



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

34751

ANADOLU SELÇUKLU MİMARİSİNDE KEMERLERİN ANALİTİK İNCELENMESİ



Mimar Mine ÖZKARAMAN

F.B. E. Mimarlık Anabilim Dalında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Görün ÖZŞEN

İSTANBUL, 1994

Bu çalışmada yardımlarını
esirgemeyen Doç.Dr. Sayın
Nafiz amlıbel'e ve İnş.
Yük. Müh. Sayın Zafer Kütüė'e
teřekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....
İNGİLİZCE ÖZET.....
1. GİRİŞ.....	1
2. KEMERLERİN TARİHSEL SÜREÇ İÇİNDEKİ GELİŞİMİ.....	3
2.1. Anadolu Selçuklu Devri Öncesinde Kemerlerin Konumu.....	4
2.2. Kemerlerin Anadolu Selçuklu Mimarlığı'ndaki Konumu.....	6
2.3. Anadolu Selçuklu Kemerinin İlk Osmanlı Mimarisine olan Etkileri (Fetih Öncesinde).....	9
2.4. Osmanlı Mimarlığı'nda Kemerin Konumu.....	9
3. GELENEKSEL KEMER GEOMETRİSİNİN STRÜKTÜREL DAVRANIŞA ETKİSİ.....	11
3.1. Kemerlerin Sınıflandırılması.....	11
3.1.1. Kemer Görünüşlerine göre İsimlendirme.....	11
3.1.2. Kemer Geometrisine göre Sınıflandırma.....	14
3.2. Kemerlere Etkiyen Yükler.....	17
3.3. Kemerlerin Yükler Altındaki Strüktürel Davranışı.....	27
3.3.1. Gerilme.....	27
3.3.2. Burkulma.....	30
4. ANADOLU SELÇUKLU MİMARLIĞI'NDA KEMERLERİN STRÜKTÜREL DURUMU.....	32
4.1. KONYA İNCE MİNARELİ MEDRESE.....	34

4.2. KONYA SAHİPATA HANİKAHI.....	40
4.3. DİVRİĞİ ULU CAMİİ.....	45
5. SONUÇ.....	55
KAYNAKLAR	57



SUMMARY

The needs of people to live in large spaced closed areas were first accomplished by the developments of the arches. In this work the historical evolution of arches are searched and besides the classification according to their form, a new classification according to their geometry is proposed. The behavior of the arches to the imposed loads are investigated in some of the arches of the buildings of Anatolian Seljuk's Era; Medresse of Thin Minaret and Hanigah of Sahipata in Konya and Ulu Mosque in Divriği.

ÖZET

İnsanların büyük açıklıklı mekanlarda olma isteğinin yapı tasarımına etkilerinin ilk uygulaması kemerlerdir. Bu çalışmada kemerlerin tarihsel süreç içindeki gelişimi araştırılmış bilinen biçimlerine göre sınıflandırılmasının yanında kemerlerin geometrisine göre yeni bir sınıflandırılma yapılmıştır. Kemerlere etkiyen yükler ve bu yükler altındaki kemer davranışı Anadolu Selçuklu devri yapılarından Konya İnce Minareli Medrese, Sahipata Hanikahı ve Divriği Ulu Camii örneklerindeki bazı kemerlerde incelenmiştir.

1. GİRİŞ

Mimarlık tarihi incelendiğinde insanların daha büyük açıklıklı mekanlarda olma isteğinin yapı tasarımını etkilediği gözlenir. Bu amaç doğrultusunda duvar yüzeylerinde büyük boşluklar elde etmek amacıyla yapılan ilk uygulamalar kemerlerdir. Eski Mısır'da ve Anadolu'da ilk örneklerine rastlanan kemerler bugün büyük açıklıklı mekan tasarımı için kullanılan sistemlerin kaynağıdır. Tarihi yapıların yapım şekli olan yığma yapıda kemerlerin ötelenmesiyle tonoz, dönel kullanılmasıyla da kubbe elde edilmiştir. Anadolu'da bu üç sistemin pek çok örneği bulunmaktadır.

Anadolu Selçuklu devrinde ve sonrasında hemen her yapıda bir kemere rastlanmaktadır. Bu kemerler bazen bir kapı yada pencere, bazen de bir kubbeyi yada eyvanı destekleyen bir elemandır.

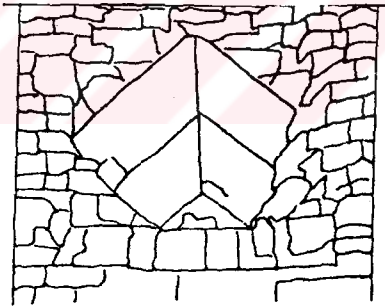
Pek çok tarihi yapının bulunduğu Anadolu'da bu yapıların restorasyonu için strüktürel analizlerinin yapılması gerekmektedir. Kemerler strüktürel gelişmenin ilk formu olduğu için öncelikle taşıyıcı eleman olarak özelliklerinin bilinmelidir. Bir kemeri meydana getiren eğrinin fonksiyonunun bilinmesi, yükler altında elemanda meydana gelecek gerilmelerin bulunmasını sağlar. Bunun anlamı da olası bir yükleme ile sistemin herhangi bir noktasında meydana gelecek tepkinin ve buna bağlı hasarın bilinmesidir. Elemanın zayıf yada üstün yönlerinin önceden bilinmesi halinde restorasyonlar sırasında gerekli

önlemler alınabilir.

Yapılan bu çalışmanın amacı geleneksel kemer geometrisinin strüktürel davranışa olan etkilerini incelemektir. Ancak tarih boyunca kemerlerin kullanımı ve bugün ayakta olan örnekleri büyük bir zaman dilimini kapsamaktadır. Bu nedenle bu çalışma belli dönemlerde hasarlara uğramış ve onarımlar görmüş olan Anadolu Selçuklu Mimarlığı örneklerinden Konya İnce Minareli Medrese ve Sahipata Hanikahı ile Divriği Ulu caminin onbir kemeri ile sınırlandırılmıştır. Bu onbir kemerin analitik incelemesini yapabilmek için öncelikle formlarına göre yapılmış olan sınıflandırılmasından yola çıkılarak geometriye göre yeni bir sınıflandırma yapılmış ve kemerlerin geometrilerine göre yükler altındaki durumları belirlenmiştir. Seçilen örneklerde meydana gelen gerilmeler ve bunların güvenlikleri yapılan bu ön çalışmalar doğrultusunda incelenmiştir.

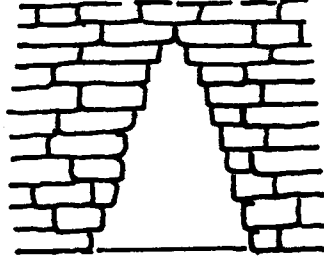
2. KEMERLERİN TARİHSEL SÜREÇ İÇİNDEKİ GELİŞİMİ

Tarihsel süreç içinde kullanılan yapı malzemelerinin ahşap, taş ve toprak olduğu gözönüne alınırsa yapıdaki açıklıkların bu malzeme boyutlarına bağlı olduğu görülür. Yığma yapı duvarlarında boşluk oluşturmak için doğrusal elemanların yetersiz kaldığı durumlarda kemerler kullanılmıştır. Ancak bugünkü anlamda kemer formuna gelene kadar pekçok çözüm üretilmiştir. Bulunan ilk çözüm doğrusal iki elemanın ters " V " şeklinde kullanılması olmuştur. Bunun ilk örneklerine M.Ö. 2700 - 2250 yılları arasında Mısır'daki Keops piramitinde rastlanmaktadır (şekil 2.1).



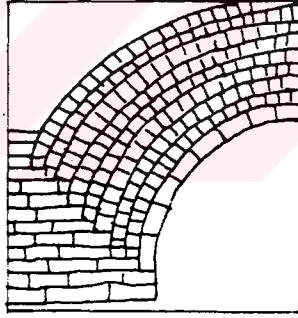
Şekil 2.1

Ters " V " şeklinde geçilen açıklıklar yetersiz kaldığında blokların birbiri üzerinde yatay doğrultuda kaydırılmasıyla elde edilen "bindirme kemer " olarak bilinen şekil elde edilmiştir (şekil 2.2).



Şekil 2.2

Bugünkü anlamda kemer olarak tanımlanan sistemin ilk örneği tuğladan inşa edilmiş olarak M.Ö. 2100-1700 yılları arasında Mısır Uygarlığı'na başkentlik yapmış olan Teb şehrinde bulunmaktadır (şekil 2.3).

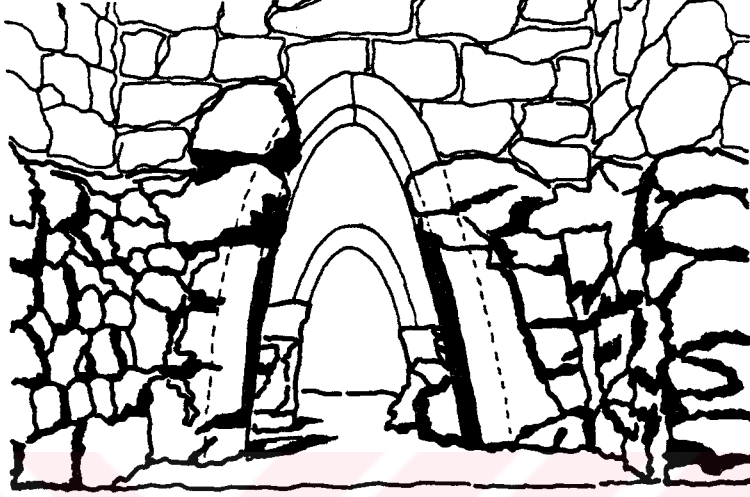


Şekil 2.3

2.1. ANADOLU SELÇUKLU DEVRİ ÖNCESİNDE KEMERİN KONUMU

M.Ö. XIII-XIV yüzyıla tarihlenen Hitit Uygarlığı'nın başkenti Boğazköy'ün girişinde bulunan "Kral Kapısı" Anadolu'daki en eski kemer örneğidir. Eğriliği kapının eşiğinden başlayan parabol biçimli bu kemer altı adet büyük taşın bir yüzlerinin eğrisel hale getirilip üstüste

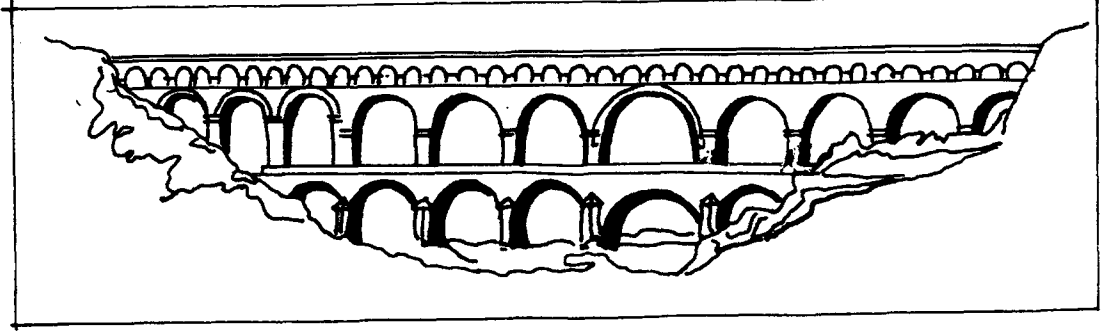
dizilmesiyle oluşturulmuştur (şekil 2.4).



Şekil 2.4

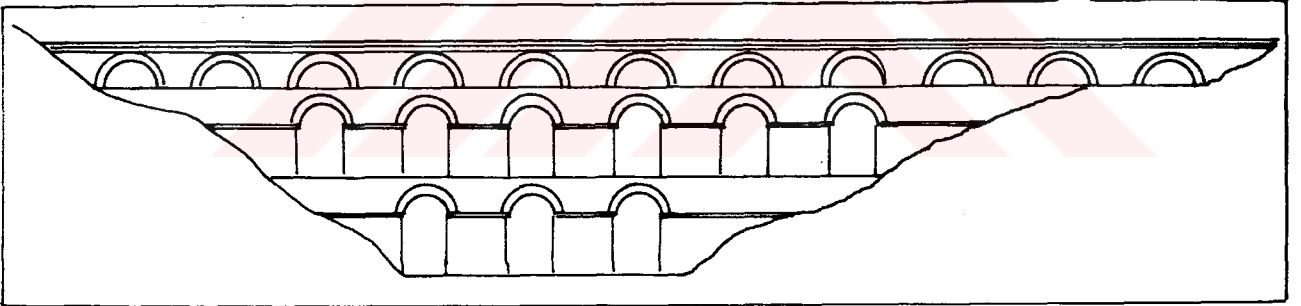
M.Ö. 600 - 30 yılları arasında Anadolu'da bulunan Yunanlılar hakimiyetleri altındaki Mısır ve Mezopotamya'dan öğrendikleri kemer yerine kolon ve kiriş kullanmışlardır.

M.Ö. 133'te Anadolu'ya hakim olan Roma İmparatorluğu'nda ise açıklıkları geçmek için kemer, açıklıkları örtmek için de tonoz ile kubbe yaygın olarak kullanılmıştır. Genellikle taş malzemenin kullanıldığı Roma kemerleri yarım daire biçimli olup su kemerlerinde ve yapıda kapı, pencere ve kubbeyi taşıyan elemanlar olarak kullanılmıştır (şekil 2.5).



Şekil 2.5

M.S. 337'de doğu ve batı olmak üzere ikiye ayrılan Roma İmparatorluğu'nun daha sonra Bizans adını alan Doğu Roma İmparatorluğu döneminde yapılan kemerler Anadolu Selçuklu dönemi için önemli kaynak olmuştur (şekil 2.6).



Şekil 2.6

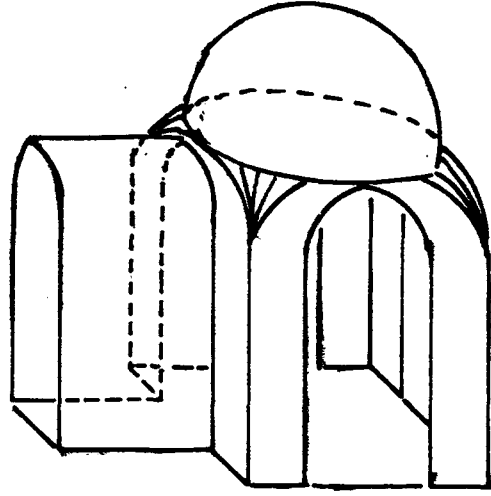
2.2. KEMERLERİN ANADOLU SELÇUKLU MİMARLIĞI'NDAKİ KONUMU VE GELİŞİMİ

1071'de Anadolu'ya giren Selçuklular ancak XII. yüzyılda Anadolu'yu tamamen ele geçirmişlerdir. Arada kalan bu iki yüzyıllık dönemde ise Selçuklularla birlikte Anadolu'ya gelen 1092-1178 arasında Sivas, Kayseri, Malatya'

da Danişmentliler, 1098-1234 arasında Hasan Keyf, Mardin, Harput ve Diyarbakır'da Artuklular, 1092-1202 arasında Erzurum'da Saltuklular, 1118-1252 arasında Erzincan, Kermah, Şebinkarahisar ve Divrik'te Mengüçükler gibi Türkmen Devletleri ilk mimari eserleri meydana getirmişlerdir.

XII. yüzyıla kadar olan bu ara dönemde Türkmen Devletlerinin eserlerinde Asya'dan getirdikleri Büyük Selçuklu Devletinin mimari etkileri görülmektedir. Bu dönemde yapı malzemesi olarak cephede taş, çatı örtülerinde ise tuğla kullanılmış kare planlı mekanların üstü tromplarla desteklenen kubbelerle örtülmüştür. Daha sonra bu basit şemanın büyütülmesi amacıyla kare plan kenarlarında büyük kemerler açılarak üzeri tonozlarla örtülü hacimler eklenmiştir. Bu döneme ait kemerler genelde daire yaylarının kesişmesiyle oluşmuş sivri kemerlerdir (şekil 2.7).

XII. yüzyıldan itibaren bu Türkmen Devletleri Anadolu Selçuklu Devleti'nin hakimiyeti altına girmişlerdir. Anadolu Selçuklu mimarları çok iyi bildikleri Büyük Selçuklu Devri şema ve formları yerine yeni denemeler yapmışlar, ortamda taş malzeme yoğun olmasına rağmen tuğla kullanarak yaklaşık 10 metre açıklıklı kemerler inşa etmişlerdir. Türkmen Devletleri döneminde olduğu gibi bu kemerler de sivri kemer biçimindedir, zaten tuğla malzeme ile bu açıklıkları geçmek ancak kemeri sivrileştirerek mümkün olmaktadır.



