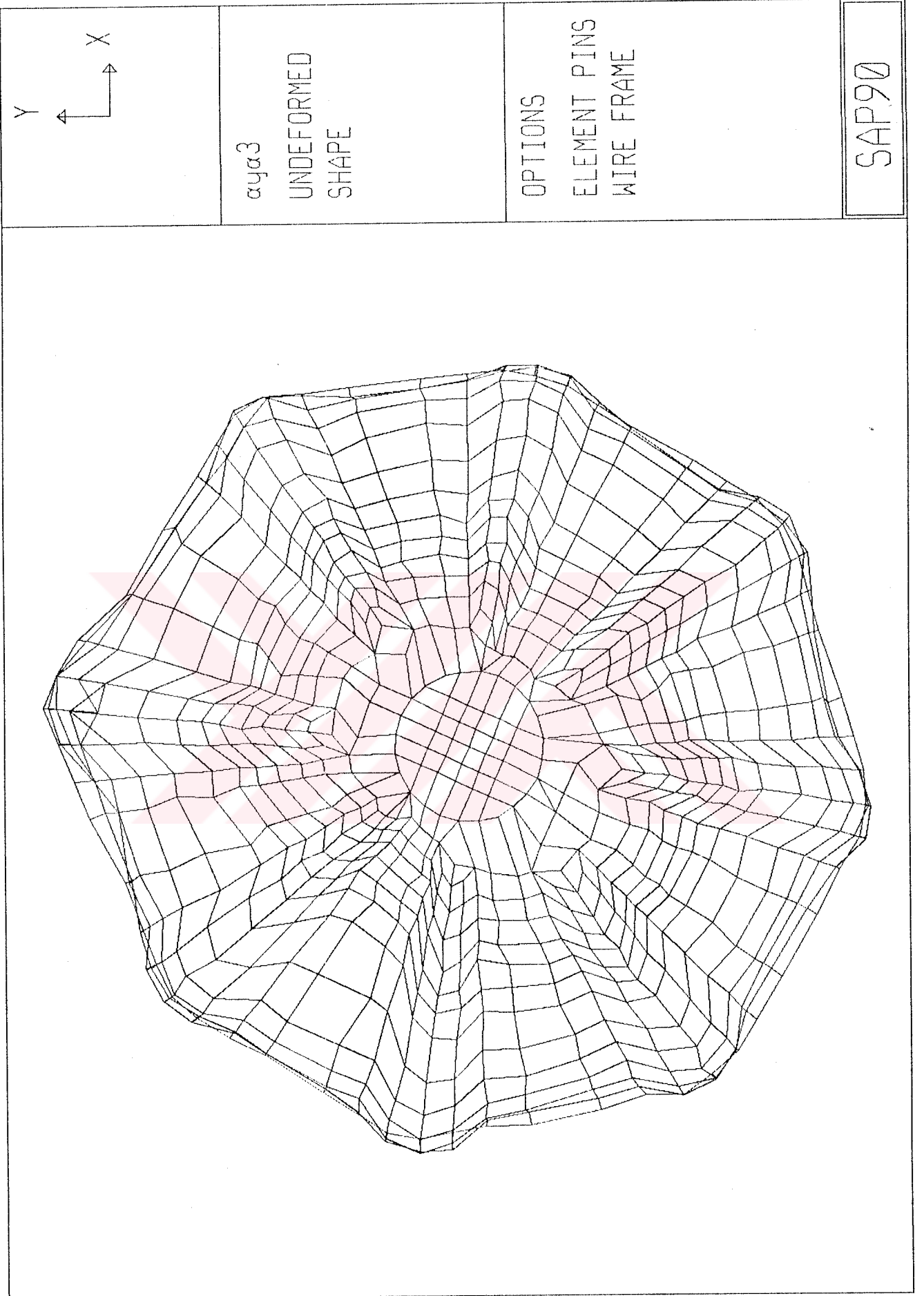
Elastisite Modülü	9E9 N / m ²
Poisson Oranı	1/6
Birim Ağırlık	15800 N / m ³



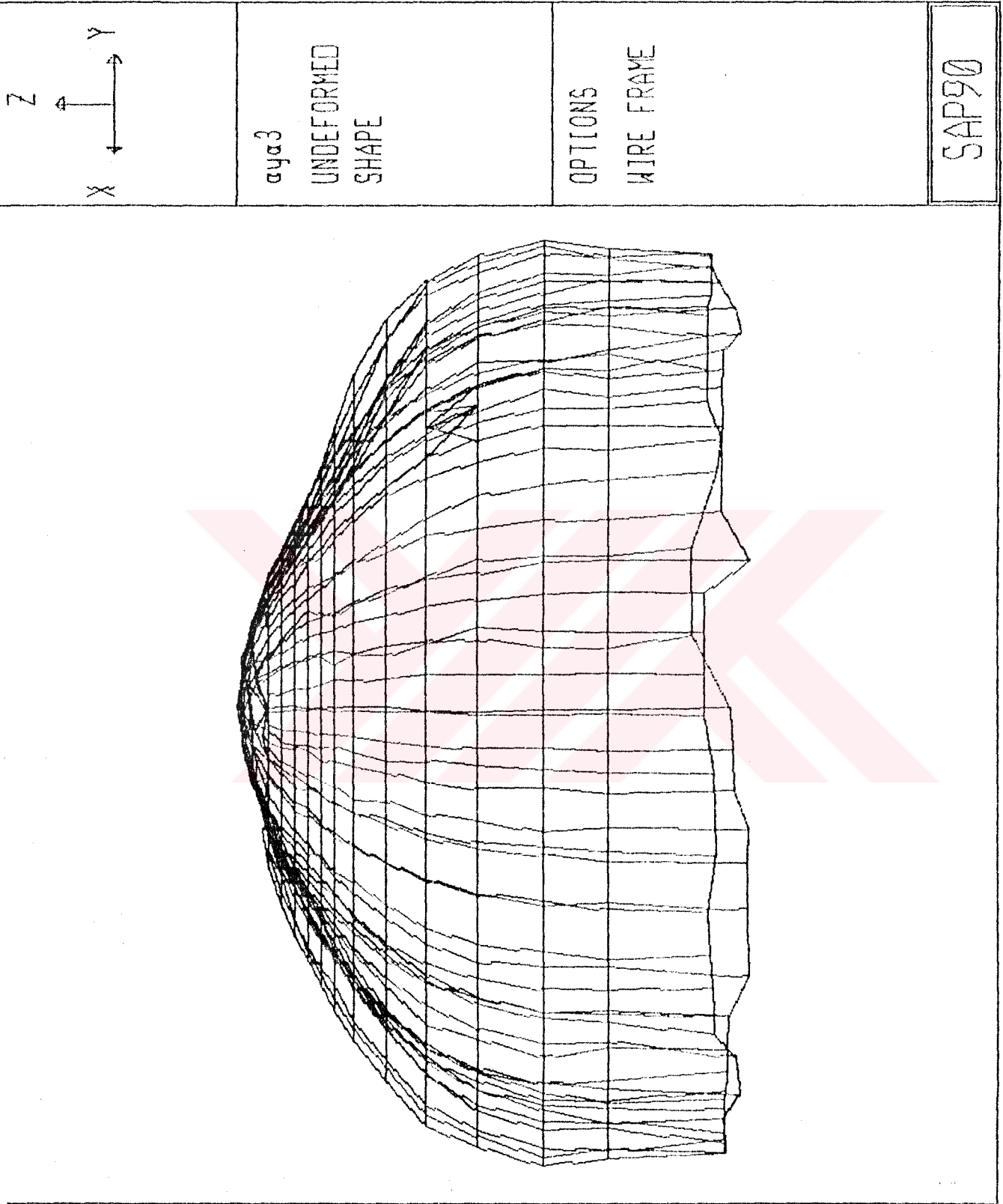
Şekil 4.1.1 Silindir Parçasının Sonlu Elemanlar Modeli



Şekil 4.1.2 Eliptik Paraboloid Parçasının Sonlu Elemanlar Modeli



Şekil 4.1.3 Kubbenin Sonlu Elemanlar Modelinin Üstten Görünüşü



Şekil 4.1.5 Kubbenin Sonlu Elemanlar Modeli

Şekil 4.2.21, 4.2.22, 4.2.23, 4.2.24, 4.2.25 de boyuna doğrultuda oluşan M11 eğilme moment diyagramları, şekil 4.2.26, 4.2.27, 4.2.28, 4.2.29, 4.2.30 da enine doğrultuda oluşan M22 eğilme moment diyagramları verilmektedir. M11 için 714 ve 715, M22 için 2 ve 747 noktaları kabuğun en büyük eğilme momentine maruz kaldığı yerlerdir. (Şekil 4.2.31 de elemanlar numaralarıyla gösterilmiştir.)

Kubbede statik analiz sonucu çekme gerilmeleri çıkmaktadır. Yığma yapı elemanlarında çekme gerilmeleri genellikle yükün eksantrik olması ve / veya kesme kuvvetlerinin etkisiyle oluşmaktadır. Yığma yapılarda çekme dayanımı, harç ile tuğla arasındaki bağlantı noktasına bağlıdır. Hendry 1990 (Kaynak 2) yılında bu konuyla ilgili olarak yaptığı çalışmalar sonucunda, tuğlaların rutubeti, harçta kullanılan kumun inceliği, tuğla malzemesindeki boşluk oranı ve emmesinin çekme gerilmelerine etki ettiğini bulmuştur. Küçük Ayasofya Cami'nde rutubetin %80-90 değerlerinde olduğu bulunmuştur (Kaynak 1). Bu bilgilere göre kubbedeki çekme gerilmeleri olumsuz yönde etkilemekte ve yapının yaşamını tehdit etmektedir.

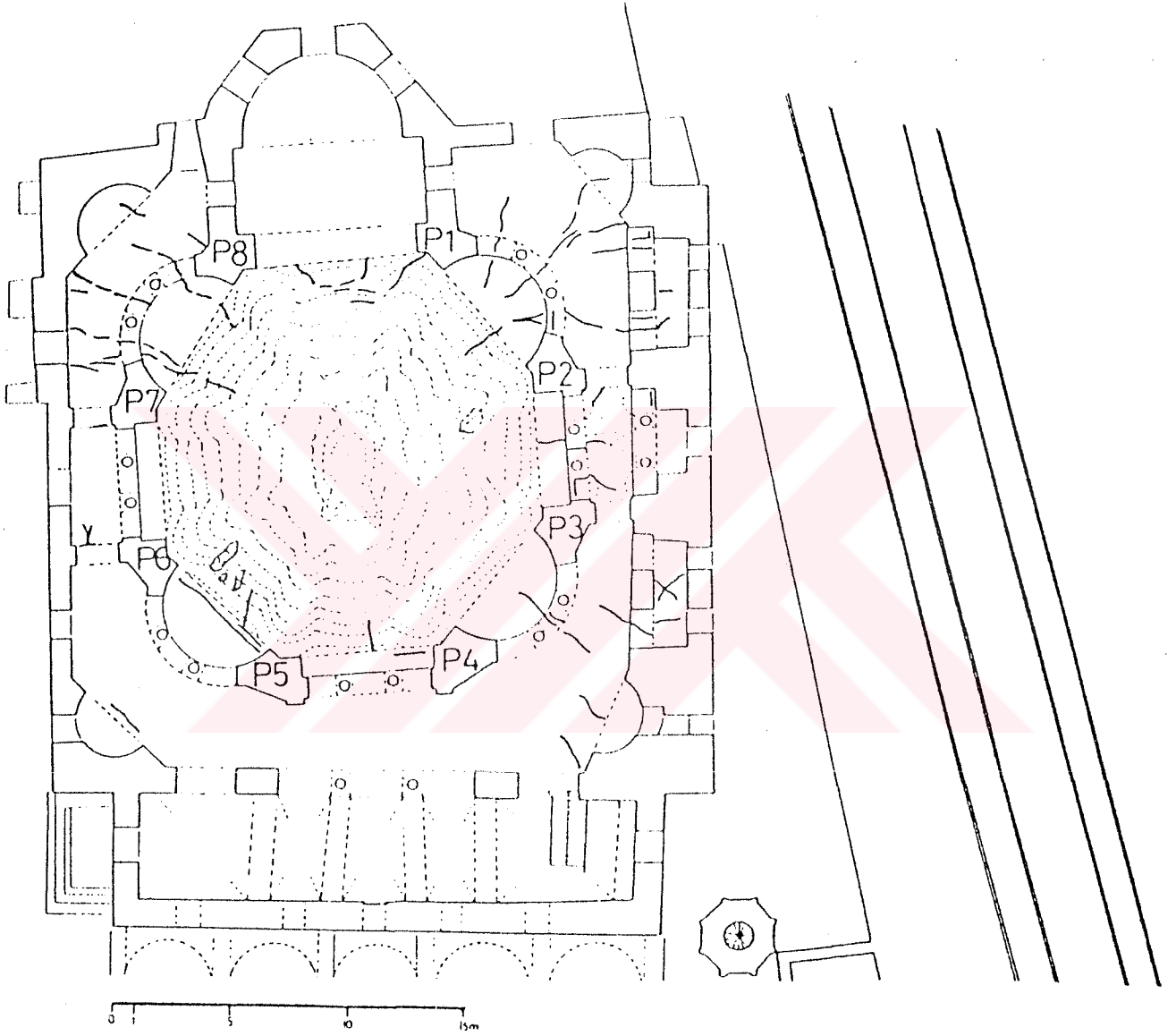
Şekil 4.2.32, 4.2.32, 4.2.33 ve 4.2.34 de kubbenin kendi ağırlığı altında deformasyonu verilmiştir.

Kabukta mevcut çatlakların bulunduğu noktalardaki elemanların düğüm noktalara gelen kuvvet ve momentler SAP90 çıktılarından incelenmiştir. Burada bu çatlaklar ile maksimum gerilmeler bire-bir çakışmamaktadır. Buna, çatlakların oluşmasına etki eden zemin durumu ile malzeme özelliklerindeki bozulmalar gibi diğer faktörler ile yapının bugünkü deforme olmuş durumunun modellenmesinin neden olduğu düşünülmektedir.

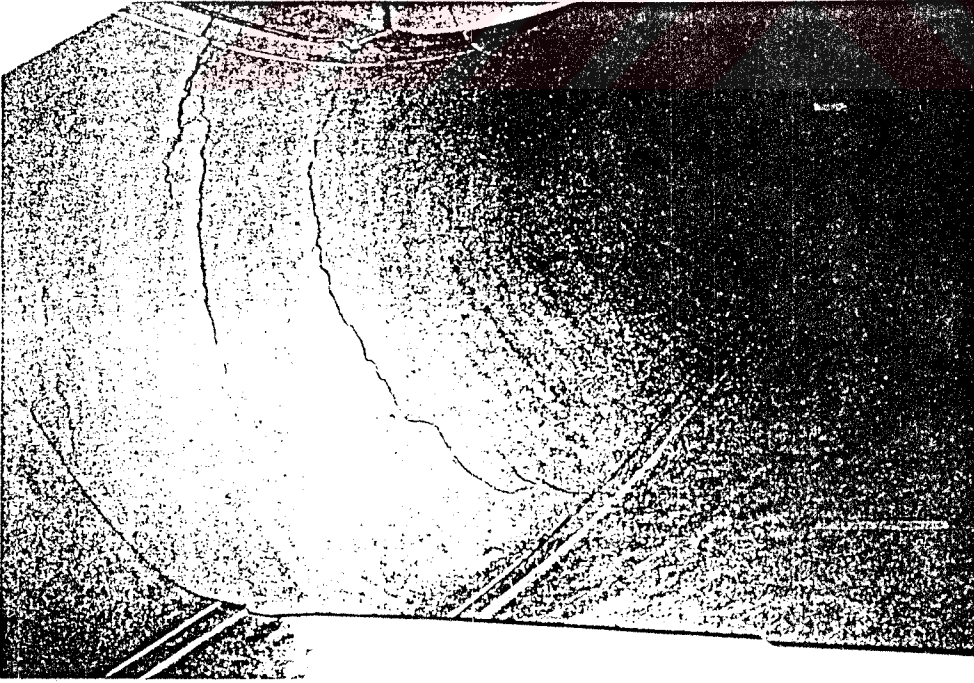
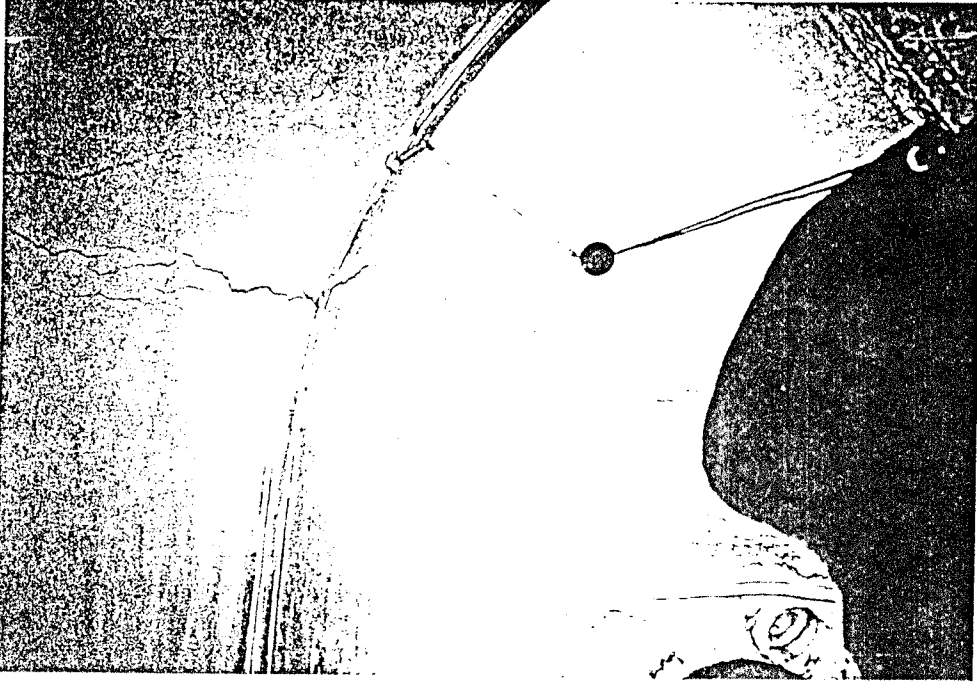
Kabukdaki yapısal analiz sonucu elde edilen gerilmeler, yapının kendi ağırlığı altında çatlaklar oluşturacağını göstermektedir. Bu durum, yapının ömrü boyunca etkisinde bulunduğu statik yük ağırlığının yapıda çatlaklar oluşturabileceği gerçeğini onaylamaktadır.