Şekil 2.7

Anadolu Selçuklu mimarisinde sütun yerine ayaklar kullanılmıştır. Sütunlara ancak kapı, pencere ve eyvan kenarlarında süs olarak rastlanır. Kemerler ve kubbeler kalın, dörtköşe ayaklar üzerine oturtulmuştur. Kubbeler genellikle sivri kemer şeklinde olup tromplar üzerine oturur. Bazı kubbelerde içeriye ışık ve hava vermek için tepede delikler bırakılmıştır. Bu dönemin bir başka özelliği de cephede, hemen hemen tüm bina yüksekliğinde yapılan Ön Asya binalarında görülen " Serder " denilen kemerli büyük taç kapılardır.

Anadolu Selçukluları XIII. yüzyılın son yarısına kadar İlhanlıların baskısına rağmen çok önemli mimari eserler vermişlerdir. 1308'de Anadolu'daki hakimiyetlerini tamamen kaybeden Anadolu Selçukluları'nın yerine XIV. yüzyılda Türkmen Beylikleri bağımsızlıklarını ilan edip yirmiden fazla küçük devlet kurmuşlardır.

2.3. ANADOLU SELÇUKLU KEMERİNİN İLK OSMANLI MİMARİSİNE OLAN ETKİLERİ (FETİH ÖNCESİNDE)

XIV. yüzyılın sonunda İlhanlı baskısı giderek gücünü kaybederken Osmanlılar güçlenerek diğer tüm beylikleri biraraya getirip Anadolu Birliği'ni yeniden kurarlar. Bu dönemde amaçları Anadolu'yu hakimiyetleri altına alıp sınırlarını genişletmek olan Osmanlılar mimariye pek önem vermemiş sadece Osmanlı - Bizans sınırını belirleyen yapılar yapmışlardır.

Osmanlılar işgal ettikleri yerlerdeki halka serbestçe yaşama ve çalışma hakkı verdikleri için buralardaki sanatkarlardan ve ustalardan faydalanmışlardır. Bu nedenle sınırı belirleyen bu yapılarda Türkistan ve Selçuklu mimarisinin özellikleri bulunmaktadır. Kubbeler doğrudan tromplara oturtulmuş ve sütun yerine ayaklar kullanılmıştır. Minareler de Selçuklulardakinden daha sadedir.

2.4. OSMANLI MİMARLIĞINDA KEMERİN KONUMU

Osmanlı mimarlığının 1453'te İstanbul'un fethinden sonra başladığı kabul edilir. Ancak 1501'de Edirne'deki Üç Şerefeli Camii ve İstanbul'daki Beyazıt Camii'nin inşasına kadar olan dönemdeki Osmanlı yapılarında Anadolu Selçuklu mimarlığının etkisi devam eder. Bu iki camii'nin inşaatıyla birlikte mimari özellikler değişmeye başlar. Kubbe artık kasnak üzerine oturmakta ve bu kasnak baklavalı yada mukarnaslı sütunlarla desteklenmektedir.

Kubbeyi taşıyan asıl kemerler ise büyük sütunlara oturmuş oranları da güzelleştirilmiştir. Bir başka özellik te yarım kubbeler ile orta alanın genişletilmesidir.

Osmanlı mimarlığının daha sonraki dönemlerinde mimari özelliklerde fazla bir gelişme olmamış sadece Avrupa'daki sanatsal akımlara paralel olarak süslemede değişiklikler yapılmıştır.



3. GELENEKSEL KEMER GEOMETRİSİNİN STRÜKTÜREL DAVRANIŞA OLAN ETKİSİ

3.1. KEMERLERİN SINIFLANDIRILMASI

Bugüne kadar kemer konusunda yapılan tüm isimlendirmeler kemer görünümlerine göre yapılmış, kemerleri tanımlamak için sepet kulpu, atnalı, mızrak ucu gibi birtakım benzetmelerden yararlanılmıştır. Ancak kemerleri geometrik özelliklerine göre de sınıflandırmak mümkündür.

3.1.1. KEMER GÖRÜNÜŞLERİNE GÖRE İSİMLENDİRME

ABANIK KEMER ; Üzengi taşları yani mesnetleri düzlemlerde bulunan kemerlerdir (şekil 3.1.a).

ARMUDİ KEMER ; Eğriselliği armudi biçimde olan kemerlerdir (şekil 3.1.b).

ATNALI KEMER ; Daire veya elips gibi kapalı eğri-lerden oluşan atnalı biçimindeki kemerdir. Endülüs Emevi mimarlığında yaygın olarak kullanılmıştır (şekil 3.1.c).

BEŞİK KEMER ; Yarım daire biçimli kemere verilen isimdir (şekil 3.1.d).

BURSA KEMERİ ; Osmanlı mimarlığında İstanbul'un fethi öncesindeki dönemde kullanılan bir şeklidir. Yan kısımları dörtte bir dairelerden tepesi ise doğru parçasından oluşmuş karma kemerlerdir (şekil 3.1.e).

ÇATMA KEMER ; Doğrusal iki elemanın ters " V " şeklinde kullanıldığı kemer şeklidir (şekil 3.1.f).

DİLİMLİ KEMER ; Bir eğri üzerinde ardaşık dizilmiş çok sayıda eğri parçasından oluşan kemerdir. Baburoğulları dönemi Hint-İslam mimarlığında, Kuzey Afrika ve Suriye İslam mimarlığında kullanılmıştır (şekil 3.1.g, h).

KAŞ KEMER ; Dört eğri parçasından oluşan kemerdir. Bu eğrilerin ikisinin merkezi kemer yayının içinde, ikisinin merkezi ise kemer yayının dışında bulunur (şekil 3.1.i).

KÖŞELİ KEMER ; Eğriler yerine birbirine belli bir açıyla birleştirilmiş doğrulardan oluşan kemerlerdir (şekil 3.1.j).

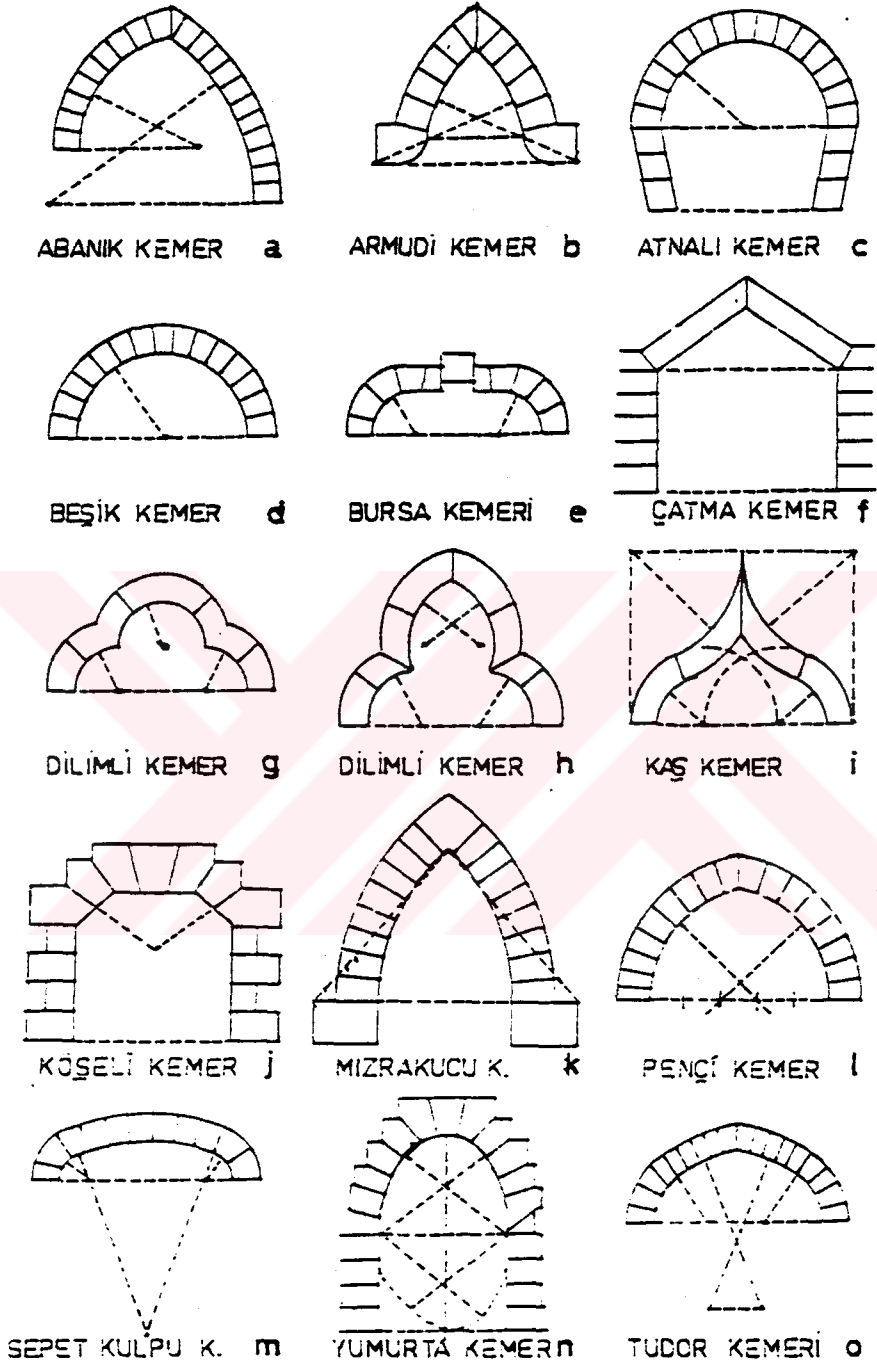
MIZRAKUCU KEMER ; Mızrakların ucundaki temren kısmı biçiminde, iki tarafı şişkince ve tepesi sivri bir çeşit sivri kemerdir (şekil 3.1.k).

PENÇİ KEMER ; Kemerin üzengi hattı beş eşit parçaya bölünür ve kemer eğrisi bölme noktalarından sadece ortadaki ikisi merkez alınarak oluşturulur. Osmanlı mimarlığında kullanılan bu kemer Türk kemeri ve beşlik kemer olarak ta bilinir (şekil 3.1.l).

SEPET KULPU KEMER ; Yarım elips biçiminde bir tür basık kemer olup çok merkezli kemer olarak ta bilinir (şekil 3.1.m).

YUMURTA KEMER ; Yumurtaya benzer bir eğriden oluşan kemerdir. Eliptik ve oval kemer olarak ta bilinir (şekil 3.1.n).

TUDOR KEMERİ ; Tudor hanedanı zamanında İngiltere'de kullanılan Geç Gotik dönemine özgü çok basık bir tür sivri kemerdir (şekil 3.1.o).



Şekil 3.1

3.1.2. KEMER GEOMETRİSİNE GÖRE SINIFLANDIRMA

Bu çalışmada kemerlerin geometrilerine göre şu şekilde sınıflandırılması önerilmektedir;

* Doğrusal formlu kemerler

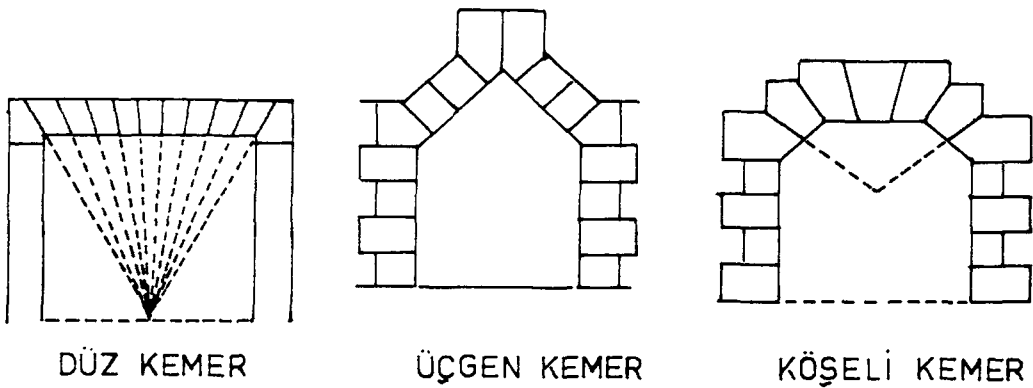
- Düz
- Üçgen
- Köşeli

* Eğrisel formlu kemerler

- Tek eğrilikli
- Çok eğrilikli

* Karma kemerler

Eğrisel olmayan kemerler düz, üçgen ve köşeli olmak üzere üç şekilde uygulanmıştır (şekil 3.2).



Şekil 3.2

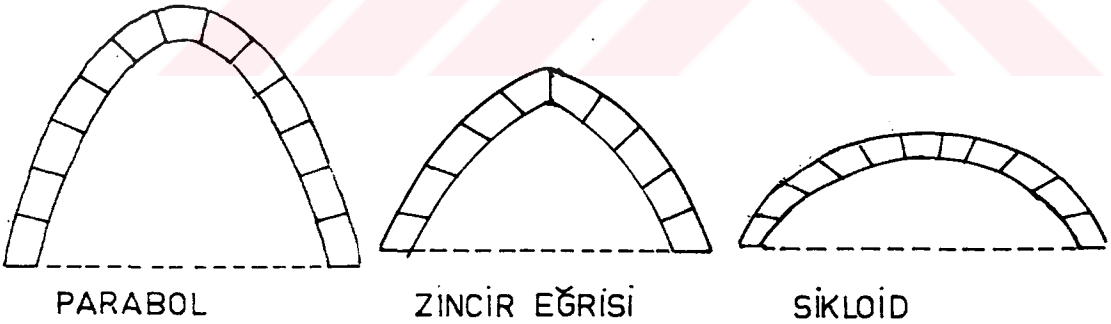
Düz kemerler genellikle kapı ve pencere açıklıklarında kullanılır, taşların kaymasını önlemek amacıyla geçmeli olarak yapılırlar.

Üçgen kemerlere pek sık rastlanmaz. Genellikle küçük açıklıkları oluşturmak için kullanılan dar açılı kemerlerdir.

Köşeli kemerler ise düz ve üçgen kemer özelliklerinin birarada kullanıldığı kemerlerdir.

Eğrisel kemerler tek yada karmaşık eğrilikle oluşturulurlar.

Tek eğrilikli kemerlerin profili daire, elips, parabol, sikloid, zincir eğrisi gibi tek bir eğri yayından oluşur (şekil 3.3).

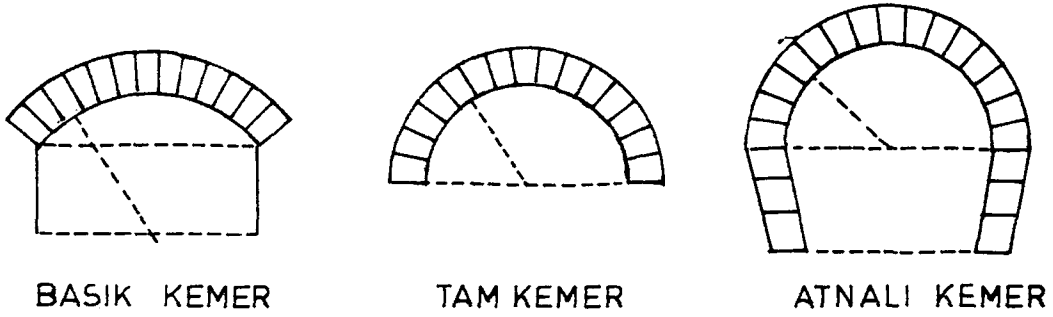


Şekil 3.3

Elips ve daire gibi kapalı eğrilerden oluşmuş kemerler eğrinin kesim düzlemlerine göre basık, tam ve atnalı gibi isimler alırlar (şekil 3.4).