Şekil 4.2.1 Küçük Ayasofya Cami'nin İç Görünüşü



Şekil 4.2.2 Kubbede Oluşan Çatlaklar



Şekil 4.2.3 Tonozlarda Oluşan Çatlaklar



Şekil 4.2.4 Yarım Kubbelerde Oluşan Çatlaklar



Şekil 4.2.5 Dış Duvarlarda Oluşan Çatlaklar

P4 - P5 Arasında Çatlak Noktalarında Oluşan Kuvvet ve Momentler

ELEMENT ID 32 -----

LOAD

COND	JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1							
	34	-.181E+08	.110E+08	.755E+06	-.277E+09	-.475E+09	.106E+09
	35	.941E+07	-.422E+07	.782E+07	.972E+09	.163E+10	-.306E+09
	90	.118E+08	-.943E+07	-.121E+08	-.781E+09	-.132E+10	.263E+09
	91	-.313E+07	.267E+07	.438E+07	.947E+08	.166E+09	-.253E+08

ELEMENT ID 192 -----

LOAD

COND	JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1							
	202	-.201E+08	.635E+07	-.709E+07	.934E+08	.159E+09	-.990E+08
	203	.219E+08	-.385E+08	-.386E+08	-.195E+09	-.396E+09	.276E+09
	258	.389E+07	.849E+07	.158E+08	-.180E+09	-.315E+09	.211E+09
	259	-.574E+07	.236E+08	.302E+08	.328E+09	.543E+09	-.362E+09

ELEMENT ID 258 -----

LOAD

COND	JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1							
	268	-.929E+07	-.101E+08	-.693E+07	-.671E+08	.344E+09	-.413E+09
	269	.260E+08	-.896E+07	-.102E+08	.521E+08	-.218E+09	.327E+09
	324	.110E+08	.121E+08	.837E+07	-.205E+08	.298E+08	-.189E+08
	325	-.277E+08	.699E+07	.895E+07	.300E+08	-.853E+08	.162E+09

ELEMENT ID 314 -----

LOAD

COND	JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
	1						
	324	-.100E+08	-.176E+08	-.117E+08	.114E+08	-.807E+08	.105E+09
	325	.276E+08	-.137E+08	-.115E+08	-.992E+07	.710E+08	-.106E+09
	380	-.126E+08	.175E+08	.133E+08	.142E+08	-.117E+09	.164E+09
	381	-.497E+07	.138E+08	.101E+08	-.154E+08	.121E+09	-.168E+09

ELEMENT ID 360 -----

LOAD

COND	JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
	1						
	370	-.270E+08	-.170E+08	-.196E+08	.127E+09	.247E+09	-.394E+09
	371	-.467E+07	-.445E+08	-.292E+08	-.240E+09	-.458E+09	.739E+09
	426	.141E+08	.246E+08	.202E+08	-.150E+09	-.265E+09	.428E+09
	427	.175E+08	.369E+08	.288E+08	.261E+09	.479E+09	-.773E+09

ELEMENT ID 416 -----

LOAD

COND	JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
	1						
	426	-.487E+07	-.137E+08	-.952E+07	.720E+08	.120E+09	-.211E+09
	427	-.485E+07	-.109E+08	-.769E+07	-.112E+09	-.189E+09	.338E+09
	482	.673E+07	.150E+08	.109E+08	-.129E+08	-.708E+08	.111E+09
	483	.299E+07	.952E+07	.644E+07	.599E+08	.141E+09	-.236E+09

ELEMENT ID 471 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

481	-.163E+08	-.205E+08	-.163E+08	.317E+08	-.394E+06	-.243E+08
482	.803E+07	.183E+08	.115E+08	-.125E+09	-.136E+09	.307E+09
537	.132E+08	.261E+08	.172E+08	.144E+09	.967E+08	-.251E+09
538	-.494E+07	-.240E+08	-.124E+08	.284E+08	.469E+05	-.126E+08

P5 - P6 Arasında Çatlak Noktalarında Oluşan Kuvvet ve Momentler

ELEMENT ID 254 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

264	-.588E+07	.142E+08	.134E+08	.599E+08	-.407E+09	.462E+09
265	.583E+07	.903E+07	.777E+07	-.193E+08	.249E+08	-.154E+08
320	.788E+07	-.131E+08	-.125E+08	.242E+06	.217E+09	-.222E+09
321	-.783E+07	-.102E+08	-.843E+07	-.362E+08	.194E+09	-.199E+09

ELEMENT ID 198 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

208	.215E+08	.221E+08	.270E+08	.579E+08	-.261E+09	.171E+09
209	-.263E+08	.148E+08	.274E+08	.360E+08	-.316E+09	.206E+09
264	.184E+08	-.162E+08	-.275E+08	-.581E+08	.479E+09	-.318E+09
265	-.137E+08	-.208E+08	-.267E+08	-.314E+08	.990E+08	-.584E+08

ELEMENT ID 89 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

96	.625E+07	.221E+07	.622E+07	.138E+09	-.443E+09	.199E+08
97	-.197E+08	-.485E+07	.147E+08	-.148E+09	.429E+09	-.507E+08
152	-.169E+07	-.223E+07	-.238E+08	.937E+08	-.248E+09	.111E+08
153	.151E+08	.487E+07	.316E+07	-.788E+08	.261E+09	-.338E+08

ELEMENT ID 310 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

320	-.401E+07	.162E+08	.118E+08	.320E+07	-.206E+09	.284E+09
321	.458E+07	.282E+06	-.514E+05	-.345E+06	-.438E+08	.549E+08
376	.494E+07	-.152E+08	-.110E+08	-.174E+08	.158E+09	-.223E+09
377	-.552E+07	-.129E+07	-.617E+06	-.691E+07	.834E+08	-.121E+09

ELEMENT ID 366 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

376	-.326E+07	.726E+07	.453E+07	.105E+08	-.147E+09	.246E+09
377	.708E+07	.107E+07	-.843E+05	.162E+07	-.287E+08	.270E+08
432	-.112E+07	-.410E+07	-.221E+07	-.195E+08	.851E+08	-.139E+09
433	-.270E+07	-.423E+07	-.213E+07	-.741E+07	.756E+08	-.141E+09

P1 - P8 Arasında Çatlak Noktalarında Oluşan Kuvvet ve Momentler

ELEMENT ID 274 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

284	-.193E+07	.755E+07	-.670E+07	-.383E+08	-.254E+09	-.273E+09
285	.131E+08	-.571E+07	.328E+07	.470E+06	-.261E+08	-.431E+08
340	.620E+07	-.261E+07	.189E+07	.129E+08	.826E+08	.789E+08
341	-.174E+08	.775E+06	.168E+07	.354E+08	.221E+09	.214E+09

ELEMENT ID 275 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

285	-.195E+08	.109E+08	.286E+07	.736E+08	.931E+08	.144E+09
286	.102E+08	-.368E+08	.182E+08	.911E+08	.104E+09	.165E+09
341	-.321E+07	.166E+08	-.886E+07	-.114E+09	-.139E+09	-.216E+09
342	.125E+08	.928E+07	-.119E+08	-.443E+08	-.639E+08	-.927E+08

ELEMENT ID 276 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

286	-.121E+07	.538E+07	-.340E+07	-.163E+08	-.236E+08	-.292E+08
287	.185E+07	.111E+07	-.144E+07	-.368E+08	-.781E+08	-.105E+09
342	-.324E+07	-.572E+07	.542E+07	.881E+08	.184E+09	.251E+09
343	.260E+07	-.775E+06	-.300E+06	-.413E+08	-.814E+08	-.115E+09

ELEMENT ID 277 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

287	.934E+07	-.715E+07	.302E+07	-.114E+08	-.671E+08	-.126E+09
288	-.826E+07	.907E+07	-.444E+07	.399E+08	.825E+08	.920E+08
343	-.323E+07	.547E+07	-.300E+07	-.195E+08	-.931E+08	-.144E+09
344	.215E+07	-.738E+07	.470E+07	.473E+08	.107E+09	.146E+09

ELEMENT ID 497 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

507	.239E+08	.388E+07	-.749E+07	.144E+08	.837E+07	.337E+08
508	-.144E+08	.256E+07	.161E+07	-.141E+08	-.384E+08	-.536E+08
563	-.118E+07	-.133E+08	.772E+07	.104E+08	-.103E+08	-.283E+08
564	-.831E+07	.687E+07	-.179E+07	.150E+08	.286E+08	.486E+08

P7 - P8 Arasında Çatlak Noktalarında Oluşan Kuvvet ve Momentler

ELEMENT ID 155 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

165	-.219E+08	.398E+08	.135E+08	-.183E+09	-.117E+09	.633E+08
166	.308E+07	-.351E+08	.370E+08	-.143E+09	.555E+08	.602E+08
221	-.808E+07	.268E+08	-.105E+08	.531E+09	.204E+09	.988E+08
222	.269E+08	-.315E+08	-.397E+08	-.280E+09	.637E+07	-.194E+09

ELEMENT ID 211 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

221	.720E+06	-.159E+08	.134E+08	-.280E+09	-.203E+09	-.235E+09
222	-.239E+08	.298E+06	.353E+08	-.158E+09	.258E+07	-.115E+09
277	-.242E+08	.702E+08	-.263E+08	.326E+09	.125E+09	.199E+08
278	.473E+08	-.546E+08	-.222E+08	.247E+09	.212E+09	.734E+07

ELEMENT ID 379 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

389	.531E+07	-.216E+08	.743E+07	.463E+08	.508E+07	-.106E+08
390	.437E+07	.211E+08	-.130E+08	-.834E+08	-.131E+09	-.247E+09
445	.830E+07	.238E+07	-.559E+07	.866E+08	.487E+08	.143E+09
446	-.180E+08	-.195E+07	.113E+08	.589E+08	.148E+07	.889E+08

P1 - P2 Arasında Çatlak Noktalarında Oluşan Kuvvet ve Momentler

ELEMENT ID 126 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

136	.595E+07	-.312E+08	-.129E+08	-.250E+08	.125E+07	-.110E+08
137	-.100E+08	.332E+08	.164E+07	.120E+09	.368E+08	-.561E+08
192	-.402E+07	.232E+08	.105E+08	-.395E+09	-.116E+09	.105E+09
193	.809E+07	-.251E+08	.101E+07	.280E+09	.850E+08	-.986E+08

ELEMENT ID 284 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

294	-.236E+08	-.172E+08	.311E+07	.957E+08	-.203E+09	-.407E+09
295	.425E+07	.173E+08	-.694E+07	.291E+08	-.346E+08	-.745E+08
350	.178E+08	-.172E+08	.115E+08	-.108E+09	.196E+09	.465E+09
351	.154E+07	.172E+08	-.743E+07	-.204E+08	.164E+08	.272E+08

ELEMENT ID 340 -----

LOAD

COND	JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1							
	350	-.206E+07	.268E+08	-.109E+08	.311E+08	-.103E+09	-.260E+09
	351	-.678E+07	.434E+07	-.370E+07	.736E+07	.153E+08	.916E+06
	406	.182E+07	-.995E+07	.448E+07	-.629E+08	.595E+08	.160E+09
	407	.702E+07	-.212E+08	.103E+08	.116E+08	.482E+08	.872E+08

ELEMENT ID 397 -----

LOAD

COND	JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1							
	407	-.101E+07	-.335E+06	.245E+06	.129E+08	.492E+08	.888E+08
	408	-.518E+07	.730E+07	-.342E+07	.256E+07	.135E+08	.282E+08
	463	.988E+07	-.138E+07	-.523E+06	-.325E+07	-.156E+08	-.296E+08
	464	-.369E+07	-.558E+07	.377E+07	-.132E+08	-.490E+08	-.862E+08

Çatlak Oluşabilecek Noktalar

ELEMENT ID 81 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

87	.386E+08	-.266E+08	-.249E+08	.156E+09	.275E+09	-.628E+08
88	-.411E+08	.285E+08	-.138E+08	-.579E+09	-.870E+09	-.655E+08
143	.520E+07	-.373E+07	.208E+08	-.222E+09	-.278E+09	.297E+07
144	-.272E+07	.183E+07	.182E+08	.638E+09	.878E+09	.122E+08

ELEMENT ID 228 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

238	-.144E+08	-.102E+08	.331E+07	-.260E+08	.838E+08	.145E+09
239	.499E+08	-.283E+08	.300E+08	.164E+09	-.549E+09	-.793E+09
294	-.404E+07	.224E+08	-.152E+08	-.474E+08	.181E+09	.275E+09
295	-.314E+08	.161E+08	-.178E+08	-.111E+09	.233E+09	.401E+09

ELEMENT ID 591 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

601	.578E+07	-.167E+08	-.810E+07	.440E+07	-.299E+08	.695E+08
602	-.249E+08	.278E+08	.157E+08	-.767E+07	.985E+07	-.288E+08
657	.308E+08	.835E+07	-.114E+07	.221E+08	-.601E+08	.152E+09
658	-.117E+08	-.194E+08	-.635E+07	-.291E+08	.844E+08	-.190E+09

ELEMENT ID 5 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

7	.531E+07	-.909E+07	.401E+08	.170E+10	.162E+10	.145E+09
8	-.818E+07	.335E+07	.448E+08	-.210E+10	-.202E+10	-.230E+09
63	-.264E+06	.365E+07	-.326E+08	.558E+09	.508E+09	.428E+08
64	.313E+07	.208E+07	-.516E+08	-.164E+09	-.968E+08	-.183E+08

ELEMENT ID 29 -----

LOAD

COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

31	.485E+07	-.290E+07	-.405E+08	-.120E+09	-.490E+09	.177E+08
32	.621E+07	-.511E+07	-.110E+08	-.477E+09	-.450E+09	-.583E+08
87	-.449E+08	.372E+08	.666E+08	.114E+10	.718E+09	.358E+09
88	.338E+08	-.292E+08	-.148E+08	-.706E+08	-.209E+09	.256E+09