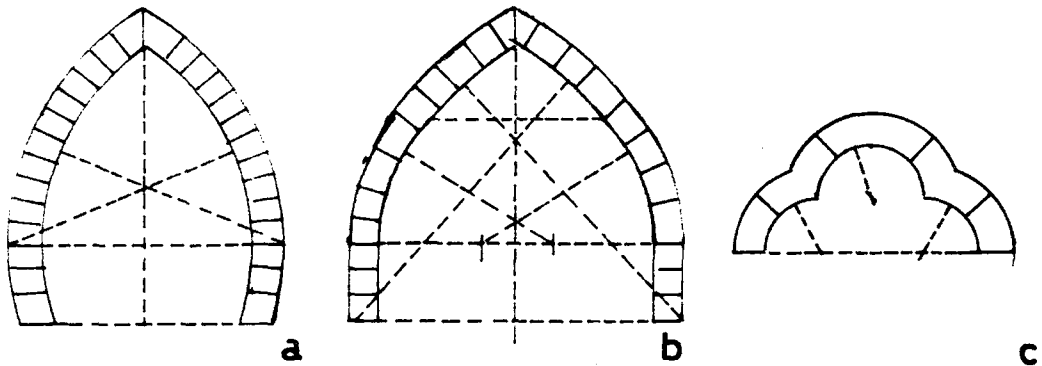
Çok eğrilikli kemerler yukarıda sözü edilen eğrilerin birarada kullanılmasıyla oluşturulurlar. Eğrilik

merkezleri aynı yada farklı yönde olmak üzere iki grupta incelenebilirler.



Şekil 3.4

Eğrilik merkezleri aynı yönde kemerler iki merkezli sivri, dört merkezli sivri, çok merkezli dilimli olarak uygulanırlar (Şekil 3.5).



Şekil 3.5

İki merkezli sivri profilli kemerler merkezleri aynı yatay düzlem üzerinde farklı noktalarda bulunan iki eğrinin kesiştirilmesiyle oluşturulur (Şekil 3.5.a).

Dört merkezli sivri profilli kemerler merkezleri

ikişer ikişer aynı yatay düzlem içinde fakat farklı noktalarda bulunan farklı eğrilerin kesiştirilmesiyle oluşturulur (şekil 3.5.b).

Çok merkezli dilimli kemerler ise bir eğrinin yan yana tekrar edilmesiyle oluşturulur (şekil 3.5.c).

Eğrilik merkezleri farklı yönde kemerleri oluşturan eğrilerin merkezlerinin bir kısmı kemer iç bölgesinde bir kısmı da kemer dış bölgesinde bulunur. Bu nedenle kemer içbükey ve dışbükey eğrilerin bir arada kullanılmasıyla oluşturulur. Bu kemerler armudi kemer, kaş kemer gibi isimlerle de bilinirler (şekil 3.1.b, i).

Karma kemerler eğri yayları ve bu yaylara teğet doğruların kesiştirilmesiyle oluşturulurlar. Bursa kemeri, teğetli kemer gibi şekilleri vardır (şekil 3.1.e).

3.2. KEMERLERE ETKİYEN YÜKLER

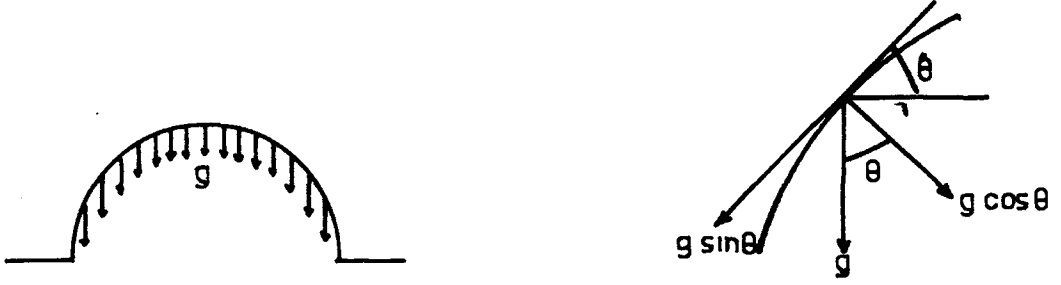
Bir kemere etkiyen yükler kemerin özağırlığı ve üst yapıdan gelen yükler olmak üzere iki türdür.

* Kemerin Özağırlığı ; Kemerin kendi ağırlığıdır ve malzemeye bağlıdır. Birim alana gelen düşey kuvvetler olarak ele alınır. Kemer tarafından mesnetlere iletilen bileşenlerin hesaplanabilmesi için eğrinin fonksiyonun ve buna bağlı olarak eğrinin düşeyle yaptığı θ açısının bilinmesi gerekir. Eğer θ açısı biliniyorsa şu bağıntılarla bileşenler hesaplanabilir (şekil 3.6)

$$P_1 = g \sin \theta \quad (3.1)$$

$$P_2 = g \cos \theta \quad (3.2)$$

Burada g malzemenin öz ağırlığıdır.

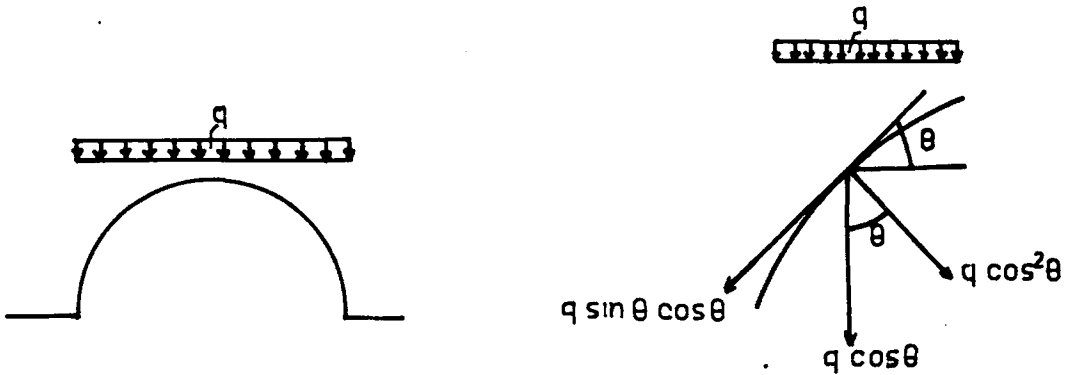


Şekil 3.6

* Üst yapıdan gelen yüklerin düzgün yayıllı yük olarak etkidiği kabul edilir. Buna göre yayıllı yük miktarı q , düşey yük miktarı ise $q \cos \theta$ olduğundan yük bileşenleri şu bağıntılarla hesaplanır (Şekil 3.7)

$$P_1 = q \sin \theta \cos \theta \quad (3.3)$$

$$P_2 = q \cos \theta \quad (3.4)$$

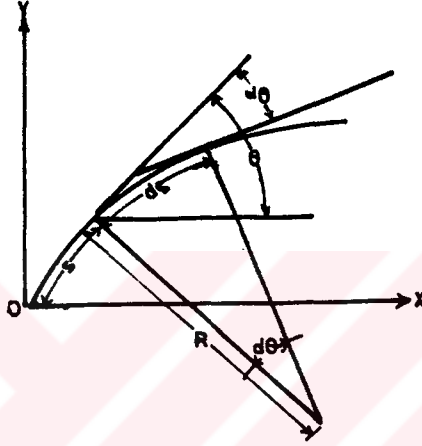


Şekil 3. 7

Herhangi bir eğrinin eğrilik yarıçapı; R ve bu

eğrinin teğetinin yatayla yaptığı açısı; θ kabul edilirse (şekil 3.8) daire, parabol, sikloid ve zincir eğrileri için şu bağıntı elde edilir;

$$R = r \cdot \cos \theta \quad (3.5)$$



Şekil 3.8

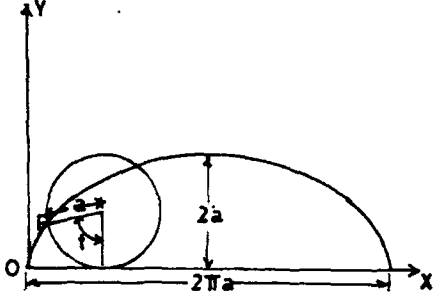
Bu bağıntıda eğri türlerine göre alınan n değerleri şunlardır;

Daire için	$n = 0$
Sikloid için	$n = 1$
Zincir eğrisi için	$n = - 2$
Parabol için	$n = - 3$

Eğrilik yarıçapı bu genel denklemlerle bulunamayan elips içinde şu denklem kullanılır;

$$R = \frac{- a^2 b^2}{(a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos \theta)} \quad (3.6)$$

SİKLOİD ;



Şekil 3.10

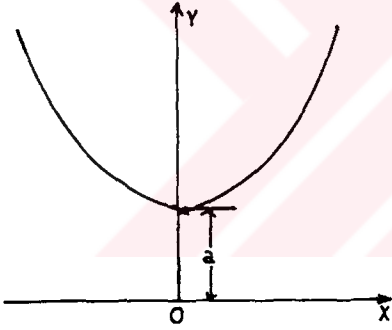
Özdeşlik için ;

$$N = - g r \cos^2 \theta \quad (3.12)$$

Üst yapıdan gelen yükler için ;

$$N = - q r \cos^3 \theta \quad (3.13)$$

ZİNCİR EĞRİSİ ;



Şekil 3.11

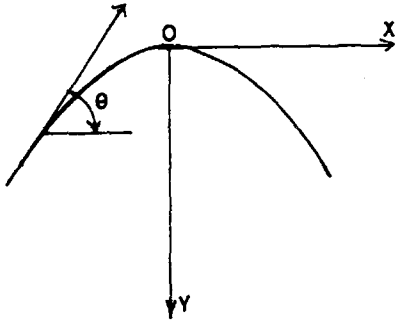
Özdeşlik için ;

$$N = - g r 1 / \cos \theta \quad (3.14)$$

Üst yapıdan gelen yükler için ;

$$N = - q r \quad (3.15)$$

PARABOL ;



Şekil 3.12

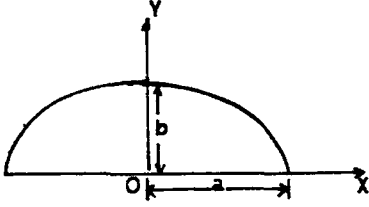
Özdeşlik için ;

$$N = - g r 1 / \cos^2 \theta \quad (3.16)$$

Üst yapıdan gelen yükler için ;

$$N = - q r 1 / \cos \theta \quad (3.17)$$

ELİPS ;



Şekil 3.13

Özağırlık için ;

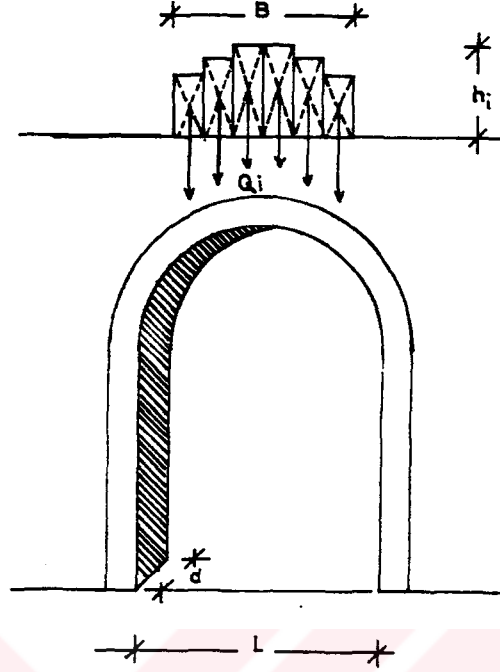
$$N = -g \frac{a^2 b^2 \cos \theta}{(a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta)^{3/2}} \quad (3.18)$$

Üst yapıdan gelen yükler için ;

$$N = -g \frac{a^2 b^2 \cos^2 \theta}{(a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta)^{3/2}} \quad (3.19)$$

Kemerlere etkiyen özağırlık ve üst yapıdan gelen yükler ile bunlara karşı oluşan tepkiler bu şekilde matematiksel yolla hesaplanabilir. Ancak aynı sonuçlar grafik çözüm yöntemiyle de bulunabilir.

Grafik çözüm yöntemiyle kemerlere etkiyen yüklerin ve bunlara karşı oluşan tepkilerin bulunmasında kemerlere üst yapıdan etkiyen yükler, kemer malzemesinden oluşmuş, üst yapının etkidiği B mesafesinde ve kemerin d genişliğinde " fiktif kagir bir yük " olarak düşünülebilir (şekil 3.14). Buna bağlı olarak ta yük dağılım eğrisine uygun, eşdeğer etki oluşturan bir fiktif yük alanı çizilebilir.



Şekil 3.14

Kemerde herhangi bir B mesafesine etkiyen q_i yükünün h_i fiktif yüksekliğini bulmak için şu genel denklem kullanılır;

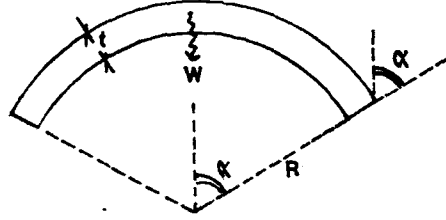
$$h_i = \frac{q_i}{B d \gamma_k} \quad (3.20)$$

γ_k ; kemer malzemesinin birim hacim ağırlığıdır.

Kemerlere üst yapıdan gelen yükler de kemerin üstünde duvar veya kubbe bulunması durumuna göre ayrı ayrı incelenir.

Kemerin üstünde bulunan kubbe yükünün fiktif kagir yük haline dönüştürülmesi için kubbenin mesnetlenme biçimi-

mi önemlidir. Kubbenin mesnetlenme biçimine göre kubbe ağırlığının belli bir oranı kemere etkitilir (şekil 3.15).



Şekil 3.15

Toplam kubbe ağırlığı,

$$W = \frac{4 \pi R^2 t \gamma_k}{360} \quad (3.21)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada ;

R ; kubbenin yarıçapı

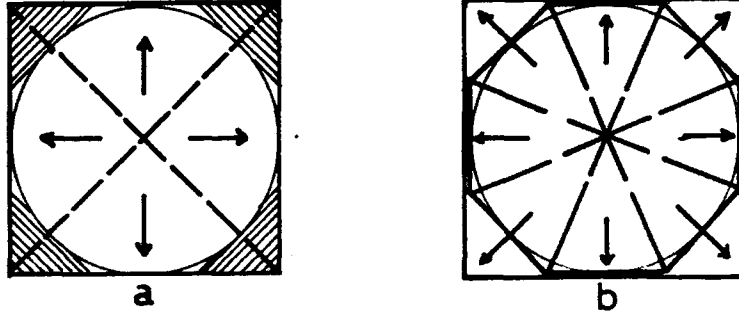
α ; kubbe kenarının düşeyle yaptığı açı

γ_k ; malzemenin birim hacim ağırlığı

t ; kubbe kalınlığı

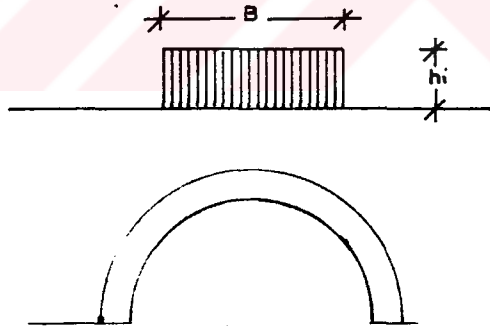
$4 \pi R^2$; kubbenin alanıdır.

Kubbe trompları üzerine mesnetlendiğinde kubbeyi taşıyan kemerlere kubbe ağırlığının 1/4 'ü, kasnak üzerine mesnetlendiğinde de kubbe ağırlığının 1/n 'i kadar yük iletir. Burada n kasnağın kenar sayısıdır (şekil 3.16 a,b).



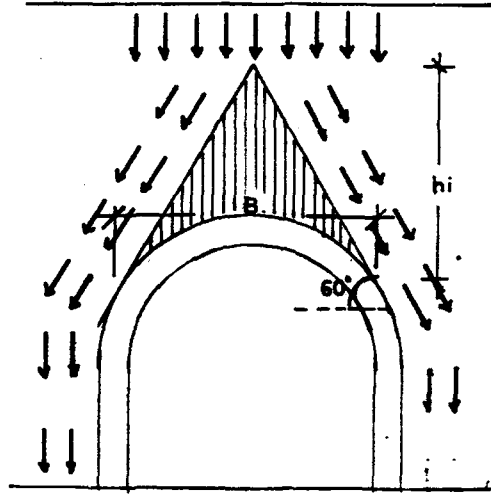
Şekil 3.16

Kemere kubbeden gelen B mesafesinde etkiyen q yükünün 3.20 denklemiyle h_i fiktif yüksekliği bulunur. Bulunan bu h_i yüksekliğinde ve B genişliğindeki eşdeğer yük alanı kubbeden kemere etkiyen yüküdür (Şekil 3.17).



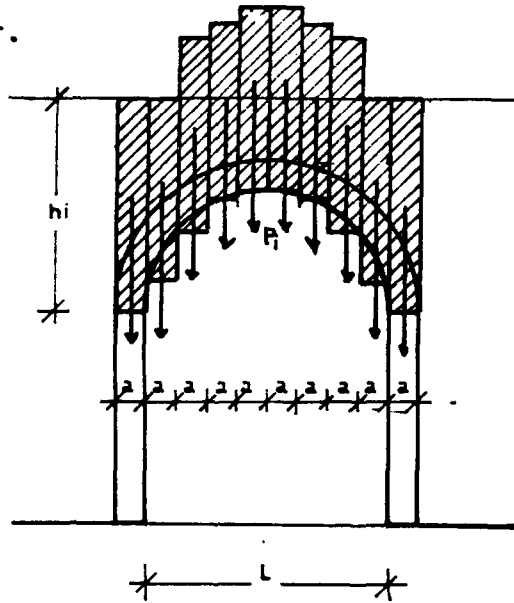
Şekil 3.17

Kemerin üstünde duvar bulunması durumunda ise kemere etkiyen yük olarak kemerin üzengi noktalarından 60° lik açı ile çizilen teğet doğrular arasında kalan üçgen alan alınır. Kemere duvardan gelen yüklere eşdeğer yük alanı olan bu üçgen alanın taban uzunluğu B, yüksekliği ise h_i dir (Şekil 3.18).



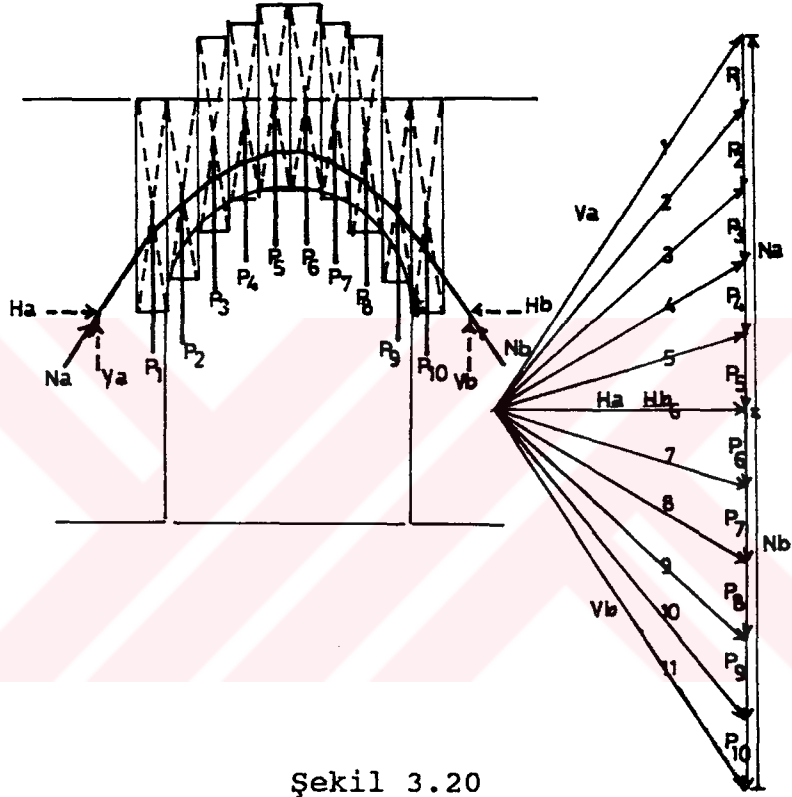
Şekil 3.18

Kemere üst yapıdan gelen ve yukarıda anlatıldığı gibi belirlenen eşdeğer yük alanları kemer üzerine çizildikten sonra kemer a boyundaki sonlu elemanlara ayrılır. Şekil 3.19 'da gösterildiği gibi her bir sonlu elemana karşılık gelen taralı alanlar eşdeğer yük alanlarıdır. Yüksekliği h_i ve genişliği a olan bu alanlar 3.20 denklemiyle P_i fiktif yüklerine dönüştürülürler. Her sonlu alana karşılık gelen bu P_i fiktif yükleri paralel bir vektörler serisi oluşturur.



Şekil 3.19

Bu vektörler serisi ile kemerin mesnet noktalarından geçecek bir ip poligonu çizilir. Bu ip poligonu basınç kemeri olmalı ve kemer alanı içinde kalmalıdır (şekil 3.20).



Şekil 3.20

3.3. KEMERLERİN YÜKLER ALTINDAKİ STRÜKTÜREL DAVRANIŞI

Kemerlerin yükler altındaki strüktürel davranışları gerilme ve burkulma olmak üzere iki başlık altında incelenir.

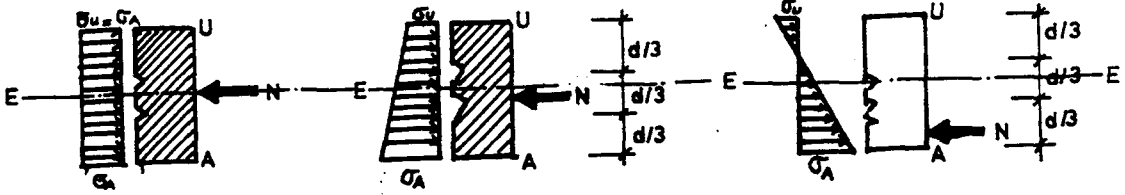
3.3.1. Gerilme

Kemer eğrisinde basınç, eğilme ve kayma gerilmeleri olarak üç tür gerilme bulunur. Bir kemerde

- * Özağırlık veya üst yapıdan gelen yükler nedeni ile aksenal basınç kuvveti, eğilme ve kesme kuvveti,
- * Sıcaklık değişimi gibi etkilerle tepe noktasında aksenal basınç veya çekme ve eğilme,
- * Büzülme ve ortama bağlı fire nedeniyle tepe noktasında çekme ve eğilme,
- * Kemer eğrisinde aksenal kuvvete bağlı kısalma gibi etkilerle tepe noktasında çekme ve eğilme gerilmeleri oluşur.

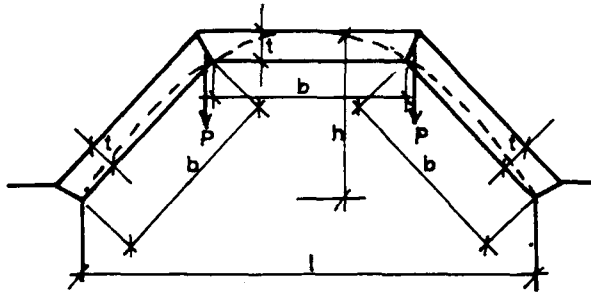
Gerilme analizinde kemere etkiyen yüklere göre çizilmiş olan ip poligonunun tasarlanan kemer enkesit alanı dışına çıkmaması ve itki çizgisi olarak isimlendirilen poligonun kemer ekseni ile çakışması en önemli şarttır. Bu itki çizgisinin kemer enkesit alanı dışına çıkması kemer kesitlerinde eğilme momentleri oluşturacağından kederde deformasyona yol açar.

Kemer ekseninde oluşan basınç kuvveti, kemer enkesitinin ağırlık merkezine yaklaştıkça gerilme dağılımı dikdörtgene yaklaşır. Bu basınç kuvveti kesitin çekirdek alanı içinde kaldığı zaman gerilme dağılımı üçgendir. Ancak kuvvetin çekirdek alanı dışında bulunması durumunda, enkesit içinde çekme gerilmeleri oluşur (şekil 3.21). Çekme gerilmelerinin malzemenin mukavemetini aşması durumunda kederde çatlamlar meydana gelir.



Şekil 3.21

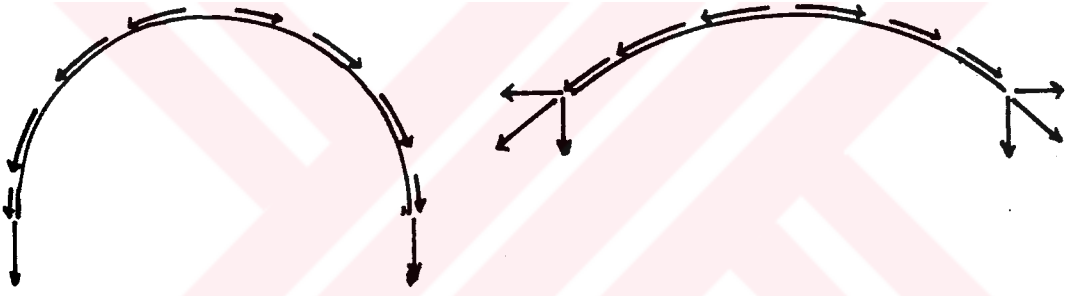
Kemer tasarımımda kemer eksenini doğrultusundaki yük bileşenlerinin daima kemer enkesiti içinde kalması istendiğinden kemer formu sivri kemerden basık kemere doğru gittikçe kemer kalınlığı artırılmalıdır. Eksenel kuvvetlerin bir etkisi olarak mesnetlerdeki itki kuvvetleri basık kemerlerde daha fazla olur (Şekil 3.22). Kemer basıklığı arttıkça bu itki kuvvetlerinin yatay bileşenleri kemer açıklığında düzenlenecek ahşap yada metal gergilerle veya kemer dışında düzenlenecek ağırlık kuleleri yada payandalarla karşılanmalıdır.



Şekil 3.22

3.3.2. Burkulma

Sabit yükler altında kemerin belli noktalarında mafsallar oluşması kemerin burkulmasıdır. Kemer stabilitesi için bu mafsalların sayısı çok önemlidir. Kemerde bir yada iki mafsal oluşması kemer bütünü için bir tehlike sayılmasa da dört yada daha fazla mafsal oluşması kemeri " üç çubuk sistemine " dönüştürür ki bu da kemerin yıkılmasına yol açar (şekil 3.23).



Şekil 3.23

Genel olarak yığma kemerlerin yıkılmasına

- Bağlayıcı malzemelerde çok fazla çekme gerilmelerinin oluşması
- Malzemedeki çok fazla basınç gerilmelerinin oluşması
- Şiddetli kayma gerilmeleri nedeni ile bir taşın diğeri üzerinde hareket etmesi, kayması
- Mesnetlerin ayrılması

gibi nedenler yol açar.

Yığma kemerlerin dengesindeki kritik durumlar kritik yükler nedeniyle değil, kemer geometrisi ve kemeri

oluşturan taşların boyutlarına bağlı olarak ortaya çıkar. Teorik olarak kemeri oluşturan taşlar sıfırdan farklı herhangi bir kalınlığa sahip olduklarında sistem stabildir. Çok ince kemerlerde, yüklemdeki küçük asimetriklikler ve küçük geometrik hatalar kemerde bozulmalar oluşturur. Uygulamada kemerin burkulmaya karşı emniyetli olması için kemere yeterli bir kalınlık verilmelidir.



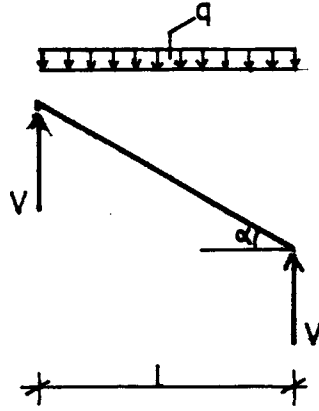
4. ANADOLU SELÇUKLU MİMARLIĞI'NDA KEMERLERİN STRÜKTÜREL DURUMU

Bu çalışmada Anadolu Selçuklu mimarisi yapılarından Konya İnce Minareli Medrese, Konya Sahipata Hanikahı ve Divriği Ulu camii'de bulunan değişik geometrili bazı kemerlerin strüktürel durumu incelenmiştir. Bu kemerlerde itki ve mevcut gerilmeler grafik ve matematik yolla hesaplanmıştır. Matematik yolla hesap için bu kemerlerin eğri fonksiyonları incelendiğinde bunların tamamen daire parçaları olduğu ancak aynı yarıçaplı dairelerin farklı merkezlerden kesiştirilmesiyle veya farklı yarıçaplı dairelerin yada daire ve doğru parçalarının birleştirilmesiyle oluşturulduğu saptanmıştır. Bunun sonucu olarak ta bu eğriler sürekli olmadığı için 3. bölümde anlatılan denklemler aynen kullanılamamış, mesnet reaksiyonlarının bulunmasında eğriler ayrı ayrı ele alınmıştır.

Bu kemerlerde teğet kısımları oluşturan eğik doğru parçalarında şekil 4.1'de görüldüğü gibi üç denge denklemine göre çözüm yapıldığında N'nin düşey bileşeni

$$V = \frac{q l}{2 \cos \alpha} \quad (4.1)$$

olmaktadır.

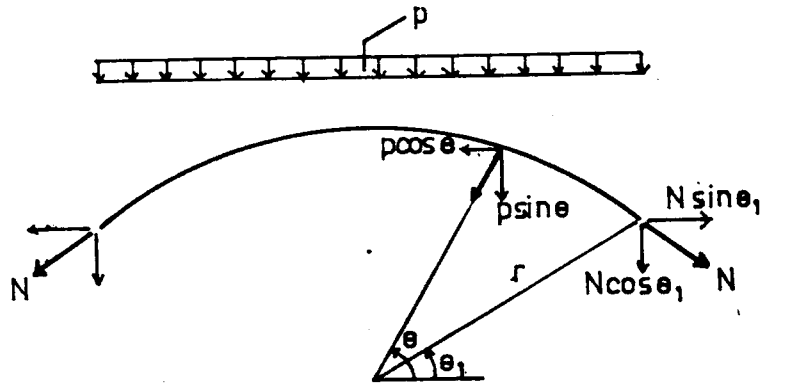


Şekil 4.1

Eğri kısımları oluşturan daire parçalarında ise şekil 4.2'de görüldüğü gibi üç denge denklemine göre çözüm yapıldığında N;

$$\begin{aligned}
 - 2 N \cos \theta &= - \int_{\theta_1}^{\theta} p \sin \theta (r d\theta) = - p r (\cos \theta) \Big|_{\theta_1}^{\theta} \\
 &= - p r (\cos \theta - \cos \theta_1) \\
 - N &= \frac{p r}{2} \left(\frac{\cos \theta}{\cos \theta_1} - 1 \right) \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

olacağı açıktır. Eğer dairenin üst kısmında teğet bir doğru varsa bulunan V düşey kuvveti N' nin düşey bileşeni ile toplanmalıdır. Bu gerilmelerin bulunmasındaki amaç kemerde meydana gelebilecek deformasyonları ve yerlerini saptamaktır.