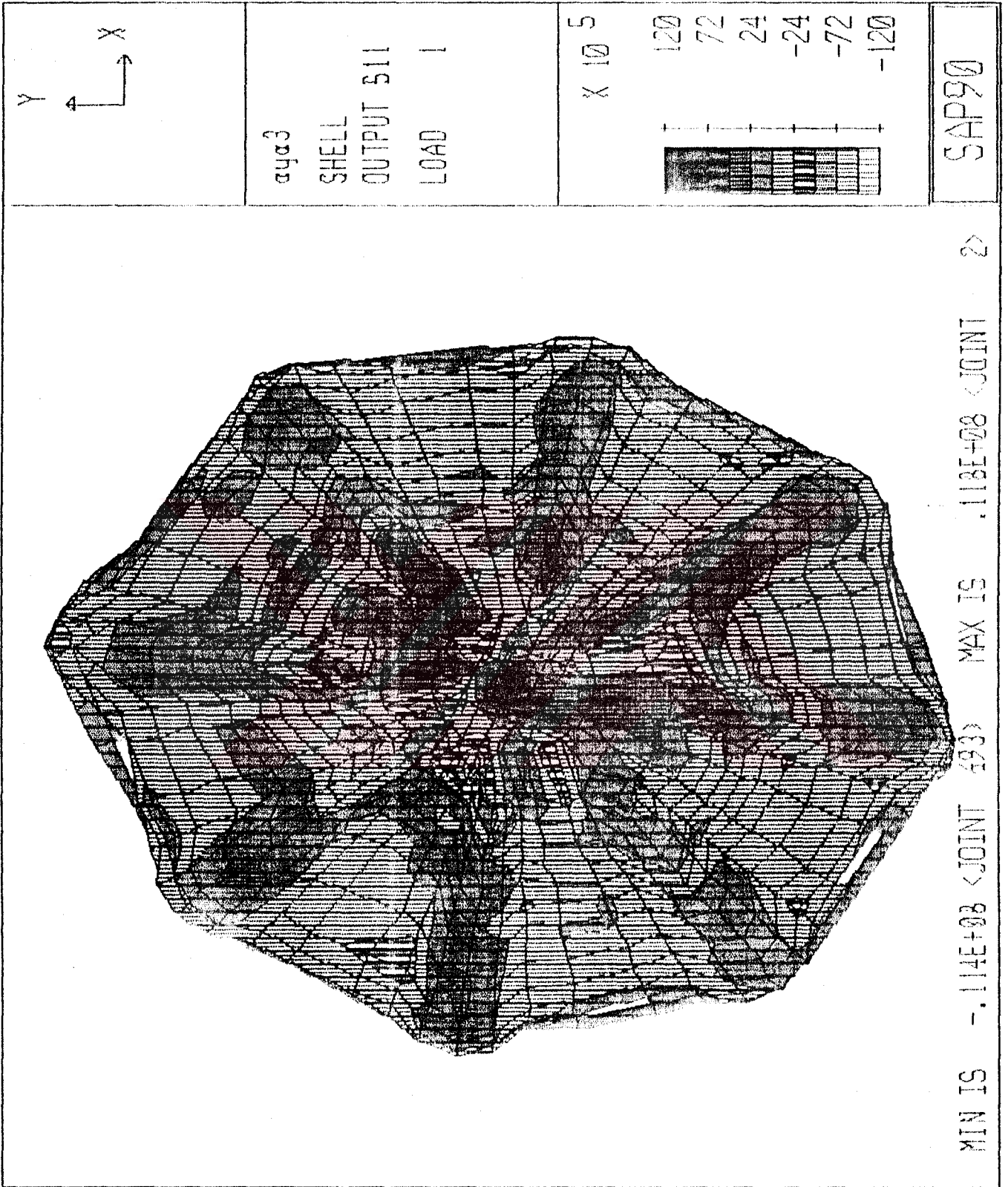
ELEMENT ID 31 -----

LOAD

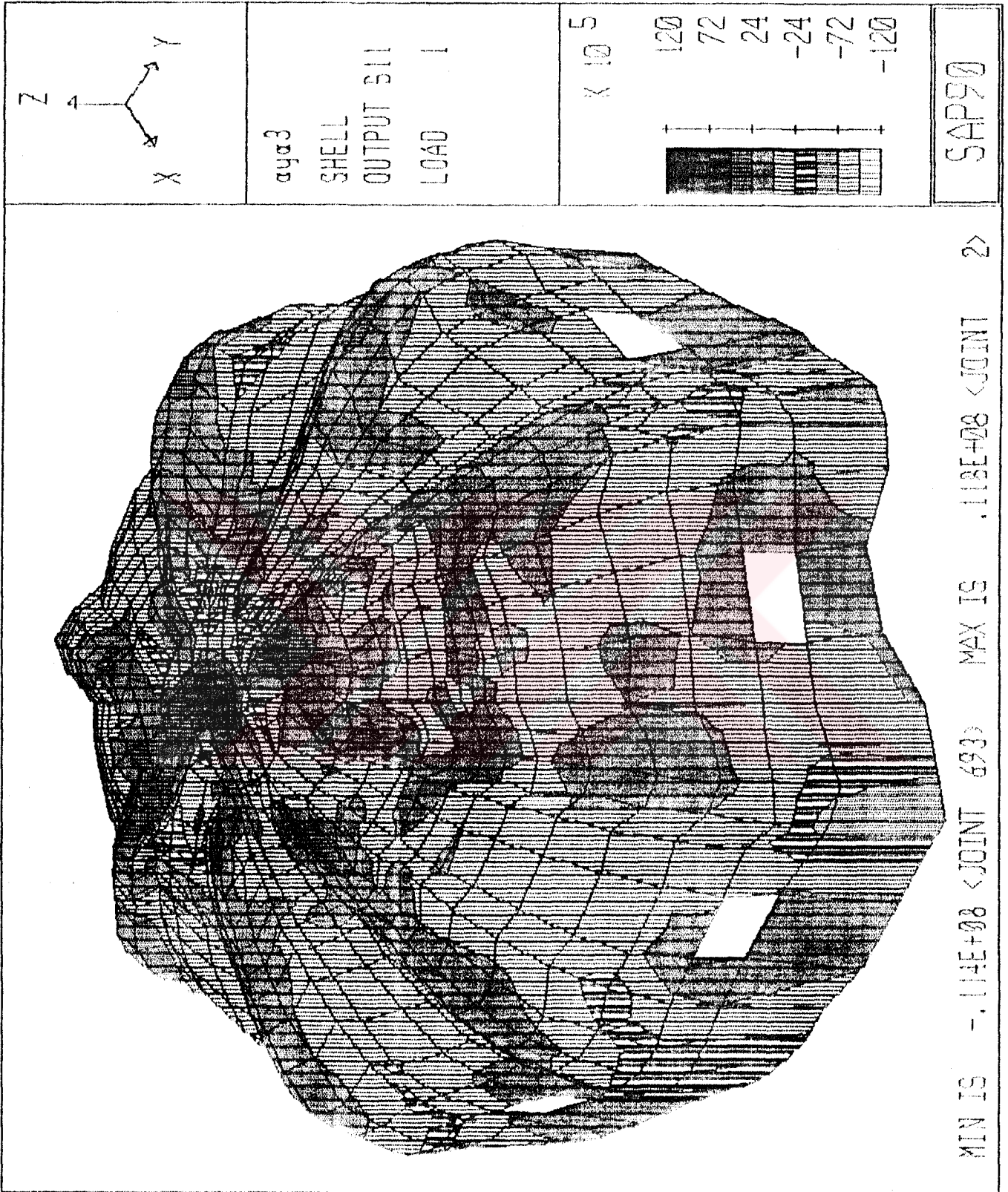
COND JOINT F(X) F(Y) F(Z) M(X) M(Y) M(Z)

1

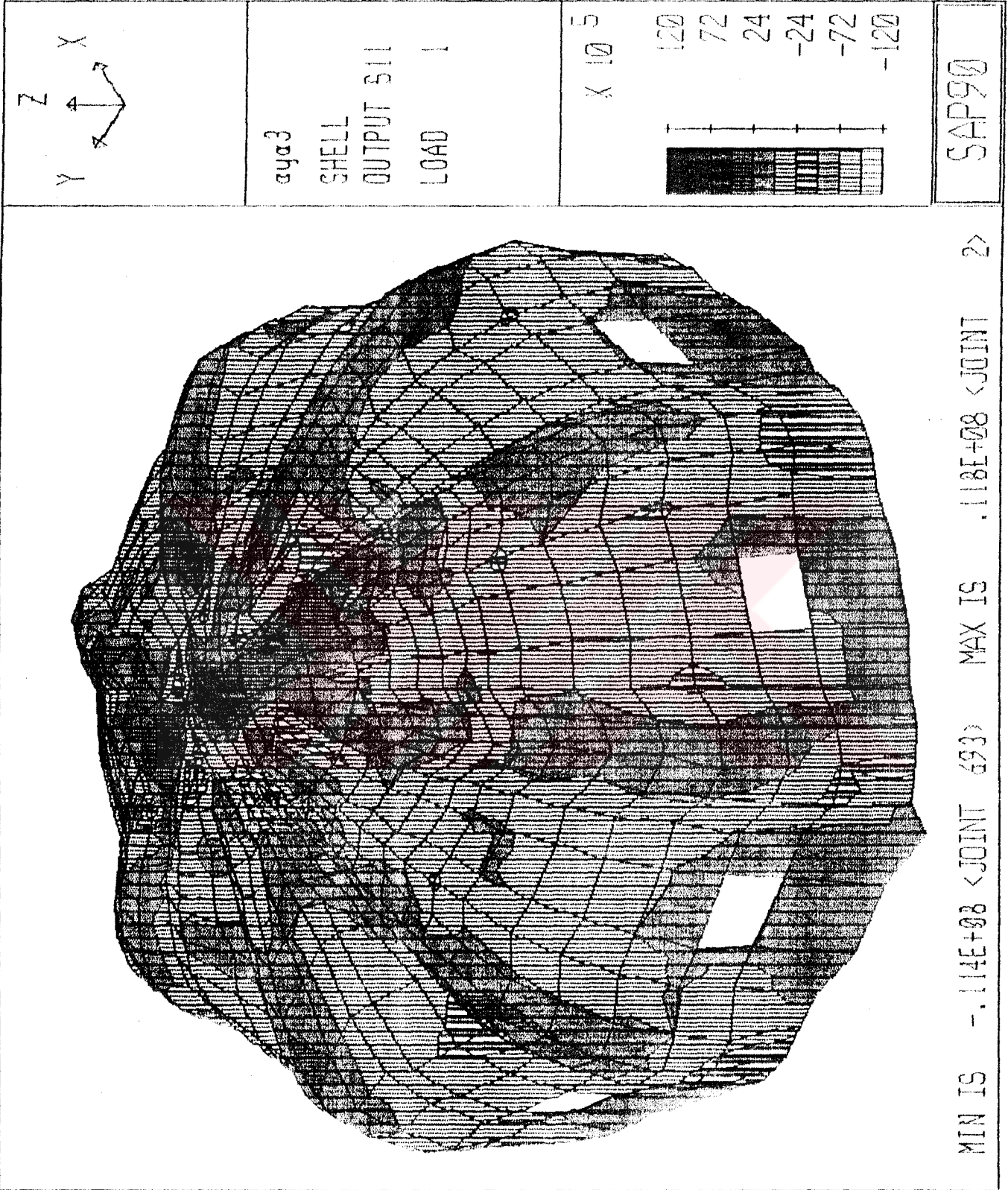
33	-.270E+08	.683E+07	-.418E+08	.335E+09	.660E+09	-.992E+08
34	.181E+08	-.110E+08	-.755E+06	-.558E+08	-.111E+09	.612E+08
89	.523E+08	-.218E+08	.389E+08	-.743E+09	-.119E+10	.326E+09
90	-.434E+08	.260E+08	.416E+07	.417E+09	.712E+09	-.873E+08



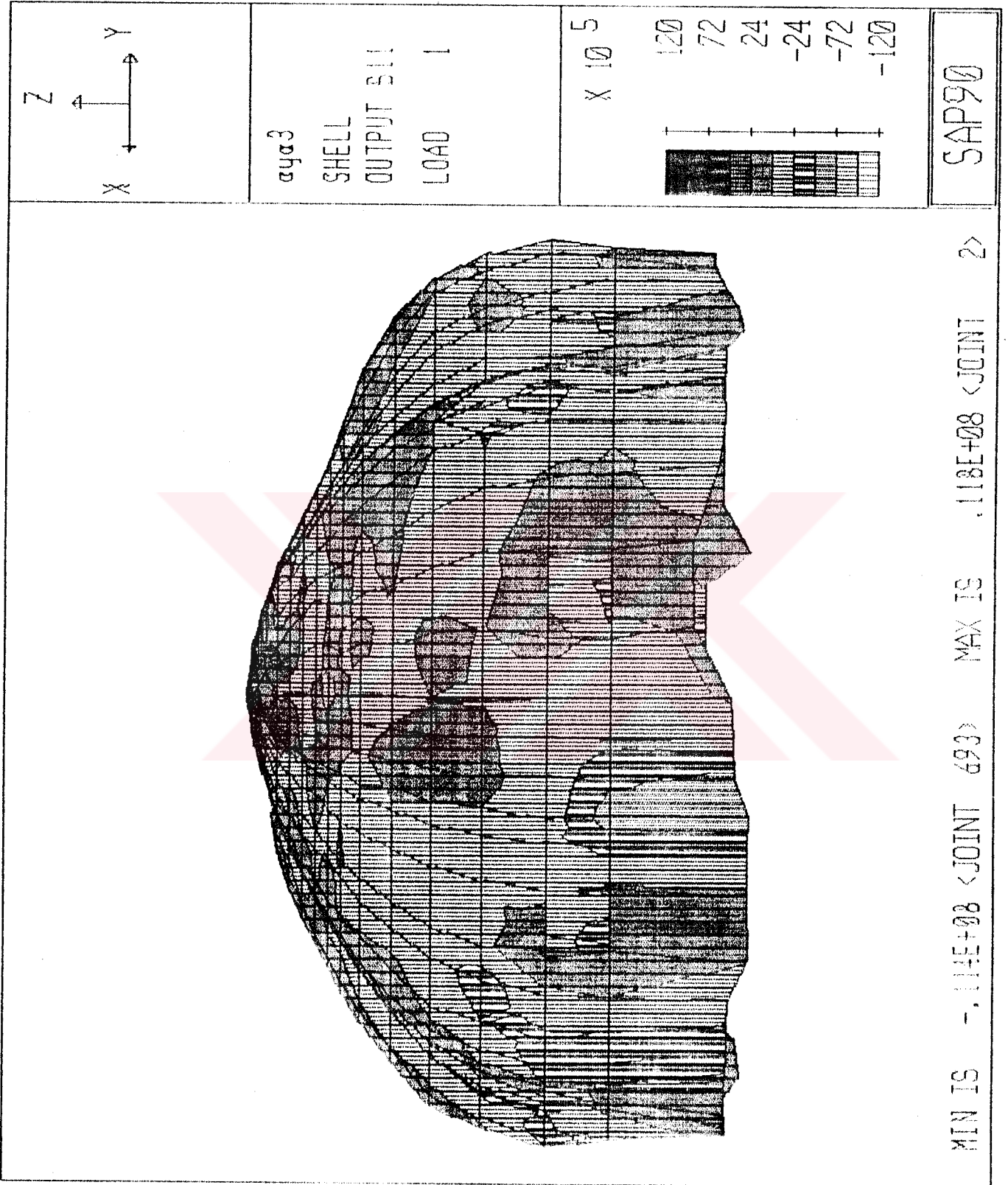
Şekil 4.2.6 Radyal Doğrultuda Oluşan Gerilmeler (N / m²)



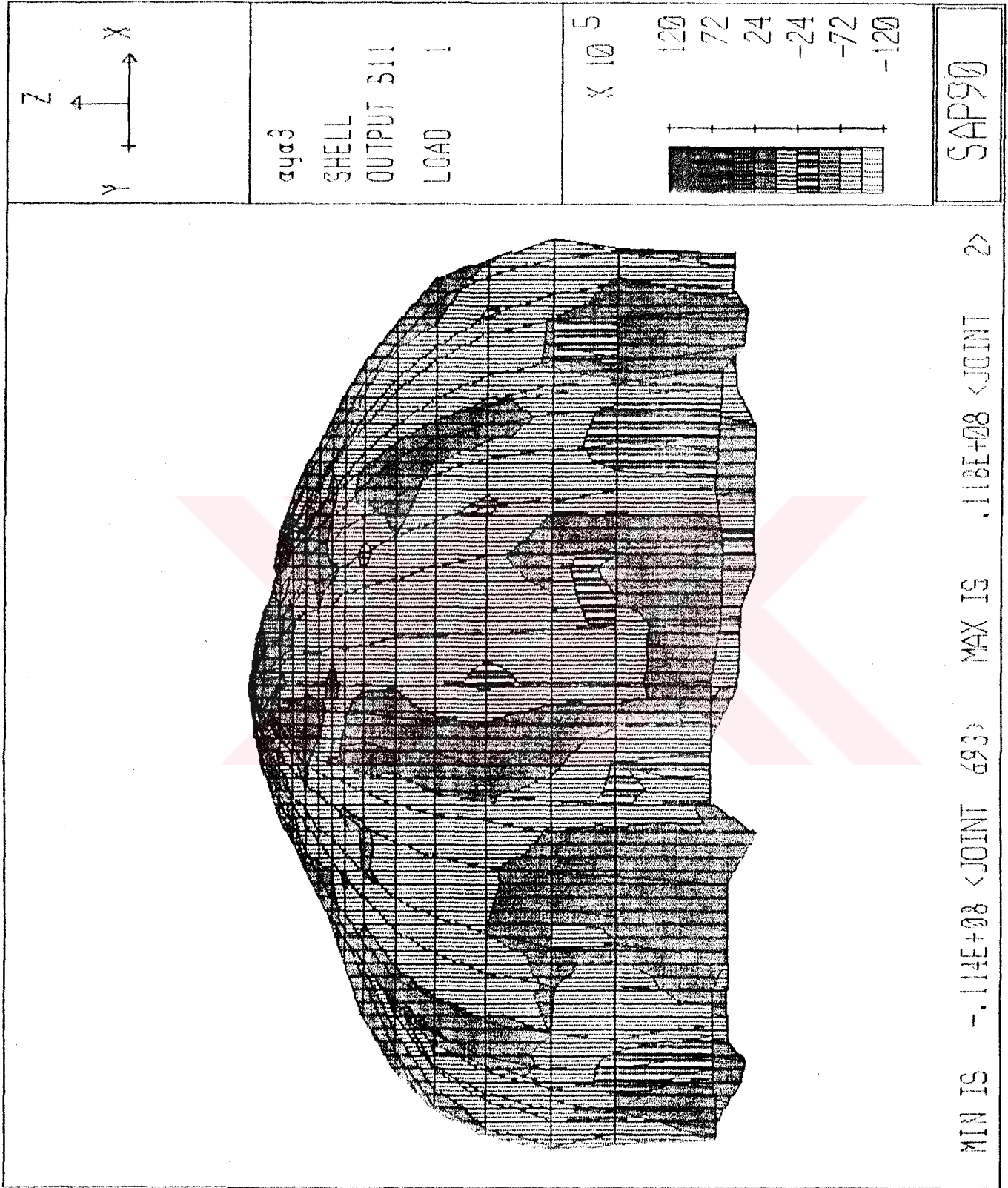
Şekil 4.2.7 Radyal Doğrultuda Oluşan Gerilmeler (N/m²)



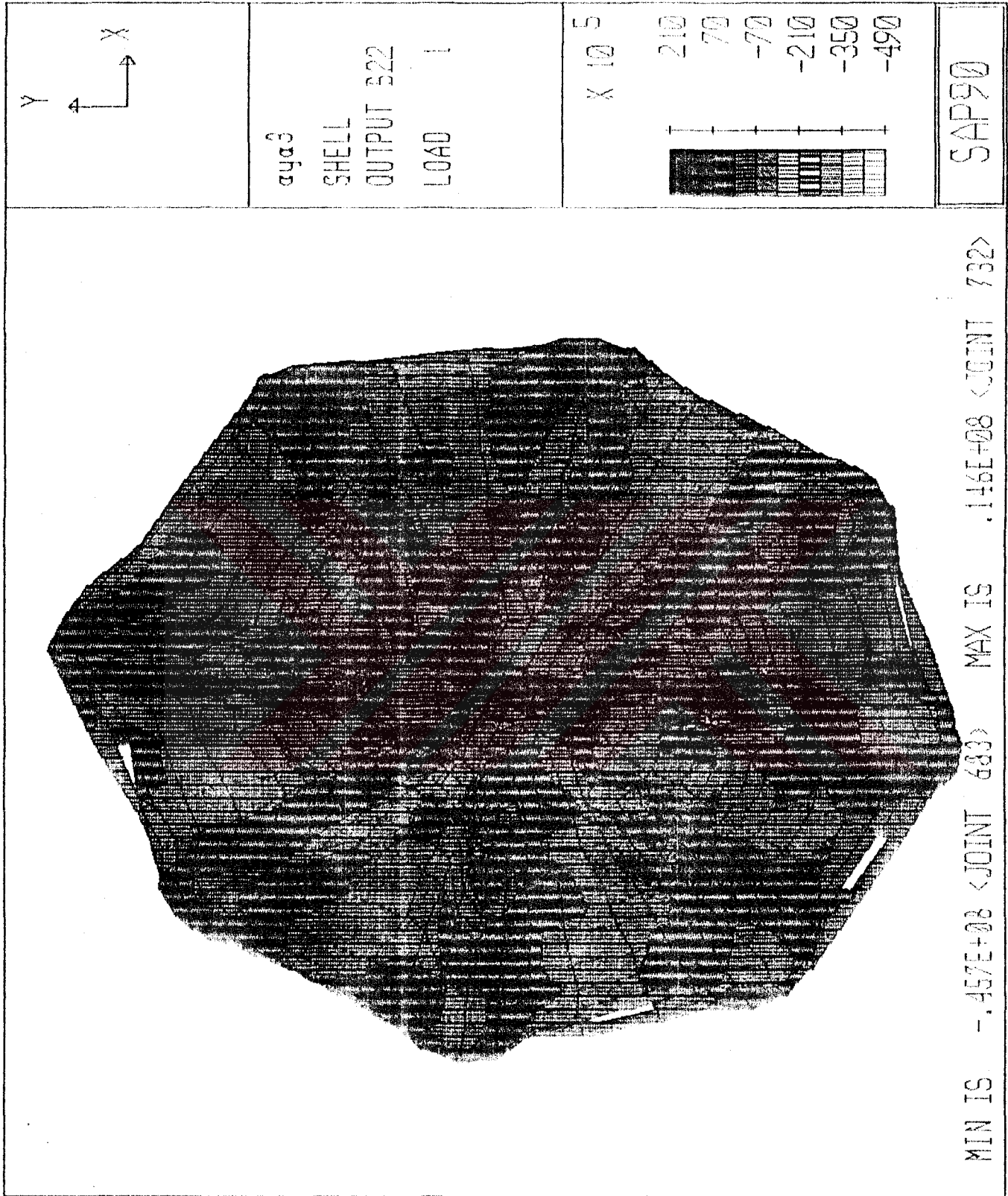
Şekil 4.2.8 Radyal Doğrultuda Oluşan Gerilmeler (N/m²)



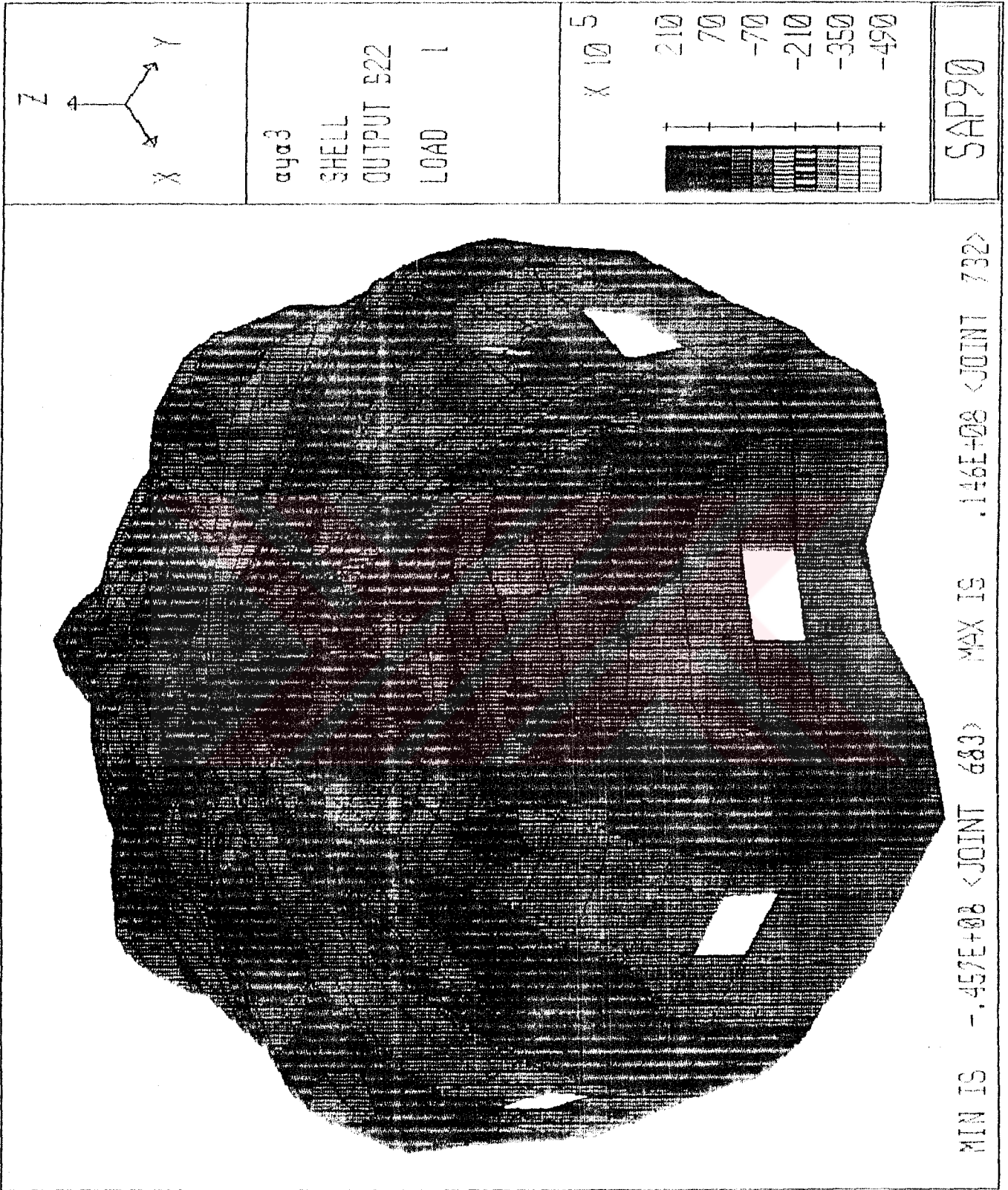
Şekil 4.2.9 Radyal Doğrultuda Oluşan Gerilmeler (N / m²)



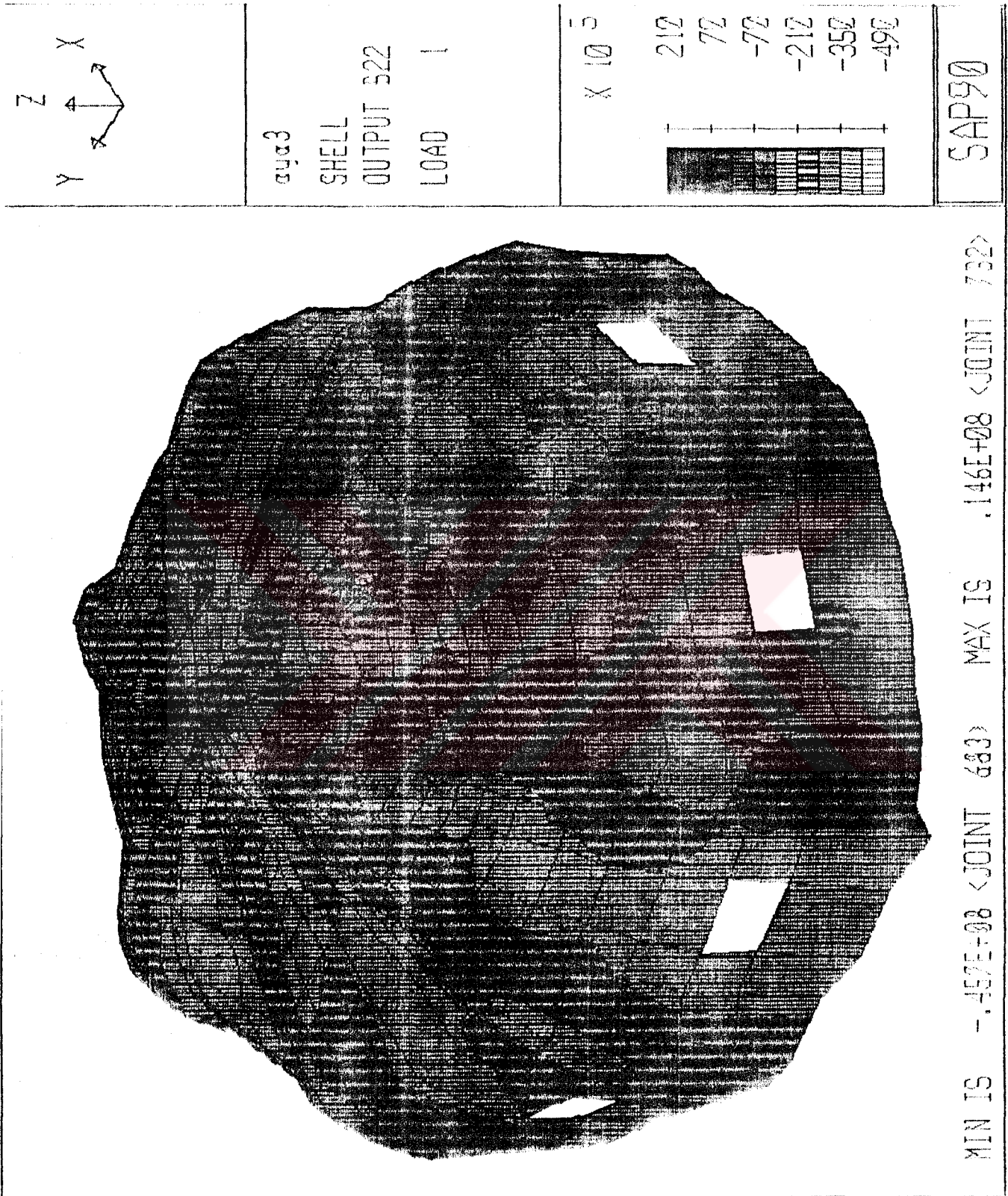
Şekil 4.2.10 Radyal Doğrultuda Oluşan Gerilmeler (N/m²)



Şekil 4.2.11 Fııne Doğrultuda Oluşan Gerilmeler (N / m²)



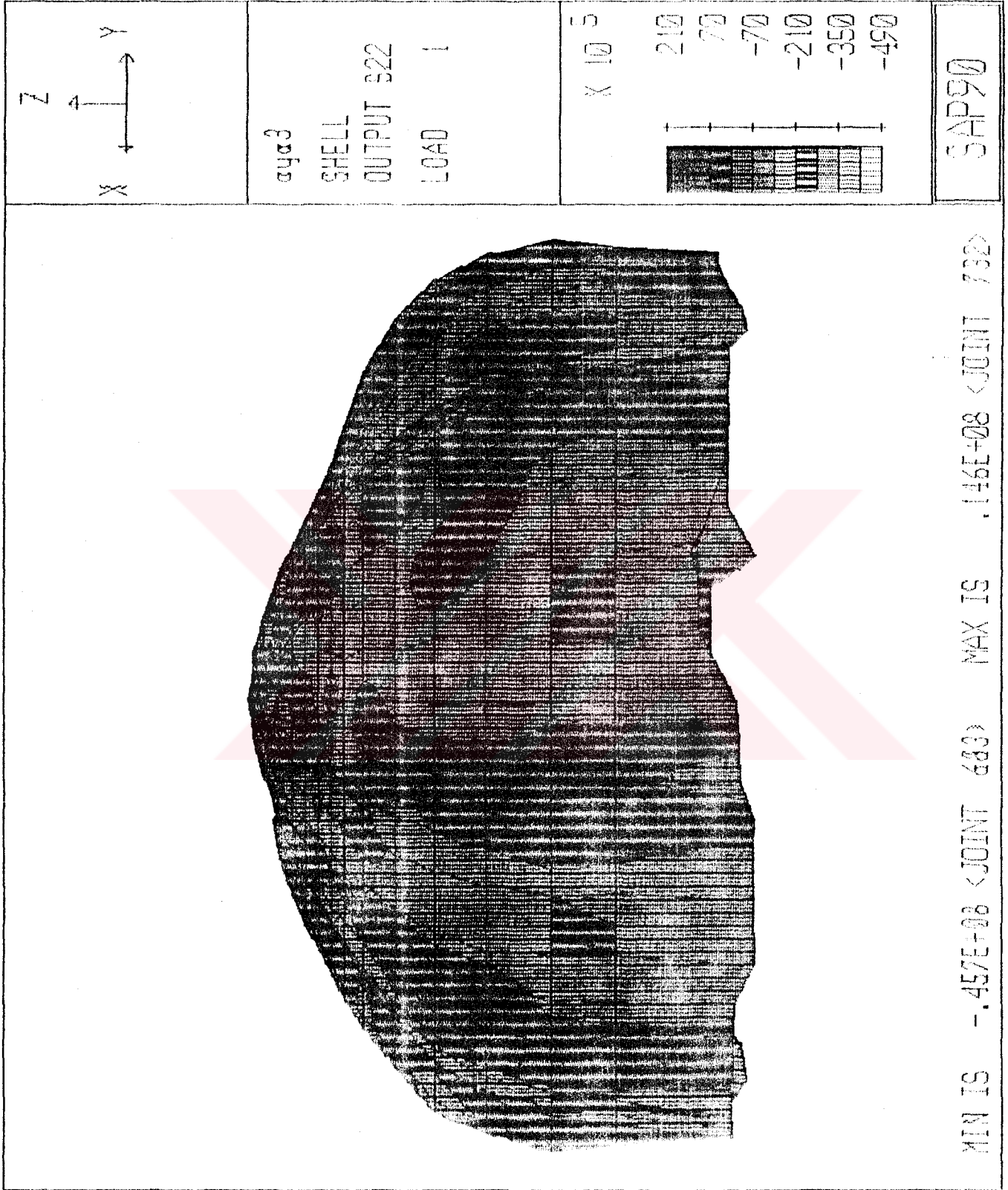
Şekil 4.2.12 Fıne Doğrultuda Oluşan Gerilmeler (N / m²)



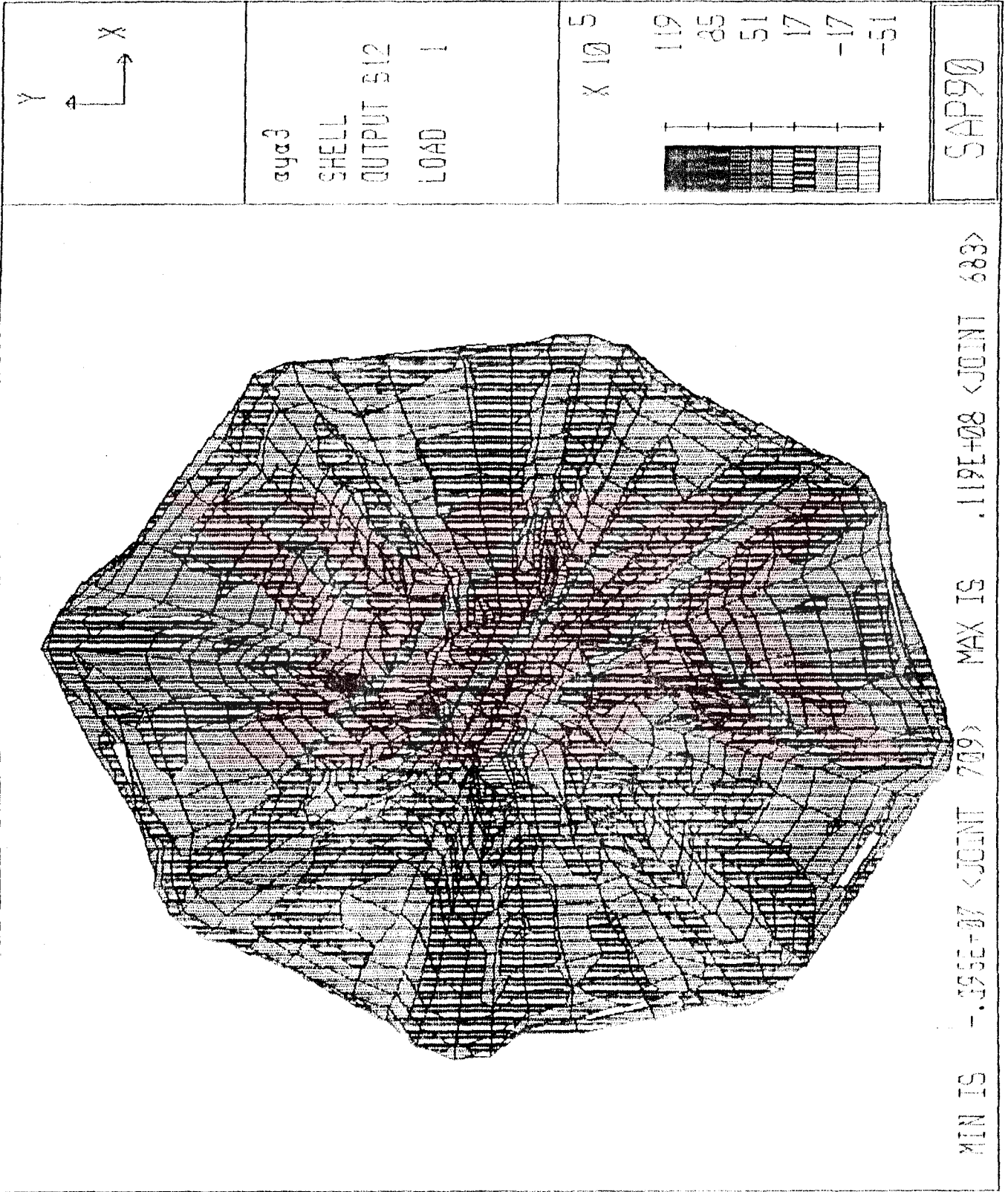
Şekil 4.2.13 Eline Doğrultuda Olusan Gerilmeler (N / m²)