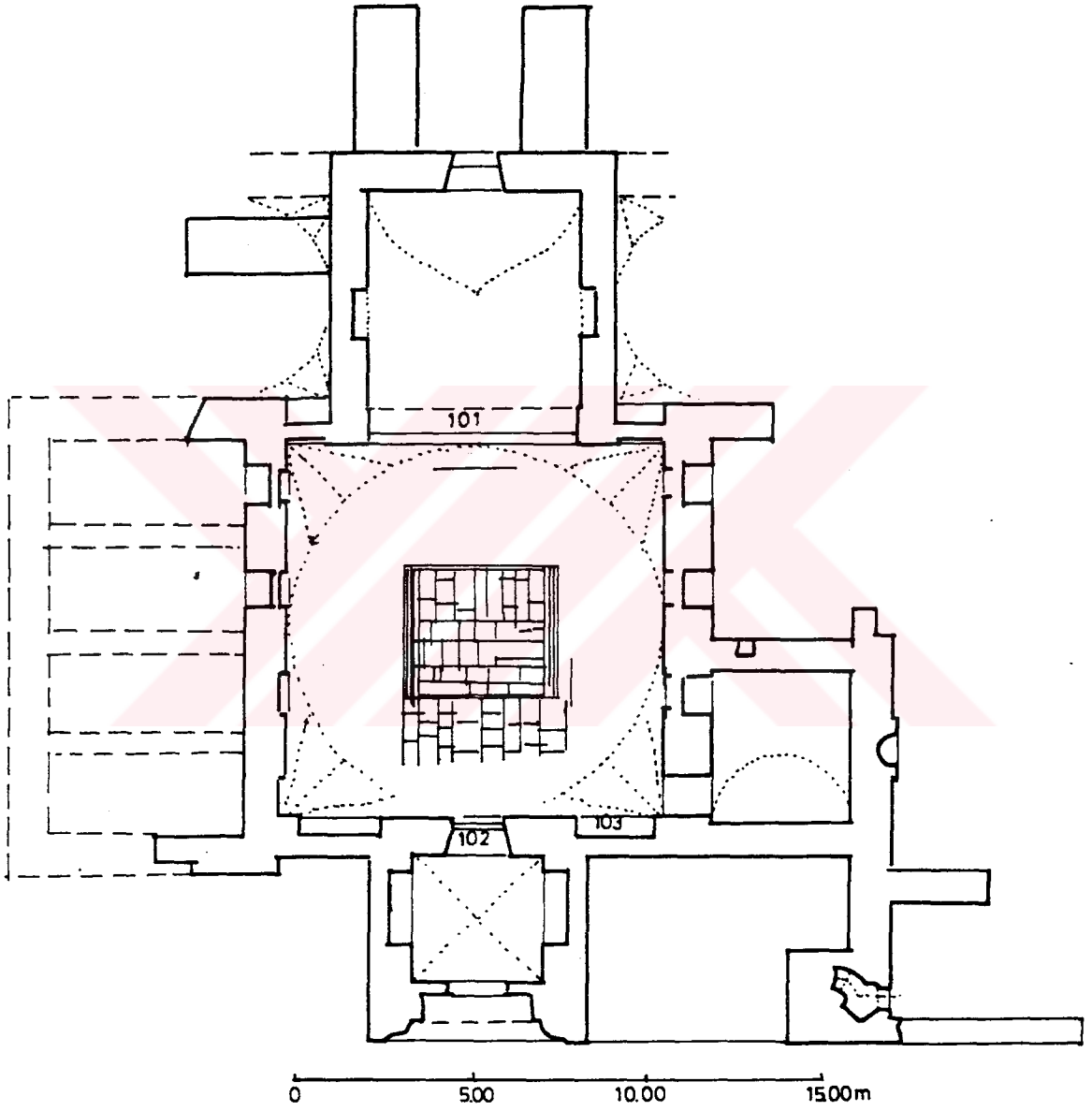
Şekil 4.2

4.1. KONYA İNCE MİNARELİ MEDRESE

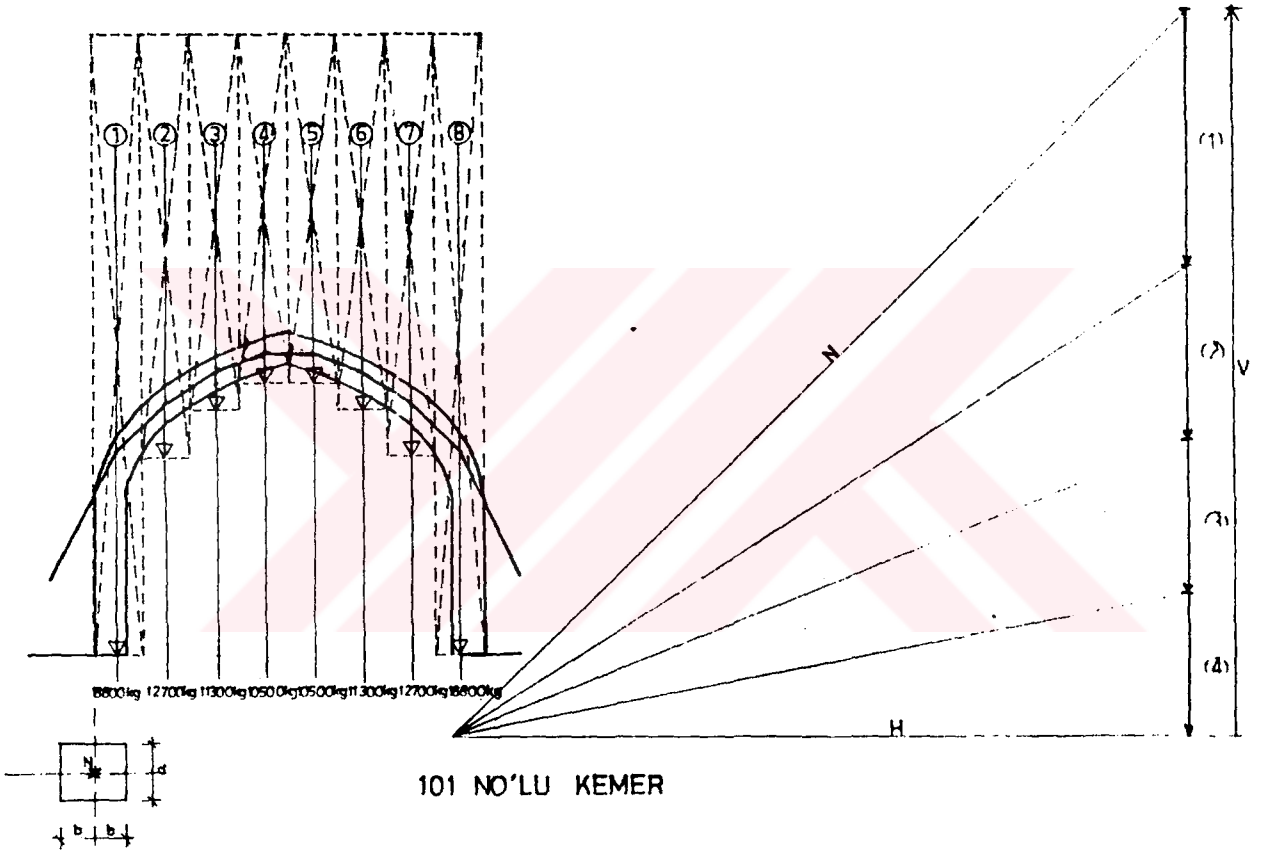
Konya'da İnce minareli medrese olarak adlandırılan Darül-hadis binası 1260 -1265 yılları arasında Selçuklu veziri Fahrettin Ali tarafından Mimar Kelük bin Abdullah'a yaptırılmıştır. Bina yapım ve kuruluşunda bir külliye olmasına rağmen sadece medrese ayaktaadır. Ancak ana yapıya ekli mescit ve başka hizmetler verebilecek kısımların bulunması da yapının bir külliye olduğunu doğrular. Selçuklu dönemi orta avlulu üstü örtülü medreseler arasında yer alan yapının fonksiyonuna bağlı özel bir biçimi vardır. Planı incelendiğinde medrese girişinin taçkapı ve arkasındaki hol ile birlikte ayrı bir kitle meydana getirdiği görülür. Baş eyvanın alın kemeri, tonozu ve çevre duvarları çok kaliteli bir tuğla örgüsüne sahiptir.

1901 yılında Konya'da meydana gelen depremde yapının sağında bulunan mescit ile sırlı tuğladan iki şerefeli minarenin 1. şerefesinden yukarısı yıkılmıştır. Medresenin ayakta kalan dersane ve üstü örtülü avlu kısmı günümüzde müze olarak kullanılmaktadır.

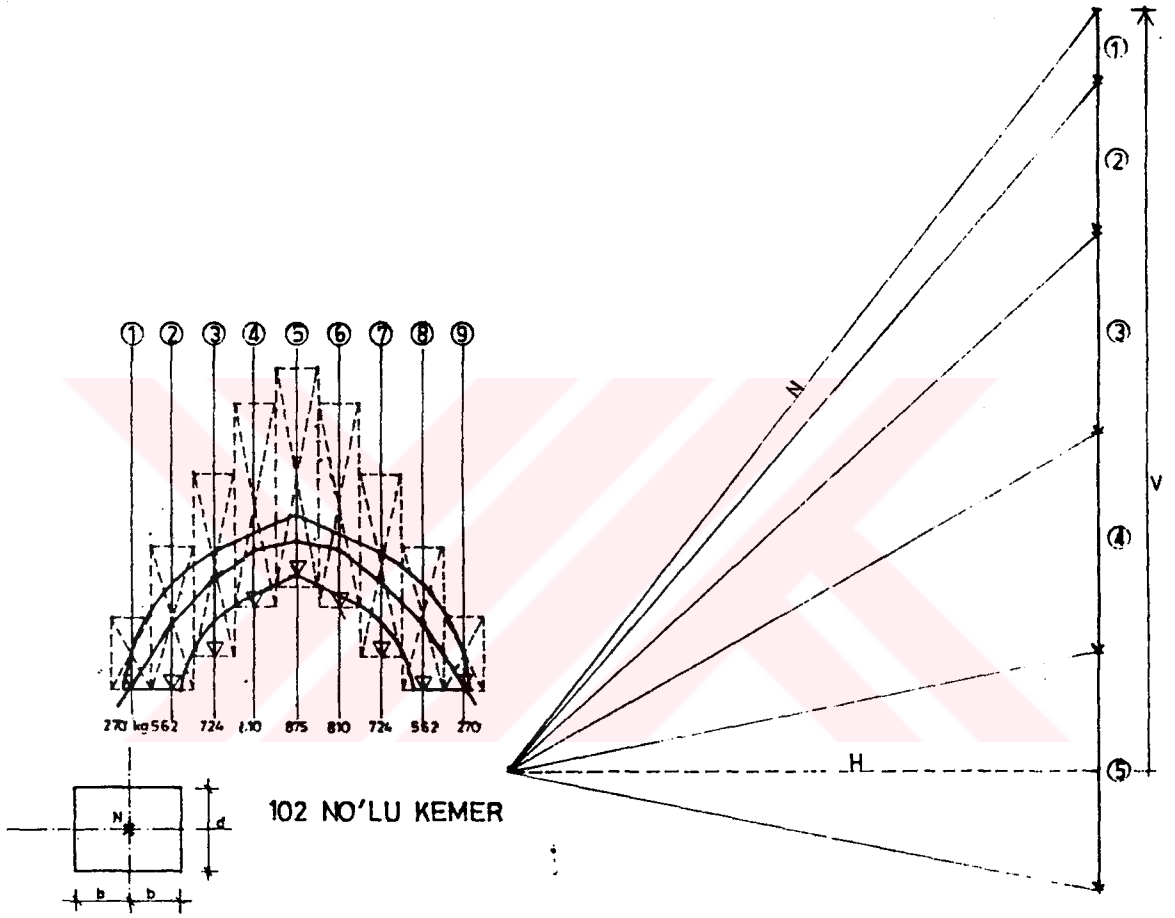
Bu çalışmada İnce minareli medresenin üç kemeri incelenmiştir. Şekil 4.3'de görülen medrese planında bu kemerler 101, 102, 103 olarak kotlanmıştır. 101 no'lu 6.15 m açıklıklı kemer iki merkezli sivri kemer olup üzerindeki 0.80 m yüksekliğindeki duvar ve 10.50 m çaplı ana kubbeden gelen yükü karşılamaktadır. Giriş kapısı üzerindeki 1.69 m açıklıklı 102 no'lu kemer teğetli kemerdur ve sadece üzerinde bulunan 6 m yüksekliğindeki



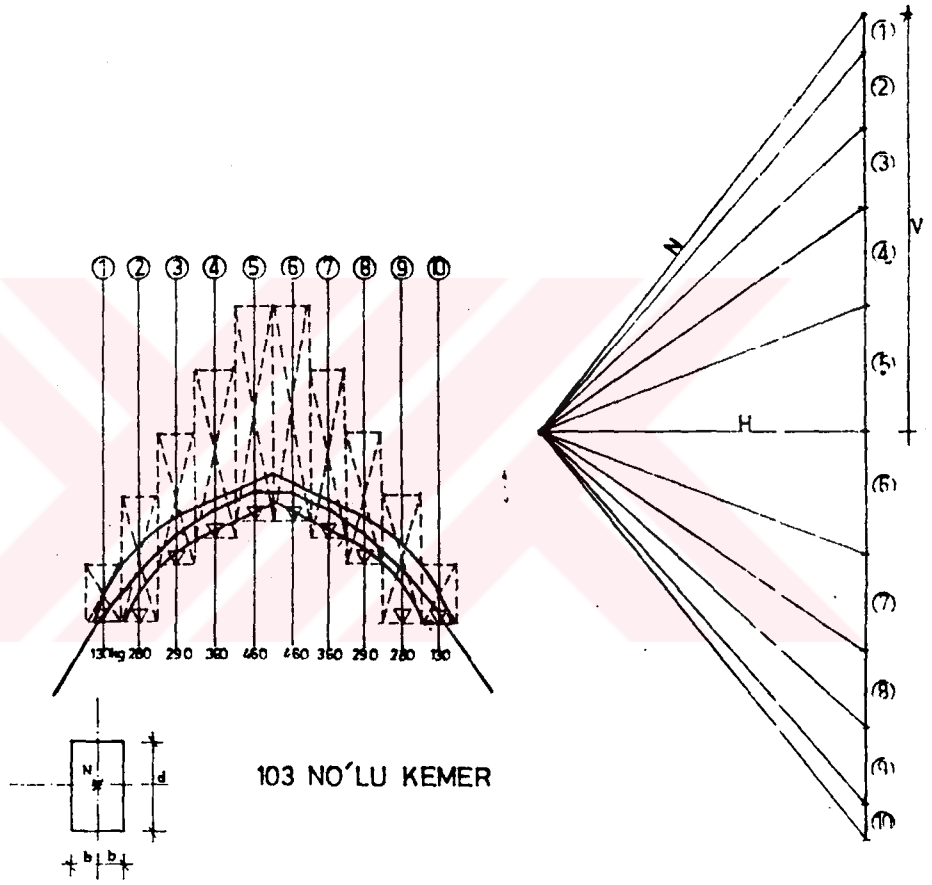
Şekil 4.3



şekil 4.4



Şekil 4.5



Şekil 4.6

duvardan gelen yükü karşılamaktadır. 102 no'lu kemer ile aynı duvar üzerinde bulunan bir niş kemeri olan 2.24 m açıklıklı 103 no'lu kemer de teğetli kemerdir. Bu da sadece üzerindeki 4.80 m yüksekliğindeki duvardan gelen yükü taşır.

Bu kemerlerin grafik analizleri aynı sıra ile şekil 4.4, şekil 4.5, şekil 4.6' da verilmiştir. Bu analizlerden de görüldüğü gibi fiktif kağıt yüklü tüm kemerlerde itki kuvvetlerinin oluşturduğu poligon kemer kalınlığı içinde kalmaktadır. Üzengi noktalarında (kemer mesnetlerinde) bu itki kuvvetleri kemer enkesiti çekidek alanı içindedir.

Matematiksel yolla yapılan analizde öncelikle kemer eğrisi üzerine gelen yükler bulunmuş, bu yüklere göre mesnet reaksiyonları hesaplanıp gerilme kontrolü yapılmıştır. Buna göre iki merkezli sivri kemer olan 101 no'lu kemer üzerine üst yapıdan gelen yük $q = 465 \text{ kg/cm}$, özağırlıktan gelen yük $g = 11 \text{ kg/cm}$ alınarak mesnet reaksiyonları $N = 76046 \text{ kg}$ bulunmuştur. Kemer mesnetindeki mevcut gerilme

$$\sigma = \frac{76046}{11000} = 6,913 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{dir.}$$

102 no'lu kemer teğetli kemer olduğu için teğet ve eğri kısmı ayrı ayrı incelenmiş, kemer üzerine üst yapıdan gelen yük $q = 68 \text{ kg/cm}$, özağırlıktan gelen yük $g = 7,2 \text{ kg/cm}$ alınmıştır. Teğet kısımda düşey mesnet reaksiyonu $V = 1776,3 \text{ kg}$, eğri kısım mesnet reaksiyonu $N = 1792,5 \text{ kg}$ olup daha sonra eğri kısma ait mesnet reaksiyonu ile teğete ait mesnet reaksiyonun bileşkesi

alınarak tüm kemere ait mesnet reaksiyonu $N = 3613$ kg bulunmuştur.

Kemer mesnetindeki mevcut gerilme ise

$$\sigma = \frac{3613}{8000} = 0,452 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{dir.}$$

103 no'lu kemer de teğetli kemer olduğu için teğet ve eğri kısmı ayrı ayrı incelenmiştir. Kemer üzerine gelen üst yapıdan gelen yük $q = 30$ kg/cm, özağırlıktan gelen yük $q = 2,16$ kg/cm alınmıştır. Kemer mesnet reaksiyonu $N = 1995$ kg bulunmuştur. Kemer mesnetindeki mevcut gerilme ise

$$\sigma = \frac{1995}{2040} = 0,978 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{dir.}$$

4.2. KONYA SAHİPATA HANİKAHI

Konya Sahipata mimari kompleksi ilk kurulduğunda tam bir külliye olarak inşaa edilmiş ancak bugün sadece hanikah ve türbesi aynen ayakta. Camii ve avlusunun girişinde yer alan çifte minareli portal ile hamam binası pek çok değişikliğe uğramış ve kısmen ayakta kalabilmiştir. Camiinin sadece mihrap duvarı orijinaldir. Yapı bu tip çifte minarelerin Anadolu'da camiye uygulan ilk örneği olarak kabul edilir.