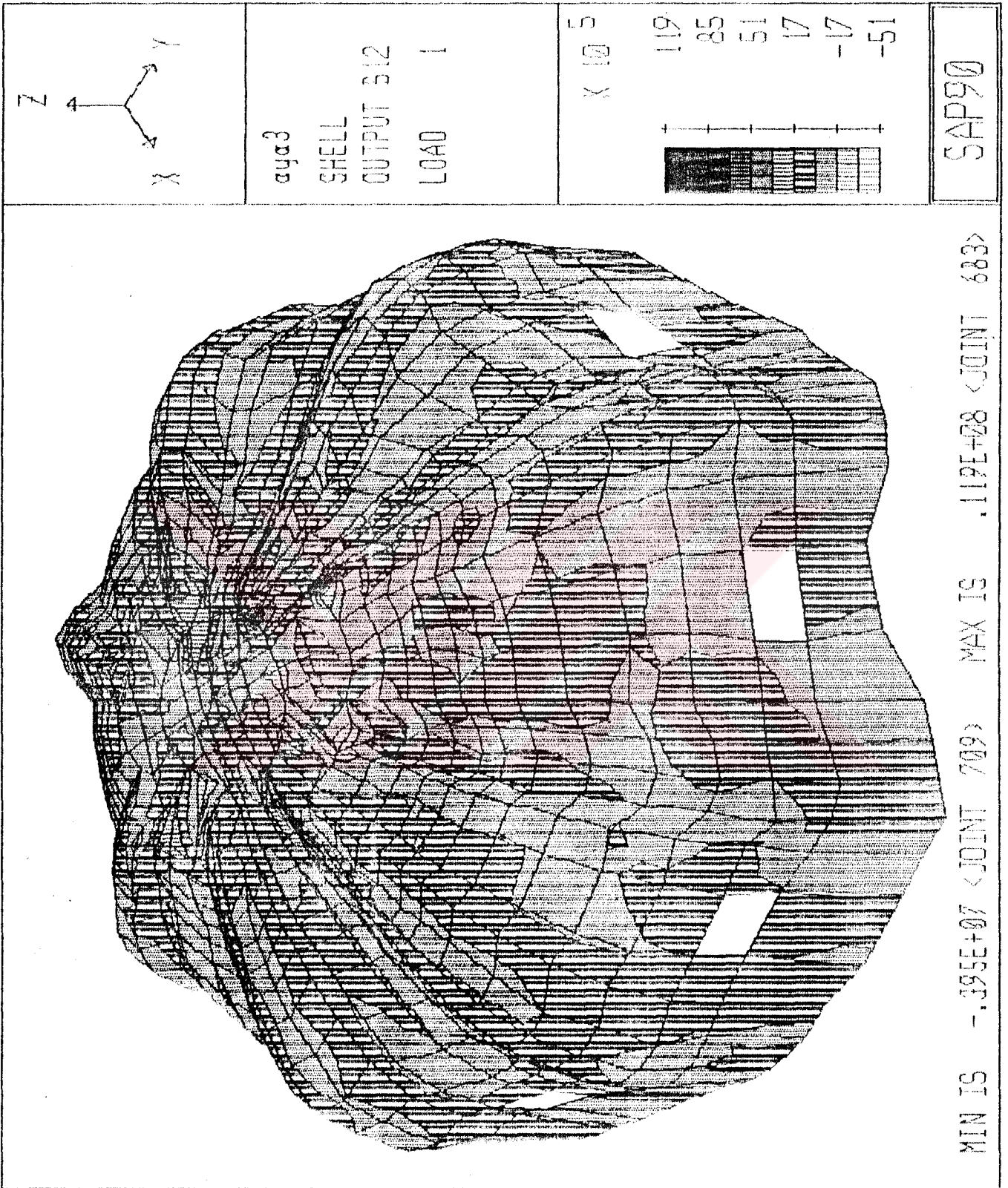


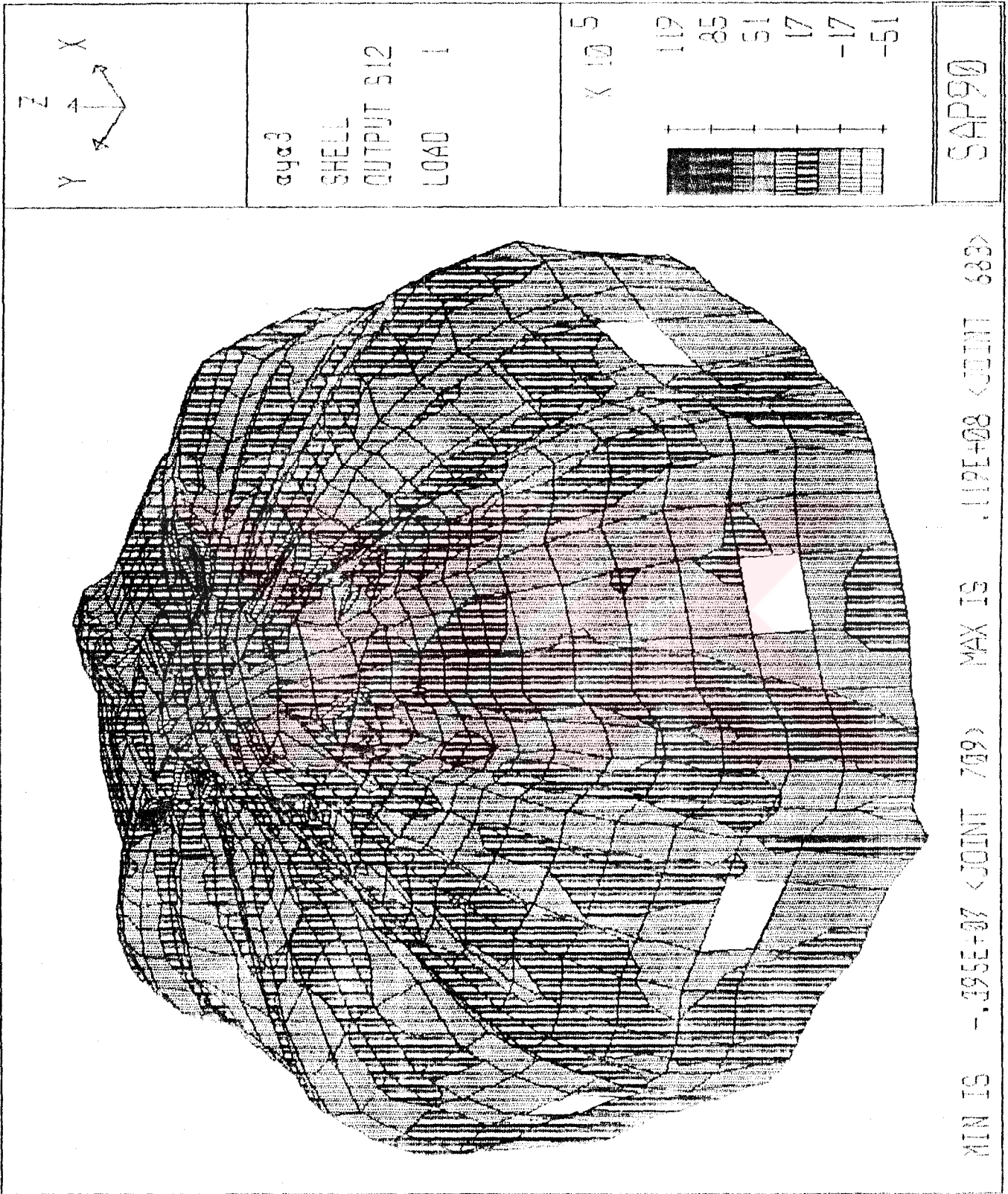
Şekil 4.2.14 Enine Doğrultuda Oluşan Gerilmeler (N / m²)

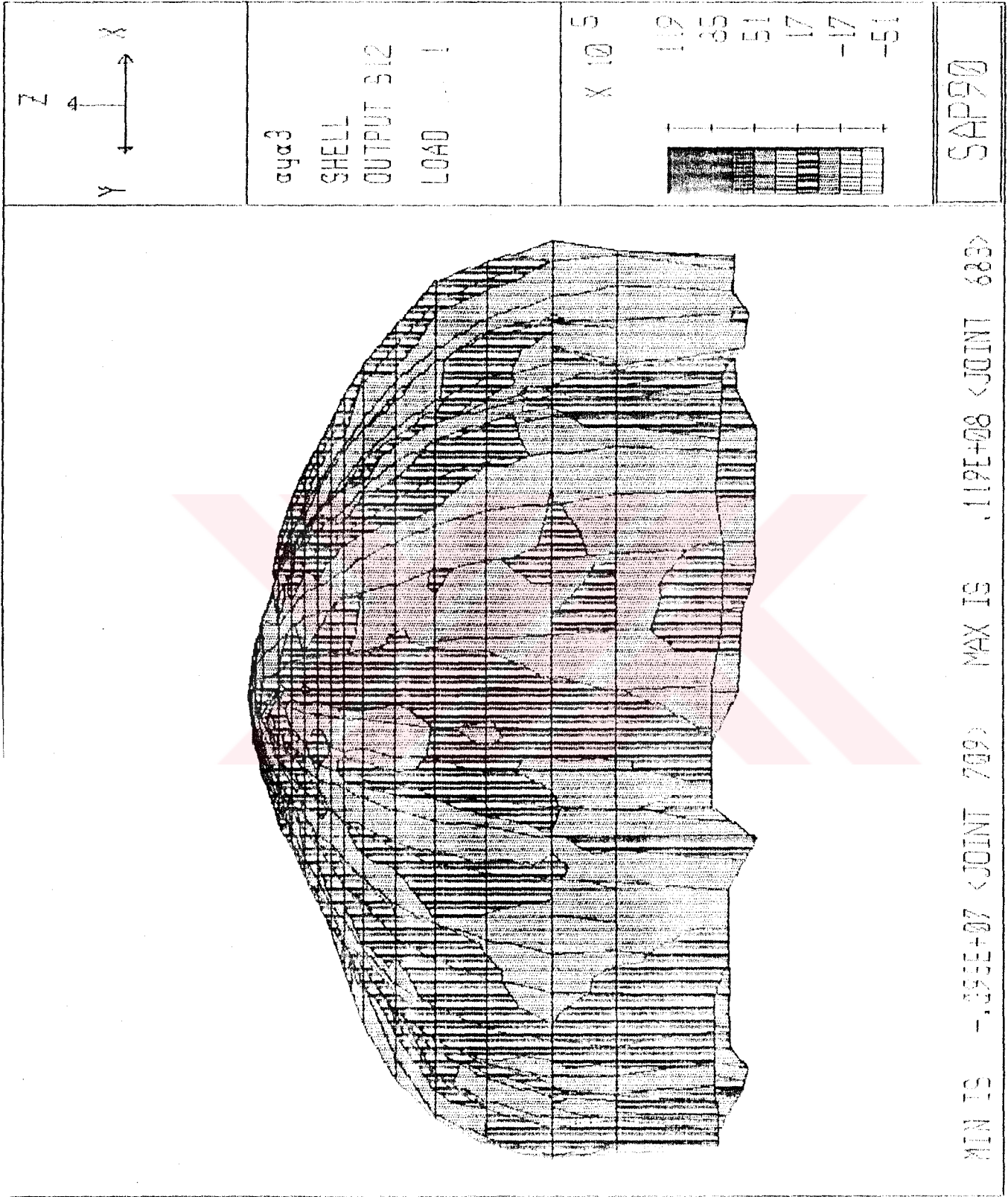


Şekil 4.2.15 Eline Doğrultuda Oluşan Gerilmeler (N/m²)

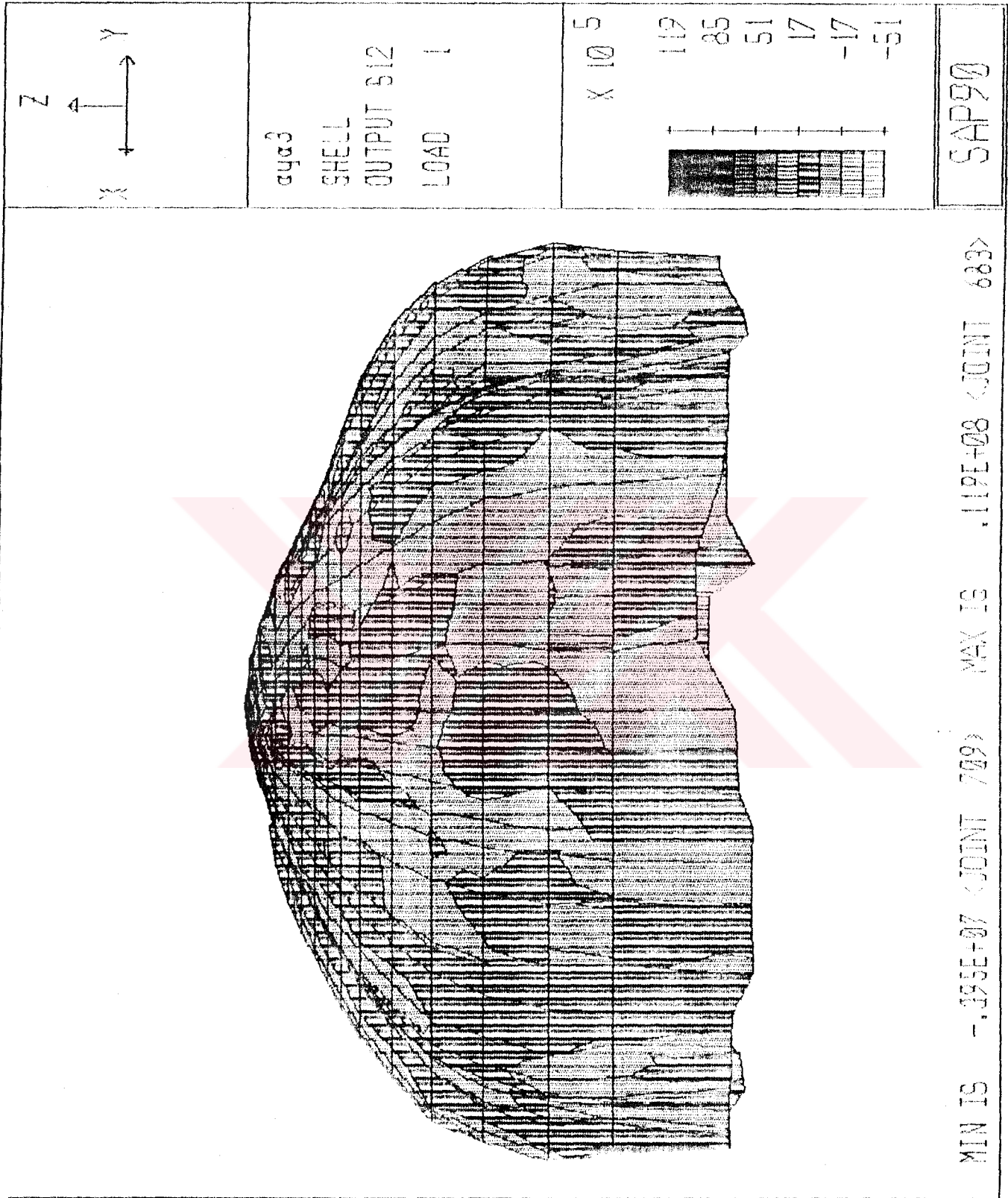
Şekil 4.2.16 Kayma Gerilmeleri (N / m²)

Şekil 4.2.17 Kayma Gerilmeleri (N / m²)

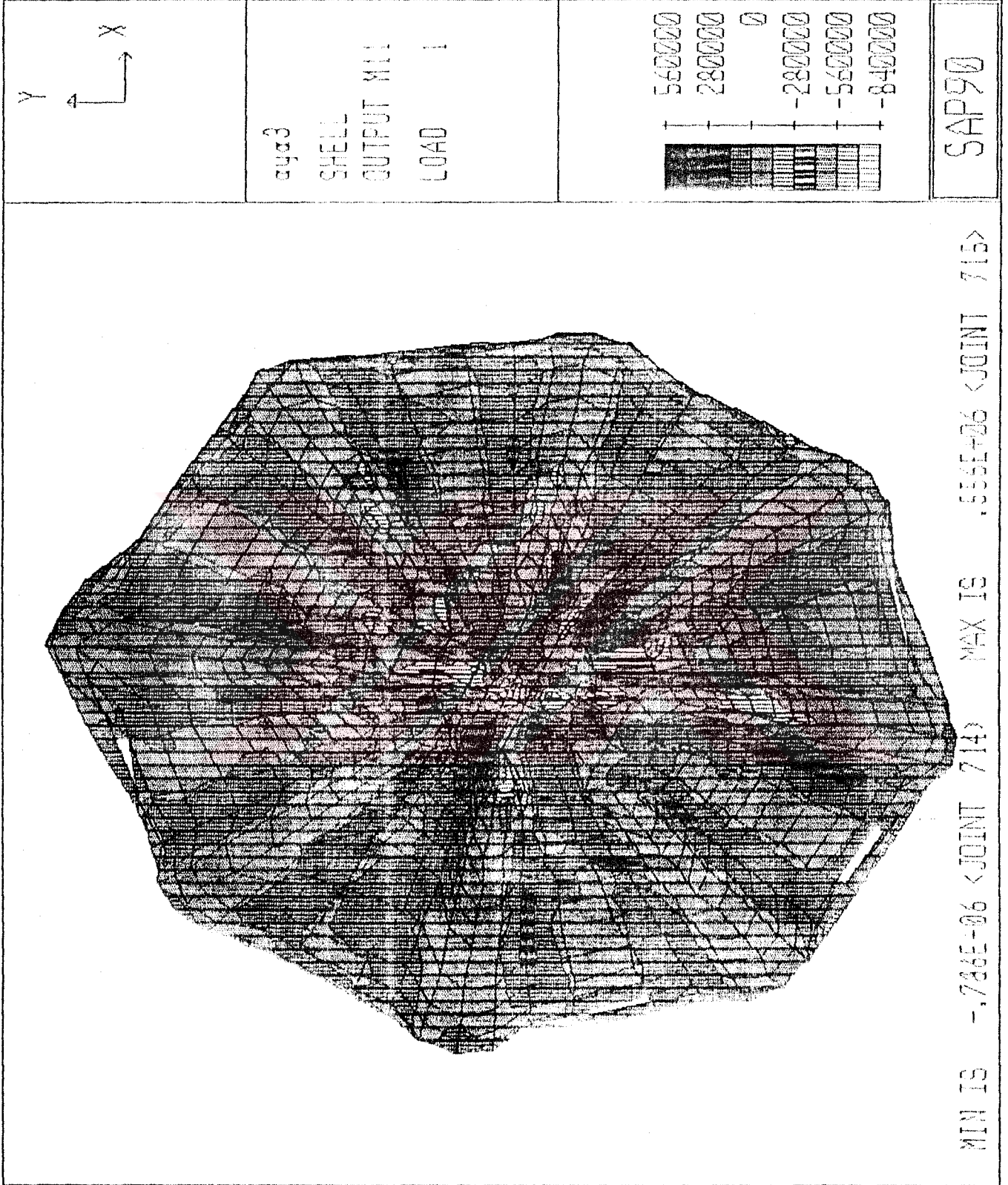
Şekil 4.2.18 Kayma Gerilmeleği (N/m²)