Bu çalışmada Sahipata Camiinin iki kemeri incelenmiştir. Şekil 4.7'de görülen camii planında bu kemerler 201, 202 olarak kotlanmıştır. 201 no'lu 5.77 m açıklıklı kemer iki merkezli sivri kemer olup üzerindeki 0.60 m yüksekliğindeki duvar ve 9 m çaplı ana kubbeden

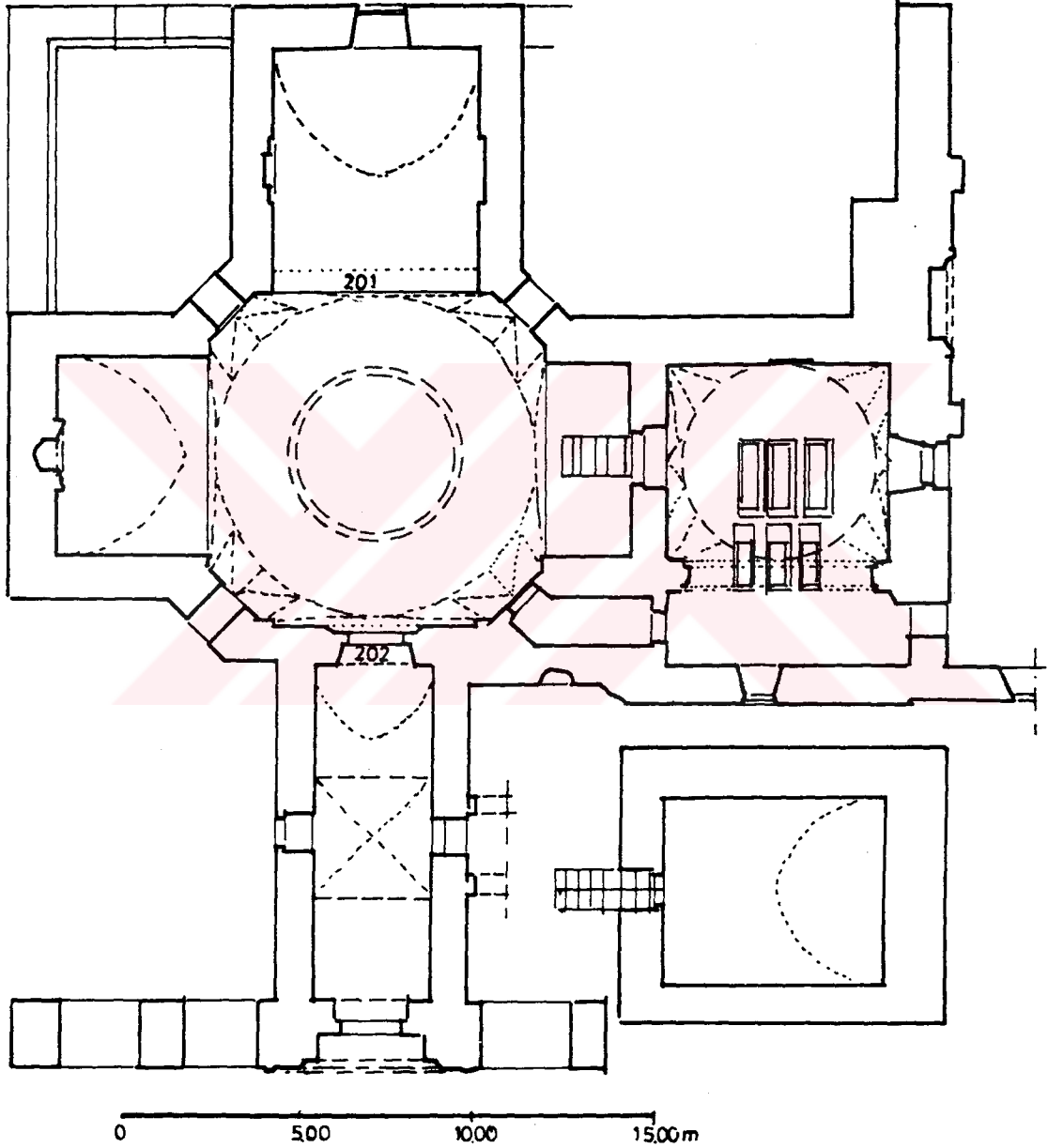
gelen yükü karşılamaktadır. Giriş kapısı üzerindeki 3.11 m açıklıklı 202 no'lu kemer teğetli kemerdur ve sadece üzerinde bulunan 5 m yüksekliğindeki duvardan gelen yükü karşılamaktadır. Bu kemerlerin grafik analizleri aynı sıra ile şekil 4.8, ve şekil 4.9' de verilmiştir.

Matematiksel yolla yapılan analizde iki merkezli sivri kemer olan 201 no'lu kemer üzerine üst yapıdan gelen yük $q = 196 \text{ kg/cm}$, özağırlıktan gelen yük $g = 10,8 \text{ kg/cm}$ alınarak mesnet reaksiyonları $N = 35132 \text{ kg}$ bulunmuştur. Kemer mesnetindeki mevcut gerilme

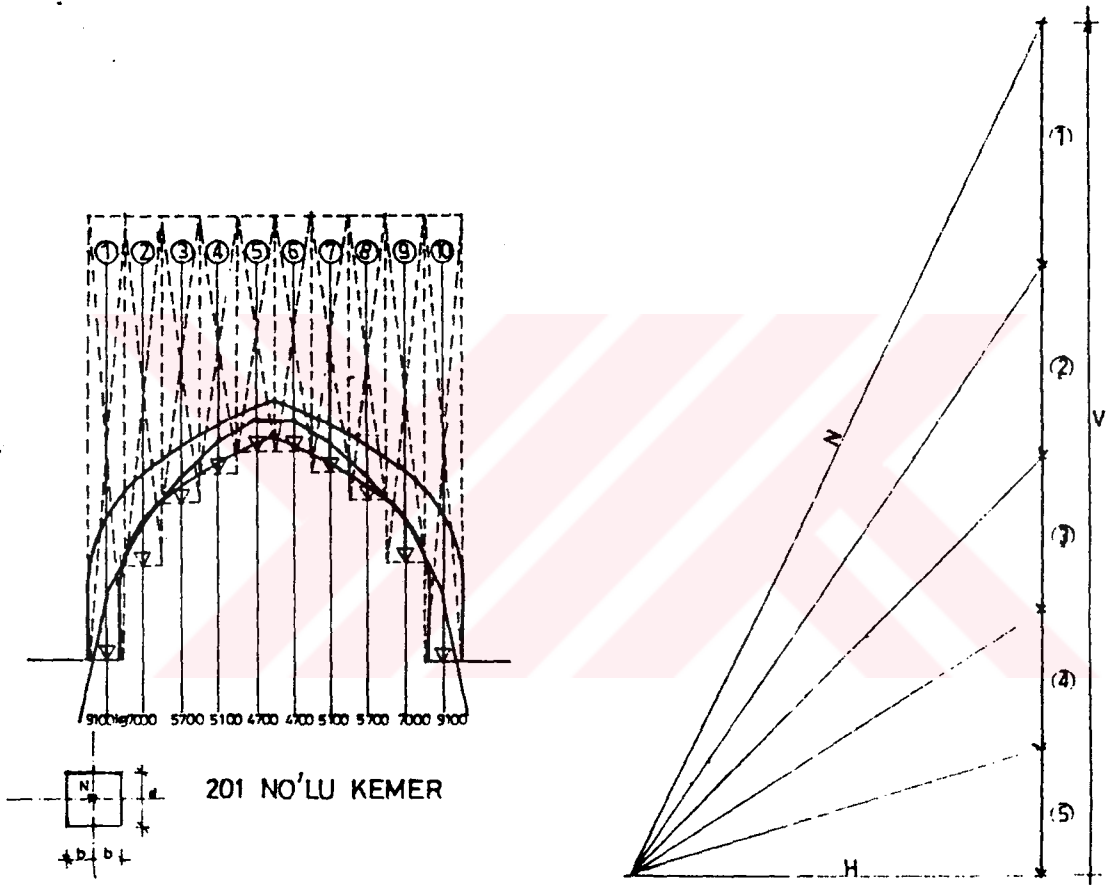
$$\sigma = \frac{35132}{9450} = 3,718 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{dir.}$$

202 no'lu kemer de teğetli kemer olduğu için teğet ve eğri kısmı ayrı ayrı ele alınmıştır. Kemer üzerine üst yapıdan gelen yük $q = 35 \text{ kg/cm}$, özağırlıktan gelen yük $g = 3,6 \text{ kg/cm}$. alınmıştır. Kemer mesnet reaksiyonu $N = 3408 \text{ kg}$ bulunmuştur. Kemer mesnetindeki mevcut gerilme ise

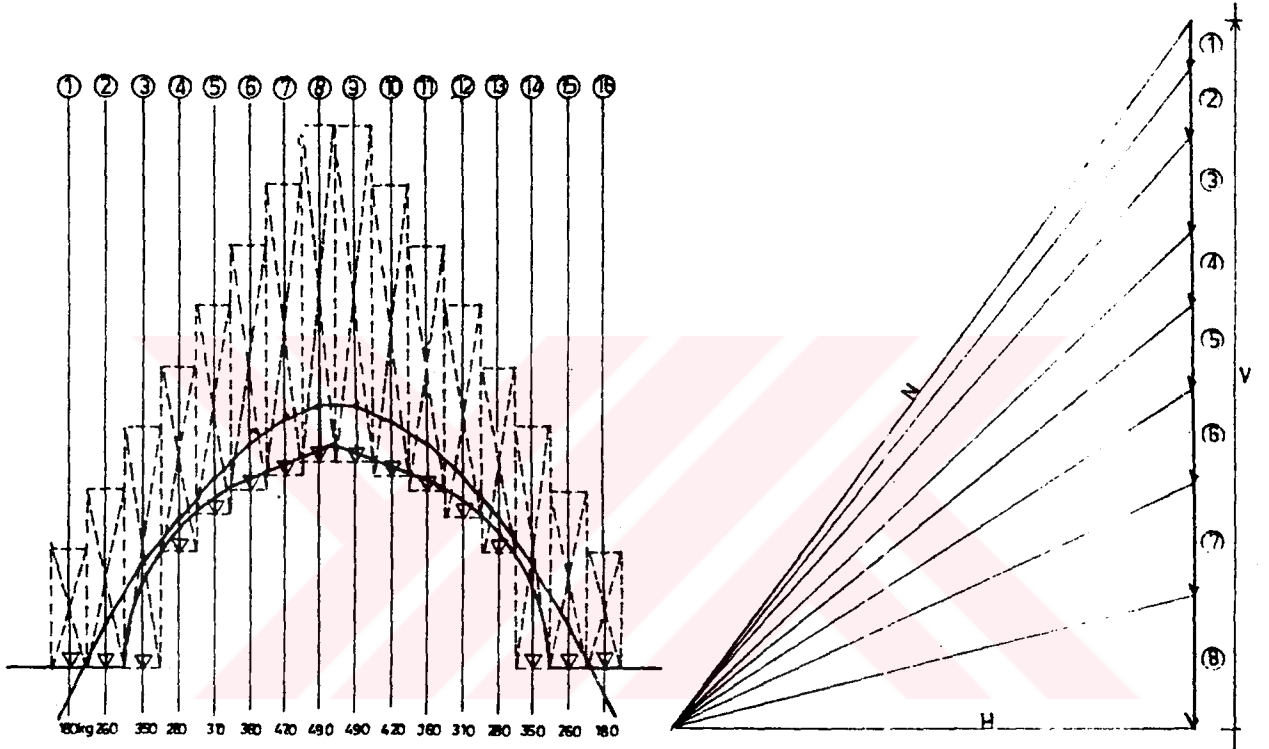
$$\sigma = \frac{3408}{2560} = 1,331 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{dir.}$$



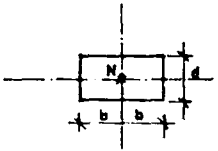
Şekil 4.7



şekil 4.8



202 NO'LU KEMER

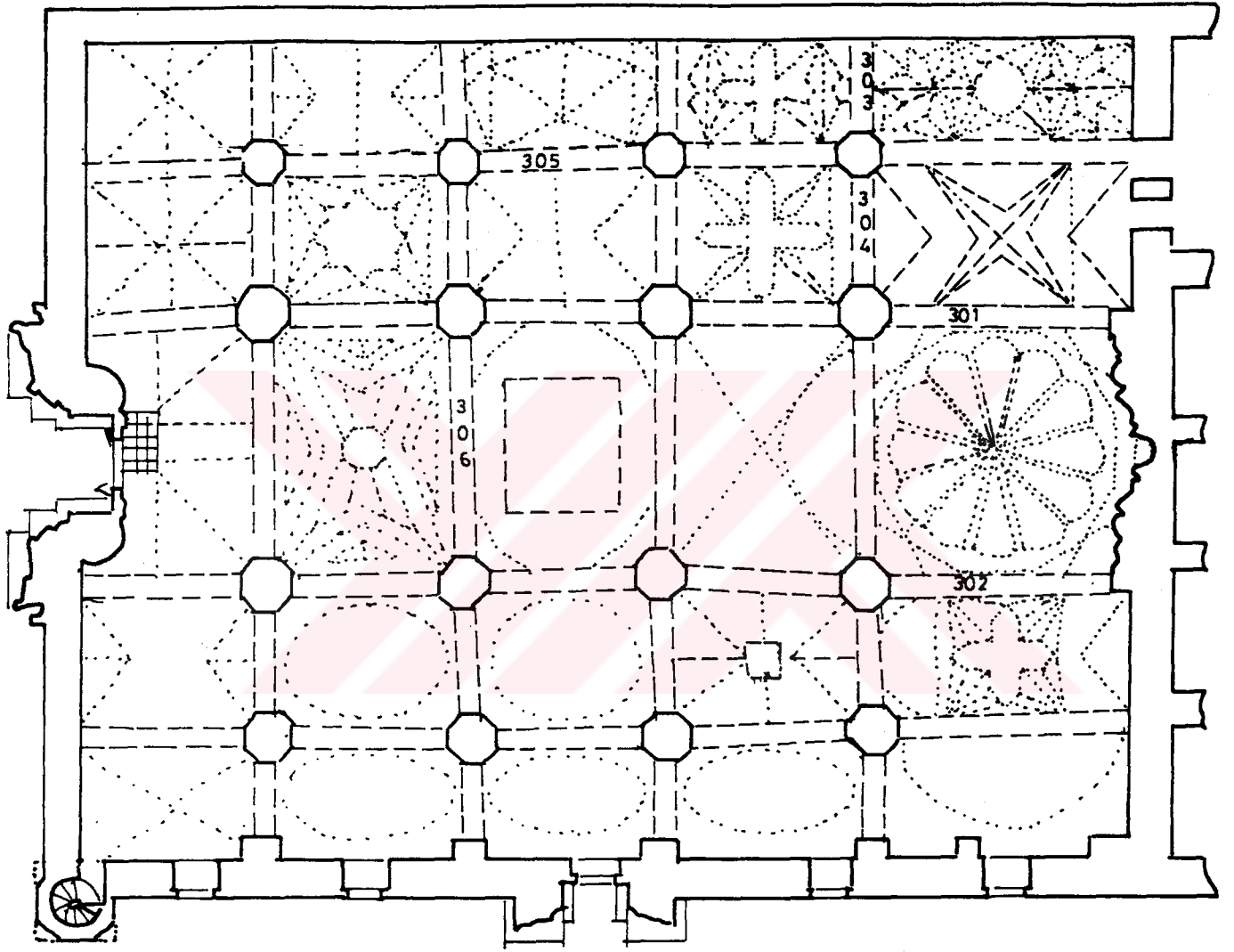


Şekil 4.9

4.3 DİVRİĞİ ULU CAMİİ

Divriği Ulu Camii Darrüşifa ile birlikte 1228 - 1229 yılları arasında Şehinşah'ın torunu Ahmet Şah tarafından bir külliye olarak yapılmıştır. Darrüşifa güneyden camiiye bitişiktir. Ulu camii plan olarak kible duvarına dik doğrultuda ortadaki geniş yanlardakiler daha dar olan beş nefle oluşturulmuştur. Bu neflerin herbiri beşer bölümden oluşmaktadır. Camii 16 sütun üzerinde 25 değişik tonoz ve kubbe ile örtülmüştür. Yapıda bilinen tonoz türlerinin hemen hemen hepsini görmek mümkündür. Mihrap önündeki dıştan kümbet biçiminde çok parçalı bir piramit çatı ile örtülmüş on dilimli tromplu kubbe tüm yapıya hakimdir. Yapı zaman içinde geçirdiği hasarlara bağlı olarak bazı değişikliklere uğramıştır. Örneğin; dolgu toprak üzerine oturan batı cephesindeki taş tonozlar yerine tuğladan oval, üstleri sıvalı küçük kubbeler yapılmış, sekizgen olan sütunlar kesme taştan kalın kaplamalarla örülerek ayaklar haline getirilmiştir. Bununla birlikte mihrap kubbesi ile 16 tonoz orijinal şekillerini korumaktadır.

Divriği Ulu Camiinde de hepsi tek merkezli sivri kemer olan farklı açıklıklı altı kemer incelenmiştir. Şekil 4.10 görülen camii planında bu kemerler 301, 302, 303, 304, 305, 306 olarak kotlanmıştır. 8.74 m açıklığındaki 301 no'lu ve 8.32 m açıklıklı 302 no'lu kemerler üzerlerindeki 3.00 m yüksekliğindeki duvar ve 9.00 m çaplı 10 dilimli kubbeden gelen yükü, 3.00 m açıklıklı



Şekil 4.10

303 no'lu kemer üzerindeki 1.20 m yüksekliğindeki duvar yükünü, 4.10 m açıklıklı 304 no'lu kemer 0.50 m yüksekliğindeki duvar yükünü, 6.09 m açıklıklı 305 no'lu kemer üzerindeki 2.00 m yüksekliğindeki duvar ve 4.50 m çaplı tonozdan gelen yükü, 7.78 m açıklıklı 306 no'lu kemer de üzerindeki 1.10 m yüksekliğindeki duvar ve 8.60 m çaplı kubbeden gelen yükü karşılarlar.

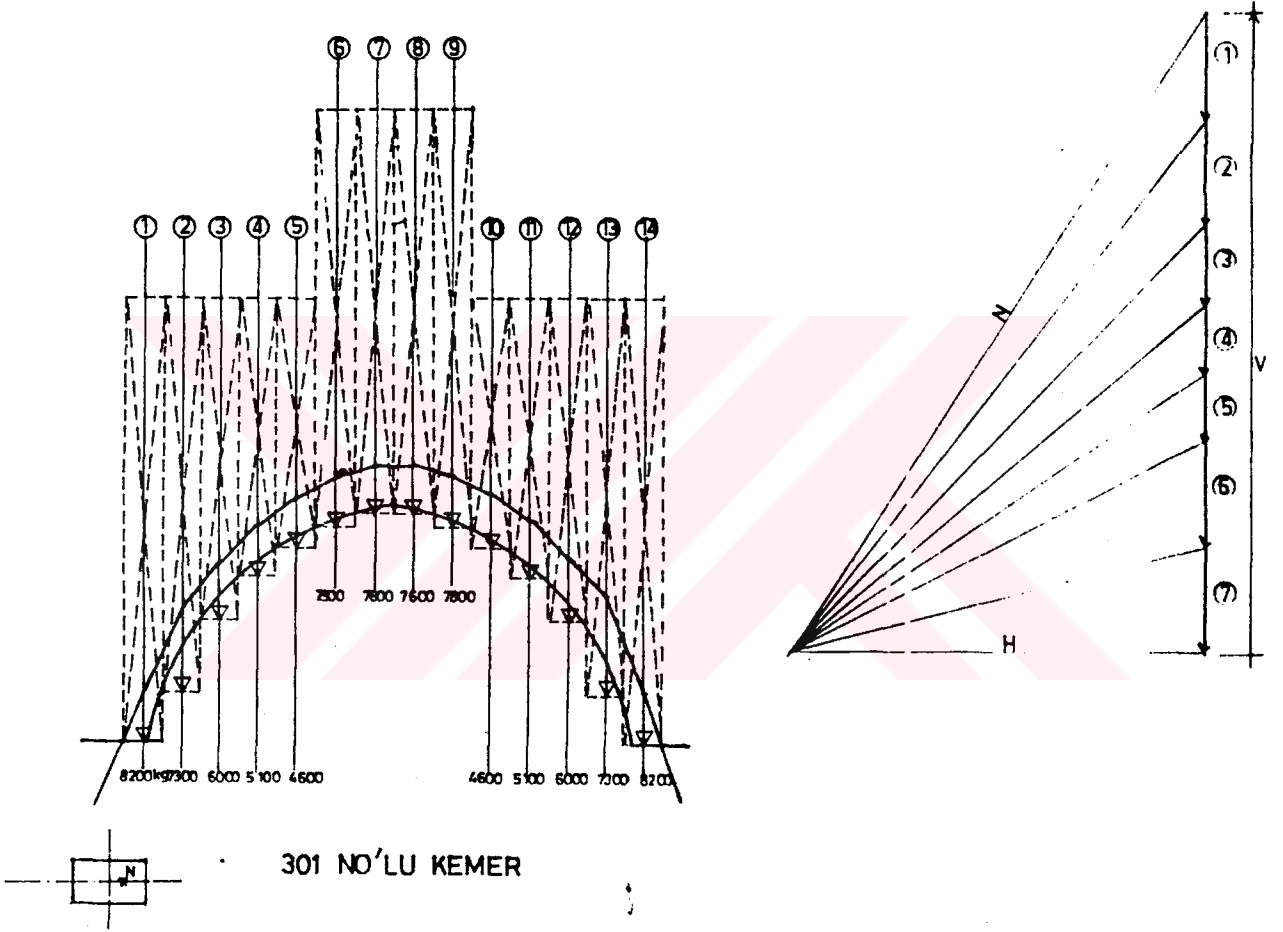
Bu kemerlerin grafik analizleri aynı sıra ile şekil 4.11, şekil 4.12, şekil 4.13, şekil 4.14, şekil 4.25 ve şekil 4.16'da verilmiştir.

Matematiksel yolla analizde ise diğer yapılarda olduğu gibi önce kemer eğrisi üzerine gelen yükler bulunmuş daha sonra bu yüklere göre mesnet reaksiyonları hesaplanıp gerilme kontrolü yapılmıştır. Buna göre 301 no'lu kemer üzerine üst yapıdan gelen yük olarak $q = 253 \text{ kg/cm}$, özağırlıktan gelen yük $g = 2 \text{ kg/cm}$ alınarak mesnet reaksiyonları $N = 55973 \text{ kg}$ bulunmuştur. Kemer mesnetindeki mevcut gerilme

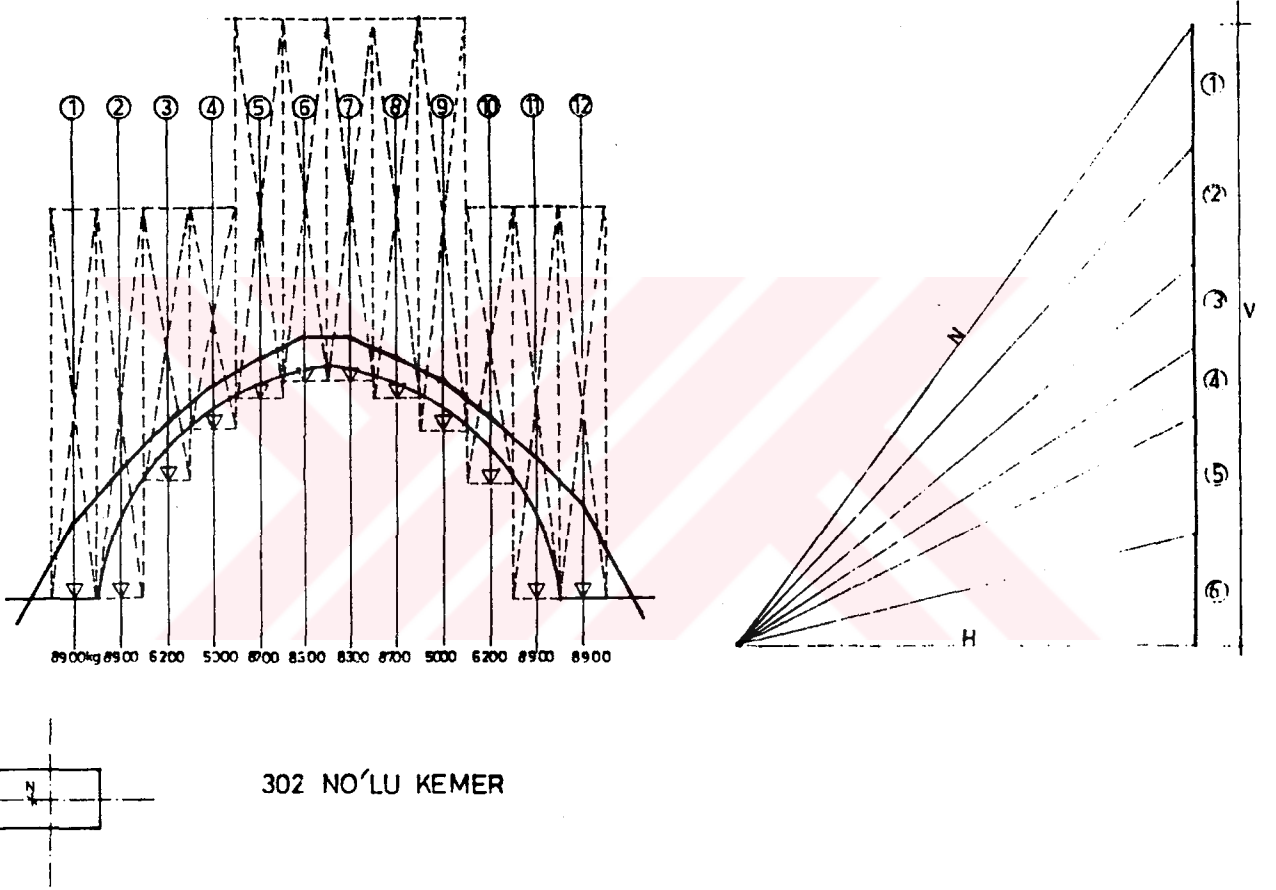
$$\sigma = \frac{55973}{11200} = 4998 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{dir.}$$

302 no'lu kemerde kemer üzerine üst yapıdan gelen yük $q = 258 \text{ kg/cm}$, özağırlıktan gelen yük $g = 2 \text{ kg/cm}$ alınarak mesnet reaksiyonları $N = 57100 \text{ kg}$ bulunmuştur. Kemer mesnetindeki mevcut gerilme

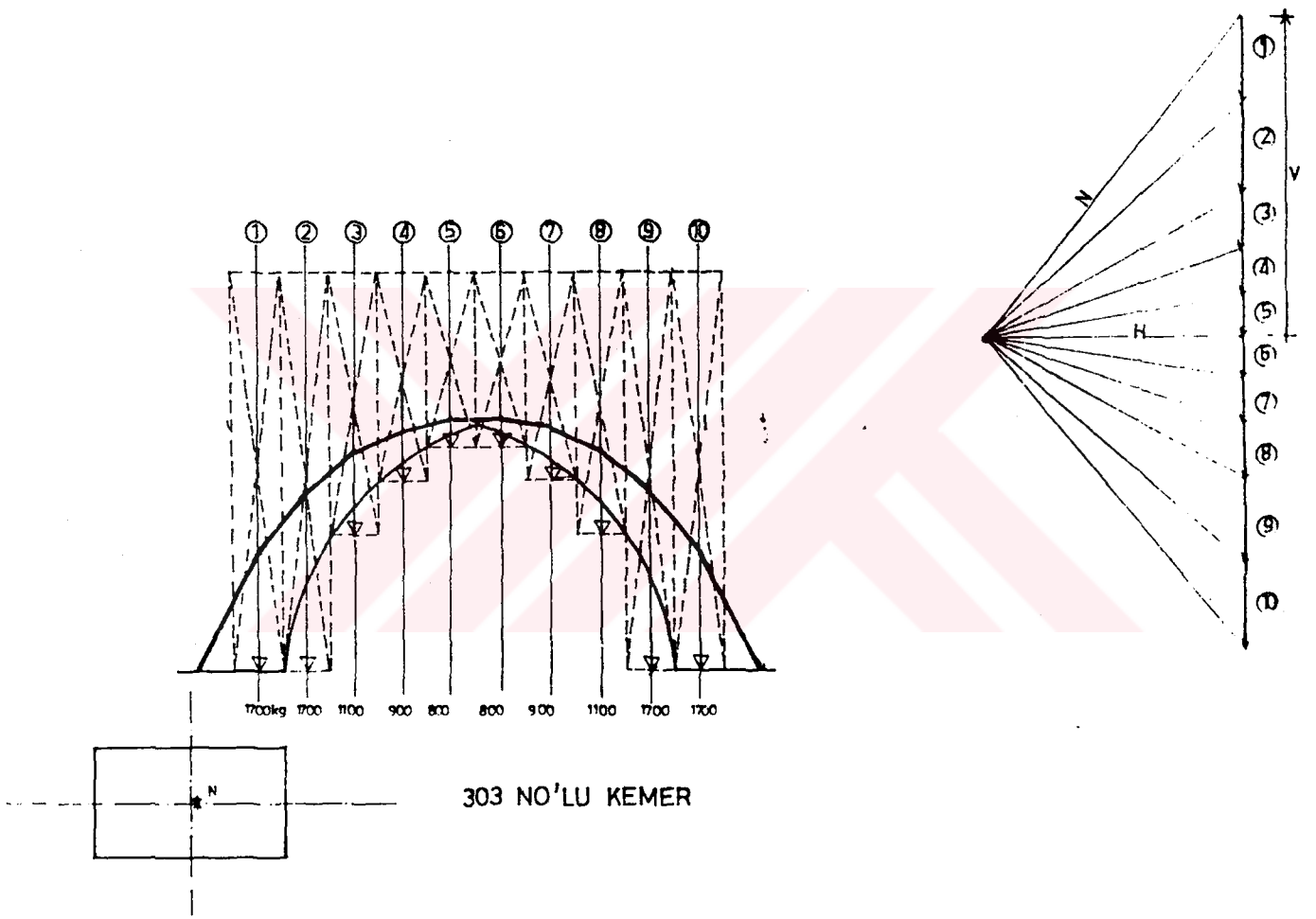
$$\sigma = \frac{57596}{11200} = 5143 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{dir.}$$