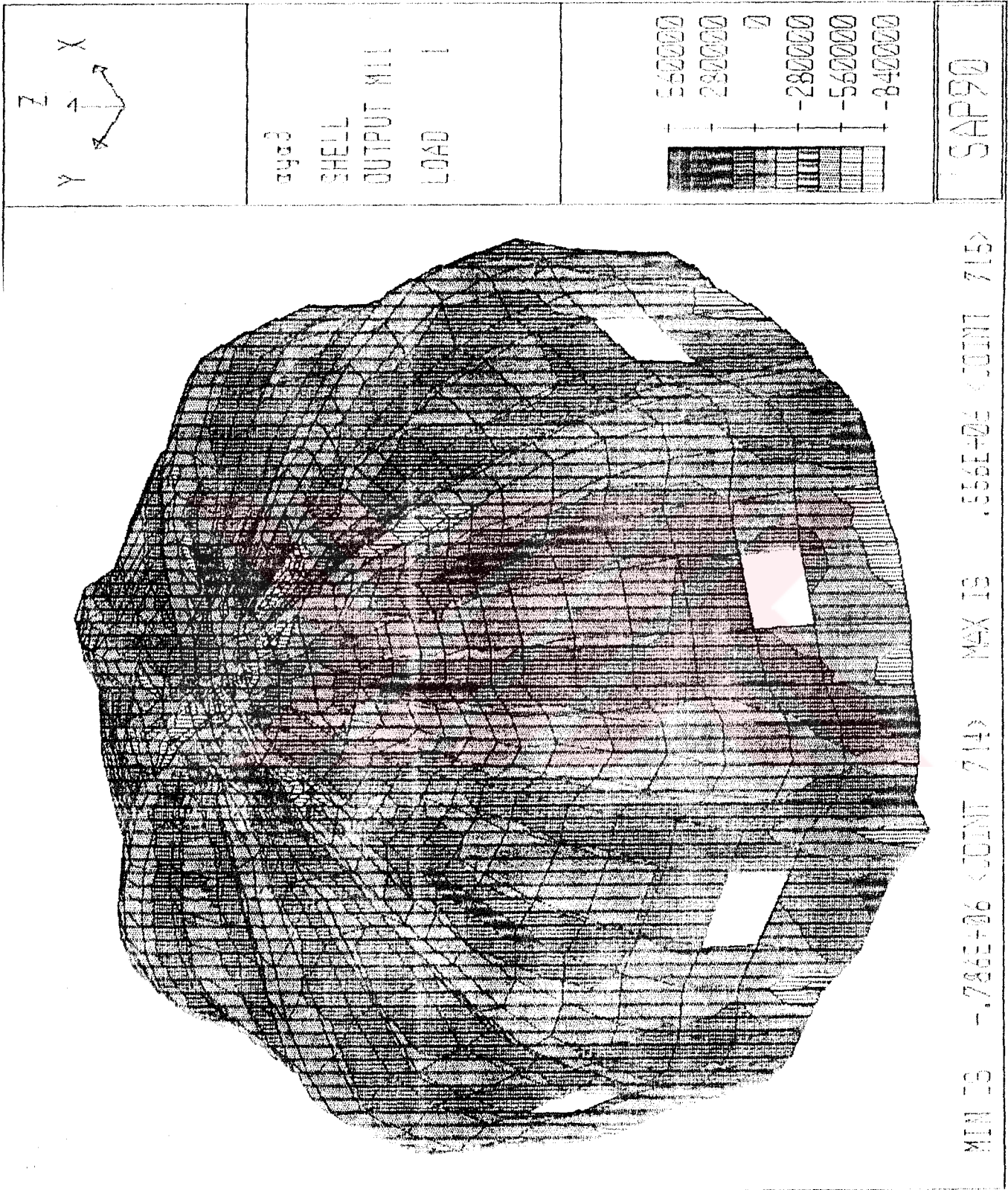
Şekil 4.2.19 Kayma Gerilmeleri (N / m²)



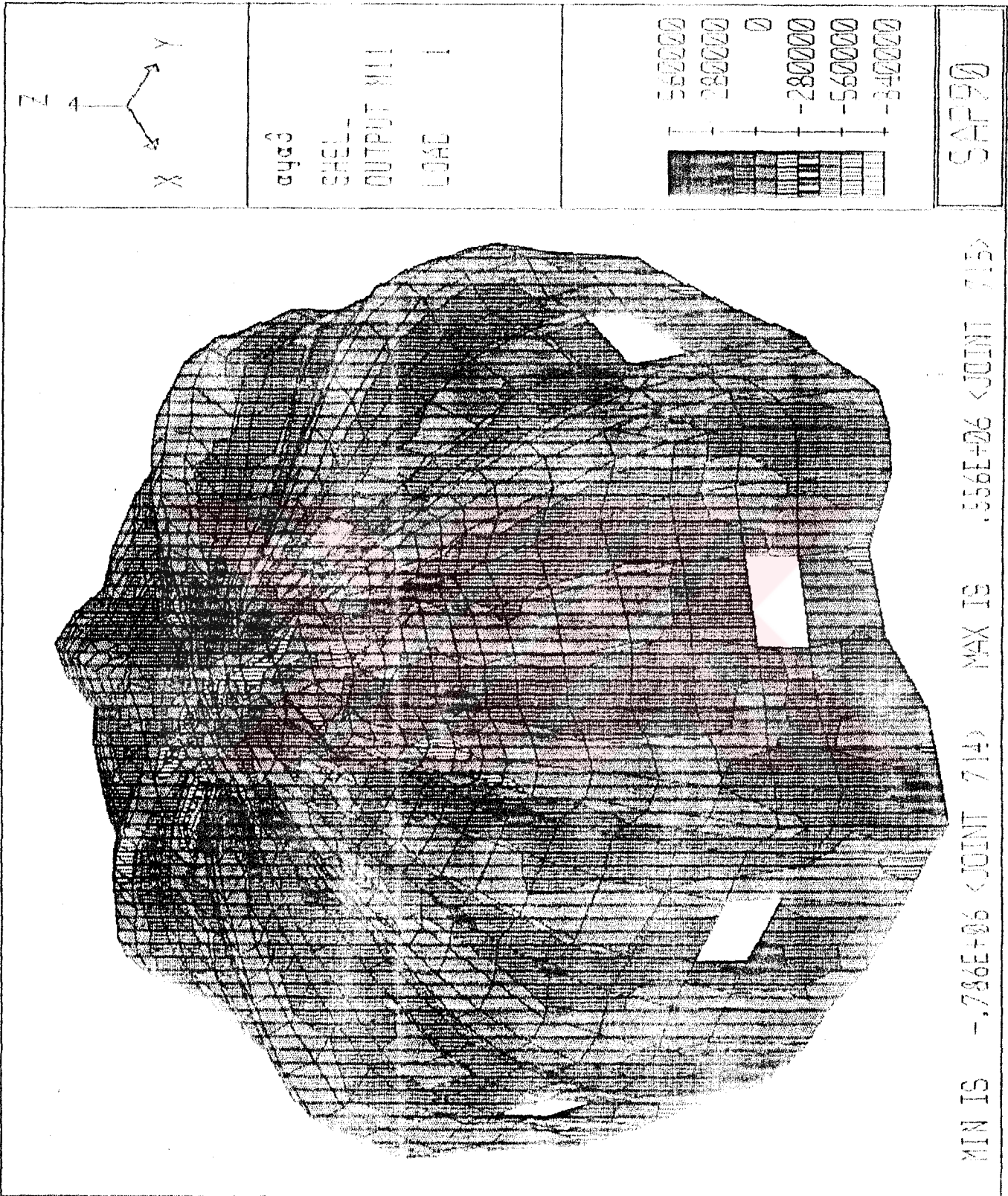
Şekil 4.2.20 Kayma Gerilmeleri (N/m²)



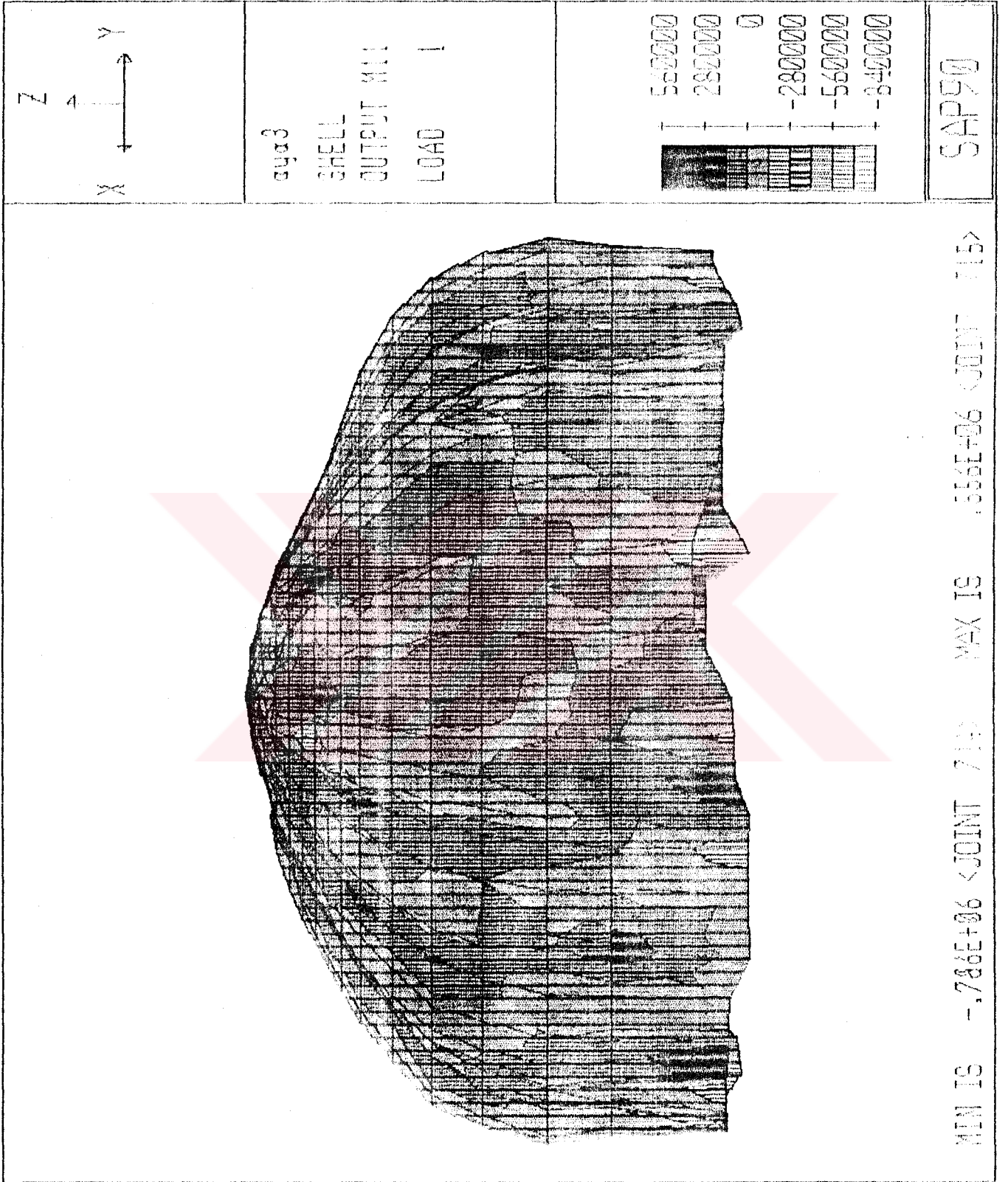
Şekil 4.2.21 Radyal Doğrultuda Oluşan Eğilme Momenti (Nm)



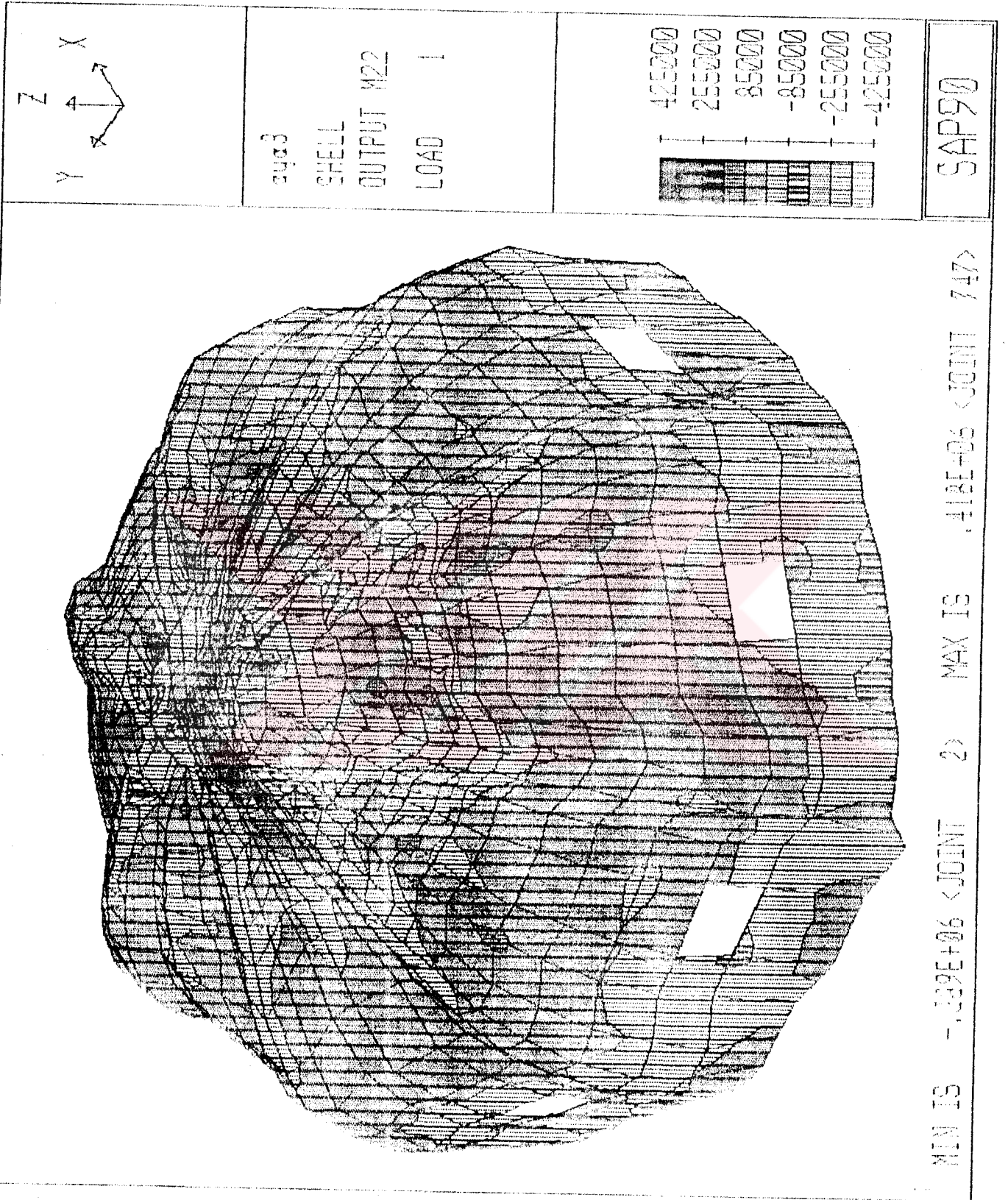
Şekil 4.2.22 Radyal Doğrultuda Oluşan Eğilme Momenti (Nm)



Şekil 4.2.23 Radyal Doğrultuda Oluşan Eğilme Momenti (Nm)



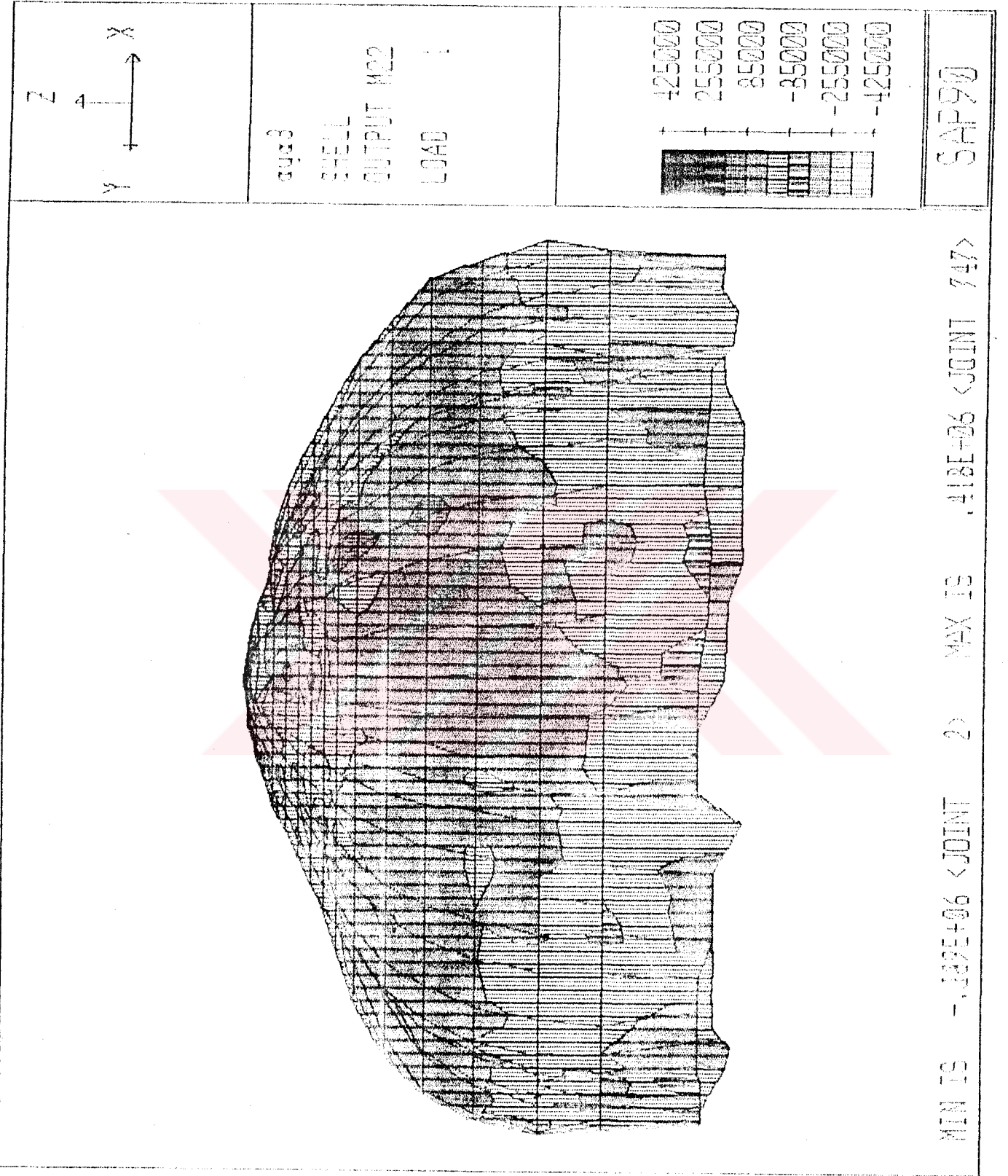
Şekil 4.2.24 Radyal Doğrultuda Oluşan Eğilme Momenti (Nm)



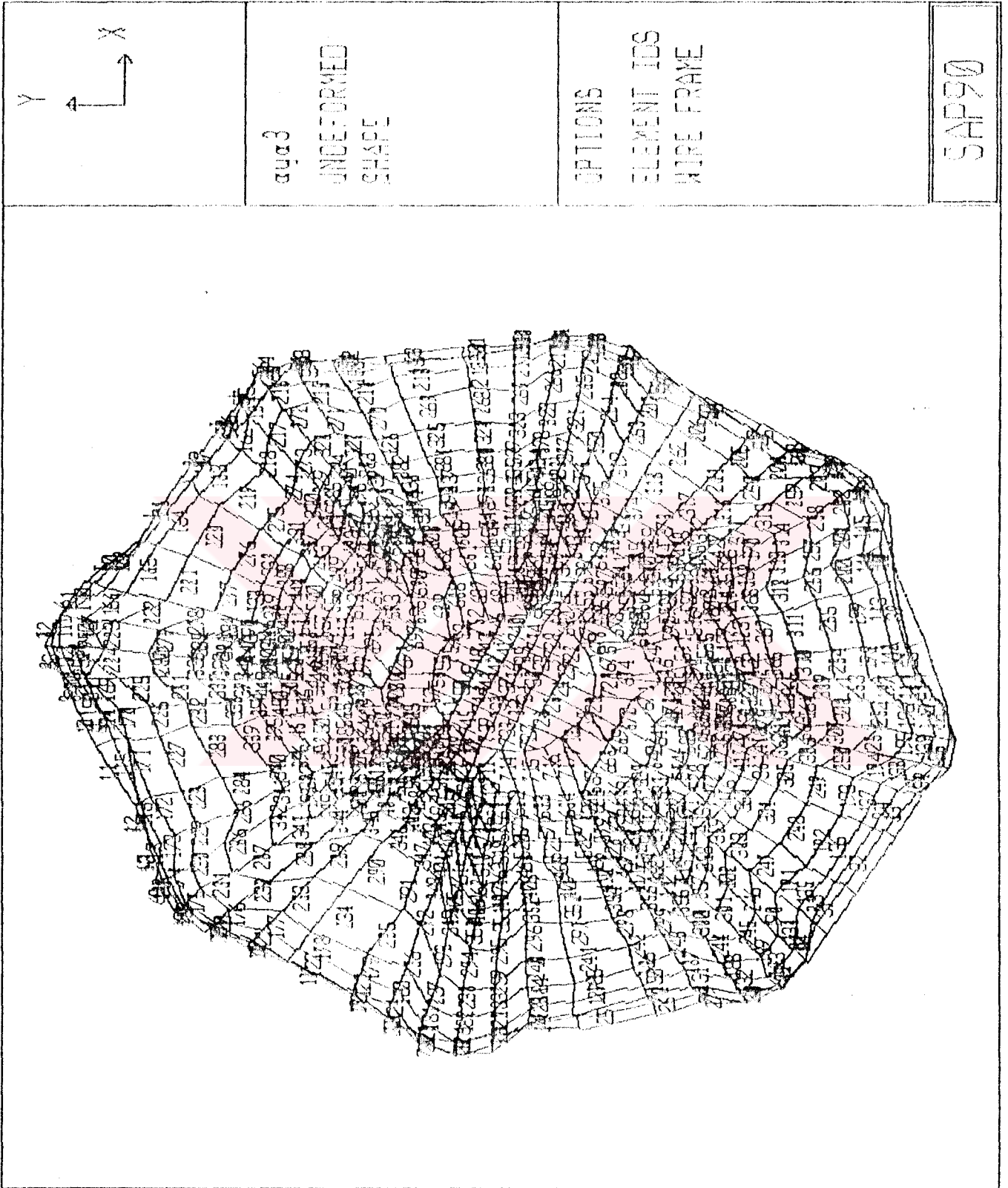
Şekil 4.2.27 Finit Eleman Doğrultuda Oluşan Eğilme Momenti (Nm)



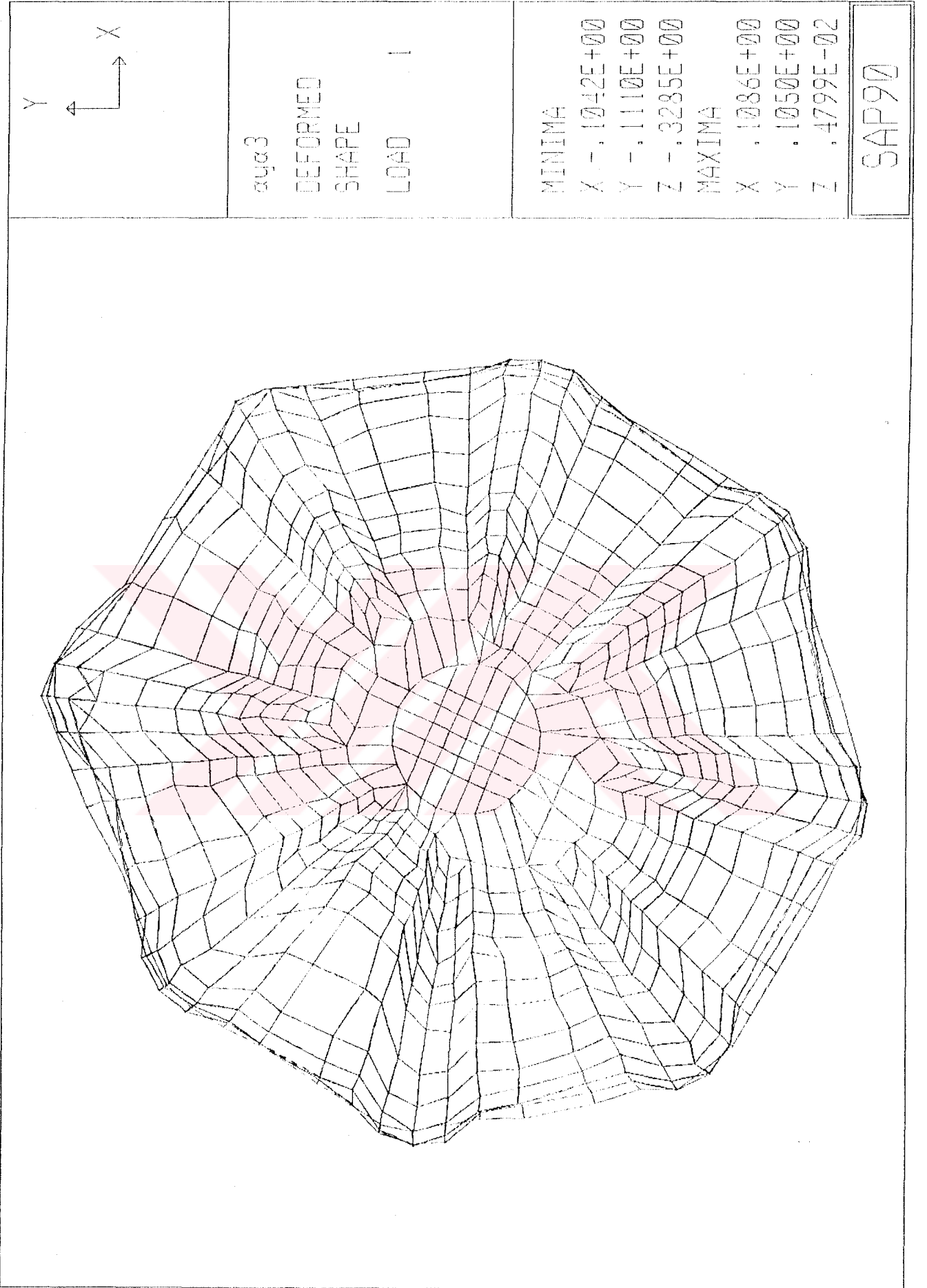
Şekil 4.2.29 Fıme Doğrultnda Oluşan Eğilme Momenti (Nm)



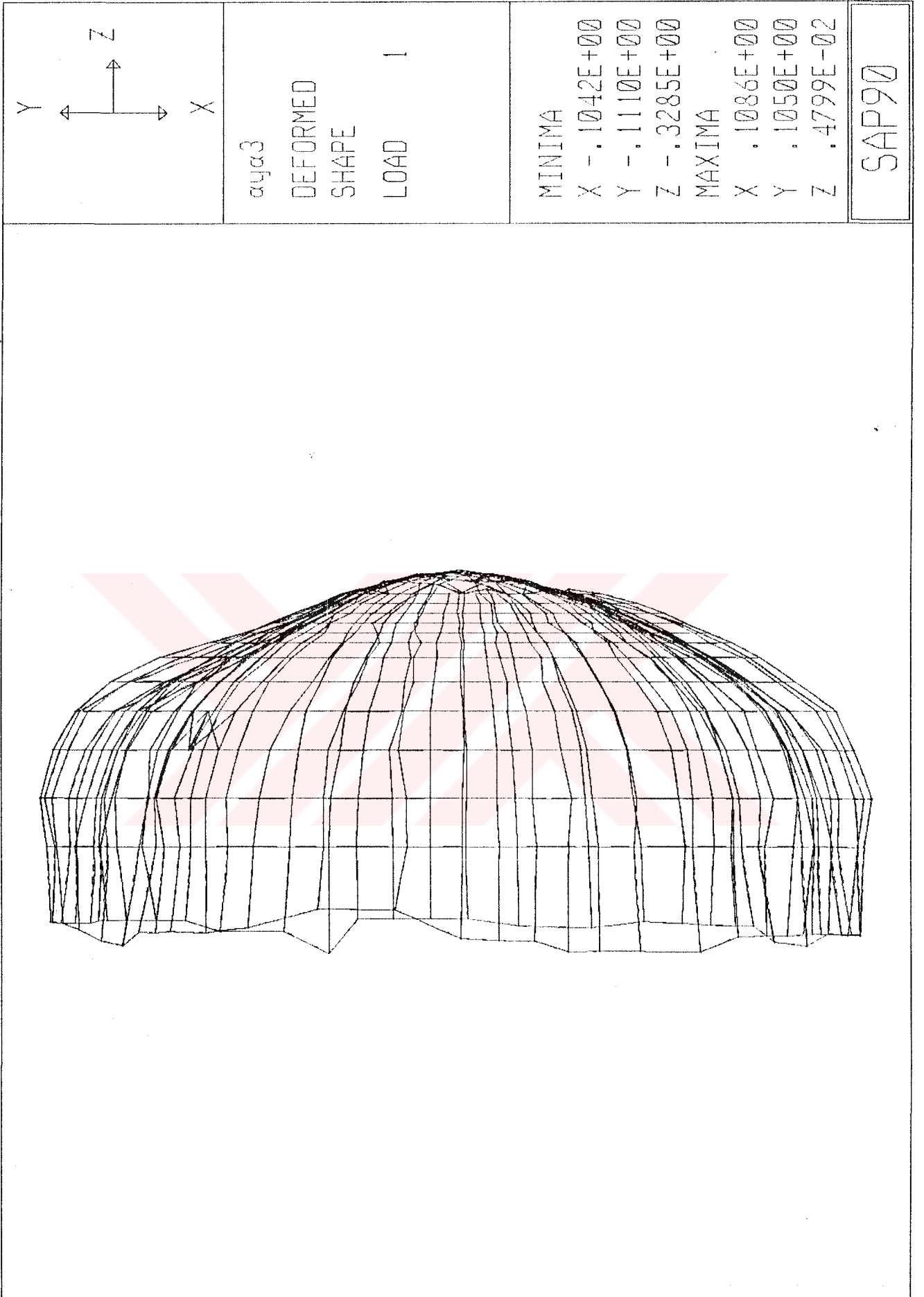
Şekil 4.2.30 Faine Doğrultuda Oluşan Eğilme Momenti (Nm)