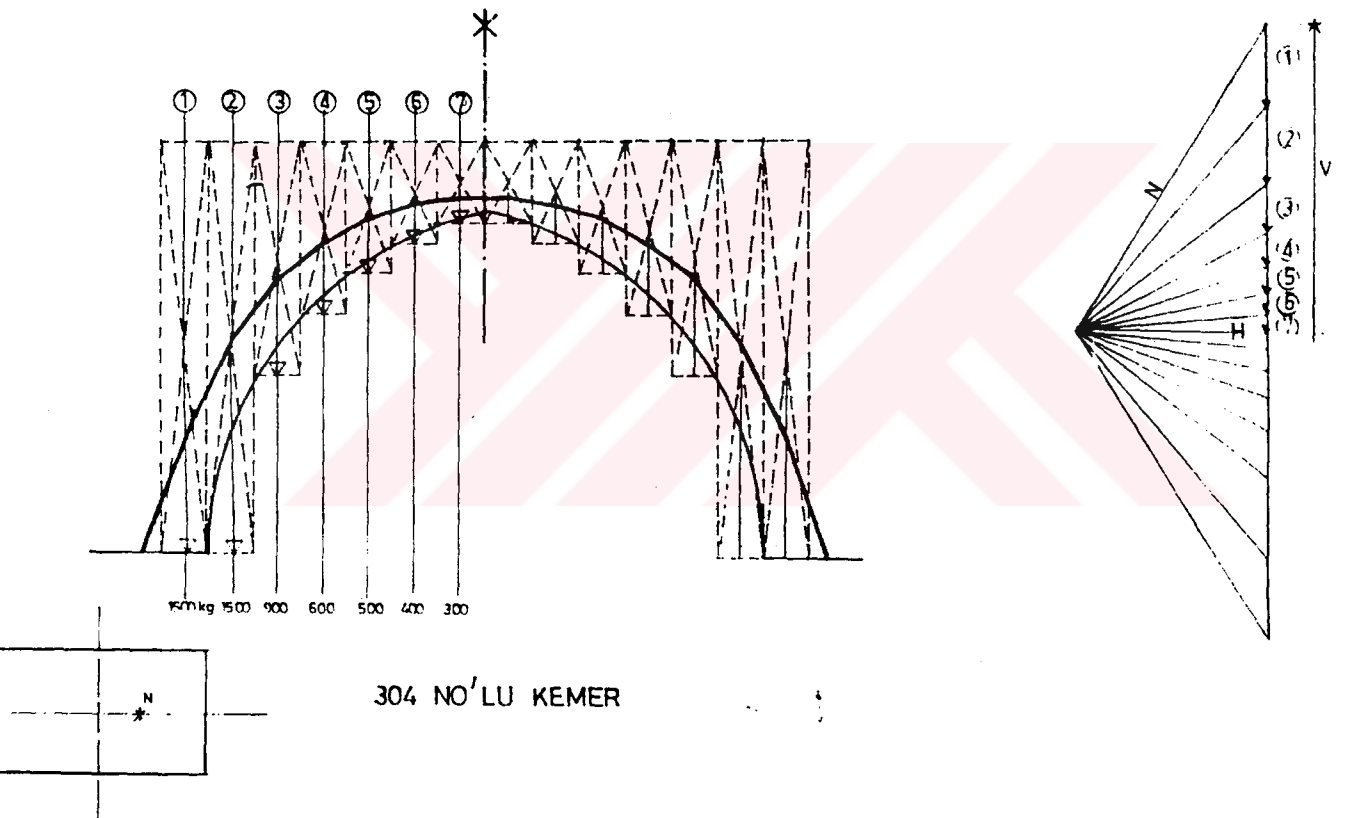
Şekil 4.11



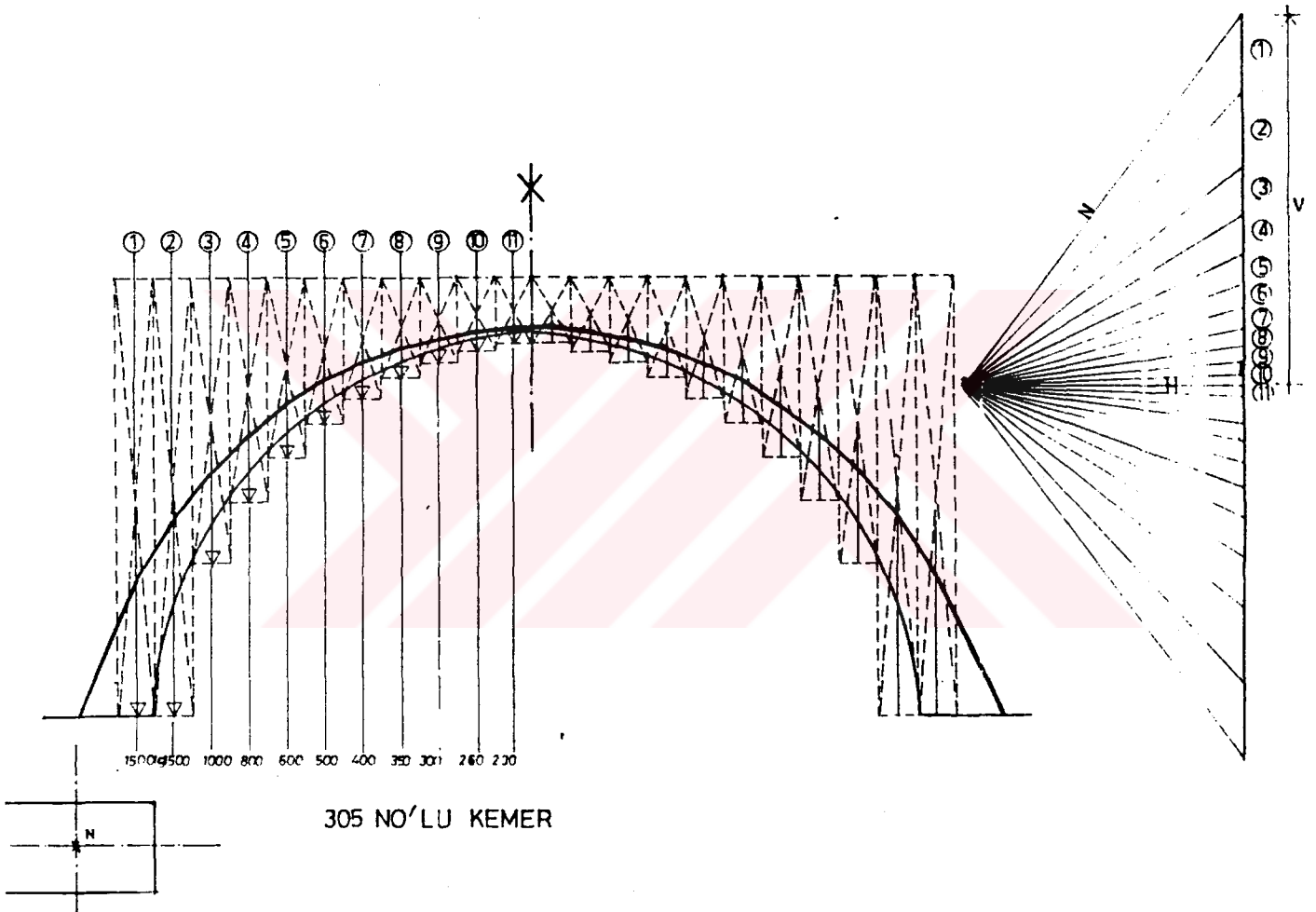
Şekil 4.12



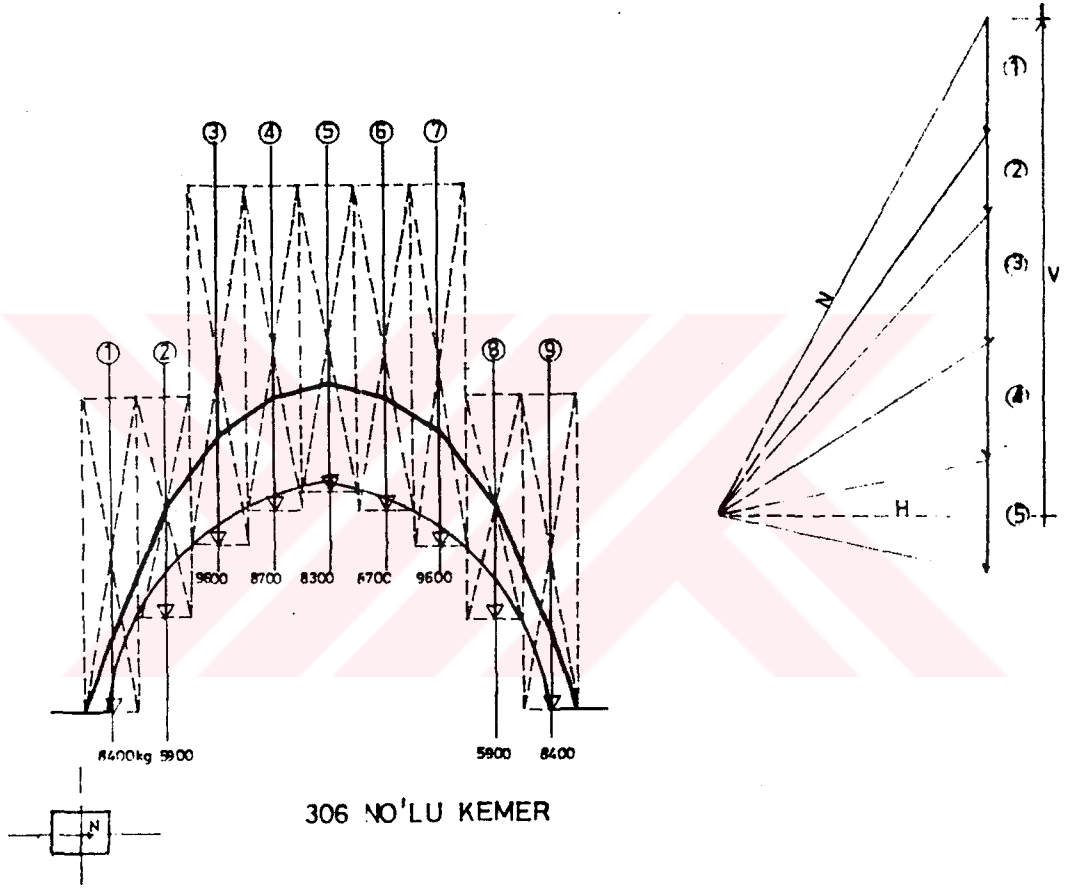
Şekil 4.13



Şekil 4.14



Şekil 4.15



Şekil 4.16

303 no'lu kemer üzerine üst yapıdan gelen yük $q = 103$ kg/cm, özağırlıktan gelen yük $g = 2$ kg/cm alınarak mesnet reaksiyonları $N = 7949$ kg bulunmuştur. Kemer mesnetindeki mevcut gerilme

$$\sigma = \frac{7949}{11200} = 0,710 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{dir.}$$

304 no'lu kemer üzerine üst yapıdan gelen yük $q = 133$ kg/cm, özağırlıktan gelen yük $g = 2$ kg/cm alınarak mesnet reaksiyonları $N = 13419$ kg bulunmuştur. Kemer mesnetindeki mevcut gerilme

$$\sigma = \frac{13419}{11200} = 1,198 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{dir.}$$

305 no'lu kemer üzerine üst yapıdan gelen yük $q = 123$ kg/cm, özağırlıktan gelen yük $g = 2$ kg/cm alınarak mesnet reaksiyonları $N = 18663$ kg bulunmuştur. Kemer mesnetlerindeki mevcut gerilme

$$\sigma = \frac{18663}{11200} = 1,666 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{dir.}$$

306 no'lu kemer üzerine üst yapıdan gelen yük $q = 213$ kg/cm, özağırlıktan gelen yük $g = 2$ kg/cm alınarak mesnet reaksiyonları $N = 42355$ kg bulunmuştur. Kemer mesnetlerindeki mevcut gerilme

$$\sigma = \frac{42355}{11200} = 3,782 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{dir.}$$

5.SONUÇ

Bu çalışmada tarihsel süreç içinde kemerler incelenmiş kemerlerin formlarına göre bilinen sınıflandırılmasının yanında geometrilerine göre yeni bir sınıflandırılması yapılmış ve etkiyen yükler altında kemerdeki gerilmelerin bulunması için grafik ve matematik hesapların nasıl yapıldığı açıklanmıştır. Anadolu Selçuklu Devri yapılarından belirli zamanlarda hasar gören ve onarılan Konya İnce Minareli Medrese, Konya Sahipata Hanikahı ve Divriği Ulu Camii örnek alınarak bu yapılardaki onbir adet kemerin matematik ve grafik yolla analizleri yapılmıştır. Grafik analizlerden de görüldüğü gibi fiktif kagir yüklü tüm kemerlerde itki kuvvetlerinin oluşturduğu poligon, kemer kalınlığı içinde kalmaktadır. Konya İnce Minareli Medrese ve Sahipata Hanikahı'ndaki kemerler duvara mesnetlendikleri için bu itki kuvvetleri duvar içine yayılmaktadır. Bu kemerlerde gerilme analizi yapılırken mesnet alanını hesaplamak için kesit uzunluğu olarak üzenği hattında itki kuvveti ile kemerin iç yüzü arasındaki mesafenin iki katı alınmıştır. (şekil 4.4) Divriği Ulu Camii'nde ise kemerler ayaklara mesnetlendikleri için gerilme analizinde kesit alanı olarak ayakların kesit alanı alınmıştır. (şekil 4.16)

Bu yapılara ait kemerler üzerinde yapılan tüm analizlerin sonuçları tablo 5.1' de verilmiştir. Bu tabloda da görüldüğü gibi Anadolu Selçuklu Devrine ait incelenen yapılardaki kemerler mevcut yükler altında stabildir.

Bu kemerlere ait grafik ve matematik çözüm sonucunda bulunan gerilmeler $\sigma = 17 \text{ kg/cm}^2$ emniyet gerilmesinden oldukça küçüktür. Mevcut gerilmenin emniyet gerilmesine oranı olan ve min. G_{\min} 1.5-2 olarak kabul edilen güvenlik değeri incelenen tüm kemerler için minimum değerden büyüktür.

Bu çalışma ile restorasyon yapılacak yapılarda kemerlerde meydana gelmiş hasarların saptanmasında izlenecek analitik yöntem belirlenmiştir.

YAPI ADI	KEMER NO	AÇIKLIK (CM)	R1 (CM)	R2 (CM)	α	L (CM)	KESİT ALANI (CM ²)	YÜKLER (KG/CM)		GRAFİK ÇÖZÜM		MATEMATİK ÇÖZÜM		
								q	g	N (KG)	σ (KG/CM ²)	N (KG)	σ (KG/CM ²)	G
KONYA İNCE MINARELİ MEDRESE	101	615	578	237			11000	465	11	76000	6,909	76046	6,913	2,46
	102	169		86	26	42	8000	68	7,2	3550	0,319	3613	0,452	37,6
	103	224		116	255	55	2040	30	2,16	1950	0,956	1995	0,978	17,4
KONYA SAHİFATA HANIKAHI	201	557	774	245			9450	196	10,8	35100	0,371	35132	3,178	4,57
	202	311		160	225	82,5	2560	35	3,6	3240	1,266	3408	1,331	12,8
DIVRIGI ULU CAMII	301	874	510				11200	253	2	55800	4,982	55973	4,998	3,40
	302	832	478				11200	258	2	57100	5,098	57596	5,143	3,31
	303	300	214				11200	103	2	8000	0,714	7949	0,710	23,9
	304	410	259				11200	133	2	13350	1,192	13419	1,198	14,2
	305	609	318				11200	123	2	18500	1,652	18663	1,666	10,2
	306	778	440				11200	213	2	42000	3,750	42355	3,782	4,49

TABLO 5.1

KAYNAKLAR

- 1- Akok, M., 1972. Konya'da İnce Minareli Medresenin Rölöve ve Mimarisi, Türk Arkeoloji Dergisi, Sayı XIX-1 : 5-36
- 2- Akok, M., 1972. Konya'da Sahib-ata Hanikah, Camiinin Rölöve ve Mimarisi, Türk Arkeoloji Dergisi, Sayı XIX-2 : 5-32
- 3- Altun, A., 1988. Ortaçağ Türk Mimarisinin Anahatları İçin BİR Özet, Arkeoloji ve Sanat Yayınları İstanbul : 47 - 66
- 4- Arseven, C.E., 1983. Sanat Ansiklopedisi, Cilt II M. E. B. Yayınları İstanbul : 1006 - 1023
- 5- Aslanapa, O., 1971. Türk Sanatı, Remzi Kitabevi Yayını İstanbul : 120 - 187, 218 - 298
- 6- Beazley, M., 1988. The World Atlas of Architecture Portland House Press, New York : 102- 110
- 7- Çamlıbel, N., 1988. Sinan Mimarlığı'nda Strüktürün Analitik İncelenmesi, Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, İstanbul : 167 - 175
- 8- Feilden, B. M., 1982. Conservation of Historic Buildings, Butterworth Scientific, London : 38 - 40
- 9- Nauman, R., 1991. Eski Anadolu Mimarlığı, T.T.K. Basımevi, Ankara : 126 - 136
- 10- Ramaswamy, G. S., 1968. Design and Construction of Concrete Shell Roofs, McGraw - Hill Book Company, New York : 45 - 83

11- Sözen, M., Tanyeli, U. 1986. Sanat Kavram ve Terimleri Sözlüğü, Remzi Kitabevi Yayınları, İstanbul : 127 - 128

12- Yavuz, A. T., 1983. Anadolu Selçuklu Mimarisinde Tonoz ve Kemer, Kelaynak Yayınevi, Ankara



ÖZGEÇMİŞ

- 10.02.1970 İstanbul'da doğdu.
- 1987 F.M.V. Özel Işık Lisesini bitirdi.
- 1992 Y.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünü bitirdi.
- 1993 Y.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Ana Bilim Dalı Taşıyıcı Sistemler Bilim Dalında araştırma görevlisi oldu.
- Halen bu görevine devam etmektedir.