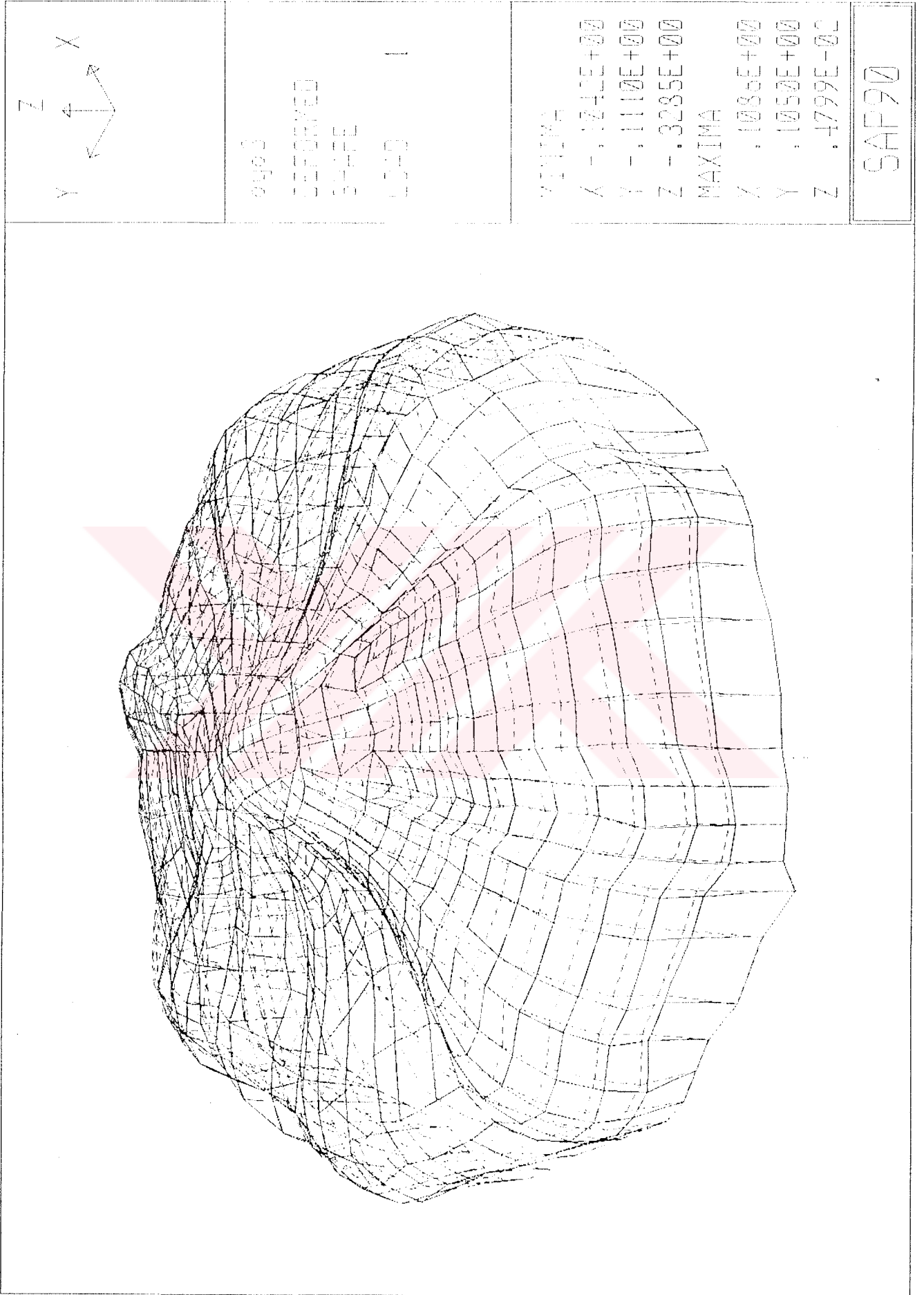
Şekil 4.2.31 Kubbenin Eleman Numaraları



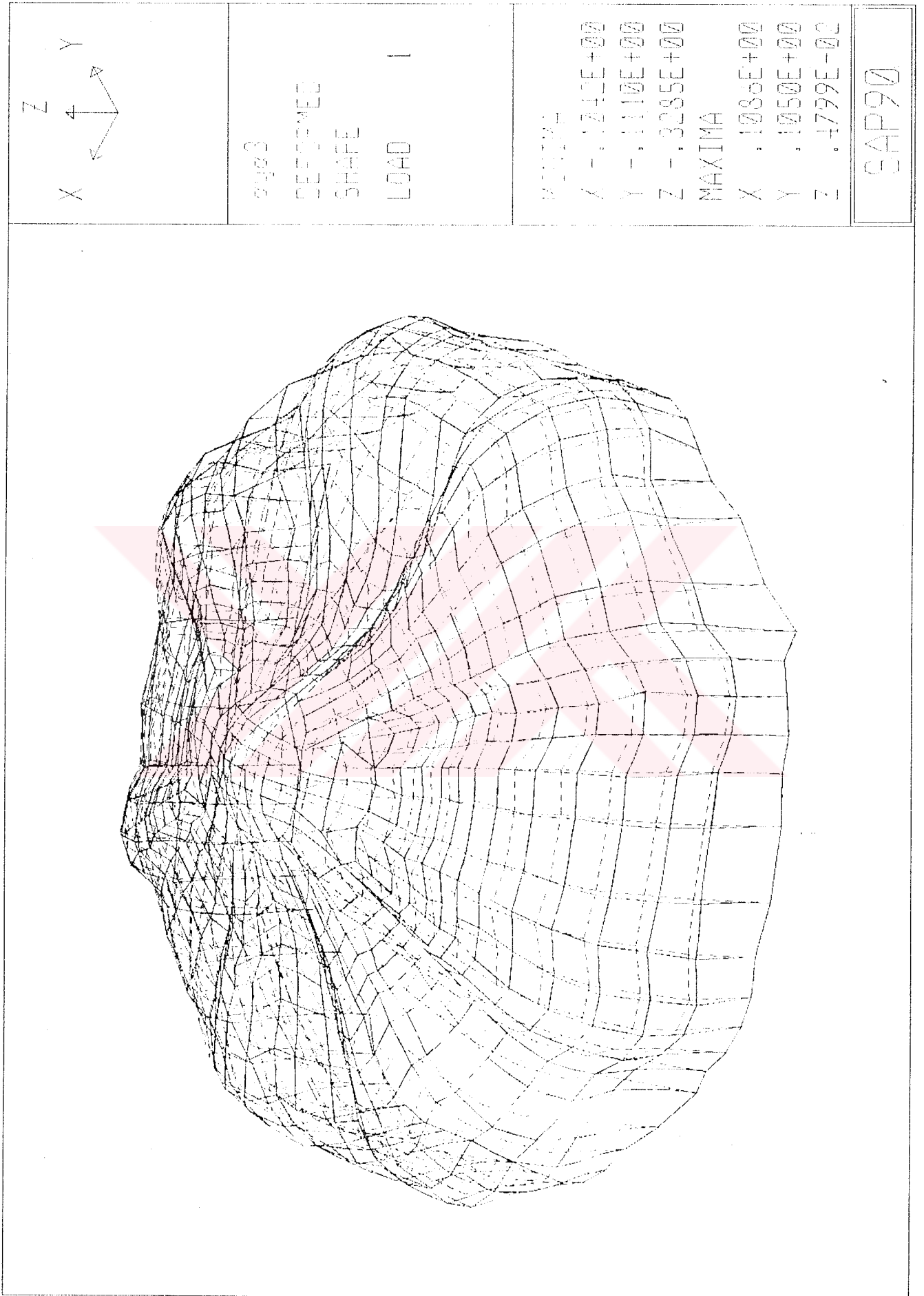
Şekil 4.2.32 Kubbenin Kendi Ağırlığı Altında Oluşan Deformasyon



Şekil 4.2.33 Kubbenin Kendi Ağırlığı Altında Deformasyonu



Şekil 4.2.35 Kubbenin Kendi Ağırlığı Altında Deformasyonu



Şekil 4.2.34 Kubbenin Kendi Ağırlığı Altında Deformasyonu

5.2 SONUÇ

Yapı şimdiye kadar çok sayıda onarımlar ve değişiklikler geçirmiştir (Ek 1). Bu değişiklikler, yapı malzemesinde bozulmalara ve yapının camiye çevrilmesi sırasında taşıyıcı sistemde yüklerin değişmesine etki etmiştir.

Küçük Ayasofya Cami kubbesi geometri yönünden ele alındığında, kabuğun oldukça akıllıca tasarlanmış olduğu söylenebilir. Silindir ve eliptik paraboloid parçalarının birarada kullanılmasıyla kubbenin geçebileceği açıklık artırılmıştır. Eliptik paraboloid parçaları kubbeye rijitlik kazandırmış ve silindir yüzeylerinin kullanılması kubbeye pencere açabilme özgürlüğünü getirmiştir (Kaynak 4). Bu formun kullanılmış olması yapıya olumsuz yönde etki eden faktörlere karşı yapının rijitliğini arttırmıştır.

Küçük Ayasofya Cami kubbesinde SAP 90 paket program yardımıyla yapılan statik analiz sonucu çıkan gerilmeler irdelenmiş bu gerilme değerlerinin çatlak oluşturabilecek nitelikte olduğu görülmüştür.

Kubbenin statik analizi sırasında kubbedeki mevcut çatlaklar, yapıda oluşan farklı oturmalar ve malzeme bozulmaları ihmal edilmesi nedeniyle gerilmeler çatlaklar ile birebir tutmamaktadır. Deformasyona etki eden parametrelerin fazla olması nedeniyle çözüm yapılırken yapının ilk yapıldığı form tasarlanamamıştır. Bugünkü, deforme olmuş kubbe modellenerek yapının kendi ağırlığı altında çözüm yapılmıştır. Elde edilen maksimum gerilmelerin bulunduğu yerler gelecekte yapının maruz kalacağı tehlikeli yerleri göstermektedir.

Küçük Ayasofya Cami'nde oluşan çatlaklar ana neden olarak zemin hareketleri (Kaynak 6) ve yapının ömrü boyunca geçirmiş olduğu deprem görülmektedir (Ek 3).

Zeminde yeraltı su seviyesinin değişmesi sonucu hareketler meydana gelmiştir. Küçük Ayasofya Cami çevresinde yerleşim bozukluğu, sonradan bilişsizce yapılan yapılar ve

yeraltı su seviyesindeki değişime neden olmuştur. Farklı çökme, tren titreşimlerinin dinamik etkileri ile birleştğinde bozulmayı hızlandırmaktadır (Kaynak 10).

Yapıda rutubetin çok fazla olması, yaz ve kış aylarında malzemelerin mekanik özelliklerinin değişmesi sonucu yapı malzemelerinde bozulmalar ve zayıflamalar olmaktadır.

Yeterli önlemler alınmadığı ve taşıyıcı sistem restorasyon çalışmaları yapılmadığı takdirde yapıdaki çatlaklar büyüyecek, yeni çatlak oluşacak ve yapı göçme durumuna gelecektir.



KAYNAKLAR

- [1]Aköz, F., Yüzer, N., "Investigation of Material Properties of Küçük Ayasofya Mosque - Sts. Sergius and Bacchus- of İstanbul". Int Conf on STREMA 95 Vol 1 s 163, 1995
- [2]Hendry, A. W. "Structural Masonry", Mac Millan Education Ltd., London, 1990
- [3]Molins C. "Characterization of the Mechanical Behaviour of Masonary", Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Yayınlanmamış makale,1996
- [4]Özşen, G., Bayram E., "Structural Evaluation of the Dome of Küçük Ayasofya -Sts Sergius and Bacchus- in İstanbul " Int Conf. on Structural Studies, Repairs and Maintance of Historical Building, Vol 1, s441, 1995
- [5]Özşen, G., Aköz F., Yüzer N., Özkaraman M., "Causes of the Cracks in Küçük Ayasofya Mosque -St. Sergius and Bacchus- in İstanbul", Int. Conf. on LSCE, Part III, s 705
- [6]Özaydın, K., Yıldırım, M: Küçük Ayasofya Camii Temel Zeminini İncelemeleri, Y.T.Ü İnş.Fak. Yayınlanmamış Rapor,1994
- [7]Page, A. W. "The Biaxial Compressive Strength of Brick Masonary" Proc. Instn Civ. Engrs, 71 893-906
- [8]Prokopios. "İstanbul'da Justinianus Döneminde Yapılar", 1. Kitap, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, 1994
- [9]Wilson, Edward L., and Habibullah, Ashraf "SAP90- A Series of Computer Program s for the Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures, Users Manual", Computer and Structures Inc., Berkeley, 1989
- [10]Yüzügüllü, Ö., Durukal, E.: The Effects of Train Traffic on Küçük Ayasofya Mosque, B. Ü. Deprem Mühendisliği Bölümü Yayınlanmamış Rapor,1994

EK 1

YAPININ GEÇİRDİĞİ DEĞİŞİKLİK VE ONARIMLAR

Küçük Ayasofya Cami eski adıyla St. Sergius ve Bacchus Kilisesi'nde ilk hasar ve buna bağlı olarak ilk onarım 9. y.y'daki İkonoklazm hareketleri sonrasında olmuştur. 1204 yılında Latin istilası sonrasında iç süslemelerin onarılması gerekmiştir.

İstanbul'un fethinden sonra 1504 yılında II. Beyazıt devrinde Kapu Ağası Hüseyin Ağa tarafından yapı camiye çevrilmiştir. Güneydoğuya minber, kuzeybatıya müezzin mahfili, dış kısmında da batı duvarı önünde son cemaat yeri olmak üzere camiye özgü bazı bölümler eklenmiş, Osmanlı mimarisinin özelliklerini yansıtan çok sayıda pencereler açılıp, mevcut pencereler kapatılmıştır.

Yapı 1758 yılında bir yangın geçirmiştir.

Yapının güneybatı köşesine esas yapıdan bağımsız olarak, Köse Bahir Mustafa Paşa tarafından 1762'de minare inşaa edilmiştir. İlk minarenin nasıl olduğu bilinmemektedir. Kaynaklarda 18. y.y'da Barok üslup özelliklerine sahip yeni bir minarenin yapıldığı belirtilmektedir. Bu Barok üsluptaki minarenin gövdesi sekizgen bir kürsüye oturtulmuş, gövde Barok profilli kemerlerin üzerine yükselip yukarıda bir bilezik kısmıyla şerefeye bağlanmıştır. Kurşun kaplı bir külâhı olan bu minare bilinmeyen bir nedenle 1940 yılında kürsüsüne kadar yıkılmıştır. Bir süre yıkık duran minare 1956 yılında şimdiki biçiminde yeniden inşaa edilmiştir.

1870-1871 yıllarında yapılmış olan tren yolu güney deniz surları ile yapı arasında, yapıdan yaklaşık 5m uzaklıkta inşaa edilmiştir. Zemin seviyesinden 1m yükseklikte bulunan demiryolu yaklaşık 50 yıl tek hat olarak hizmet vermiştir. Kaynaklarda belirtildiğine göre her tren geçişinde güney duvarlarının taşları döküldüğü için

1877'de Osmanlı örgü üslubuyla bir duvar örülmüştür. 20. y.y'ın başlarında demiryolu zemin seviyesinden 3m yükseltilerek çift hatlı hale getirilmiştir.

Balkan Savaşı sırasında savaştan kaçanlar tarafından barınma mekanı olarak kullanılan yapı Cumhuriyet döneminde 1937'de ve 1956'da olmak üzere iki büyük onarım geçirmiştir. Daha önce sıvalı ve badanalı olarak bilinen yapının cephesi bakım görmüş ve kubbe kasnağı dışında tüm cephede tuğla ve taş örgüleri görünür hale getirilmiştir.

Günümüzde cami olarak kullanılan yapının kuzeydoğu ve güneydoğu kısımlarında özellikle exedralarda yoğunlaşan çatlaklar bulunmaktadır. Bu çatlaklar kubbeden başlayıp exedralar üzerindeki yarım kubbelerden ve galeri tonozlarından geçip yapının dış duvarlarına kadar inmektedir.

EK 2

SAP 90 YAZILIMI

Bu çalışmada sonlu elemanlar modeli SAP 90 kullanılarak oluşturulmuştur. SAP 90 standart versiyonu statik analiz için 4000 düğüm noktası ve 10000 serbestlik derecesi ile sınırlıdır.

Sonlu elemanlar modelinin geometrisi, üç boyutlu global koordinat sistemi ile üç koordinat eksenini bileşenleri tarafından boşluktaki noktalar tanımlanır. Yapının davranışına ve tipine bağlı olarak elemanlar, daha önceden belirlenen düğüm noktaları vasıtasıyla yerleri belirlenen elemanlardan seçilir. Boşluktaki nokta, global X-, Y-, ve Z-, doğrultusuna ötelenir ve döndürülür. Bu altı yerdeğiştirme karşılık gelen noktaların serbestlik dereceleri olarak adlandırılır. Yapının karakteristiğine uygun olarak her noktanın serbestlik derecesi, sabit veya serbest olarak modellenir.

N serbestlik derecesi var ise, N tane stiffness matris formüle edilecek demektir.

SAP 90'da dört tip eleman tanımlanmıştır. Bunlar; FRAME (çerçeve elemanları), SHELL(kabuk), ASOLID (cisim olmayan) ve SOLID (cisim),

Bu çalışmada Küçük Ayasofya Cami'nin kubbesinin incelenmesi sebebiyle SHELL elemanı kullanılmıştır.

FRAME elemanı iki veya üç boyutlu çerçeve ve kafes sistemlerin modellenmesinde kullanılmaktadır. İki eksenli eğilme, burulma, eksenel şekil değiştirmeler ve iki eksenli kesme şekil değiştirmeleri 3 boyutlu kiriş-kolon modelleri için alınabilmektedir. Yükleme olarak model, düzgün yayılı yük, tekil yük, trapez yük, kendi ağırlığı ve termal yükler altında incelenebilmektedir.

SHELL elemanı üç boyutlu plak ve kabuk, iki ve üç boyutlu mambran sistemleri, iki/üç boyutlu plak eğilme sistemlerini modellemektedir. Shell elemanı dört nokta ile tanımlanır. isoparametrik mambran formülasyonu, elemanın düzlemine normal doğrultusundaki öteleme stiffness bileşenleri ve dönme stiffness bileşenlerini gözönüne almaktadır. Kayma şekil değiştirmeleri plak eğilme hesabında ihmal edilmiştir. Normal doğrultusundaki basınç yüklemeleri, termal ve kendi ağırlığında ileri gelen yük hesaba katılabilmektedir.

Üç boyutlu düzlem uzama, iki boyutlu düzlem gerilme ve üç boyutlu simetrik olmayan problemler ASOLID elemanlar ile modellenmektedir. Modellemede düzlemsel, isoparametrik, iki boyutlu elemanlar kullanılmaktadır. Termal, basınç ve kendi ağırlığı altında yükleme imkanı bulunmaktadır.

SOLID eleman, üç boyutlu isoparametrik elemanları modellemektedirler. Elemanlar, basınç, termal ve kendi ağırlığı altında yükleme yapılmaktadır.

Statik analizde, matris denklemi

$$K=U \times R \quad (E.2.1)$$

ile çözülmektedir.

K rijitlik matrisi

U yerdeğiştirme vektörü

R uygulanan yük vektörünü ifade etmektedir.

EK 3

İSTANBUL'DA MEYDANA GELEN DEPREMLER

- 24 Ağustos 358 İstanbul'da deprem hasar
- 2 Aralık 362 Henüz bitmiş olan Ayasofya'da hasar
396 İstanbul'da şiddetli deprem
- Haziran 402 İstanbul'da şiddetli deprem
- 1 Nisan 407 Tsunami dalgası gözlemlendi ve Bakırköy'de bir çok evde hasar meydana geldi.
412 Şehir duvarları hasar gördü.
- 6 Kasım 447 Depremden çok sayıda yapı hasar gördü ve şehir duvarların büyük bölümü yıkıldı.
- 25 Eylül 478 Önemli hasarlar meydana geldi, şehir iç duvarlarının bir kısmı daha göçtü.
- 16 Ağustos 542 Şiddetli deprem sonucu Constantine ve Arcadiud kiliseleri hasar gördü.
- 6 Eylül 543 Şiddetli deprem meydana geldi.
- 16 Ağustos 554 Çok sayıda yapı zarar gördü ve Ayasofya kemerlerinde hasar tespit edildi.
- 14 Aralık 557 Bir önceki depremde zarar gören Ayasofya Kilisesindeki kemer ile birlikte kubbenin bir kısmı göçtü.
- 26 Ekim 740 Şiddetli deprem sonrası Aya İrini Kilisesi ve şehir duvarları hasar gördü.
- 10 Nisan 861 Çok sayıda yapı zarar gördü.
- 9 Ocak 869 Çok sayıda yapı göçtü. Ayasofya bölgesel olarak göçtü.
- 25 Ekim 989 Şehir duvarları ve Ayasofya'da hasarlar görüldü.
- 1 Haziran 1296 Çok sayıda bina hasar gördü.
- 18 Ekim 1343 Çok sayıda bina hasar gördü. Tsunami dalgaları gözlemlendi.
- 6 Kasım 1344 Çok şiddetli bir deprem yaşandı. İstanbul felç oldu.

- 19 Mayıs 1346 Ayasofya'nın doğu tarafı göçtü.
- 16 Ocak 1489 Bir çok minare göçtü.
- 10 Eylül 1509 İstanbul'da en şiddetli depremlerden biri meydana geldi. Hemen hemen bütün binalar hasar gördü. Yaklaşık 1000 ev ve birçok cami göçtü. Ayasofya, Bayazıt, Fatih, Atık Ali Paşa, ve Davut Paşa camileri, Topkapı Sarayı, Galata Kulesi, Anadolu ve Rumeli ve şehir duvarları hasar gördü.
- 10 Mayıs 1556 Fatih Cami'nde hasar ve Ayasofya'da çatlaklar oluştu.
- 17 Şubat 1659 Süleymaniye Cami'nde hasar görüldü.
- 25 Nisan 1689 Hafif şiddette bir deprem yaşandı.
- 11 Temmuz 1690 Bazı yapılar hasar gördü.
- 25 Mayıs 1719 40 cami ve 27 kule hasar gördü.
- 2 Eylül 1754 Çok sayıda bina hasar gördü. Üsküdar taraflarında deprem daha şiddetli olarak yaşandı.
- 22 Mayıs 1766 Çok sayıda cami, bina hasarlar meydana geldi.
- 10 Temmuz 1894 Çok şiddetli bir deprem yaşandı. Kapalıçarşı, Eminönü, Fatih ve Yeşilköyde ciddi hasarlar meydana geldi.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 12 Mayıs 1972
Doğum Yeri : Bursa
Eğitim : 1983-1989 Bursa Çelebi Mehmet Lisesi
: 1989-1994 Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü