

**BETONARME YAPI ELEMANLARININ ÇELİK
LAMALARLA GÜÇLENDİRİLMESİ VE
BİRLEŞTİRİLMESİ; DENEYSEL İNCELEME**

143060

**DOKTORA TEZİ
Y. Mim. Mahmut KÖSE
(502932206)**

143060

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Eylül 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Mart 2002**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Kaya ÖZGEN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Erol GÜRDAL (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Özkan İŞLER (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Sadettin ÖKTEN (M.S.Ü.)
Prof.Dr. Hakkı ÖNEL (Y.T.Ü.)

Kaya ÖZGEN
Erol GÜRDAL
Özkan İŞLER
Sadettin ÖKTEN
Hakkı ÖNEL

MART 2003

ÖNSÖZ

Tez çalışmamdaki yapıcı eleştirileri ile çalışmalarına yön veren ve her konuda ilgi, destek ve hoşgörüsünü esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof.Dr. Kaya ÖZGEN'e,

bu süreçte sürekli desteğini gördüğüm hocam, Prof. Dr. Erol GÜRDAL'a, fikirlerinden her zaman yararlandığım Doç. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER'e, deneysel çalışmalarına malzeme desteği sağlayan Sayın Oğuz Arıburnu ve İZOMAS firmasına, deneysel çalışmalarındaki en büyük yardımcım teknisyen İbrahim ÖZTÜRK'e,

çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Doç. Dr. Ahmet GÜLEÇ, Y. Doç. Dr. Halet Almila BÜYÜKTAŞKIN, Dr. Filiz Akşit ve Ayşe Serpil GÜLTEKİN'e,

beni her zaman destekleyen aileme, annem ve babam Gülhanım ve Mehmet KÖSE'ye, kardeşim Hatice BAĞCI'ya, tez çalışmamda sürekli destek olan eşim Özlem ve çocuklarım Ece ve Mehmet'e teşekkürlerimi sunarım.

Mart, 2003

Mahmut KÖSE

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel	1
1.2. Çelik Elemanlarla Güçlendirme	4
1.3. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	7
1.4. Konuya İlişkin Çalışmalar ve Tanımlamalar	10
2. BETONARME TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARININ DIŞ YÜZEYLERİNDEN BAĞLANAN ÇEŞİTLİ LEVHALARLA GÜÇLENDİRMESİ YÖNTEMLERİ	20
2.1. Genel	20
2.2. Betonarme Kolon ve Kirişlerin Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri	22
2.3. Taşıyıcı Sistemde Yapıştırırmalı Birleşim Kullanılması	22
2.4. Onarım İşlemleri	24
2.4.1. Kolon ve kirişleri hasarlı ve kusurlu kısımlarından arındırılması	24
2.4.2. İzolasyon işlemleriyle yapı malzemelerine dış etkilere karşı mukavemet kazandırılması	25
2.4.3. Çatlak onarımı yapılması	25
2.5. Kolon ve Kirişlerin Güçlendirme Uygulamaları	25
2.5.1. Mantolama	26
2.5.2. Kanat ekleme	26
2.5.3. Betonarme elemanın dış yüzeyden yapıştırılan çelik lama veya kompozit levhalar ile güçlendirilmesi	27
2.5.3.1. Karbon lifi takviyeli polimer (CRFP) ile güçlendirme	27
2.5.3.2. Cam lifi takviyeli polimer (GRFP) ile güçlendirme	28
2.5.3.3. Çeşitli boyutlarda çelik lamalar ile güçlendirme	28
3. MATERYAL ve METOD	32
3.1. Genel	32
3.1.1. Beton yapı malzemesi	33
3.1.2. Epoksi reçinesi	34
3.1.2.1. Mekanik özellikleri	37
3.1.2.2. Epoksilerin yapıştırıcılık özelliği	37

3.1.2.3. Epoksi Yapıştırıcı Formülasyonu	38
3.1.2.4. Yapışma teorileri	40
3.1.2.5. Islanma	43
3.1.3. Çelik lama	43
3.2. Uygulanan Metodun ve Amacın Açıklanması	44
3.2.1. Uygulama kriterleri	45
3.2.1.1. Yüzey hazırlığı	46
3.2.1.2. Uygulamanın yapılması	46
3.2.2. Değerlendirme kriterleri	47
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	49
4.1. Genel	49
4.2. Deney Ortamı ve Kullanılan Cihazlar	49
4.3. Deneysel Çalışma Programı	51
4.3.1. Deney örneklerinin üretimi	53
4.3.2. Ön deneyler	55
4.3.3. Ana deneyler	58
5. SONUÇLAR	60
5.1. Genel	60
5.2. Birleştirilmiş Kiriş Modeli Deney Sonuçları	62
5.3. Birleştirilmiş Çerçeve Köşesi Modelleri Deney Sonuçları	71
5.4. Sonuçların Değerlendirilmesi	79
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	86

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan kiriş modelleri ve tanımları	58
Tablo 4.2. Deneylerde kullanılan çerçeve köşesi modelleri ve tanımları	59
Tablo 5.1. Bütün modellerin eğilme deneyi sonuçları	61
Tablo 5.2. Model gurupları ve göçme yükleri.....	61
Tablo 5.3. Deney modeli gurupları ve ortalama göçme yükleri.....	71
Tablo 5.4. Çelik lamaların betonarme yüzey ile oluşturdıkları aderans değerleri .	79



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Deney düzeneği	13
Şekil 1.2. Kabuk ayrılması ile başlayan, yapıştırıcı tabaka mukavemetinin yüksek olduğu göçme.....	15
Şekil 1.3. Lama Ayrılması ile Başlayan, yapıştırıcı tabaka mukavemetinin düşük olduğu göçme.....	15
Şekil 1.4. Çelik profil ve lamalar ile bandaj yapılarak kolon güçlendirilmesi ve köşe detayları.	16
Şekil 2.1. Çelik elemanlarla yapılan güçlendirme	21
Şekil 2.2. Betonarme elemanın çelik lama ile güçlendirilmesi; Bulonlu birleşim.....	21
Şekil 3.1. Islanma temas açısı	43
Şekil 4.1. Seidner basınç ve eğilme test cihazı	50
Şekil 4.2. Deney düzeneği ve yükleme şekilleri.	50
Şekil 4.3. Epoksi reçinesi aderans testi	51
Şekil 4.4. Kiriş mukayese modeli donatı açılımı	52
Şekil 4.5. Eleman deney modeli donatı açılımı.	52
Şekil 4.6. Çerçeve köşesi mukayese modeli donatı açılımı	53
Şekil 4.7. Temizlenmiş ve astarlanmış yüzey.	53
Şekil 4.8. Pürüzlendirilmiş yüzey.	54
Şekil 4.9. Çelik lamalar ve karışımın hazırlanması.	54
Şekil 4.10. Yapıştırma işleminin tamamlanması.	55
Şekil 4.11. Aşırı miktarda lamalanan bir modelin göçme şekli (Ön deney).....	56
Şekil 4.12. Pas payı ayrılması ve lama sıyrılmasıyla oluşan göçme.....	57
Şekil 5.1. Kiriş mukayese modeli	62
Şekil 5.2. BK10150 modelinin eğilme deneyi sonucu göçmesi	63
Şekil 5.3. Birinci grup kirişlerin, mukayese modeli ile karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.4. BK20140 birleştirilmiş kiriş deney modeli.....	65
Şekil 5.5. BK20140 modelinin göçmesi	65
Şekil 5.6. BK20150 modelinin göçmesi	66
Şekil 5.7. İkinci grup kirişlerin mukayese modeli ile karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.8. BK20250 modelinin eğilme deneyi sonucu göçmesi	68

Şekil 5.9. Üçüncü grup kirişlerin, mukayese modeli ile karşılaştırılma	69
Şekil 5.10. Tüm kiriş modellerinin karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.11. Mukayese modelinin deney düzeneğine yerleşimi	72
Şekil 5.12. CK-100 kodlu mukayese modelinin göçmesi.....	72
Şekil 5.13. CK201 deney modeli	73
Şekil 5.14. CK201 göçme sonundaki çatlak oluşumu	73
Şekil 5.15. CK101 ikinci grup deney modeli.....	74
Şekil 5.16. İkinci grup deney modelinin göçmesi ve çatlak oluşumu	74
Şekil 5.17. Üçüncü grup deney modeli (CK103).....	75
Şekil 5.18. CK103 modeline göçme deneyi uygulanması – göçme mekanizmasının belirlenmesi için model göçtüktan sonrada bir miktar yükleme yapılmıştır.	76
Şekil 5.19. Üçüncü grup deney modellerinin karşılaştırılması	77
Şekil 5.20. Aynı beton yüzeyin farklı şekilde pürüzlendirilmesi ile yapıştırılan çelik ve alüminyum deney örnekleri.	78
Şekil 5.21. Aderans deneyi (Pull off test)	78



BETONARME YAPI ELEMANLARININ ÇELİK LAMALARLA GÜÇLENDİRİLMESİ VE BİRLEŞTİRİLMESİ; DENEYSEL İNCELEME

1.1 ÖZET

Yapıların projelendirilmesi, uygulanması ve kullanılmasında yapılan bir takım hatalar ve/veya verilen yanlış kararlar, deprem gibi doğal afetler zaman zaman betonarme yapıya müdahale ve değişiklikler gerektirmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemde yapılan bu tür değişiklik ve eklemeler yeri ve amacına göre onarım, güçlendirme ve iyileştirme gibi adlar almaktadır. Betonarme yapılarda, çeşitli nedenlerle yapılacak taşıyıcı sistem değişikliklerinde kullanılabilecek en etkili-verimli uygulamalardan biri, çelik lamaların epoksi reçinesi ile betonarme elemanın dış yüzeylerine yapıştırılması yöntemidir.

Çalışmanın amacı, betonarme elemanlara çelik lamaları dış yüzeylerinden epoksi ile yapıştırarak taşıma gücünü artırmayı sağlayan bir güçlendirme yönteminin niteliklerini kaynak alıp, olumsuz noktaları da kontrol altında tutarak üretilen güçlendirme modellerinin etkinliğini, kullanılan malzemelerin performansları açısından, deneysel olarak ortaya koymaktır. Bu uygulamalarda epoksi reçinesinin, betonarme yüzey ve çelik plaka arasında oluşturduğu aderansı yüksek ve dış etkilerden oldukça az etkilenen bağlayıcılık özelliği belirleyici olmaktadır. Bu bağın üç ana ögesi başta epoksi reçinesi olmak üzere çelik ve betonarme elemandır. Bu kapsamda gerçekleştirilen deneyler sunulmuş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Bu çalışma beş bölümden oluşmuştur.

Bölüm 1’de, yapılan çalışmanın amaç ve kapsamının açıklanmasına bağlı olarak temel kavram ve güncel bilgiler sunulmuştur. Bu bölümde;

- Genel anlamda güçlendirme, onarım ve yenileme kavramları,
- Taşıyıcı sistemde yapılacak zorunlu güçlendirme / onarım uygulamalarının ülkemiz için önemi, olası sebepleri ve sağladığı faydalar,
- Genel olarak taşıyıcı sistemde yapıştırılmış birleşim ve çelik lama kullanımının olumlu ve olumsuz yönlerinin değerlendirilmesi,

ele alınmıştır. Literatür taramasından sağlanan veriler doğrultusunda, konu ile ilgili çalışmalar tanıtılmış ve bu çalışmanın içeriği ile benzer ve farklı yönleri ortaya konulmuştur. Bu çalışmalarda çelik lamalar ve alternatif malzemelerin epoksi reçinesi veya alternatif bağ oluşturma teknikleri kullanılarak uygulanan betonarme güçlendirme ve onarım metotlarının performansları ve hesap-tahmin formülleri, genellikle karşılaştırmalı deneysel çalışmaların sonuçlarına bağlı olarak açıklanmaktadır.

Bölüm 2’de, hizmet halindeki betonarme yapıların güçlendirme ve onarım metotları genel olarak sınıflandırılmış ve çelik lamanın epoksi reçinesi ile oluşturduğu yapıştırırmalı birleşime dayanan güçlendirme metodunun bu kapsamdaki yeri belirlenmiştir.

Bölüm 3’de, konu ile ilgili metodun uygulama işlemleri ve kapsamındaki malzeme girdilerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, uygulanma kriterleri, diğer malzemelerle etkileşimleri anlatılmıştır. Bölümün sonunda, ortaya konulan verilere dayanılarak, bu çalışmada sonuca ulaşma doğrultusunda oluşturulan yöntem açıklanmıştır. Yapılan deneyler aşağıda belirtilen iki ana grupta planlanmıştır:

- İki standart betonarme elemanın, epoksi reçinesi ile yapıştırılan, değişik şekillerdeki çelik lamalar ile birleştirilmesi-eklenmesi sonucu elde edilen yeni kolon –kiriş düzeninin, özel bir deney düzeneğinde incelenmesi,
- Aynı şekilde iki standart betonarme elemanın, epoksi reçinesi ile yapıştırılan, değişik şekillerdeki çelik lamalar ile birleştirilmesinden üretilen kirişin, aynı boyut ve taşıma gücü değerindeki tek parça kiriş ile karşılaştırılıp deneysel olarak karşılaştırmalı sonuçların sunulması.

Bölüm 4’de, deneysel çalışma programı açıklanmıştır. Bu program doğrultusunda kullanılacak deney örnekleri, deney cihazları ve parametreleri, referans çalışmalar ve standartlara bağlı olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar ön ve ana deneyler olmak üzere iki aşamada yapılmıştır. Ön deneyler aşamasında farklı boyut, şekil ve işlem parametreleri denenmiş ve elde edilmek istenen veriler doğrultusunda ana deney modelleri planlanmıştır. Ana deneyler için, çelik lamaların epoksi reçinesi yapıştırılması ile iki betonarme eleman, 3 farklı çerçeve köşesi ve 4 farklı kiriş modeli oluşturmak üzere birleştirilmişlerdir. Deney modelleri üretiminde, çelik lama boyut, miktar ve yerleşim bölgeleri , yapışan tarafların yüzey koşulları değişken, betonarme elemanın taşıma gücü ise sabit değer olarak kabul edilmiştir. Bu

kapsamda her bir guruptaki birleştirilmiş deney modellerinin taşıma güçleri, çatlak oluşumları, yük altındaki davranışları açısından birbirleriyle ve mukayese amaçlı üretilen tek parça çerçeve köşesi ve kiriş modelleri ile karşılaştırmaları yapılarak sonuçlar sunulmuştur.

Beşinci ve son bölümde ise, elde edilen deney sonuçları grafik ve şekil anlatımları ile ifade edilerek yorumlanmış, çalışmanın genel olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Konunun araştırılmasından ve deneysel çalışmalardan elde edilen sayısal ve gözleme dayalı verilerin yorumlanmasına bağlı olarak, çalışmanın sonuçları aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Çelik lamalar kullanılarak betonarme elemanlarda ek ve güçlendirmeye yönelik çalışmaların esasları ve özellikleri incelenmiş, konuya yönelik geniş bir kaynak taraması yapılmıştır.
- Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerdeki bağlantılar, çelik lamalarla oluşturulacak güçlendirmelerin, bu tür durumlarda verimli bir şekilde kullanılabileceğini doğrulamaktadır.
- Yapılan deneylerde birleşim elemanı olarak, ülkemizde temin kolaylığı nedeniyle çelik lamalar seçilmiş ve bunların etkinliği araştırılmıştır. Kaynak taramasında da belirtildiği üzere benzer uygulamalar, elyaf türü malzemeler içeren elemanlarla da yapılmaktadır; bu doğrultudaki deneyler başka bir çalışmanın konusu olabilir.
- Bu arada deney düzeneği gereği seçilen yükleme durumlarına bağlı olarak oluşan çekme bölgeleri çelik lamalarla güçlendirilmiştir. Deprem etkisi benzeri tersinir yük durumlarında seçilen yapıştırma bölgelerinin karşıtlarına / karşı taraflarınada lama yapıştırılması gereği açıktır.
- İki tür betonarme deney örneğinin, epoksi reçinesi ile yapıştırılmış çelik lamalarla birleştirilmesi ile üretilen ideal kiriş ve çerçeve köşesi modelleri, yük altında yüksek oranda kompozit davranış göstermişler, eğilme ve çekme mukavemet değerlerinde belirgin artış kaydedilmiştir.
- Esnek epoksi sistemi sayesinde yapışkan tabaka, göçme mekanizmasının son adımına kadar çatlamıştır. Bu özelliği, hem beton ile çelik arasında gerilme transferi sağlayarak sistemin göçmesini geciktirir, hem de kompozit sistemin yapısal direncine katkı sağlar.

- Uygun epoksi sistemi kullanılarak ve önerilen işlem kriterlerine bağlı kalarak yapılan her uygulamada potansiyel göçme davranışı kesinlikle yapışkan tabakadan başlamamaktadır. Göçme mekanizması büyük oranda paspayı bölgesinin mukavemetine ve donatı çeliği ile var olan aderans seviyesine bağlıdır.
- Paspayı bölgesinin ayrılmasını geciktirmek için daha fazla sayıda ve daha büyük boyutlu, çift yönlü çelik lama kullanılması bir çözüm olarak düşünülebilir. Gerilme yığılmasının meydana geldiği paspayı bölgesindeki beton kısımların çıkarılıp yüksek mukavemetli tamir harcı ile dolgu yapılması da taşıma gücünün artması ve daha estetik bir görünüm için katkı sağlamakla beraber maliyeti yükseltmektedir.
- Çalışma kapsamında, seçilen bağlantı türü ve malzemelerinin sakınca ve kısıtlamaları da ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir; böylesi uygulamalarda bu hususların göz önünde tutulması gereği açıktır. Diğer taraftan bu tür çalışmaların bu konunun uzmanı deneyimli elemanlar ve ekipler tarafından yürütülmesi zorunludur.
- Uygulanan bağlama - yapıştırma sisteminin kriterlerine bağlı kalınarak, taşıyıcılık bütünlüğünü kontrol altında tutabilir, diğer bir deyişle, aynı malzemelerle aynı mukavemet ve boyuttaki betonarme elemanları, aynı işlem dizisi uygulanan bu teknik ile aynı performans ve sonuç elde edilebilir. Bu durum aynı zamanda her yükleme seviyesinde basit mühendislik kuralları için veri oluşturabilir.
- Sonuç olarak bu yöntem; kriterlerine bağlı kalındığında betonarme taşıyıcı sistemin güçlendirme ve birleştirme uygulamaları için basit malzeme, işlem ve ekipmanlar ile uygulanabilen yeterli, etkili ve ekonomik bir seçenektir.

THE STRENGTHENING AND JOINING METHOD FOR STRUCTURAL CONCRETE MEMBERS BY USING STEEL PLATES; EXPERIMENTAL STUDY

1.2 SUMMARY

Errors committed or wrong decisions taken during the project implementation, in addition to the unreasonable usage of the buildings or natural disasters like earthquake lead sometimes to some preventions and changes for reinforced concrete buildings. Such changes or additions made to the reinforced concrete structural system, according to their purposes are called as Repair, Strengthening and restoration. One of the most effective and efficient application type, that can be used for structural renovations, placing is to bond steel plates to the external surfaces of the concrete element. Placing epoxy-bonded steel plates to the external surfaces of the concrete elements can provide effective solutions for the rectification of existing concrete structures. The technique used for adhesive plate bonding has been known world-wide for a long time and also supported by scientific researches.

The purpose of this experimental study is to evaluate the strengthening realized by the joining method not only the application criteria and related materials are given but also advantages and inconvenient of the method are pointed out. The adhesion material which has high strength and chemical resistance placed between epoxy, steel and concrete surfaces, is to determine the factor of strength for bonding. This adhesion is composed of tree elements which are concrete, steel and epoxy resin. In this content, all of the recent studies performed are presented and their conclusions are analyzed. This study consists mainly of five parts.

In the first point, in relation to the explanation of study's purpose and contents general information and contemporary applications are presented. In this section;

- General concept for strengthening, repair and restoration ,
- The importance and possible reasons for obligatory strengthening and repair applications for country,

- In advantages and disadvantages of sides of adhesive joints for structural systems are examined.

In relation the data obtained from the literatural research, similar and different results of the study are compared and presented. In these studies, generally the performance obtained from concrete strengthening and repair methods which are applied using steel plates or alternative materials with epoxy resin or bond materials are explained and commented on according to the results of the comparative experimental studies.

In second part, strengthening and repair methods for existing concrete buildings are classified and the strengthening method realized by the usage of epoxy resin and steel plates is evaluated.

In third part, the application criteria, physical and chemical properties of the materials used in the strengthening application and the interaction of material is presented. According to the data presented, the original method and aimed conclusions are explained at the end of this section. The experimental studies are planned in two major groups as following;

- A new column-beam model is prepared by two standard reinforced concrete elements bonded with epoxy resin and steel plates in different forms. These types of testing models are evaluated in a special experimental set-up.
- Similarly, a testing beam obtained by two standard reinforced concrete elements bonded with epoxy resin and steel plates compared with a same size one piece beam without bonding elements. Then the results are presented.

In the fourth part, the experimental program is explained. testing models, equipments, parameters which will be used this program are identified in relation to reference studies, these experimental studies can be classified as two levels; preliminary and main experiments. At the preliminary experimental phase, different sizes, shapes and application criteria's are tested. Depending is data, the models for main experiments are planned and produced. For the main experiments, two reinforced concrete elements are bonded with epoxy and steel plates to produce three different column-beam joint models. In testing model production, amount and sizes of steel plates, surfaces conditions of adhesives are set as variable and the strength of reinforced concrete models are set as fixed value. In this respect, all of bonded experimental models are tested and compared according to the loading capacity, crack formation, behavior under loading, and then conclusions are presented.

In the fifth and the last part, the test results obtained are examined graphics and figures are obtained. The conclusions depending on the data obtained are listed below with the following points:

- The principles and properties of the study related to strengthening and bonding methods using steel plates are examined and an extensive literature research is performed.
- The experimental studies show that the bonding technique realized by epoxy can provide satisfactory results under specific conditions.
- In the experimental study, steel plates are selected and tested as strength material since they are easier to obtain in our country. As mentioned in literature, for the similar strengthening applications, reinforced fiber sheets can also be used instead of steel plates. This type of strengthening technique using different materials can be subject of another study.
- According to experiment layout and loading conditions, tensile regions are strengthened with steel plates. Similarly, to earthquake type effect the opposite site of selected adhered regions could be adhered by steel plates in the necessity for the inverted load situations.
- Two types of reinforced concrete experimental models prepared with epoxy bonded steel plates, showed highly composite behavior under loading. In addition, a significant increase is noticed at tensile and flexural strength resistance.
- By the help of the epoxy system efficiency, the adhered layer is not cracked until the last step of failure. This situation leads to the delay of the failure by transferring the strength between both of the concrete and the steel plate and this also helps to structural strength of the composite system.
- In each testing model prepared by using appropriate epoxy system and proposed application criteria, potential failure is not observed to start at the adherent layer. Failure mechanism is obviously related to the cover region strength and adherence capacity between concrete and steel.
- To use the larger size and two sided steel plates can be a solution in order to delay the detachment in the bonded region.

- In the study, application limitations of the selected bonding type and materials evaluated in detail which are very necessary to consider for such applications. On the other hand, these types of studies should be carried out the experienced staff and workers.
- In respect to the applied adherence system's criteria, the integrity for the carrying capacity structural systems can be controlled. In other words, with this technique reinforced concrete members composed of same materials, having same strength and size, using same operation series, for same performance and results can be obtained
- As a result, if the method criteria's used in this study is applied properly, the method used for the strengthening and joining applications for on reinforced concrete members is economic, effective, simple and applicable.



2 GİRİŞ

2.1 Genel

Betonarme Yapı Sistemi, en çok tercih edilen yapı teknolojilerinden biridir. Bu sistemin tercih nedeni, ana malzemesi olan betonun olumlu özellikleridir. Dilimizde beton diye anılan bu yapı malzemesinin İngilizce'deki karşılığı "concrete", ana kaynağı ise Latince'deki "concretus" kelimesidir ki anlamı, "birleştiren" dir. Dünyada ve ülkemizde betonarmenin yoğun olarak kullanımının başlıca nedenleri;

- Kolay bir üretim evresine sahip olması,
- Bir takım ek önlemler almak ve katkı maddeleri kullanmak şartı ile aşırı olmayan her türlü çevre koşulunda standart kalitede üretim yapılabilmesi,
- Maliyetinin düşük olması,
- Hammadde temini ve kalitesi açısından, tükenmekte olan önemli doğal kaynaklara bağımlı olmaması şeklinde sıralanabilir.

Betonarme yapı sistemine olan bu yoğun talep, betonarme yapı miktarının önemli oranda artmasını beraberinde getirmiştir. Bu anlamda üretilen büyük miktardaki yapı için çeşitli nedenlerle ihtiyaç duyulan, onarım, iyileştirme veya güçlendirme adı verilen rehabilitasyon çalışmaları da önem kazanmıştır.

Son yıllarda, özellikle ülkemizde üretilen betonarme yapıların, projelendirilmesi, uygulanması ve kullanılması esnasında yapılan bir takım hatalar veya verilen yanlış kararlar, yapıya taşıyıcı eleman ve malzeme açısından yapılması gereken bir takım müdahale ve değişiklikleri gerektirmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemde yapılan bu tür değişiklik ve eklemeler, yeri ve amacına göre, onarım, güçlendirme, iyileştirme şeklinde uygulanmaktadır. Taşıyıcı sisteme müdahale işleminin, sınırlı bir hasarın giderilmesi için yapılmasına veya depremde hasar görüp taşıma gücü azalmış elemanlara deprem öncesi taşıma gücü değerlerini yeniden kazandırma işlemine "onarım" denir. Onarım, güçlendirme ve yenileme iç içe girebilen kavramlardır (Özgen, 1990).

Hasar olsun veya olmasın, taşıyıcı sistemin tümünün ya da belli elemanlarının taşıma gücünü artırmak veya ekonomik ömrü içinde sık sık olması beklenen düzeyde bir depremde hasar gören yapının aynı boyutta depremlerin birçok kez yinelenmesi beklentisi karşısında aynı hasarın tekrar tekrar olmaması için eski durumundan daha güçlü duruma getirilmesi için yapılan müdahale işlemleri “güçlendirme” adını alır. (Bayülke,1999). Diğer bir tanıma göre; tekrar kullanılmak üzere hasarlı binanın onarım uygulamaları restorasyon (restoration), hasar görmüş yapıların taşıyıcı kısımlarının performanslarını orijinal haline yükseltmek amacı ile yapılan iyileştirme uygulamaları onarım (repair), hasar görmüş yapıların taşıyıcı kısımlarının performanslarını orijinalinden daha yukarıya çıkarmak için yapılan/uygulanan işlemler de güçlendirme (strengthening) diye tarif edilmektedir (Fukuyama ve diğ., 2000).

Tamamı uzman firma veya kişiler tarafından projelendirilmesi ve uygulanması gereken bu müdahale işlemleri, farklı işlem dizileri ve malzemeleri yardımı ile uygulanmaktadır. Bu tür müdahalelere genellikle aşağıda belirtilen durum ve koşullar nedeniyle başvurulur:

- Yapım amacı dışında kullanılması ve çeşitli nedenlerle yapıya yatay ve dikey ekler yapılması sonucunda, taşıyıcı sisteminde yetersizlik ortaya çıkan yapıların hizmet halinde tutulması, can ve mal güvenliği açısından tehlikelidir. Hizmet dışı kalması gereken bu tür yapılara hesaplardan daha fazla yük vererek kullanmak, ekonomik ve sosyal açıdan gereklilik arz edebilir. Bu durumda yapı taşıyıcı sistemi, güçlendirme uygulaması ile yeni işlevini karşılayacak taşıma kapasitesine getirilmelidir.
- Yapı üretimi safhasında, yanlış ve/veya eksik malzeme kullanımı yada hatalı işçilik nedeni ile betonarme taşıyıcı sistemde bölgesel veya bütün olarak tahribatlar, yetersizlikler ortaya çıkmaktadır. Bu hataları, nadir de olsa üretim safhasında fark ederek yıkıp tekrar üretme şeklinde gidermek mümkündür. Ancak geri dönüş yapmanın mümkün olmadığı durumlarda bina tamamlandıktan sonra, kullanılmaya başlamadan önce bu tür hataların tespit edilerek taşıyıcı sistem elemanlarının yeterli duruma getirilmesi gereklidir.
- Özellikle deprem gibi doğal afetler nedeni ile bina taşıyıcı sistemlerinde meydana gelen hasarlar, yapılan tespit sonucunda belli standartlara ve ekonomiklik kriterine bağlı olarak onarılabılır durumda ise onarılmalı, aksi durumlarda yıkmalıdır.

- Dünyada, bu konu ile ilgili saptamalardan biri, kentlerdeki altyapı ile ilgili tesislerinin zaman içinde ciddi onarım ve yenilemeye ihtiyaç duymalarındır (Ritchie, 1994). Altyapı kullanım ömrünün uzatılabilmesi, yüksek maliyetler nedeni ile ekonomik fayda açısından da gereklidir.

- Mevcut  evre koşulları dikkate alınmadan yapılan mimari tasarımlarla birlikte, yetersiz ve/veya yanlış izolasyon uygulamaları nedeniyle yapıların betonarme elemanları yapıların bir takım zararlı kimyasal etkilere maruz kalmaktadırlar. Özellikle yapının kuzey yönüne bakan cephelerinde ve yeraltı su seviyesinin bina alt kotuna ulaştığı arazilerde bina yapılması durumunda, gerekli önlemler alınmadığında su ile gelen ve çözünen tuzlar zaman içinde betonun niteliklerini, nemden dolayı oluşan korozyon ise demir donatının niteliklerini zayıflatır. Bunun sonucu olarak, betonarme elemanın taşıyıcılık değerlerinde giderilmesi gereken çok önemli kayıplar meydana gelir. Bu durumda yapılması gereken işlemler, onarım uygulaması ile beraber yetersiz yalıtımları tamamlamaktır.

Bunların dışında bir yapının güçlendirilmesi, onarılması gibi müdahalelerin gerçekleşmesi ancak mülkiyet sahibinin kararına bağlıdır.  evre güvenliğinin tehdit altında bulunduğu hasar seviyeleri hariç, yapıya bu tür iyileştirmelerin yapılması veya mevcut deprem yönetmeliğine uygun hale getirilmesi için, herhangi bir yasal yaptırım bulunmamaktadır.

Ülkemiz nüfusunun önemli bölümü (%95) yüksek derecede deprem riski olan bölgelerde yerle mi  durumdadır. Ayrıca mevcut deprem tehlikesinden başka yapı ömrünün ortalama 50 yıl olduğu dikkate alındığında, taşıyıcı sistemleri onarım ve güçlendirme uygulaması gerektiren büyük miktarda ya lı bina yığınının bulunduğu bir gerçektir. Marmara ve Düzce depremlerinden (1999) sonra “güvenli yapı”, dolayısı ile “güçlendirme” kavramı önemle ele alınmış ve inşaat sektörümüzün çeşitli yan sektörleri ile birlikte bu konuda yeniden yapılanmasının bir zorunluluk olduğu ortaya çıkmıştır. Bu süreçte yapılan uygulamalarda onarım ve güçlendirme işlemlerinde, yöntem ve malzemelerin etkin kullanımları açısından bir takım bilgi eksiklikleri olduğu görülmektedir. Bu eksikliklerden dolayı hatalar içeren güçlendirme uygulamalarında büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Bunlardan başka bu konudaki bilgi eksikliği, konunun uzmanı olan donanımlı ve tecrübeli bazı firmalar tarafından kazanç oranını artırmak şeklinde değerlendirilmektedir. Ülkemizde bu konuyu anlaşılır ve standart bir işlem dizisi ile ortaya koyan, uygulama kriterleri ve sınırlarını belirleyen, ayrıca alternatif yöntemler ile kar ıla tırmayı mümkün kılan çalışmalara ihtiyaç olduğu açıktır. Bu anlamda söz konusu yöntemlerden biri olarak günümüzde yoğun talep gören bir güçlendirme

işlemi olan; “betonarme elemanların dış yüzeylerinden epoksi reçinesi ile yapıştırılan çelik lamalar ile güçlendirilmesi ve birleştirilmesi” uygulaması, bu tez çalışmasında deneysel olarak incelenmiştir.

Betonarme yapılarda onarım, güçlendirme gibi çoğu zaman yapı hizmet halindeyken bile kolaylıkla uygulanması istenen işlemleri veya çeşitli nedenlerle yapılacak taşıyıcı sistem değişikliklerini gerçekleştirmek için kullanılabilecek çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden elde edilmesi öngörülen performans kriterleri aşağıda verilmiştir;

- Taşıyıcı sistemin taşıma gücü değerlerinin emniyet sınırlarına yükseltilmesi,
- Uygulama sonunda ulaştığı değerleri zaman ve ortam şartlarından etkilenmeden koruyabilmesi,
- Hizmet halinde olan bir yapıda uygulanabilecek basit bir işlem dizisine sahip olması,
- Uygulandıktan sonra en kısa sürede yüksek taşıma gücü değerlerine ulaşarak hizmete verilebilmesi,
- Maliyet-performans oranının uygun olması.

2.2 Çelik Elemanlarla Güçlendirme

Betonarme taşıyıcı elemanların dış yüzeylerine yapıştırılan çelik lamalar ile yapılan güçlendirme işlemi, uzun bir geçmişi olan ve halen yoğun talebin gözlendiği yöntemlerden biridir. Bu yöntem ile taşıyıcı sistem bir bütün şeklinde ele alınarak yapı güçlendirmesi yapılabildiği gibi, eleman ölçeğinde uygulama yapmak da mümkündür.

Betonarme elemanların dış yüzeylerinden yapışkan bağ aracılığı ile güçlendirilmesi işlemi, taşıyıcı yapı sisteminde yapışma ile birleştirme tekniğinin ve buna bağlı olarak yüksek taşıma gücü değerlerine sahip yapı kimyasallarının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Taşıyıcı sistemde bu tür yapıştırıcıların kullanılmaya başlanması sayesinde, kısa sürede güvenli iyileştirme ve güçlendirmelerin yapılabilmesi mümkündür. Ayrıca bu tür malzemelerin, basit makina ve aletler ile uygulanabilen bir işlem dizisi gerektirmeleri, bu alanda uygulama açısından da kolaylıklar sağlamaktadır.

Asıl olarak taşıyıcı sistemde yapıştırıcı kullanımı hakkında olumlu ve olumsuz bir çok görüş vardır. Bu görüşler genellikle, fiziko-kimyasal yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir (Mouton, 1999). Genel olarak yapısal bir yapıştırıcı ile gerçekleştirilen birleştirme uygulaması, yüksek taşıma gücü değerleri sağlanması, kolay bir işlem dizisi ile hızlı bir şekilde hizmete alınabilmesi ve yapı ile ilgili diğer problemlere etkili çözümler getirmesi nedeni ile geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından tercih edilen popüler bir birleştirme tekniği olarak kabul edilir. Konu ile ilgili firmaların bünyesindeki yapımcılar tarafından üretilen yapıştırıcı formülleri, bina yapım, onarım ve teknolojilerinin gelişmesini sağlamaktadır. Ancak yapıştırma tekniği bazı ülkelerde, bir çok mimar ve mühendis tarafından yeterli derecede güvenilir bulunmamaktadır. Bunun başlıca nedenleri şunlardır:

- Yapıştırılmış birleşimler titreşimler, yorulma direnci, çevrenin bozucu etkileri ve sürekli yüksek gerilmelere maruz kalma gibi nedenlerle zaman içinde fiziksel kararlılıklarını kaybedebilir.
- Yapıştırılmış birleşimlerde taşıma gücü tespiti yapılması normal şartlarda tahribatlı deney yöntemleri ile mümkündür. Tahribatsız bir kontrol mekanizması ise pahalı cihazlar ve zahmetli bir işlem dizisi ile sağlanabilir. Dolayısı ile yapışkan bağın kullanımdayken sürekli kontrol altında tutulması mümkün değildir.
- Yapışma tabakasını gerektiğinde ayırtmak için kullanılan cihazlar karmaşık ve pahalıdır.
- Yapıştırıcı bağ yüksek sıcaklık derecelerinden ve ısınma-soğuma döngüsünden olumsuz etkilendiği için, sahip olduğu taşıma gücü değerlerini koruması mümkün olmayabilir.

Bu olumsuz nedenlerden çoğunun kısmen veya büyük oranda, bazı ek detay önlemleri ve farklı formül ve katkı kullanımı ile üstesinden gelinmesi mümkündür. Ancak maliyetin yükselmesi kaçınılmazdır. Dolayısı ile karar aşamasında maliyet-performans oranı dikkate alınmalıdır. Makro açıdan bakıldığında yapışma işleminin etkili bir sonuç vermesi için uygulama yapılacak yüzeylerin işleme tam olarak hazır olması ve yapışkanın fiziko-kimyasal oluşumunu yüksek performansla tamamlaması gereklidir. Bu nedenle her bakımdan başarılı bir sonuca ulaşma amacını desteklemesi gereken girdileri tam olarak kontrol altında tutmak hassas ve standart bir uygulama işçiliği ile mümkün olabilir.

Bu tekniğe mimar veya mühendisler açısından bakıldığında, mevcut olan en uyumlu, kolay uygulanabilen ve düşük maliyetli kombinasyonları bulmak önemlidir. Bu nedenle, betonarme elemanları yapıştırarak birleştirme uygulaması, bu isteklerin tümünü karşılayabilen bir tekniktir.

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında yapıştırmalı birleşim tekniğinin kullanımı, 1999 Marmara depreminden sonra yoğun ve ani bir talep görmüştür. Bu talep nedeniyle teknik eleman, ekipman ve malzeme konusunda bilgi yetersizliği, çok sayıda kontrolsüz uygulamaların gerçekleştirilmesine sebep olmuştur. Yetersiz denetim sonucu depremde hatalı ve eksik imalat nedeniyle hasar gören yüksek miktarda yapının sorumlusu olan yüklenici firmalar ve eğitimsiz kaba yapı taşeronlarının, çok titiz bir işlem dizisi ve bilgisi gerektiren güçlendirme uygulamalarını yüklenmelerine, yasal yolla ve mevcut piyasa ortamında engel olmak mümkün değildir. Kaldı ki engeller de hiçbir zaman çözüm olamamıştır. Karne sahibi yükleniciler tarafından denetim altında inşa edilen okul, hastane gibi devlet yapılarının bir çoğunun deprem sonucunda güvensiz oldukları ortaya çıkmıştır. Kısacası bu ve bunun gibi talep gören birkaç güçlendirme tekniğinin uygulanması alanında var olan bilgi ve vasıflı eleman açığının kısa sürede kapatılması, içinde bulunduğumuz yapıların iyileştirilmesi sürecinin temel çalışmalarından biri olmalıdır.

Yapılan uygulamaların başarısı için gerekli temel kriterlerden biri, kullanılan malzemelerin doğru olarak seçilmesidir. Ülkemizde betonarme elemanları güçlendirme malzemeleri piyasasında, yapı kimyasalları veya yapısal yapıştırıcılar denilen çok sayıda polimer kökenli ürün, deprem sonrasında fiziksel ve kimyasal özellikleri ve davranışları tam olarak bilinmeden pazarlayıcı firma tavsiyeleri ile kullanılmıştır. Seçim kriteri genellikle ürünün ne kadar yük taşıyabileceğidir. Ancak yukarıda belirtildiği gibi, taşıyıcı sistemde yapıştırmalı birleşimler ile oluşan yüksek taşıma gücüne sahip ara yüzey bağ özelliklerini fiziko-kimyasal bir yaklaşımla değerlendirmek gerekir. Bu bağlamda önemli olan betonarme birleşimin ne kadar taşıyacağı değil, bir bütün olarak sistemin hangi şartlarda ve hangi işlem dizisi ile güçlendirildiğine bağlı olarak yük altında nasıl bir davranış göstereceğidir. Çünkü bu tür yapıştırma uygulamalarında elde edilen aderans değerlerini ve yapışkan tabakanın taşıma gücünü tespit etmek için bilinen düşük maliyetli ve tahribatsız bir deney metodu geliştirilmemiştir. Dolayısı ile kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kullanım kriterleri ve doğru uygulama prensipleri, üretici firma tarafından ürün ile beraber detaylı bir el kitabı halinde ve danışman desteğinde kullanıcılara sunulmalıdır.

2.3 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Özellikle deprem hasarlarının en fazla görüldüğü yapı detaylarından biri kolon-kiriş bileşimleridir. Ayrıca betonarme kirişlerde, deprem dışında hasar meydana getiren diğer bir etken aşırı yük' tür. Projesine uygun şekilde kullanılmayan veya hatalı üretim yapılan taşıyıcı sistemlerdeki kirişlerin gövde kısmında kesme mukavemetinin yetersizliğinden kaynaklanan enine çatlaklar çok rastlanan bir hasar şeklidir. İlk kısımda da detaylı olarak belirtilen tüm hasar şekillerinde kullanılabilen, farklı boyutlu çelik lamaların, epoksi reçinesi ve epoksi harcı kullanılarak, betonarme elemana kullanım halinde iken betonarme ek yapımının incelenmesi, bu çalışmanın kapsamı içindedir.

Bu konuda farklı bakış açılarına göre yapılmış pek çok araştırma vardır. Bu araştırmalarda çoğunlukla yapıştırılan lamaların yük altında maruz kaldıkları gerilmeler incelenmiştir. Ancak işlem prensipleri, kesin davranış ve etkiler hakkında yeterli düzeyde çalışmalar yapılmamıştır. Yapılan benzer çalışmalar, belirli çerçevelerde oluşmuş ve birbirlerini desteklemişlerdir. Bu çalışmalar, çoğunlukla betonarme kirişlerin veya az miktarda da kolon ve döşeme elemanlarının, güçlendirilme metodu veya malzemeleri hakkında yapılmıştır. Tamamen deneysel verilerle ortaya konan bu araştırmaları, bir sistematik içinde değerlendirmek mümkündür. Bu çalışmalarda öncelikle bir deney programı doğrultusunda betonarme kolon, kiriş veya döşeme elemanları hasara uğratılmakta, daha sonra kopan parçaların temizlenmesi, kesit kayıplarının epoksi harcı ile doldurularak elemanın eski formuna getirilmesi işlemleri uygulanmaktadır. Ayrıca çatlaklara epoksi enjeksiyonu yapılmak kaydıyla sabitlenerek sertleşmeye bırakılmaktadır. Onarılan eleman daha sonra tekrar hasara uğratılarak, orijinal betonarme eleman ile karşılaştırmalı bir şekilde deney sonuçları elde edilmektedir. Bu çalışmalarda genel olarak araştırılan parametreler ve varılmak istenen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- a) Lama boyutları: Çelik veya diğer ince kompozit şeritlerin yüklendikleri görev olup amaç betonarme elemanın çekme bölgesindeki taşıma gücünü artırmaktır. Lama kalınlık ve uzunluğunun artması, belli bir oranda kesme kuvvetlerine karşı kolon veya kirişin taşıma gücünü artırmaktadır.
- b) Lama malzemesi ve özellikleri: Güçlendirme işleminde kullanılan çelik lama veya kompozit şeritlerin karşılaştırmasını gerilmeler, deformasyonlar, işlenebilirlik ve maliyet açısından yapmak gerekmektedir.
- c) Yapıştırıcı etkileri: Yapıştırma işleminde kullanılan kimyasal malzemenin kalınlığının deformasyon ve gerilmeler üzerine etkisini belirlemek, ayrıca

şantiye kullanımında yapıştırıcı kalınlığını sabitlemek için yöntem geliştirmek, yapıştırıcının betonarme üzerindeki kullanım ömründe karşılaşılabileceği çeşitli çevresel faktörler karşısındaki davranışlarını belirlemek ve bunların betonarme ile kompozit bir hareket içinde olması için ampirik ve nümerik değerler, formüller geliştirmek gereklidir.

- d) Gerilme yığılma bölgesi: Betonarme elemanların değışiklik gösteren gerilme yığılma bölgelerini tespit ederek sadece bu bölgelere lama ile müdahale ederek malzeme kullanımını azaltmak ve onarılan elemana yeterli olan en az müdahaleyi yaparak fayda sağlamak istenmektedir.
- e) Çatlak haritası tespiti ve yorumlanması: Betonarme elemanı farklı mesnet açıklıkları ve yükleme yerleri ile yapılan deneylerde hasara uğratarak, oluşan çatlakları güçlendirme mantığı ve malzemeleri açısından yorumlamak gerekmektedir.

Ayrıca onarım tekniğinin ve onarım malzemelerinin etkinliğini belirlemek veya onarılan çatlakların tekrar hasara uğratma esnasındaki kopma yüklemesinde yaptığı davranışları tespit etmek, yapılan araştırmaların genel amaçlarındandır.

Bu tez çalışmasının hareket noktası, epoksi reçinesinin betonarme yüzey ve çelik lama arasında oluşturduğu aderansı yüksek ve dış etkilerden alternatifi olmayacak kadar az etkilenen yapışkan bağıdır. Amaç betonarme elemana çelik lamaları dış yüzeylerinden epoksi ile yapıştırarak yapılan güçlendirme metodunu, uygulama kriterleri ve kullanılan malzemelerin verimlilikleri açısından deneysel olarak ortaya koymaktır. Bu bağlamda literatür taraması ile elde edilen önemli-faydalı nitelikler referans alınıp, belirli olumsuz noktalar da kontrol altında tutularak deneysel çalışma için üretilen güçlendirme modellerinin performansları araştırılmıştır.

Betonarme çerçeve köşesi ve kiriş modellerinin, iki betonarme elemanın değışik boyutta çelik lamalar ile farklı şekilde birleştirilmesi ve tek kütle olarak üretilmiş, aynı boyuttaki betonarme eleman ile karşılaştırılması ile elde edilen deney sonuçlarının, malzeme etkileşimleri, göçme mekanizması ve uygulama ile ilişkili girdileri kontrol altına alarak verimin artırılması noktalarında yorumlanması ve önerilerin sunulması şeklinde bir çalışmaya, literatürde günümüze kadar rastlanmamıştır. Güçlendirme ve onarım işlemlerindeki temel amaçlardan biri olan maliyet kriteri, bu çalışmada minimum malzeme, optimum performans sonucuna ulaşma doğrultusunda temel kriterlerden biri olarak kabul edilmiştir. Tez bölümlerinde aktarılan konulardan aşağıda kısaca bahsedilmektedir.

İkinci bölümde, literatür araştırmasına bağlı olarak tezin konusu ve temel kavramlarıyla benzer veya ilgili çalışmalar aktarılmaktadır. Bu çalışmalarda çelik lamalar ve alternatif malzemelerin epoksi reçinesi veya alternatif bağ oluşturma teknikleri kullanılarak uygulanan betonarme güçlendirme, onarım yöntemlerinin performansları ve hesap-tahmin formülleri, genellikle karşılaştırmalı deneysel çalışmaların sonuçlarına bağlı olarak açıklanmaktadır.

Üçüncü bölümde, hizmet halindeki betonarme yapıların güçlendirme ve onarım yöntemleri genel olarak sınıflandırılmış ve çelik lamanın epoksi reçinesi ile oluşturduğu yapıştırımlı birleşime dayanan güçlendirme metodunun bu kapsamdaki yeri belirlenmiştir.

Dördüncü bölümde, konu ile ilgili metodun uygulama işlemleri ve kapsamındaki malzeme girdilerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, uygulanma kriterleri, diğer malzemelerle etkileşimleri anlatılmaktadır. Bölümün sonunda, ortaya konulan verilere dayanılarak, bu çalışmada sonuca ulaşma doğrultusunda oluşturulan yöntem açıklanmaktadır.

Beşinci bölümde deneysel çalışma programı açıklanmıştır. Bu program doğrultusunda kullanılacak deney örnekleri, deney cihazları ve parametreleri, referans çalışmalar ve standartlara bağlı olarak belirlenmiştir.

Yapılan deneyler aşağıda belirtilen iki ana grupta ele alınmıştır:

- İki standart betonarme elemanın, epoksi reçinesi ile yapıştırılan, değişik şekillerdeki çelik lamalar ile birleştirilmesi-eklenmesi sonucu elde edilen yeni kolon –kiriş detayının, özel bir deney düzeneğinde incelenmesi,
- Aynı şekilde iki standart betonarme elemanın, epoksi reçinesi ile yapıştırılan, değişik şekillerdeki çelik lamalar ile birleştirilmesinden üretilen kirişin, aynı boyut ve taşıma gücü değerindeki tek parça kiriş ile karşılaştırılıp deneysel olarak karşılaştırmalı sonuçların sunulması.

Altıncı ve son bölümde ise, elde edilen deney sonuçları, grafik ve fotoğraf anlatımları ile ifade edilmektedir. Deneysel sonuç ve gözlemlere dayanılarak, söz konusu güçlendirme ve birleştirme tekniğinin geliştirilmiş uygulama modeli sunulmaktadır. Ayrıca işlemler ve malzemeler açısından, aynı tür güçlendirme uygulamaları için veri oluşturabilecek öneriler bu bölümde yer almaktadır.

Buna ek olarak betonarme elemanların yapıştırımlı birleşimler ile güçlendirilmesi veya birleştirilmesi işlemlerinde, hesap edilemez girdilerin fazlalığından dolayı güvenlik

katsayısının yüksek olduğu bilinmektedir. Bu çalışma ile ortaya konulan uygulama kriterleri sayesinde yeterli ve standart verimin elde edilmesi sonucu güvenlik payı sebebiyle fazla kullanılan malzeme ve işgücünden tasarruf edileceği umulmaktadır.

Bu konu kapsamındaki metodun, uygulama tekniği ve malzeme bilgisine bağlı olarak performansının geliştirilmesi açısından yapılan her türlü akademik ve sektör ile ilgili yayınların, konunun ilgililerini bilinçlendirmesi, bir takım yanlış veya hatalı bilgilerin ortaya çıkmasının engellenmesi açısından önemli bir ihtiyaçtır.

2.4 Konuya İlişkin Çalışmalar ve Tanımlamalar

Çelik lamaları epoksi reçinesi ile betonarme taşıyıcı sistem elemanlarına dış yüzeylerinden bağlanması tekniği, Avrupa'da 1960' lardan beri betonarme yapıların güçlendirilmesi ve elemanlarının onarılması işlemlerinde, etkin olarak kullanılmaktadır (Adin ve diğerleri, 1993), (Plećnic ve diğerleri, 1986). Çeliğin yapısal tamirat işlerinde kullanılması, geleneksel olarak bilinen, uygulanması basit ve kullanım alanı sınırlı olan bir güçlendirme şeklidir. Kaynaklı ve mekanik birleşimlerle yapıya çelik elemanlar bağlama uygulamasının, sistemin taşıma kapasitesini artırması, ucuz ve işçiliğinin kolay olması gibi olumlu yönleri olmakla birlikte, sadece çelik lama ile yapılan bileşimler taşıyıcı sistemin güvenilirliği açısından yeterli olmamaktadır. Betonarme yapıların güçlendirme ve onarımları için kolay tatbik edilebilen, etkin ve kısa sürede sonuç veren ve tüm nitelikleri ekonomiklik çerçevesinde kalarak sağlayan uygulamalar, epoksi reçinesi gibi bir takım yapı kimyasallarının bu alanda kullanılmaya başlanması ile mümkün olabilmektedir. Betonarme elemanın öncelikle çekme bölgesine ve bazı durumlarda da basınç gerilmesine maruz kalan yüzeylerine yapıştırılan çelik lamalar daima başarılı sonuç vermişlerdir. Yüksek kaliteli betonarme elemanlarda bile en iyi performans gösteren güçlendirme/onarım metodunun, dış yüzeyden epoksi ile yapıştırılan çelik lamalar ile yapılan uygulamalar olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Raoof ve diğerleri, 2000). Burada performans kavramı içerisinde, mukavemet, uygulamada basitlik, düşük maliyet, kolay malzeme temini ve optimum sonuç gibi kriterlerden bahsedilmektedir.

Genellikle bu uygulamalarda amaç, taşıyıcı sistem açısından hem varolanı koruma hem de ihtiyaca göre gereken yenileme ve değişiklikleri yapma esasına dayanmalıdır (Jones ve diğerleri, 1988). İşlemin uygulanma koşullarının basitliği nedeni ile üzerinde işlem yapılması için müsait konumda olmayan yapılarda ve ideal olmayan şantiye ortamlarında bile belirli kriterleri yerine getirmek şartı ile tam olarak başarılı sonuç elde etmek mümkündür. Bu teknik, Güney Afrika, İsviçre, Japonya, Belçika,

İngiltere, v.b. birçok ülkede, özellikle betonarme yapılar ve otoyol köprülerinde yaygın olarak kullanılmıştır (Swamy ve diğerleri, 1987). Epoksi ile yapıştırılan çelik lamalar uygulaması, önceleri ağır trafik şartlarından dolayı ihtiyaç duyulan otoyol köprüleri onarımlarında kullanılmış ve betonarme elemanların performansını ve mukavemetini artırması açısından ve ağır hizmet şartlarına gösterdiği dayanım performansına bağlı olarak bilinen en iyi yöntem olarak kabul edilmiştir (Swamy ve diğerleri, 1989).

Günümüzde yapıştırırmalı birleşimler metodunda kullanılan çelik lamaların en önemli alternatifleri, cam elyafı, karbon lifi, gibi malzemelerin dağınık faz, her hangi bir polimerinde sürekli faz olarak olarak yer aldığı çeşitli kompozit tabaka veya şeritlerdir. Bu şeritlerin en önemli avantajı çelik lamalara göre daha kolay biçim verilebilmesi, hafifliği ve etkin yapışma özellikleridir. Özellikle iç mekan kolonlarına yapılan uygulamalarda önemli bir durum olan kesit kalınlığını, çelik lama kullanımına göre daha az artırması ve işlemin kolay ve kısa süreli olması gibi faydaları nedeniyle tercih edilmektedir. Çelik lamanın yapıştırıldığı betonarme yüzeyden pas payı bölgesi ile kopup ayrılması (peeling) gibi önemli bir göçme davranışı, bu tip şeritlerin kullanımında daha sınırlı ölçüde ve kontrol edilebilir şekilde meydana gelmektedir.

Ancak bu tür kompozit şeritlerin yüksek maliyetli ve bazı şerit türlerinin çeliğe göre daha kırılğan olması nedeni ile bazı özel detaylar ve uygulama bütçesinin yeterli olabildiği durumlar hariç, genellikle çelik lama kullanımı tercih edilmektedir. Literatür çalışmasında tespit edilen diğer bir veri, çelik lama kullanılarak yapılan araştırmalarda, çeliğin çeliğe ve çeliğin betonarme yüzeye bağlanması işleminin, taşıyıcılık ve işlenebilirlik açısından uygulamaya bağlı farklılıklar göstermesidir. Günümüzde epoksi ile çelik lama yapıştırma işlemine artık yeni kompozit şeritler üzerinde çalışılarak alternatif aranırken, aynı zamanda kaynak ve çelik dübel gibi mekanik bağlayıcıların etkin bir işlem dizisi ile epoksi reçinesi yerine kullanılabileceği çeşitli yöntemler araştırılmaktadır.

Yapı güçlendirme işleminde dıştan yapılan uygulamalara yönelik geniş bir tercih seçeneği olduğu kesindir. Ancak bu işlemlerin çoğunlukla zorunluluktan yapıldığı düşünüldüğünde, düşük maliyetin çok önemli bir kriter olduğu hesaba katılmalıdır.

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür çalışmasında, yukarıda bahsedilen güçlendirme yöntemlerinin değişik parametreler, malzemeler ve deney düzenekleri kullanılarak, çeşitli şekillerde ele alındığı tespit edilmiştir. Tez çalışması ile paralellik gösteren, benzer araştırmaların ana fikirleri aşağıda verilmektedir.

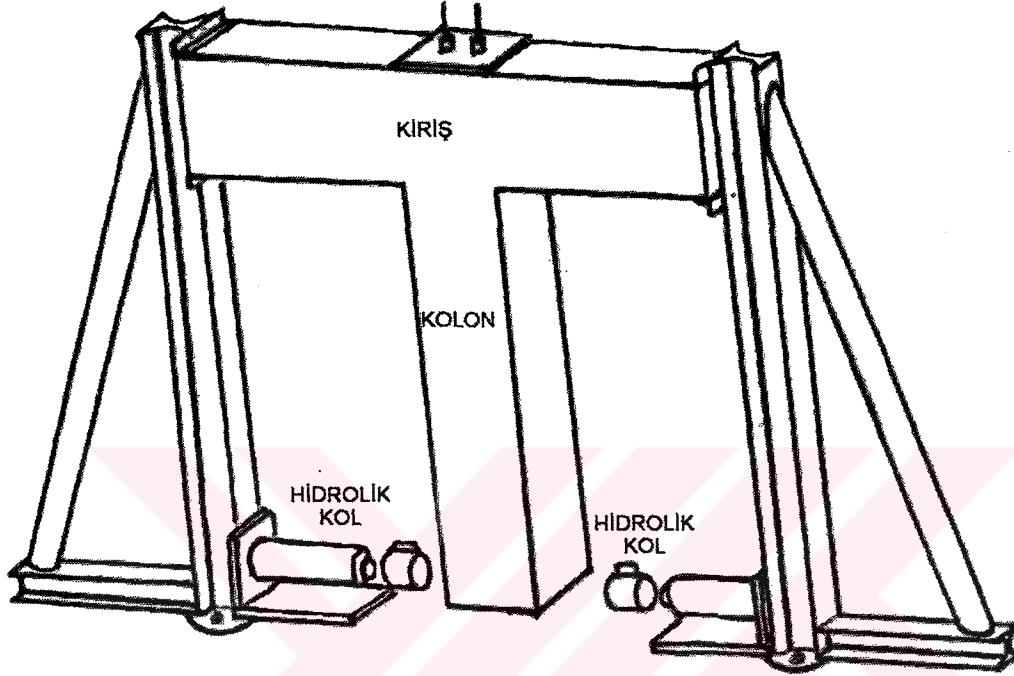
Yelgin ve diğeri (1998), betonarme döşeme plağının alt yüzeyine epoksi ile yapıştırılan ince çelik lama ile yapılan güçlendirme tekniğini deneysel olarak incelemişlerdir. Ekonomik bir uygulama olarak ifade ettikleri bu güçlendirme şeklinde, deneysel çalışmanın değişkeni olarak çelik lama boyutları belirlenmiştir. Farklı boyutta lamalar ve mesnet mesafeleri ile üretilen deney örneklerinden elde edilen sonuçlar teorik hesaplamalar ile mukayese edilmiştir. Sonuçta sayısal karşılaştırmalar ve bu yöntemle ilişkin öneriler sunulmuştur. Yapılan deneylerde öncelikle güçlendirilmemiş betonarme döşeme, mukayese amacıyla yüklenmiş ve göçme yükü tespit edilmiştir. Güçlendirilen döşeme plaklarına uygulanan yüklemelerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Artırılan lama boyutları ile göçme yükü yükselmiştir. Buna göre, kullanılan en küçük boyutlu lamanın (2500x500x2 mm) göçme yükü, güçlendirilmemiş deney örneğine göre %282 oranında, en büyük boyutlu lamanın (2400x500x4 mm) kullanıldığı elemanın göçme yükü ise %420 oranında artmıştır.
- Deney örneklerindeki göçme davranışı, öncelikle çelik lamaların uç kısımlarından başlamıştır. Sonraki hasar mekanizması ise kirişin alt-orta kısmında oluşan eğilme gerilmesi ile meydana gelen göçme olarak gözlemlenmiştir.
- Bu çalışmada, betonarme taşıyıcı elemanlara dış yüzeylerinden yapıştırılan çelik lamalar ile yapılan güçlendirme uygulamasının, taşıyıcı sistem kapasitesini artıran en etkin ve ekonomik yöntemlerden biri olduğu ifade edilmektedir.

Mansur ve Ong (1985), “epoksi ile onarılan kirişler” adlı çalışmalarında, laboratuvar ve normal ortam koşullarında ürettikleri 330x20x40 cm ölçülerindeki betonarme kiriş modellerini, değişik mesnet açıklıkları kullanılan bir deney düzeninde hasara uğratmışlardır. Hasara uğratılan deney örnekleri, çelik lamalar ve epoksi reçinesi ile onarılmış ve tekrar hasara uğratılarak gerilmeler arasındaki farklar ortaya konmuştur. Sonuçta onarılan kirişin ilk durumu ile çatlak oluşumu, gerilme mukavemetleri açısından karşılaştırılması ve farklı mesnet açıklıklarının etkisi belirlenmiştir.

Adin ve diğeri, (1993), “epoksi ile onarılmış betonarme kolon-kiriş birleşimlerinin sismik hareket karşısındaki davranışı” başlıklı, deneysel incelemeye dayanan bir çalışma yapmışlardır. 1/7.5 ölçekli 4 adet kolon-kiriş birleşim detayı modeli özel bir deney düzeninde bir dizi testten geçirilmiştir (Şekil 1.4.1). İlk aşamada hasara uğratılan modellerin çatlak kısımları, yapılan epoksi enjeksiyonu ve çelik lama

yapıştırılarak, kütle kayıpları da epoksi harcı kullanılarak onarılmış ve tekrar hasara uğratılmıştır. Epoksi kullanım amacının, takviye malzemesi olarak kullanılan çelik ile betonarme elemanlar arasında bir bağ oluşturmak olduğu belirtilmiştir. Onarılan malzemelerin tekrar hasara uğratılması ile bu onarımın hasarsız detaya göre gerilme dirençlerinde artış sağladığı gösterilmiştir.



Şekil 2.1.Deney düzeneği

Mac Donalt ve Colder (1982), bir betonarme kirişin 1/1 oranındaki modelinin dış çekme yüzeyine epoksi kullanılarak yapıştırılan çelik lama ile yapılan bir onarımın deneysel olarak incelemesini yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda bu kirişin yük altındaki çatlak oluşum hareketleri belirlenmiştir.

Van Gemert (1985), epoksi ile yapıştırılmış çelik lamalar ile güçlendirilmiş kirişin yük altındaki davranışlarını, zaman ve malzeme özellikleri açısından deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada kirişin çeşitli zaman periyodları ve farklı ortam koşulları altındaki çeliğin yorulması ve epoksinin yüksek ısı derecelerinden etkilenmesi olasılıkları araştırılmıştır.

Swamy ve diğerleri (1987), betonarme kirişlerin, çekme gerilmesine maruz kalan yüzeylerine epoksi ile yapıştırılan çelik lamalar ile yapılan güçlendirme işlemini, İlk çatlama yükü, çatlama hareketleri, taşınabilen yük ve deformasyonlar açısından deneysel olarak inceleyen bir çalışma yapmışlardır. 155 x 255 x 2500 mm boyutunda

24 adet kiriş, 2300 mm mesnet açıklığında, normal ortam koşullarında, 3 farklı yükleme noktasından yüklenmiştir. Yapıştırma işleminde üç farklı kalınlıkta epoksi ve sabit uzunlukta çelik lama kullanılmıştır. Lama yapıştırılan kirişlerin, ilk yüklemekten, göçme noktasına kadar her yük seviyesinde kırılma ve deformasyon değerleri kontrol edilmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Güçlendirilen kirişte burkulma mukavemeti artmıştır,
- Lama alanındaki artış, kirişin mukavemetini oransal olarak artırmıştır.
- Lama yapıştırılan kirişlerin göçme noktası ve burkulma mukavemetini belirleyen iki kriter ortaya konulmuştur. Bu kriterlerin sistemin yük altındaki performansını belirleme açısından önemli olduğu belirtilmiştir.

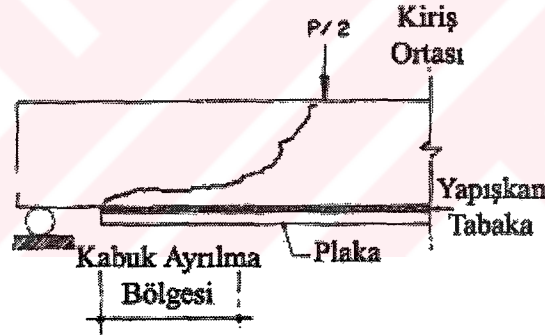
Swamy ve diğerleri (1989) hasara uğratılmış betonarme kirişlerin dış yüzeylerine yapıştırılan lama ile güçlendirilmesini inceleyen çalışmalarında, epoksi ve çeliğin tüm gerilme hareketleri sonucu oluşan çatlak ve göçme hareketlerini araştırmışlardır. Betonarme elemanlar gerçek ölçülerinde üretilmiş ve değişik yük kademelerindeki çatlak oluşumları kaydedilip yorumlanmıştır.

Ziraba ve Baluch (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, epoksi reçinesi ile yapıştırılmış çelik lamalar ile güçlendirilen kirişlerin yük altındaki davranış değişimlerinden hareket edilerek, matematiksel bir model oluşturulmuştur. Güçlendirilen kirişlerin, göçme yüklemesine kadar tüm karakteristik hareketleri kaydedilerek, bu hareketlerden, önceden tahmin edebilecek bir takım temel veriler elde edilmeye çalışılmıştır. Sonuçta takviye edilecek herhangi bir kirişe yapıştırılacak çelik lamanın kalınlığını önceden hesaplayabilen bir formül öngörülmüştür.

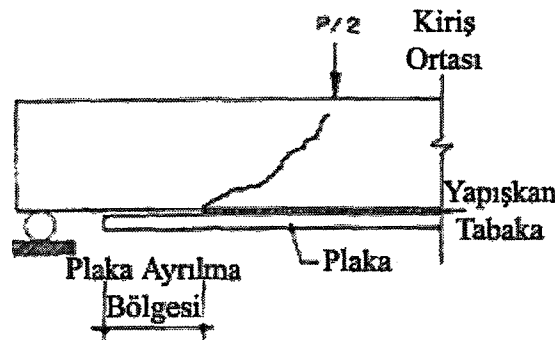
Adhikary ve diğerleri (2000), yaptıkları çalışmada betonarme taşıyıcı sistemde, kirişlere dış yüzeylerinden yapıştırılan sürekli çelik lamaların, kesme gerilmesi mukavemetini önemli şekilde artırdığını görmüşlerdir. Elde edilen bu mukavemet artışının, çelik lamaların kalınlık ve genişliğinin artırılması ile orantılı olduğu deneysel olarak gösterilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu, çelik lama boyutları her defasında artırılarak güçlendirilen ve mukavemet artışları tespit edilen kirişlerin, normal kirişlere göre kesme mukavemetlerinde en fazla %84 oranında artış sağlanabilmiştir.

Ziraba ve diğerleri (1994) güçlendirmede kullanılan şerit ve çelik lamaların formunun belirlenmesi için oransal ve mantıklı ve yöntem öngören bir çalışma, yapmışlardır. Betonarme elemanların güçlendirilmesi işlemlerinde, dış yüzeylere

epoksi ile yapıştırılan lamaların malzemesi, genellikle çeliktir. Son zamanlarda çeliğe alternatif olarak kullanılan malzemelerden biri, camlı takviyeli polimer şeritlerdir. Bu konuda yapılmış bir çok çalışma vardır (Swamy ve diğ., 1980, 1987). Lamalar gibi betonarme kirişin dış çekme gerilmesine maruz kalan yüzeyine yapıştırılan camlı takviyeli polimer şerit ve tabakaların sunduğu avantajlar, çelik lama kullanımı ile elde edilenlerle aynıdır. Bu çeşit malzemelerin yük altındaki davranışlarını, etkinliğini ve kullanılabilirliğini belirtmek için bir dizi deneysel çalışmanın sonucu sunulmuştur (Şekil 1.4.2, 1.4.3). Bu çalışmada, diğerlerinden farklı olarak güçlendirilecek/onarılacak betonarme kirişin bir bütün olarak lineer hareket etmesi gerektiği ortaya konmuştur. Başka bir ifade ile, kirişi oluşturan beton, iç donatı çeliği, dıştan yapıştırılan lama, kullanılan yapışkan tabakanın kalınlığı ve beton ile lamanın arasındaki bağın davranışı lineer olmalıdır. Bu tespitten hareket ederek yapılan testler sonucu, lama yapıştırılan kirişlerin maruz kalacağı, bozulma, gerilme, deformasyon ve göçme mekanizmasının kusursuz olarak önceden hesaplanabileceği bir bilgisayar yazılımı geliştirildiği belirtilmiştir. Bu programın esası, kullanılacak lamaların formlarının ve parametrelerinin önceden belirlenmesi sureti ile güçlendirilecek kirişin planlamasını doğru bir şekilde yapabilmektir.

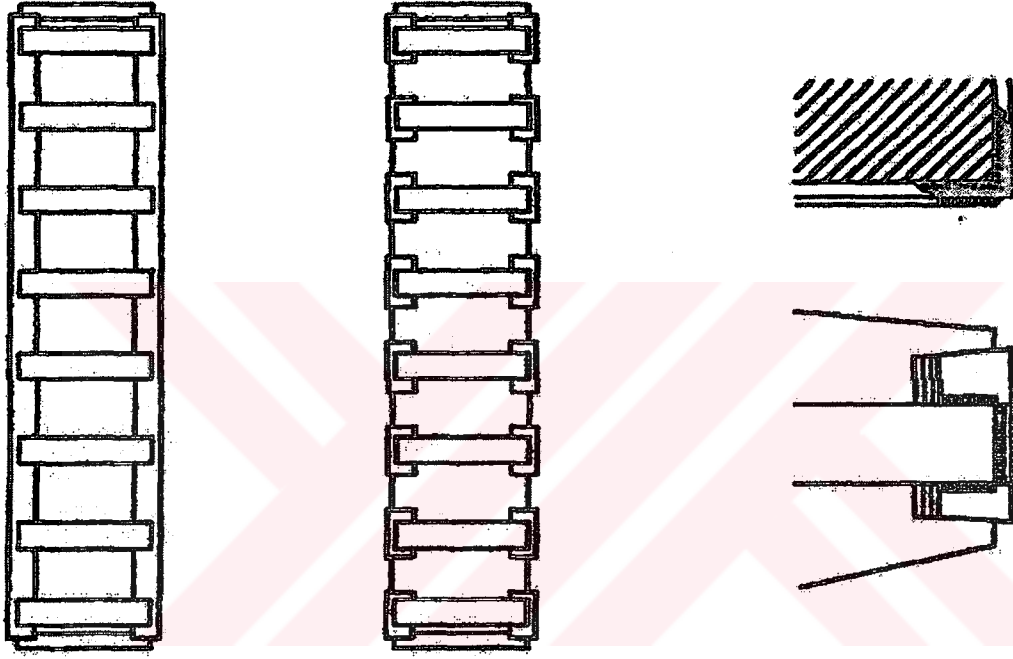


Şekil 2.2 Kabuk ayrılması ile başlayan, yapıştırıcı tabaka mukavemetinin yüksek olduğu göçme.



Şekil 2.3 Lama ayrılması ile başlayan, yapıştırıcı tabaka mukavemetinin düşük olduğu göçme.

Cirtek (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, epoksi benzeri bir yapı kimyasalı kullanılmadan, betonarme kolonu sadece mekanik birleşimlerle ve ısıtılarak tespit edilen çelik lama ve köşebentlerle sararak yapılabilen bir güçlendirme metodu sunulmuştur (Şekil 1.4.). Yüksek ısı verilerek bir tür öngerilme kazandırılan belirli boyut ve açıklıktaki çelik elemanların, değişik açılarla yerleştirilmesi ile bir tür bandaj yapılan kolonlar, normal kuvvet yüklenerek test edilmişlerdir. Test sonuçları, pratik uygulamaya yönelik tasarım önerileri olarak sunulmuştur. Bu yöntemde, kolonun gerilme alabilecek yönlerine göre üç akslı olarak yerleştirilen lamalar yardımı ile kolonun taşıma gücünün artırılması öngörülmüştür.



Şekil 2.4 Çelik profil ve lamalar ile bandaj yapılarak kolon güçlendirilmesi ve köşe detayları.

Uygulama ilk önce diğer tüm güçlendirme modellerinde olduğu gibi kolonun detaylı olarak makine ile temizlenmesi ve taşıyıcı olmayan tüm eklerin (boya, astar, çeşitli kaplamalar, zayıf yüzeyler vb.) kaldırılması ile başlamaktadır. Daha sonra yüzey pürüzlü hale getirilir ve ince taneli iyi cins agrega içeren sıva ile 5 milimetreyi aşmayacak şekilde kaplanır. Sıvanın ve kolonun beton sınıflarının birbirine yakın olması gerekir. Sıva plastik kıvamda iken kolona her köşesi boyunca yerleştirilecek olan köşebentler yerlerine, basınç uygulanarak ve her noktasının sıvaya teması sağlanarak yerleştirilir ve sabitleyici aletler ile kür sonuna kadar tespit edilir. Belli aralarla yatay olarak kolona yerleştirilen çelik lamalalar, sıva kürünü tamamladıktan 2-7 gün sonra 120-200°C ısıtılarak genleşme yani bir anlamda öngerilme sağlanır ve

yerlerine kaynaklanarak tespit edilir. Bu yöntemde yaklaşık %55 oranında mukavemet artışı elde edilmektedir. Bu nedenle Çekoslovakya'daki güçlendirme çalışmalarında 5000 adetten fazla kolonda uygulanmıştır.

Barnes ve diğerleri (2000) tarafından yapılan deneysel çalışmada, betonarme kolonların, maruz kaldıkları çekme gerilmesine karşı dış yüzeylerinden bağlanan çelik lamalarla bağlama sistemi ile güçlenmelerini sağlayan sistem için bir analiz metodu geliştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarda, çelik lamalar kirişlere, yapıştırma ve bulonlama olmak üzere iki farklı teknikle bağlanmış ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu sistemin, elemanın çekme mukavemetini artırmanın yanında, çatlak oluşumunu ve göçme davranışlarını kontrol altına aldığı tespit edilmiştir.

Kunio Fukuyama ve diğerleri (1995) tarafından yapılan ve Hyogoken-Nanbu depreminin ardından yapılan güçlendirme ve onarımları referans gösteren çalışmada, betonarme kolonların güçlendirilmesinde kullanılan çelik lama veya cam lifi takviyeli plastik şeritlerin etkinliği ve yaygın olarak kullanımının sebeplerini incelemektedir. Çalışmanın sonucunda, oluşacak gerilmeleri hesaplamak için matematiksel formüller sunulmuştur.

Ritchie ve diğerleri (1994) ise yaptıkları çalışmada, çelik lama yerine polimer lif takviyeli şeritleri "FRP" kullanmış, bu sayede mukavemet ve rijitlik değerlerinde etkin artışlar hedeflenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda çelik lama kullanımına alternatif olan FRP" in, yüksek mukavemet, hafiflik ve korozyona karşı yüksek direnç gibi özellikleri en önemli avantajları, yüksek maliyet ise dezavantajı olarak belirlenmiştir.

Lif takviyeli polimer lama (FRP) ile çelik lamanın etkinliğini karşılaştıran başka bir araştırmada (Quantrill, 1996), 100x100x1000 mm boyutlarındaki betonarme kirişlerin, çekme gerilmesine maruz kalan alt yüzey orta kısımlarına, epoksi reçinesi ile FRP veya çelik lama yapıştırılmıştır. Bu deney kirişleri üzerinde yapılan testlerde kullanılan parametreler, şerit veya lama alanı, uzunluk oranları, yük altında ilk ayrılmaların ve kopmaların tespit edildiği uç kısımların betonarmeye değişik şekil ve yöntemlerle tutturulmasıdır. Çalışmanın devamı, bu parametrelerdeki değişimlerin kirişin yük altındaki genel davranışlarına etkisinin yorumlanması şeklinde gelişmiştir. Bu çalışma sonucunda kusurlu veya hasarlı betonarme yapı ve elemanlarının iyileştirme-güçlendirme işlemlerinin başarı ile uygulanabilmesi için kullanılan yöntemlerden biri açıklanmıştır. Açıklanan bu yöntem, betonarme ile yüksek aderanslı bağ oluşturan epoksi reçinesi gibi bir yapıştırıcı ile betonarme elemanın çekme gerilmesine maruz kalan yüzeylerine ince çelik lama sarılması işlemi olup, son yirmi yılda yaygın ve başarılı şekilde uygulanmıştır. Bu metodun

olumlu tarafı, betonarme elemanın veya sistemin boyutlarının çok az miktarda değişmesidir. Olumsuz tarafı ise kullanılan çeliğin korozyona maruz kalması sonucu aradaki yüksek aderanslı bağın etkinliğinin azalmasıdır. Bu olumsuzluğun giderilmesi için, 1980'li yıllarda İsviçre'de, lif takviyeli polimer lamaların (FRP), çelik lama yerine kullanılmalarına ilişkin çalışmalar yapılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu iki farklı lama çeşidinin birbirleri ile karşılaştırılması sonucunda, lif takviyeli plastik lamaların korozyon direncinin ve sağladığı mukavemet değerlerinin daha yüksek olması, düşük ağırlık, uygun bakım maliyeti ve uygulanma kolaylığı açısından çelik lamaya göre tercih edilebileceği ileri sürülmüştür.

Çelik lamaya alternatif olarak kompozit lama veya tabaka kullanımını dayanıklılık açısından inceleyen bir çalışma Toutanji (1997) tarafından yapılmıştır. Betonarme elemanların dış yüzeylerinden bağlanan güçlendirme amaçlı lif takviyeli polimer tabakaların zaman ve ortam koşullarına bağlı değişimleri bu çalışmada incelenmiştir. Bu amaçla üretilen deney örnekleri, ıslak-kuru ve donma-çözülme döngüsü ve tuzlu su gibi yıpratıcı etkilere maruz bırakılmış ve ara yüzey bölgesindeki epoksi reçinesinin oluşturduğu yapıştırıcı bağın performansı araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda, cam ve karbon lifi içeren iki farklı kompozit tabaka ve üç farklı tipte epoksi sistemi kullanılarak karşılaştırmaları yapılmıştır. Deney modelleri, ters özellikteki ortam şartlarına 300 defa aralıksız maruz bırakılmışlardır. Her döngü sonrasında fiziksel değişimler ölçülmüş, belirli aralıklarda da mukavemet ve rijitlik deneyleri uygulanmıştır.

Sonuçta aşırı ortam şartlarına maruz bırakılan deney modelleri ile normal ortam şartlarında tutulanlar ile karşılaştırılmak için yapılan fiziksel değişim ve mukavemet tespit deneylerinden görüldüğü kadarıyla, deney modellerinin hiçbirinde kompozit tabaka hasara uğramamıştır, ancak aşırı ortam şartları sonucu ara yüzey bölgesindeki epoksi tabakasında az miktarda da olsa meydana gelen ayrılmaların göçmeye sebep olacak boyutta olduğu ortaya konmuştur.

Yapıştırma lama tekniğinin uygulamada yoğun olarak kullanılmasına rağmen, epoksi ile bağlanan çelik lamalar ile takviye edilmiş taşıyıcı sistem elemanlarının davranışları yapım sisteminin farklı detay noktalarında kullanılan malzemeler açısından tam olarak bilinmemektedir. Yapıştırma tekniği hakkında yapılan yayınlarda elde edilen olumlu ve olumsuz sonuçlar aşağıda görüldüğü gibidir (Swamy ve diğ., 1989):

- Bükülme ve eğilme çatlaklarının genişliklerinde önemli azalmalar elde edilmiştir.

- Çelik lamalar, epoksi reçinesi ve betonarme elemandan oluşan güçlendirme sisteminin, her yük kademesinde kompozit davranış göstermesi, yapısal bütünlük açısından olumlu bir özelliktir.
- Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının, yük altında ve çeşitli deformasyon ve hasarlara maruz kaldığı durumların bile bu tekniği başarı ile uygulamak mümkündür.



3 BETONARME TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARININ DIŞ YÜZEYLERİNDEN BAĞLANAN ÇEŞİTLİ LEVHALARLA GÜÇLENDİRMESİ YÖNTEMLERİ

3.1 Genel

Betonarme taşıyıcı sistemi bir bütün olarak veya eleman boyutunda ele alarak uygulanabilen güçlendirme yöntemleri, elemanlara dış yüzeylerinden levha veya çelik lama bağlayarak taşıma gücünün artırılması prensibine dayanır. Bu bölümde söz konusu yöntemlerin özellikleri ve alternatif güçlendirme uygulamalarının karşılaştırmaları sunulmuştur.

Betonarme yapının taşıyıcı sisteminde hizmet halindeyken çeşitli nedenlerle değişiklik veya eklemeler şeklinde müdahaleler yapmak için uygulanabilen bir çok yöntem vardır. Bu yöntemler arasından çoğunlukla, aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurularak seçim yapılır:

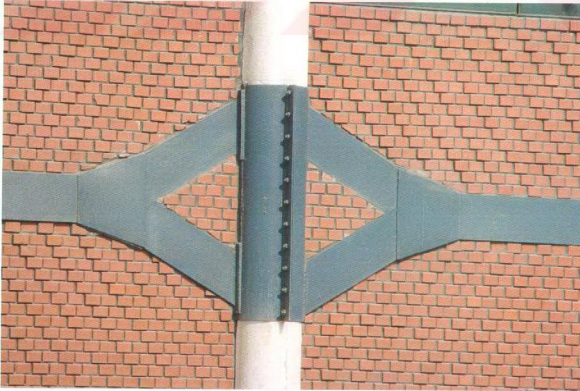
- a. Teknik açıdan güvenilir sonuç vermeli: Uygulanan yöntem sonuçta beklenen mukavemet değerlerini ve dayanımı yüksek oranda sağlamalıdır.
- b. İşlenmesi kolay, ekipman ve makineleri basit olmalı: Şantiye koşullarında ve kontrol edilmeyen normal ortam şartlarında daima aynı performansı sağlayabilmeli ve uygulama teçhizatı kolay ve uygun maliyetle temin edilebilmelidir
- c. Mimari ve estetik gereklilikler: Taşıyıcı sistem, yapı mimarisinin temel birleşenlerindendir. Bu nedenle yapılacak her türlü ekleme veya değişiklik, mümkün olduğu kadar bina görüntüsünü bozmamalı, hatta mimari bir öge olarak değerlendirilmelidir (Şekil 2.1), (Şekil 2.2).
- d. Sosyal istekler: Taşıyıcı sistem müdahalelerinin büyük bir çoğunluğu bina kullanımdayken yapılabilmelidir. Dolayısı ile yapıyı kullanan insanların yaşantısının mümkün olduğunca az etkilenmesine dikkat edilmelidir. Ayrıca uygulama işleminin ve kullanılan malzemelerin çevreye ve insan sağlığına zarar vermemesi gerekmektedir.

- e. Ekonomiklik: İlk bölümde de belirtildiği gibi taşıyıcı sistem müdahaleleri genellikle yapı kullanıcıları tarafından hesaba katılmayan zorunluluklar sonucu verilmiş kararlarla yapılan çok hassas ve pahalı uygulamalardır. Bu nedenle ilk maddeden ödün vermemek üzere kriterler arasında bir değerlendirme yaparak seçilen yöntemin ekonomik olması en temel gerekliliklerdendir.

Hasardan dolayı uygulanan taşıyıcı sistem müdahaleleri, öncelikle yapının hasar durumuna göre belirlenir.



Şekil 3.1. Çelik elemanlarla yapılan güçlendirme



Şekil 3.2. Betonarme elemanın çelik lama ile güçlendirilmesi; Bulonlu birleşim.

3.2 Betonarme Kolon ve Kirişlerin Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri

Başta deprem olmak üzere hatalı üretim, amaç dışı kullanım, hatalı taşıyıcı sistem tasarımı gibi nedenlerden dolayı yapıda birkaç şekilde hasarlar oluşabilir. Bu durumların, kolon ve kirişler açısından giderilmesi gereken sorunlar, yetersiz kesit ölçüleri ve betonarme taşıma gücü ile çatlak oluşumlarıdır.

Bu şekilde hasarlı kabul edilen yapıların onarılması için kullanıcı isteğine ve hasar durumuna bağlı olarak iki yaklaşım vardır. Bunlarda birincisi, taşıyıcı sistemin hasar oluşumuna neden olan kusurlarının giderilerek iyileştirilmesidir. Bu durum genellikle hafif hasarlı yapılar için geçerli olup, bu şekilde onarılan binanın eski işlevlerini güvenle yerine getirmesi sağlanmaktadır. Bu amaçla yapılan işlemler, betonun gevşek kısımlarının temizlenip yerine yüksek nitelikli beton doldurulması ve tüm kılcal çatlaklara enjeksiyon uygulamasıdır.

Diğer yaklaşım ise taşıyıcı sistemin bir bütün olarak gözden geçirilmesine bağlı olarak hasarlı kısımların onarılması ve taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının artırılması yoluyla veya dış yüzeylerinden bağlanan çeşitli lama/şeritler yardımıyla taşıma gücünün yükseltilmesidir. Bu uygulamalardan birincisi, genellikle orta hasarlı veya kullanım amacı değişen yapılar için daha çok tercih edilebilmektedir. Bu durumda güçlendirilen yapının hem taşıyıcı sistem güvenliği sağlanmakta, hem de yeni ve daha ağır hizmet gerektiren işlevler yüklenmesi mümkün olmaktadır.

Betonarme elemanların dış yüzeylerinden bağlanan çeşitli lama veya kompozit şeritler ile güçlendirilmesi, kullanımda olan binaların işlevlerine ara verilmeden uygulanabilmesi, kolay ve ekonomik bir işlem olması ve daha birçok olumlu yönlerinden dolayı son yıllarda yoğun olarak tercih edilmektedir. Bu uygulamanın en önemli noktası, lama veya kompozit şeritlerin yapıştırılmalı birleşimlerle bağlanmasıdır. Bu birleşimlerin betonarme taşıyıcı sistemde kullanılmaları yakın geçmişe dayanan hassas uygulamalardır.

3.3 Taşıyıcı Sistemde Yapıştırılmalı Birleşim Kullanılması

Makro açıdan değerlendirildiğinde, taşıyıcı sistemde birleşimlerin güvenli bir şekilde kullanılmaları için, yapıştırıcının bütün yüzeyler ile temasının sağlanması ve fiziko-kimyasal oluşumunu tam olarak tamamlanması gereklidir. Bunun sağlanması, yüzeylerin yapıştırıcı ile tam olarak ıslanması ve birleştirmeden sonra oluşan gerilmelerin, sertleşme tamamlanana kadar kontrol altında tutulması ile mümkündür. Bu işlem aynı zamanda, yapılan uygulamanın istenilen mukavemet değerlerine ulaştığını gösteren hasarsız bir tespit ve kontrol mekanizması niteliğindedir. Bunlara

ek olarak, beton gibi yüzeyinde zayıf kısımlar içerebilen ve pasapayı kısmının kolayca soyulabilme riski yüksek olan malzemelerde yüzey kohezyonun kuvvetindeki zayıflamalar her uygulama için hesaba katılmalıdır.

Başarılı bir yapıştırma işlemi için ilk koşul, uygun yapıştırıcı (adhesive) çeşitini tercih etmektir. Bundan başka yapıştırılacak malzemelerin (adherent) yüzeylerini iyi temizlemek ve yapıştırma işleminden önce, “pastalama” denilen astar bir kat sürmek, beton ile aderansı artırmak açısından faydalıdır.

Pastalamanın fiziksel anlamda görevi, beton yüzeyin yapıştırıcı ile dinamik ve etkili bir şekilde ıslanmasını sağlamaktır. Bunun için hesaba katılması gereken kriterler aşağıda sıralanmıştır:

- Yapıştırıcı ile yapıştırılan arasındaki potansiyel aderans,
- Yapıştırılan elemanın yüzey pürüzlülüğü,
- Yapışkanın dinamik viskozitesi,
- Yapışkanın uygulandığı yüzeyde yayılabilir durumu.

Ayrıca yapıştırma işlemi sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık, pastalama amacıyla uygulanan yapışkanın viskozitesine etki edebilir. Normal koşullar altında, yapışkanın yeterli mukavemet değerlerine ve beklenen diğer karakteristik özelliklere ulaşabilmesi için bazı işlem kriterlerini hassas bir şekilde yerine getirmek gerekir. Bu nedenle yapıştırıcının üretici firması tarafından hazırlanan ve ürünün tüm niteliklerinin ve uygulama kriterlerinin belirtildiği bir kitapçık, ürün ile birlikte sunulur (French, Norm, NF. P 18-810, 1989). Örneğin, sertleştirici ile birleşen yapıştırıcının sertleşip uygulanamaz hale gelinceye kadar geçen ve uygulama açısından çok önemli bir veri olan zaman periyoduna “işlenebilirlik süresi” denir ve ürün tanıtım kitapçığında belirtilir. İşlenebilirlik süresi olarak önerilen bu zaman periyodunun belirlenmesinde, sıcaklık değişimleri ile birlikte, yapıştırıcının aderans değerindeki zamana bağlı muhtemel değişimler de hesaba katılmalıdır.

Taşıyıcı sistemdeki yapıştırmalı birleşim işlemlerinde karşımıza çıkabilecek diğer bir problem ise, betonun içerisinde kondansasyon ile oluşan nemlenmeye karşı yapıştırıcının hassasiyet göstermesidir. Bunun nedeni moleküler bağın, yapışma ara yüzey bölgesindeki su moleküllerine kolayca girebilmesi sonucu meydana gelen mekanik zayıflamadan dolayı başarılı bir yapışmanın mümkün olmamasıdır (Bononi ve diğ., 1986). Bununla beraber bahsedilen bu tür mekanik zayıflık sadece nemli elemanlar veya su altında uygulama yapılması gibi nedenlerle ilişkilendirilmesi

doğru değildir. Bu nedenle uygulamanın yapıldığı her türlü ortam koşullarında bu tür mekanik zayıflamaların ortaya çıkabileceği hesaba katılmalı ve kesin olarak önlemleri alınmalıdır.

Yapıştırma işlemlerinin başarısı için betonarme elemanın kabuk veya paspayı kısmının dirençli olması çok önemli bir problem olduğu ortaya çıkar. Bu nedenle, uygulama yapılacak yüzeylerin direncini artırmak için bir astar sürülmesi faydalı olmaktadır. Yapıştırılmalı birleşimin başarısı büyük ölçüde kabuk direncine bağlı olması nedeniyle bu uygulama kesinlikle gereklidir. Ancak ara yüzey mukavemetini öğrenmenin hasarsız bir test metodu olmadığı için, bu problemin yeterli ölçüde çözülebildiği söylenememektedir. Günümüzde taşıyıcı sistem yapıştırılmalı birleşimlerindeki güvenli ara yüzey mukavemetinin nasıl kontrol altına alınabileceği sorusuna bilimsel anlamda cevap aranmaktadır.

3.4 Onarım İşlemleri

Çeşitli sebeplerle hasara uğramış taşıyıcı sistem elemanlarının yapısal performanslarını ilk durumlarına yükseltmek amacıyla yapılan uygulamalara onarım işlemleri denir. Bu işlemler uygulama yeri ve şekline göre aşağıda belirtilen guruplar kapsamında sınıflandırılabilir

- Taşıyıcı sistem elemanlarını hasarlı ve kusurlu kısımlarından arındırmak ve oluşan kesit kayıplarını gidermek.
- İzolasyon işlemleriyle taşıyıcı yapı elemanlarına dış etkilere karşı mukavemet kazandırmak.
- Çatlak onarımı yapmak.

3.4.1 Kolon ve Kirişleri Hasarlı ve Kusurlu Kısımlarından Arındırılması

Kolon ve kiriş yüzeyinde mekanik darbeler oluşturarak kusurlu bölgeler, gevşek kısımlar temizlenerek sağlam kısım ortaya çıkarılır. Meydana gelen kesit kaybını telafi etmek için yüksek dozajlı ve lifli betonla dolgu ve kaplama yapılır. Ayrıca eski ve yeni betonun birleştiği soğuk derz de kaynaşmayı sağlamak için epoksi gibi aderans artırıcı bir malzeme kullanmak gereklidir.

3.4.2 İzolasyon İşlemleriyle Yapı Malzemelerine Dış Etkilere Karşı Mukavemet Kazandırılması

Yapı taşıyıcı sistem elemanlarının, ortam şartlarına bağlı olarak bir takım kimyasal bozuculardan etkilenmeleri mümkündür. Genellikle bu tür bozulmalar, nem etkisi ile donatı çeliğinin korozyona uğraması ve betonun da bünyesindeki suyun içinde bulunan tuzların çözünmesinden dolayı mukavemetini kaybetmesi şeklinde karşımıza çıkar. Betonarme elemanların bahsedilen bozuculara karşı yüzeylerine uygulanan bazı kimyasal malzemelerle oluşturulan koruyucu tabaka ile izole edilmesi ve buna benzer işlemler, onarım işlemleridir.

3.4.3 Çatlak Onarımı Yapılması

Çatlak onarımı yapmanın ilk koşulu çatlamaya neden olan durumun kontrol altına alınmasıdır. Çünkü onarım ne kadar başarılı olursa olsun, çatlağa sebep olan hareket devam ettikçe onarım bölgesinde yeni çatlaklar oluşacaktır (Bayülke 1999). Betonarme yapı sisteminde genellikle gözle görülebilecek kadar ince olan çatlaklar bile onarılmalıdır. Bunun sebebi havadaki nemin kılcal çatlaklardan geçerek donatıda korozyon oluşmasına neden olmasıdır. Çatlak onarımı; genellikle ağız kısmı “V” şeklinde açılmış çatlaklara düşük viskoziteli epoksi enjeksiyonu yapılma işlemidir. Enjeksiyon, düşük basınçla uzun süre beklenerek uygulanır. İşlem kronolojisi,

- a. Çatlak boyunca belli aralıklarla ince borular yerleştirilmesi,
- b. Çatlak ağızları ve boru çevreleri epoksi-ince agregası bir harçla doldurulması,
- c. Borulara takılan enjeksiyon aleti ile elde edilen basınçla çatlaklar epoksi ile doldurulması

Şeklindeydir. Diğer bir çatlak onarım yöntemi ise bir takım mekanik bağlantılar ile çatlaklara dik yönde baskı elde etmektir. Ancak bir onarım uygulaması için önemli özellik, bu tür bir baskının zaman içinde mukavemet değerlerini sürdürmesinin sağlanmasıdır.

3.5 Kolon ve Kirişlerin Güçlendirme Uygulamaları

Betonarme kolon ve kirişlerde çeşitli sebeplerden dolayı yapılması gereken güçlendirme işlemi için birkaç alternatif yöntem ve malzeme kullanımı mümkündür. Bu tür uygulamalarda yoğun olarak tercih edilen yöntemler,

- Mantolama,
- Kanat ekleme,
- Betonarme elemanlara dış yüzeylerinden yapıştırılan kompozit levha veya çelik lamalarla güçlendirme yöntemleridir.

2.5.1 Mantolama

Betonarme kolon, kiriş veya birleşim detaylarında, enkesitin ve donatının artırılması şeklinde yapılan güçlendirme uygulamasına Mantolama denir. Bu tür güçlendirmede önemli noktalar ve işlem kronolojisi aşağıdaki gibidir:

- a. Mantolanan kısımdaki donatı, kolon donatısına ankraj yapılır. Yüksek dozajlı ve mümkünse lifli beton ile ek kısmın betonu dökülür,
- b. Yüksek dozajlı ve gerekirse lifli beton ile ek kısmın betonu dökülür,
- c. Kusurlu kısımlar çıkartılır, yüzeyler yapışma işlemine hazır hale getirilir,
- d. Eski beton yüzeyine, yeni betonla kaynaşma sağlamak için epoksi v.b. aderans artırıcı bir malzeme uygulanır.

Mantolama uygulaması güçlendirme yöntemleri içinde en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Bu uygulama, bölgesel güçlendirmelerden daha çok, yapı bir bütün halinde ele alındığında tercih edilmektedir. Ancak servis halinde bulunan binalarda genellikle uygulanabilen güçlendirme yöntemi değildir. Kesitlerin artma oranına bağlı olarak, yapıda çok miktarda tadilata sebep olmakla beraber, mimari form ve sirkülasyon düzeninde dengesizlikler meydana getirebilir. Dolayısı ile mantolama uygulamalarında, bina taşıyıcı sistemi ele alınırken form ve fonksiyon gibi mimari öğeler korunmalıdır. Bu mümkün olmuyorsa, göreceli maliyeti daha yüksek olmakla beraber mantolama işlemi ile aynı mukavemet kriterlerini sağlayacak alternatif yöntemlere başvurulmalıdır.

2.5.2 Kanat Ekleme

Kolonlarda uygulanan bir güçlendirme modelidir. Kolonun ihtiyaç gerektiren bir veya iki tarafına doğru kesit eklemek şeklindedir (Bayülke 1999). Bu uygulama daha çok mevcut kolon aralarına perde yapılacağı zaman yapılır. Mevcut kolon donatısına ek donatının bağlanması, ara yüzeye aderans artırıcı malzeme sürülmesi ve yüksek nitelikli beton kullanılması uygulamanın ana noktalarıdır. Donatı bağlamak için

kaynak kullanılabileceği gibi, eski betonun durumuna göre kimyasal ankraj uygulaması da yapılabilir.

2.5.3 Betonarme Elemanın Dış Yüzeyden Yapıştırılan Çelik Lama veya Kompozit Levhalar ile Güçlendirilmesi

Bu yöntem, kullanımdaki betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerde bilinen en kolay uygulanabilen ve etkin sonuç veren güçlendirme işlemidir. Kullanılacak güçlendirme lamasının malzemesine ve betonarme elemana bağlanma sistemine göre farklılıklar gösterir. Bunun dışında lamaların yerleşim yeri genellikle aynı olup, çekme gerilmesine maruz kalan yüzeylerdir. Bu durumda lama malzemesi ve bağlanma sistemi açısından karar mekanizmasının içerdiği kriterler aşağıdadır:

- Mimari açıdan güçlendirilen betonarme elemanın yapının form-fonksiyon düzenini ve bütünlüğünü etkileme oranı ve tolerans sınırları,
- Yeterli sonuca ulaşmak için, mevcut bütçeye uygun olarak yöntem ve malzemeler açısından maliyet – performans oranının, “en az”, “ideal” ve “en fazla” değerlerin belirlenmesi,
- Ortamdaki korozyon ve kimyasal bozucuların etkisi,
- Uygulanacak detayda gereken mukavemet değerlerinin elde edilmesi.
- Şantiyede yapılan bir uygulama olması nedeniyle, çok titiz bir çalışma gerektiren betonarme yüzey hazırlaması ve çelik lamanın bağlanması işlemleri, her zaman aynı titizlikle uygulanmayabilir. Bu durumda yöntemin yeterli mukavemet değerlerini sağlaması genellikle mümkün değildir.

Bu tür güçlendirme uygulamalarında genellikle üç çeşit malzeme kullanılmaktadır:

- CRFP (karbon lifi takviyeli polimer),
- GRFP (cam lifi takviyeli polimer),
- Çelik lama.

2.5.3.1 Karbon Lifi Takviyeli Polimer (CRFP) ile Güçlendirme

Karbon liflerinin dağınık faz olarak yer aldığı kompozit plastik şeritler, bağlandıkları betonarme elemanın özellikle çekme ve eğilme gerilmesine karşı mukavemetini artıran bir güçlendirme elemanıdır. Diğer olumlu özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Uygulaması kolaydır, yapı kullanımdayken bile çevreye zarar vermeden işlem yapılabilir.
- Uygulandığı kesitin formuna olumsuz bir etkisi olmaz.
- Uzun ömürlüdür.
- Hafiftir.
- İklimsel şartlardan etkilenmez.
- Maliyeti çelik lama kullanımına göre yüksektir.
- Korozyondan ve kimyasal bozuculardan etkilenmeyen bir malzemedir.

2.5.3.2 Cam Lifi Takviyeli Polimer (GRFP) ile Güçlendirme

Cam liflerinin dağınık faz olarak yer aldığı polimer tabanlı kompozit şeritlerdir. Kullanım yerleri ve özellikleri CRFP levhalara benzer.

2.5.3.3 Çeşitli Boyutlarda Çelik Lamalar ile Güçlendirme

Betonarme elemanın dış yüzeyden güçlendirme işleminde bilinen en eski ve etkin yöntemdir. Olumlu yönleri aşağıda sıralanmıştır (Barnes ve diğ., 2001):

- Betonarme elemanın kopma yükü değerini artırır.
- Yeterli boyutta lama kullanıldığında, eğilme mukavemetinde her safhada artış sağlanır.
- Yapılan işlem veya uygulanan malzeme açısından yapı kullanımda iken bile işlem yapmanın sakıncası yoktur.
- Uygulandığı elemanın ağırlık ve formuna etkisi, işlemin önemi göz önüne alındığında dikkate değer değildir, ancak kompozit şeritler ile karşılaştırıldığında elemanın kesitini nispeten daha fazla artırır.
- Bakım ve denetimi kolaydır.
- Maliyeti uygundur.

Güçlendirmede çelik lama kullanımının olumsuz yönleri ise şunlardır;

- Dış yüzeydeki çelik lamalar korozyona maruz kalabilirler (Barnes ve diğ., 2001). Korozyonu engellemek için çeliğin hava ile ilişkisini kesmek bir çözüm olarak kabul edilebilir ancak, bu amaçla uygulanan sıva veya buna benzer kaplamalar güçlendirme yapılan elemanın kesitinde olumsuz artışlara neden olur. Bu kesit artışı durumunun kabul edilemez boyutlarda olduğu yerlerde çelik lamalara belirli zamanlarda uygulanacak korozyon önleyici boya sürülmesi bir çözüm olarak kabul edilebilir,
- Köprü, deniz yapıları gibi bazı büyük boyuttaki elemanlara yapılacak uygulamalarda kullanılacak çelik lamaların da boyutları büyüyeceği için, malzemenin taşınmasında ve yerine konmasında zorluklar olabilir (Barnes ve diğerleri). Kompozit şeritler ile karşılaştırıldığında bir olumsuzluk olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çelik lamaların betonarme elemanlara bağlanması için en çok tercih edilen yöntemler, yapıştırma tekniği ile bağlama ve bulon ve/veya kaynak ile bağlamadır.

a. Çelik lamaların yapıştırma tekniği ile bağlanması

Taşıyıcı sistemde, her hangi bir yapıştırıcı kullanarak yüksek taşıma gücüne sahip birleşimler veya bağlar oluşturma uygulamalarının faydalarının ortaya konması ve geliştirilmeleri konusu, fiziko-kimyasal bir yaklaşımla ele alınabilir (Mouton, 1999). Çelik lamaların betonarme yüzeyle epoksi reçinesi gibi yüksek aderans sağlayan bir yapıştırıcı malzeme ile yüksek mukavemet değerlerine sahip bir bağ oluşturmaya prensibine dayanan bir uygulamadır. Bu uygulamanın olumlu yönleri aşağıda sıralanmıştır:

- Yapıştırma ile bağlanma sonucu oluşan gerilmelerin çelik lamanın her noktasına eşit yayılması sağlanmaktadır.
- Uygulamanın hata toleransı diğer tekniklerle karşılaştırıldığında daha azdır. Ancak belirli kriterler doğrultusunda işlem yapıldığında, yüksek performanslı ve kolay uygulanabilen bir yöntemdir.
- Yapışkan tabaka, çeliğin betona yapışan tarafındaki yüzeyini korozyondan kesin olarak korur.
- Düzgün bir dış yüzey oluşur.

Bu yöntemin olumsuz yönleri şunlardır:

- Özellikle yapıştırılan lamaların uç kısımlarında oluşan gerilme yığılmaları, betonarme elemanın pas payı bölümünün kalkmasına (Peeling), dolayısı ile sistemin hasar görmesine sebep olmaktadır.
- Bu yöntemle yapılan güçlendirilmelerde pas payı ayrılması ile göçmenin başlaması aynı zamanlarda gerçekleşir. Bu nedenle sistemin göçmesini yavaşlatmak için özellikle pas payının ayrılmasını zorlaştıracak şekilde bir takım ek önlemler alınmalıdır.
- Yapıştırıcı olarak kullanılan epoksi ve epoksi kökenli reçineler, dış ortam şartlarından olumsuz etkilenebilir. Özellikle güneşin yaydığı ultraviyole ışınları ve aşırı asit içeren ortam sertleşmiş epoksi reçinesi üzerinde uzun zaman periyodunda bozulmalara sebep olur.
- Sistemin yapıştırılarak yerleştirilmesinde çabuk hareket etme gerekliliği nedeniyle hata yapma riski yüksektir.
- Yapıştırılmış birleşimler metal birleşimlere göre yüksek sıcaklığa karşı daha hassastır.
- Çelik lama veya kompozit şeritlerin betonarme yüzeye tutturulması için yapılan baskı, kontrol altında tutulamazsa sistemin biçimi bozulabilir.
- Uygulamanın yeterli sonuç sağlaması için temel şartlardan biri, yapıştırılacak elemanlar için hassas bir yüzey hazırlığı yapmaktır.
- Kullanılacağı ortam şartları ve detaya bağlı olarak uygun direnç mekanizmasına sahip bir yapıştırıcı çeşidinin seçilmemesi durumunda, yapışkan tabaka zaman içinde beklenmeyen sonuçlar verebilir.

b. Çelik lamaların bulon ve kaynak kullanılarak bağlanması

Çelik lamanın betonarme yüzeye bağlanma işleminde, epoksi gibi kimyasalları kullanımına alternatif olan bir mekanik birleşimli bir yöntemdir. Bu yöntemin olumlu yönleri aşağıda sıralanmıştır:

- Sadece yapıştırılarak oluşturulan birleşimlerin, zaman içinde beklenmeyen davranışlar göstermesi mümkündür. Bulon ve kaynaklı bileşimler ise normal şartlar altında her zaman aynı performansı gösterir.

- Yapıştırıcı ile bağlanan lamaların en önemli göçme nedenlerinden biri uç kısımlarındaki gerilme yığılmaları nedeniyle oluşan pas payı ayrılması, mekanik bağlantılı yöntemde görülmez.
- Korozyon oluşumu problemine karşı, paslanmaz çelik lama ve bulonlar ile demir içermeyen kaplamalar kullanılabilir. Bu durumda maliyetin önemli oranda artacağı dikkate alınmalıdır.
- Kullanılan dübel sayesinde basınç gerilmesinin, çelik lamadan betonun alt katmanlarına kadar aktarımı ve dağılımı sağlanır.
- Göçmenin başlangıcından sonuna kadar yüksek mukavemet göstererek betonarme elemanın taşıma gücünün devam etmesi sağlanır.

Bu yöntemin olumsuz tarafları ise aşağıda sıralanmıştır:

- Dübel ve lamalar, uygulandıkları elemanın formunu ve estetik görünümünü bozabilirler.
- Çelik lamanın dış yüzeyinde oluşabilecek korozyon, iç yüzeye kadar etkili olabilir. Korozyon önleyici bir astar veya kaplama kullanılması durumunda bile beklenmeyen durumlar dikkate alınmalı ve lamalar belirli zaman aralıklarında kontrol edilmelidir.
- Betonarme elemanın yüzeyinde dübel montajı için açılması gereken delikler, güçlendirme sırasında geçici mukavemet azalmasına, delme işlemi de oluşan sarsıntıdan dolayı hasarlara sebep olabilir. Ayrıca delme işlemi donatı çubuklarının ara bölgelerinde yapılmalıdır. Eğer yanlışlıkla donatıya rastlayan bir delik açılırsa, delik iptal edilmeli ve boşluk tamir harcı ile doldurulmalıdır.
- Bu yöntem gerek malzemelerin uygulanması, gerekse uygulama işçiliği ve çevreye verdiği rahatsızlıklar bakımından, yapıştırıcı ile bağlanan yönteme göre daha zor bir işlem dizisi gerektirmektedir. Bina kullanımdayken uygulanması ancak kontrol edilebilen çevre şartlarında(gürültü, parça dökülme riski, iç mekanın bitirme kaplamalarında hasar) mümkündür.

4 MATERYAL ve METOD

4.1 Genel

Birinci bölümde belirtildiği gibi, bu çalışmada üzerinde durulan ana nokta, beton ile çelik lama arasında epoksi ile oluşturulan yapıştırıcı katmanın, fiziksel gereksinimler açısından başarısı ve etkili kullanımının sağlanmasıdır. Güçlendirme / birleştirme uygulaması yapılan betonarme elemanın, kendisini meydana getiren beton, demir donatı, çelik lama ve yapışmayı sağlayan epoksi tabakası ile bir bütün halinde kompozit bir davranış göstermesi beklenmektedir. Örneğin ısınma-soğuma döngüsü ile epoksi reçinesi sertleşirken, kimyasal reaksiyon sırasında çıkan yüksek ısı etkisiyle aynı zamanda betonda bozulmalar ve mukavemet kayıpları olmaktadır (El-Hawary, 2000). Dolayısı ile oluşan yeni detayın kapsamındaki malzemelerin birbirleri ile oluşturdukları etkileşimin sonuçlarını değerlendirmek ve gerekli yerlerde uygun değişikliklere gidilerek başarıyı artırmak için, bunların fiziksel ve kısmen de kimyasal niteliklerini belirlemek ve değerlendirmek gerekmektedir. Özellikle beton ve çelik gibi iki ayrı nitelikli malzemenin yeterli performansla birbirine yapışmasını sağlayan epoksi reçinesinin oluşturduğu bağın yapışan parçalarla sağladığı aderansın ve bunun gibi diğer detaylı fiziksel ve kimyasal özelliklerin bilinmesi, üretilen elemanın performans sınırlarını ortaya koyacaktır. Bu değerlendirmeler, deneysel çalışma bölümünde sunulduğu üzere, üretilen modellerin bazı değişkenlerini tespit etmek açısından da önemlidir. Bu bağlamda, deneysel çalışmalarda, örnekleri oluşturan beton, donatı çeliğinin ve çelik levhaların gerilme değerleri sabit olarak kabul edilecek ve bu koşulun yerine getirilmesine yönelik testlerle kontrol altında tutulacaktır.

Epoksi reçineli veya polimer betonlu uygulamalar, geleneksel beton uygulamaları ile karşılaştırıldığında, gözardı edilebilecek kadar az miktarda rötre oluşumuna karşın, yüksek çekme ve basınç mukavemeti gibi olumlu nitelikler, kısa bir kürlenme süresinde elde edilir. Epoksi reçineleri, bu olumlu nitelikleri dışında, yüksek sayılabilecek maliyetleri nedeniyle, sınırlı uygulamalarda kullanılırlar. Üretici firma sayısının artması ve sürekli iyiye giden üretim teknolojisi sayesinde beton reçineleri ve dolayısı ile epoksinin, yapı uygulamalarında kullanımın giderek artmasına ve onarım ve güçlendirme uygulamalarında olduğu gibi diğer yapı elemanı boyutundaki çeşitli betonarme ek ve katmanların üretim uygulamalarında da yoğun olarak

kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Çalışmanın içeriğinde bulunan ana malzemeler olan beton, epoksi reçinesi ve çelik lama'nın genel özellikleri ve birbirleri ile olan etkileşimleri ele alınarak bunlara bağlı araştırma metodu sunulmuştur.

4.1.1 Beton Yapı Malzemesi

Beton bir yapı malzemesi olarak, belirli taş sınıflarından elde edilmiş agregaların çimento hamuru ile birleşerek sertleşmesinden oluşan yapı elemanı şeklinde tanımlanabilir. Bir yapı taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanıma başlanması birkaç binyıl önceye dayanır. Eski Mısırlılar, Grekler ve Romalılar, kireç esaslı ve puzzolanik madde içeren ilkel bir beton cinsi kullanmışlardır (Mays, G.C). 1900' lü yıllara kadar bir çok ünlü yapıda değişik içerikli beton çeşitleri kullanılmıştır. 1824' de Thames tuneli inşasında kullanılmak üzere Aspin tarafından, ilk çimento bağlayıcılı (Portland taşı içerir) betonun patenti alınmıştır. 1887 Devon' da inşaa edilen tümüyle betonarme olan üç açıklıklı Axmouth köprüsü, günümüzde halen kullanımdadır. Beton teknolojisindeki en kayda değer gelişme 1940' larda Freyssinet tarafından üretilen “öngerilmeli beton” olmuştur. Bu sistemle II. Dünya savaşı sırasında ve sonrasında üretilen ağır ve büyük boyutlu yapılar halen problemsiz olarak kullanılmaktadırlar. Günümüzde beton yapı malzemesinin en fazla dikkat çekilen ve araştırılan yönü, zaman içinde ve çevresel etkilerle meydana gelen bozulmaların (çelik donatının korozyona maruz kalması, betonun çevre kaynaklı asitik ortamdan etkilenmesi v.b.) önlenmesi ve rehabilitasyonudur.

Betondan yapısal olarak beklenen özellikler aşağıda sıralanmıştır;

- Yeterli mukavemet değerlerine sahip olması,
- Farklı ortam koşullarında aşırı boyutsal değişimler göstermemesi,
- Su penetrasyonuna dirençli olması,
- Kimyasal maddelerin bozucu etkilerine karşı dayanıklı olması,

Betonun mukavemeti, suyun çimento ile oluşturduğu hidrotasyon ile sağlanır. Çimento bileşenleri, agrega parçalarını jel veya hamur kıvamında kristalize olarak kuşattıktan sonra kümeleşme oluşturarak birbirlerine bağlanırlar. Genellik betonun mukavemet ve permeabilitesi su/çimento oranı ile kontrol altında tutulabilir. Örneğin yüksek mukavemet ve düşük permeabilite istendiğinde bu oran düşük olmalıdır. Su oranının azaltılması, betonun işlenebilirliğini azaltıp, yerleşme ve sıkışmasını zorlaştırmakla beraber, günümüzde bir takım katkıları (örn: akışkanlaştırıcı) kullanarak bu güçlük aşılabılır.

Betonun yapı sistemi açısından en önemli niteliği taşıyıcılıktır. Taşıyıcılık fonksiyonunu yerine getirmesi, basınç kuvvetlerine karşı dirençli bir malzeme olmasına dayanır. Ancak aynı zamanda zayıf direnç gösterdikleri çekme kuvvetlerine karşı mukavemet, çelik donatı çubukları ile sağlanmaktadır.

Betonarme yapı elemanının olumlu yönleri aşağıda sıralanmıştır;

- Çelik ile betonun arayüzeyinde oluşan yüksek aderanslı bağ sayesinde betonarme, kompozit özellikler gösterir,
- Beton, çeliğin korozyonuna sebep olabilecek çevresel etkilere karşı direnç gösterir,
- Beton ile çeliğin ısı karşısındaki hareketlerindeki benzerlik sebebi ile ısınma-soğuma döngüsünün olumsuzluklarından etkilenmez.

Beton bu çalışmada taşıyıcılık özellikleri yanında öncelikle kullanılan güçlendirme elemanları olan epoksi ve çelik ile yük altında sergilediği performans değerleri ve davranışları açısından ele alınmıştır. Bu bağlamda betonarme elemanlar, güçlendirme uygulamasından sonra kompozit davranışlar göstermesi, göçme mekanizması ve sebeplerinin kontrol altında tutulması açısından değerlendirilmiştir.

4.1.2 Epoksi Reçinesi

Epoksi reçineleri, yüksek yapışma mukavemeti, düşük rötre miktarı, ısısal kararlılık, kısa kürlenme süresi ve uygulama sonrası derhal ve güvenle kullanıma başlanabilmesi gibi üstün mekanik ve kimyasal özellikleri sayesinde mühendislik uygulamalarında gittikçe artan oranda bir tüketime sahip olmuşlardır. 1965-1985 yıllarını kapsayan 20 yıllık zaman diliminde epoksi reçinelerinin toplam tüketimi % 500 oranındaki artışla 132.000 tona ulaşmıştır. Üstün yük taşıma kapasitesi ve kimyasal direnç gibi olumlu yönleri yanında alternatif malzemelere göre maliyetinin 3 ile 15 kat daha pahalı olmasına rağmen, uygun fiyat-performans oranı ile diğerlerinden ucuza gelmekte ve mühendislik uygulamaları için avantajlı ve güvenli sayılmaktadır (Swamy, 1989). Önceleri kaplama endüstrisinde belli başlı kullanıcılara sunulan bu malzeme, daha sonra elektrik ve yapı sanayilerinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Epoksiler, organik polimer gurubu kapsamında olup, kimyasal yapılarında içerdikleri ester ve poler bağları sayesinde mükemmel yapışma niteliklerine sahip olan sentetik malzemelerdir. Tüm organik polimerler, petro-kimya endüstrisinden elde edilen karmaşık bileşiklerden oluşan kimyasallardır. Bu polimerlerin

oluşturduğu malzemelere genel olarak reçine adı verilir. Yapı endüstrisinde kullanılan reçineler şunlardır:

- Epoksi reçinesi,
- Poliüretan,
- Polyester,
- Akrilikler,
- Polivinilasetat,
- Stren bütadien.

Bu tür ham reçineler, dünya çapında kimyasal üretim yapan bir kaç firma tarafından (Shell, CIBA, Dow Chemicals, v.b.) kullanım amaçlarına uygun olarak değişik formüllerle üretilir ve farklı niteliklere sahip olarak piyasaya sunulurlar.(Philip Perkins). Yapı sanayisinde kullanılan epoksi reçinesinin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Özellikle beton ve çelik gibi önemli yapı malzemelerinde, çoğu metal alaşımları ve farklı özellikli katmanlar içeren malzemelerde, üstün bir yapışma performansı gösterir. Çok hassas veya özel bir takım uygulamalar için yüksek mukavemet değerlerini sağlama oranı ve işlenebilirlik kabiliyeti çok yüksektir.
- Her hangi bir süre sınırı olmadan, yaklaşık 150°C' ye varan sıcaklıklarda, işlem yapılabilme özelliğine sahiptir. Ancak 80°C den yüksek sıcaklık derecelerinde yapışkan bağın mukavemet değeri fark edilir miktarda azalır. Dolayısı ile beton ve diğer taşıyıcı sistem elemanlarına göre yangın sırasında oluşan yüksek sıcaklık karşısında ortaya koyduğu direnç oldukça yetersizdir.
- Asitlere, alkalilere ve diğer çoğu kimyasal maddelerin çoğuna karşı yüksek oranda direnç gösterebilme kabiliyetleri vardır. Ancak nitrik asit gibi yoğun olarak oksitleme özelliği olan kimyasallardan etkilenirler.
- Organik solventlere karşı direnci zayıftır.
- Yüksek olmayan sıcaklık derecelerinde, sıcaklık karşısındaki davranışları, beton ve çelik ile karşılaştırıldığında daha olumludur.

- Epoksi reçineleri, kürlenme sürelerinde veya üretimleri esnasında, meydana gelen kimyasal reaksiyon sonucunda uçucu bir madde açığa çıkmadığı için insan sağlığı açısından hiçbir mahsuru yoktur.
- Mahallinde yapılacak uygulamalarda, reçine ve katkılarının yeterli sonuç değerlerini sunabilmeleri için, uygulama yapılacak yüzeyler mutlaka kuru olmalı, ortam şartları ve nispi nem değerleri belirli sınırlar içinde kalmalıdır. Ayrıca reçinenin üreticisi olan firmanın sağladığı kılavuz doğrultusunda, kullanılacak epoksinin uygulanma koşullarına uygun olarak işlem yapılmalıdır.
- Epoksi reçinesi ile yapıştırma işleminde yüksek oranda başarı elde etmek için, yapıştırılacak yüzeye yüksek basınç uygulama gerekliliği yoktur. Sadece küçük bir baskı oluşturacak bir tutturma işlemi ile kür sonuna kadar sabit tutulması, iyi bir sonuç elde etmek için yeterli olacaktır.
- Eğer yapıştırma uygulanacak yüzeyler iyi hazırlanmış ve ortamdaki nem oranı normal değerlerde ise, kürlenme işleminde oldukça az miktarda rötne oluşur.

Epoksi yapı kimyasalları ailesinin genel adı olup farklı amaçlara yönelik bir çok değişik yapıdaki malzemeyi kapsar. epoksi sistemlerinin tümü yapı taşıyıcı sisteminde kullanılmaya uygun değildir ve en fazla kullanıma sahip olan epoksi reçinesidir. Yapı taşıyıcı sisteminde kullanılan epoksi reçineleri, bu işlevlerine yönelik kimyasal formüller doğrultusunda üretilirler. Çok geniş bir kullanım alanı olmakla beraber epoksi reçineleri, yoğun olarak iki ana kategoride sınıflandırılır (Perkins 1976):

- Reçinenin tek başına veya harç katkısı ile beraber kaplama oluşturma şeklinde uygulanması; bu şekildeki uygulamalarda, betonu geçirimsiz hale getirmek ve dış etkilere karşı direncini artırmak amaçlanır. Aynı amaçla kullanılan diğer bir organik polimer ise poliüretandır.
- Agregata ve/veya çimento ile karıştırılarak beton üretiminde veya sertleşmiş beton üzerinde yapılacak onarım ve güçlendirme uygulamalarında kullanılır.

Piyasa koşullarında talep edilen epoksi tabanlı yapı harç ve bağlayıcılarından bazıları, farklı niteliklerini ortaya koymak üzere aşağıda verilmiştir.

- Taşıyıcıya yönelik tamir harçları ; yüksek mukavemet, azaltılmış rötre, akıcı ve püskürtmeye müsait kıvamlıdır.
- Eski eserler ve mimari detaylar için tamir harçları; hızla kullanıma hazır hale gelmesi, yüksek mukavemet, azaltılmış rötre özelliklidir.
- Donatı çeliğine korozyon önleyici kaplama yapılması; donatı çeliğini korozyondan koruma amaçlıdır.
- Bağlayıcı harç katkısı; yüksek aderans sağlamak için kullanılır.
- Yoğun trafik altındaki döşemeler için tamir harcı; aşınma mukavemeti yüksek, yama ve ek yapımına uygun yüksek aderans sağlayabilme amaçlı bir malzemedir.
- Taşıyıcı sisteme yönelik yapıştırıcı ve bağlayıcılar; epoksi reçinesi ağırlıklı, yüksek mukavemet ve minimum rötre değerlerine sahip, akıcı ama dikey uygulamalarda kullanılmak üzere koyu kıvamlı olarak üretilen solvent içermeyen bir malzemedir.
- Deniz yapıları için tamir harçları ve yapıştırıcılar; dalga darbelerine ve gelgit olayının olumsuzluklarına karşı çabuk sertleşen bir malzemedir.

Son otuz yılda epoksi reçineleri hakkında çok miktarda bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların büyük bir kısmı sistematik ve kapsamlıdır. Ancak temel malzeme parametrelerini etkileyebilecek bir kaç nokta halen açıklığa kavuşmamıştır. Konu hakkındaki literatür incelendiğinde, birbirinden farklı çok miktarda farklı epoksi sisteminin varolduğu görülmektedir.

4.1.2.1 Mekanik Özellikleri

Epoksi reçinelerinin kırılma davranışları, bazı temel prensipler dahilinde ele alınır. lineer elastik kırılma mekanizması adı verilen bu prensipler, epoksi reçinesi ile yapılan uygulamalarda yüksek verim elde etmek için, kırılma hareketlerini yorumlayan bir yaklaşım ortaya koyar. Bu yaklaşım, reçinenin uygulandığı eleman ile oluşturacağı etkileşime dikkat çeker. Ayrıca bu prensipler epoksi sistemlerinin davranışlarının standart bir kapsam içinde değerlendirilebilmesi için gereklidir

4.1.2.2 Epoksilerin Yapıştırıcılık Özelliği

Yapıştırıcı özellikteki yapı kimyasallarının taşıyıcı sistem bölümlerinde kullanımları oldukça fazla tercih edilen uygulamalardır. Bunun sebeplerinden biri, perçin ve

kaynak gibi alternatif birleştirme tekniklerine göre avantajlı yönlerinin fazla olması ve her türlü ortam ve koşulda başarılı sonuç vermeleridir. Yapıştırırmalı bağlantı tekniğinin olumlu yönleri aşağıda sıralanmıştır:

- Uygulandığı yüzeyde oluşturduğu homojen gerilme dağılımı sayesinde, malzeme yorulmasına karşı önleyici etki oluşturur.
- Farklı tabakalardan oluşmuş malzemelerle kullanıldığında, yalıtkanlık özelliği sayesinde farklı malzeme katmanları ile oluşabilecek elektrolitik korozyon riskini en aza indirir.
- İnce lamalar halindeki metallerin, petek kiriş örneğinde olduğu gibi birbirine güvenle bağlanmasına olanak sağlayarak, taşıyıcı sistemi çelik malzemeden oluşturulacak binalarda öz ağırlık düşerken yüksek mukavemet elde edilir.
- Kaynak ve perçinli uygulamalara göre, kapsamlı uygulamalar söz konusu olduğunda, azalan bir maliyete sahiptirler.

Yapı kimyasalları arasında, en çok tercih edilen bilinen malzeme sistemlerinden biri Epoksi Reçineleridir. Öncelikli tercih sebepleri, taşıyıcı sistemde kullanıma müsait niteliklere sahip olmaları, işlem uygulama kolaylığı ve üretiminin standart, seri ve fabrikasyon olmasıdır.

Literatürde bu konu ile ilgili çalışmalarda, epoksi sistemlerinin yapışma özelliğini inceleyen bir çok araştırmanın kapsamında, çok sayıda farklı epoksi formülasyonlarının kullanıldığı saptanmıştır. Bu farklı formülasyonlar genellikle farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmak üzere üretilmişlerdir. Örneğin yapı sistemlerinde kullanılan epoksi reçinelerinin sert bünyeli ve düşük sıcaklıklarda sertleşmeye müsait özelliklere sahip olmaları istenirken, uzay endüstrisinde kullanılanların çok yüksek sıcaklıklarda sertleşmeleri ve kırılgan yapılı olmaları istenir.

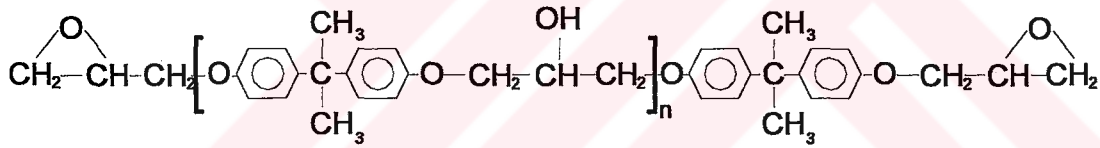
4.1.2.3 Epoksi Yapıştırıcı Formülasyonu

Epoksi esaslı yapısal yapıştırma malzemeleri, üstün yapışma performansı ve diğer birçok faydalarından dolayı geniş ve birbirinden farklı kullanım alanlarının gereksinimini karşılayacak şekilde farklı formüllerle üretilmektedirler. Epoksi reçinesi için çok miktarda formül değişkeni ve geniş bir uygulama alanı olduğundan, belirli bir formülasyon gurubu tanımlamak mümkün değildir. Reçine çeşidi ve iyileştirici malzeme formülasyonunun iki ana girdisi olmasına rağmen, üretimin niteliklerini belirleyecek olan katkı maddeleri için çok miktarda seçenek vardır:

- Dolgu malzemeleri,
- Gevrekleştiriciler,
- Tokluk sağlayıcılar

Ayrıca uygulama sırasında işleme standart olarak katılan girdiler, sertleştirici (hardener) ve işlem hızlandırıcıdır (accelerator). Buna rağmen ticari amaçla üretilen bir çok epoksi tabanlı yapı kimyasallarının içeriklerinin oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Epoksi reçinesinin içeriğinde yer alabilen çok sayıdaki katkı ve işlem yardımcılarının başlı başına bir araştırma konusu olarak ele alınması mümkündür.

Normal kür şartlarında epoksi reçinesi sertleşme sonucunda üç yönde uzayan uzun bir molekül zincire sahip olarak, yüksek mukavemetli ve kararlı bir malzeme halini alır. Epoksi reçineleri genellikle sertleşerek rijit hale gelmekle beraber, özel olarak üretilen birkaç çeşit, az miktarda ve esneyebilecek özellikte formüle edilerek üretilir. Epoksi reçinelerinin yapışkan formülasyonu çok basit şekilde tanımlanabilir. Bunlar düşük molekül ağırlığına sahip, niteliği iyileştirilmiş birden fazla formülün birleşmesi ile oluşan aromatik çeşitler için primer olarak işlev gören alifatik reçinelerdir. En yaygın olarak kullanılan reçine çeşitlerinden birinin kimyasal yapısı



Şeklinde. Bu formülde standart reçine dizilişi görülmektedir. Bu formülasyona sahip olan sıvı haldeki epoksi, farklı molekül ağırlıklarına sahiptir ve oda sıcaklığında katılaşmaya uygun bir yapıdadır. Sıvı ve macun kıvamdaki yapıştırıcılar, genellikle molekül ağırlığı nispeten az olanların birleştirilmesinden oluşur. Molekül ağırlığı yüksek olan yapıştırıcı çeşitleri, genellikle ince tabaka şeklinde olup yapısal bütünleştirmelerde kullanılmaya uygundur.

Epoksi reçinesinin kürlenme süreci aynı zamanda makromoleküler bağ formunun oluştuğu kimyasal reaksiyonun gerçekleştiği safhadır. Bu nedenle sonuçta elde edilmesi arzulan yüksek nitelikli mekanik bağın değerlerinin belirlenmesi açısından önemlidir.

Piyasada farklı uygulama gereklilikleri nedeni ile bir çok epoksi çeşidi pazarlanmaktadır. Örneğin en yoğun kullanılan sistemlerden biri olan epoksi-amid

reçinesinin minimum mukavemet değerlerine ulaşması için gereken kürlenme süresi, normal koşullar altında ve 10-25 °C dereceleri arasında 12 gündür. Bu değer daha sonra belirli bir zaman süresinde daha da yükselir.

Yapıştırma işlemini oluşturan kimyasal reaksiyon, iki birleşenin karışması ile başlayan bir zaman periyodunda meydana gelir. Bu sürenin değişmesi, yapılan uygulamanın gereğine bağlı olarak epoksi formülünün değiştirilmesi ile mümkündür. Örneğin yapısal çatlakların enjeksiyon yöntemi ile tamirinde kullanılan geleneksel epoksi reçinesinin minimum mekanik rijitliğe ulaşması için gereken süre normal koşullar altında, 20 °C’de ve yaklaşık 20 saattir (Mouton and Sadi, 1989).

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi ortam sıcaklığı epoksi reçinesinin kürlenme safhasında önemli rol oynar. Bunun sebebi, yüksek mukavemetli bağ oluşumu, malzemenin kohezyonu ve mekanik performansın gereği olan yanal bağ oranının, karışımın kürlenme sıcaklığına bağlı olarak belirlenmesidir. Eğer sıcaklık düşükse, bu oran da oldukça düşük demektir. Aynı anlamda geleneksel tip denilen ve taşıyıcı sistemde kullanılan bir epoksi sistemini kullanarak, düşük sıcaklıkta yüksek nitelikli bir bağ elde etmek mümkün değildir.

Bu gibi durumlar ve özellikle düşük sıcaklığın var olduğu deniz yapısı uygulamaları için formüle edilmiş farklı tipte epoksi sistemleri vardır. Bu sistemlerin diğerlerinden farkı, makromoleküler yapısındaki yanal bağların daha düşük sıcaklık derecelerinde oluşabilmesidir. Ancak bu tip sistemler betondaki alkaliniteye karşı diğerlerine göre daha reaktif oldukları için, özellikle taşıyıcı sistem uygulamaları için kesinlikle tavsiye edilmezler.

4.1.2.4 Yapışma Teorileri

Yapışma olayını tanımlayan 4 ana teori vardır:

- Mekanik yapışma teorisi,
- Elektrostatik yapışma teorisi,
- Difüzyon teorisi,
- Adsorpsiyon teorisi.

Mekanik yapışma teorisi, adından da anlaşıldığı gibi oldukça basit ilkelere dayanır. Bu teoriye göre, yapışkan ile uygulandığı katı cismin tabakaları arasında oluşacak bağın dayanımının, öncelikle yapışkanın pürüzlü yüzeydeki girinti-çıkıntılara tutunmasına bağlı olduğu vurgulanır. Genel yapıştırma uygulamalarında, düz

yüzeylerde yapışmaya hazır olsalar bile, her zaman yeterli mukavemette bir bağ edilemediği görülmektedir. Mekanik yapışmada ana öge olan yüzey pürüzleri, yapışkanın boşlukları doldurması sonucu mekanik ankraj görevi yaparak mükemmel bir tutunma sağlarlar (Wake, 1982). Marangozluk imalatı olan kereste birleşim detaylarının uzun zaman periodunda izlenmesi sonucunda, pürüzlü yüzeyli kereste ile yapıştırılan birleşim noktasının düz yüzeyli olanlara göre çok daha mukavemetli olduğu görülmüştür. Dolayısı ile yapıştırılan katı madde yüzeyinin topoğrafik yapısı, başarılı bir mekanik yapışma olayının oluşması için başlıca gerekliliktir.

Yapışma olayının yorumlandığı elektrostatik çekim teorisi, ilk olarak Deryaguin ve arkadaşları tarafından ortaya konmuştur (Deryaguin 1969). Yapışan iki tabaka arayüzeyinde oluşan elektrik akımı, bu teorinin ana fikridir. Bu teoriyi tanımlayan, yapışkan birleşimlerde elektrik yükü varolduğunu ispat eden en bilinen örnek, esnek yapışkan bir bandın yapıştığı katı yüzeyden hızla çekildiğinde arayüzeyde meydana gelen elektrik yükünün boşalmasıdır.

İlk olarak Sovyetler Birliğinden Voyutski tarafından sunulmuştur (Voyutskii, 1963). İki tabakanın moleküler seviyede temas etmesi ve birbirine karışması sonucu iki faz arasında yapışma meydana gelmesi bu teorinin ana fikridir. Bu oluşumun meydana gelmesi için yapışan iki tabakanın arayüzeylerinde bulunan moleküllerin yüksek hareketli olmaları ve birbirleri ile uyum içinde bulunmaları kesin koşullardır. Ancak, yapıştırılan iki katı cismin molekülleri arasında böyle yüksek seviyeli bir moleküler uyumun var olması genellikle mümkün değildir. Yapışma olayında bu uyumu temin eden yapıştırıcı malzemedir. Çoğu termoplastik malzemeler, sahip olduğu yavaş hareketli moleküller sebebi ile yeterli nitelikte yapışkan bağ oluşturabilmeleri ancak moleküler difüzyon olayı ile mümkün olabilir. Difüzyon mekanizmasının, otomatik bir yapışma evresine sahip olduğunu ispat eden en bilinen örnek, vulkanize edilmemiş elastomerlerde ve doğal kauçukta görülmektedir. Buna ek olarak, alt katmanlarında solvent içeren termoplastiklerde, solventin gösterdiği uyumun Vulkanizasyon olayındaki gibi basınç ve sıcaklık uygulanmasına bağlı olmasından dolayı, bu olayın difüzyon mekanizması ile ilgili olduğu yönünde fikirler vardır (Titow 1978). Voyutskii'nin difüzyonla yapışma mekanizmasında meydana gelen yapışma evresinin epoksi – metal arasında oluşan bağda da görüldüğü iddiasına karşın Sovyet araştırmacılar, Alüminyum gibi kaba, yüzeyi pürüzlü ve okside tabakalara sahip bir çok metalik alaşım için difüzyon yapışma olayının mümkün olduğu fikrini savunmuşlardır. Ayrıca difüzyon yapışma işleminde, yapışkan ve alt katmanlar arasında tüm yüzeye yayılan bir yapışmanın, maksimum başarı için gerekli koşul olmasına rağmen, difüzyon olayındaki yapışmanın gerçekleştiği yer, moleküler seviyedeki iki bileşenin birbirine karıştığı bir fazdır.

Sonuç olarak, bazı metaller ve kompozitler gibi yapısal malzemelerin, epoksi veya alternatifi olan diğer yapı kimyasal yapıştırıcıları ile bağlanması işlemi ile difüzyon olayını, belirli herhangi bir anlam veya önem açısından ilişkilendirmek mümkün değildir.

Diğer yapışma teorilerinde, yukarıda anlatıldığı gibi belli bir fikirden hareket ederek yapışma olayının içeriği tanımlanırken, adsorpsiyon teorisinde epoksi ile oluşturulan yapışkan bağ konusu ile ilgili genel bir kabul söz konusudur (Hunstberger,1967, Kinloch, 1980, Wake, 1982). Adsorpsiyon teorisinin genel prensibi, yapışacak iki malzeme arayüzeyinde olabildiğince geniş alanlı moleküler temas sağlayarak, bu malzemelerin atomlarının arasında ortaya çıkan yüzey kuvvetlerinin etkileşimi sonucu yapışma olayının meydana gelmesidir. Bu yapışmayı oluşturan moleküller arası kuvvetler van der Waals kuvvetleridir. Bu kuvvetler rasgele inip-çıkan iki kutup söz konusu olduğunda genel olarak yayılırlar ancak, sağlam bir moleküler bağın oluşabilmesi için kutupları sabit olması ve hidrojen bağlarının bulunması gerekir. Ayrıca mükemmel bir yapışma, bir çok epoksi sisteminin moleküler yapısında varolan ve hidrojen bağ formülü ile etkileşimi sağladığı düşünülen beşgen hidroksil gurupları tarafından desteklenir. Bu hidroksil gurupları, normal şartlar altında tüm metal oksitlerin yüzeylerinde bollukla bulunabilir (Potter, 1970).

Bu aşamada yapışma işlemini malzemenin alt tabakalarına kadar ileterek orada birincil kovalent bağların üretilmesini sağlayan kimyasal nüfuz etme (chemisorpsion) işlemi önemlidir. Yapışma olayını oluşturan ve ikincil kuvvetler denilen, genellikle belirleyici faktör olarak işlev gören etkileşimlerdir. Tek başlarına bile oldukça makul mukavemet karakteristiklerine sahiptirler. Ayrıca arayüzey boyunca varolan birincil kovalent bağların, yük taşıma kapasitesini artırıcı bir etki yaptığı ve çevresel denge açısından belirli koşullar altında önemli avantajlar sağladığı kabul edilir.

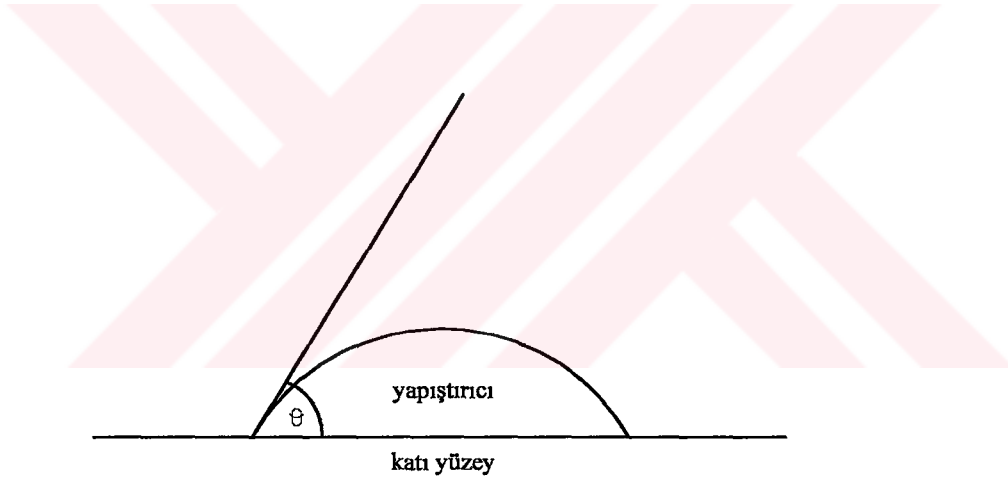
Sonuç olarak adsorpsiyon teorisinin özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Moleküller arası temas, epoksi gibi yapıştırıcıların, çeşitli malzemeleri birleştirilmesi işlemi için mutlak gerekliliktir,
- Moleküler kuvvetler, yapışma işleminin gerçekleşmesinde çok kısa bir mesafeden etkili olabilirler,
- Yapıştırılacak malzemelerin yüzeylerindeki aşırı pürüzler, bir şekilde düzeltilip temizlenmelidir. Aksi durumda Allen'in ifade ettiği gibi; "kaba pürüzlü yüzeye sahip iki katı malzemeyi yapıştırmaya çalışmak, Himalaya dağlarının üzerine Alp'leri ters çevirip birleştirmeye benzer"(Allen, 1979).

Birleştirilen malzemelerin ara yüzeylerindeki temasın çok sınırlı olması halinde, istenilen moleküler etkileşim küçük bir alanda gerçekleşir ve bir uzama hali söz konusu olur. Bunun sebebi katı yüzeye tutunmaya çalışan yapışkanın akması sonucu bir hareket meydana gelmesidir. Bu koşullarda, moleküller arası kuvvetlerin etkileşimi temas alanının büyük bölümünde sağlanır ve dolayısı ile taşıma kapasitesinde önemli artışlar elde edilir.

4.1.2.5 Islanma

Yapıştırıcı malzemenin, yapıştırdığı bileşim noktasındaki mukavemetini etki ettiği muhtemelen en önemli faktör, yüzey üzerindeki dağılımı ve ıslatma şeklidir. Bu karakteristik özellik yapıştırıcının (sıvı) katı yüzeylere temas ettiği sırada aldığı şekle göre “temas açısı” ölçülebilir (Şekil 3.1). Bu düşünce ilk olarak Young tarafından 1805 de ortaya konulmuş olup, temas açısının yapışacak olan iki katı malzemenin yüzey enerjileri ile ilişkili olduğu iddia edilir. Katı yüzeyle temas haline geçen sıvı yapıştırıcı malzeme arasındaki temas açısı aşağıdaki grafikte belirtilmiştir.



Şekil 4.1. Islanma temas açısı

4.1.3 Çelik Lama

Bu çalışmada ve güçlendirme uygulamalarında kullanılan çelik lama, piyasadan standart kalitede temin edilebilen ve farklı kalınlıktaki çelik tabakalardan istenilen boyutta kesilerek satılan bir malzemedir. Yapıştırma işleminde kullanılacak çelik lamalara ek işlem olarak sadece aderans artırmak amacıyla epoksi içeren boya uygulaması yapılmaktadır.

4.2 Uygulanan Metodun ve Amacın Açıklanması

Bu çalışmada ortaya konan özgün metodun öncelikli amacı, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının güçlendirilmesi ve birleştirilmesi işlemlerinde yoğun olarak kullanılan güvenilir, ekonomik ve kolay uygulanabilen bir işlem dizisine sahip bir tekniğin deneysel olarak incelenmesidir. Kısaca hizmet halindeki betonarme elemanların dış yüzeylerinden, mukavemet değerleri yüksek olan çelik lama veya kompozit şeritler gibi malzemelerle kuşatılması olarak tanımlanan bu teknik, literatürde geniş anlamda ele alınmıştır.

Benzer çalışmalarda bu tekniğin ele alınışında genellikle, uygulandığı elemanın göçme davranış ve yüklerini önceden tahmin etmeyi amaçlayan bir takım matematiksel modeller veya bilgisayar programları önerilmiştir. Bu amaçla üretilen deney modelleri, lama boyutları, yapışkan tabaka kalınlığı ve yapıştırma bölgeleri gibi kriterler değişken olarak kabul edilerek üretilmişlerdir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre modeller, birbirleriyle ve güçlendirilmemiş mukayese örnekleri ile karşılaştırılarak aralarında kurulan ilişkiye bağlı olarak formüller üretilmiştir.

Yapıştırma birleşim içeren güçlendirme tekniklerinde, yeterli performansın garanti altına alınmasını, başka bir deyişle bu tekniğin uygulandığı betonarme elemanların yük altındaki davranışlarının önceden tahmin edilebilmesini zorlaştıran birkaç değişken vardır:

- Doğru işlem dizisinin seçimi,
- Doğru epoksi sisteminin seçimi,
- Uygulayıcının performansı.

Bu çalışmanın diğer bir amacı, ortaya konmuş hesap metodlarının hükümsüz kaldığı yukarıdaki ve bunun gibi bazı değişkenlerin deneyler kapsamında irdelenmesi ve sebep-sonuç ilişkisi kurmak sureti ile değişken sayısının ve/veya değişme oranının azalmasını sağlamaktır.

Bilindiği gibi mühendislik hesaplarının içeriğinde, önceden tahmin edilemeyen bazı malzeme etkileşimleri, performanslar, hata veya olumsuz koşullar dikkate alınarak, tespit edilen, “güvenlik katsayısı” adı verilen bir artırım vardır. Çelik lama ile dıştan sarılan betonarme elemanların hesaplanan güvenlik katsayısı, bilindiği gibi oldukça yüksektir. Bunun sonucu olarak gerektiğinden çok daha fazla güçlendirme malzemesi ve işçilik kullanımı söz konusu olmakla beraber bu durumun

uygulamanın güvenilirliği açısından gerekli olduğu kabul edilir. Ancak yapı güçlendirme ve onarım uygulamalarının ne kadar kapsamlı ve pahalı olduğunu, ayrıca bu tür masrafların yeniden yapım maliyetinin belli bir oranını geçmemesi gerektiği düşünüldüğünde, maliyeti düşürme yolunda geliştirilecek fikirlerin gerekli ve önemli olduğu mutlaklıdır.

Bu çalışmada, yukarıda belirtilen sebepler çerçevesinde elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle sonuçlara ulaşılması planlanmış ve çelik lamanın epoksi reçinesi ile betonarme elemana dış yüzeylerinden yapıştırılması şeklinde uygulanan söz konusu tekniğin, bir güçlendirme ve bir de birleştirme detayında incelenerek başarılı bir uygulama için bazı prensiplerin deneysel olarak ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu bağlamda cevap aranan noktalar aşağıda verilmiştir:

- Güçlendirme ve birleştirme uygulamalarında bu tekniğin sağladığı verimin karşılaştırmalı olarak ortaya konulması; bu amaçla tek parça üretilmiş eleman ile çelik levhalar ile yapıştırılarak birleştirilmiş elemanların göçme yükleri ve yer değiştirme miktarlarının belirlenmesi.
- Göçme mekanizmasının araştırılması ve sebeplerinin ortaya konularak yapıştırma şekilleri ve çelik lamaların verimli kullanımı açısından çözüm geliştirilmesi.
- Epoksinin, çelik ve betonla oluşturduğu bağın gerilme değerlerinin ayrı ayrı tespit edilmesi ve buna bağlı olarak elemanın kompozit davranış göstermesini temin ederek, minimum malzeme kullanımının denenmesi.
- Güçlendirilen elemanın göçme yükü ve davranışlarının aynı koşullarda aynı sonuçları vermelerini sağlamak için işlem uygulama kriterlerinde bu duruma etki edebilecek noktaların tespiti ve mümkünse kontrol altına almak için çözüm geliştirilmesi.

4.2.1 Uygulama Kriterleri

Epoksi reçinesinin piyasa sunumu, reçine ve sertleştirici maddeyi içeren bir paket şeklindedir. Yapıştırma işlemi aşağıda açıklanan yüzeyin hazırlanması, uygulamanın yapılması evreleri ve bu kapsamdaki uygulama kriterleri doğrultusunda gerçekleştirilecektir.

4.2.1.1 Yüzey Hazırlığı

Reçinenin uygulanacağı beton ve çelik yüzeylerin başarılı bir yapışma sağlanması amacı ile bir takım işlemlerden geçirilmesine yüzey hazırlama işlemleri denir. Epoksi reçinesi ile yapılan uygulamalarda sonuçta oluşan başarısızlıkların sebebi genellikle iyi hazırlanmamış yüzeylerle ilgilidir. Dünyanın bazı bölgelerinde(örn: Los Angeles) epoksi gibi reçineler ile yapılan yapısal uygulamalarda, işlemin doğru yapılmasını garanti altına almak için özel denetim zorunlu tutulmakta ve ücretleri yüklenici tarafından karşılanmaktadır.

Uygulama yapılacak betonarme elemanın hazırlanması için öncelikle yüzeyinin nemden arındırılması gerekmektedir. Sonraki işlem yüzeyin hafifçe çekiçlenerek zayıf parçalardan arındırılması ve betonarmedeki paspayı mesafesinin olduğu gibi kaldırılıp mümkün olduğunca sağlam kısmın ortaya çıkarılmasıdır. Daha sonra yüzey üzerindeki tozlar titiz bir şekilde temizlenmeli hatta bu işlem için basınçlı hava üfleyen bir makine ile sanayi tipi denilen güçlü motora sahip bir elektrikli süpürge kullanımı tercih edilmelidir. Yüzeyi tozdan arındırılmamış betonarme elemana uygulanacak yapıştırma işleminde, toz ile yapışkan tabaka arasında bir bağ oluşturacağı için sonuç olumsuz veya yetersiz olabilir. Aynı şekilde yüzey temiz ve sağlam olsa bile nemli yüzeyle epoksi reçinesinin oluşturacağı bağ aderansının, düşük mukavemeti yüzünden başarılı sonuç elde etmek mümkün değildir.

Kullanılacak çelik lama ise öncelikle paslı kısımlardan arındırılmalı ve yüzeyine en az iki kat olmak üzere pas önleyici astar veya epoksi esaslı boya sürülmelidir. Bu işlemten sonra aderans artırmak amacı ile iki milimetreyi geçmeyen dane boyutundaki dişli kumun, epoksi ve sertleştirici ile karıştırılarak tek kat olarak çelik lamanın üzerine sürülmesi gerekir. Bu ve diğer yüzey hazırlama yöntemlerinin, aderansın artmasını ne oranda sağladıklarının tespit edilmesi, deneysel çalışmaların kapsamındadır.

4.2.1.2 Uygulamanın Yapılması

Uygulamaya başlamak için öncelikle ana malzeme olan epoksi reçinesi ve setleştiricinin (işlem hızlandırıcı da denilir) belirlenmiş oranlarda birbirine karıştırılması gerekir. Uygulamanın başarı ile tamamlanması için üç temel aşamanın titiz bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekir:

- a) Reçinenin kap ömrü; reçinenin sertleştirici ile karıştırılmasından itibaren, uygulama işleminin tamamlanmasına kadar geçen zaman aralığıdır. Bu zaman aralığı, uygulama yapılacak mahallin fiziksel ortam koşullarına göre

değişkenlik gösterebilir. Bu durumlarda kap süresinin artırılması veya azaltılabilmesi, karışıma giren sertleştirici miktarının değiştirilmesi ile mümkündür. Kap süresini uzatmak için sertleştiricinin az miktarda ve daha yavaş katılması gerekir. Genellikle tercih edilen, kap süresinin kısa olmasıdır. Ancak uygulamada bu zaman aralığı otuz dakika ile kırksekiz saat arasında değişir.

- b) Sertleşme safhası; uygulama işleminden sonra plastik kıvamdaki reçinenin fiziksel değişimi ve yüzeydeki yerleşme şeklidir. Sertleşme safhası epoksi reçinesinin formül yapıcıları tarafından değiştirilebilen parametreler içerir. Genellikle bu safhada tercih edilen uygulama şeklinin anafikri, uygulanan her kat epoksi tabakasının sonrakinden daha sert olması zorunluluğudur. Bu nedenle piyasada satılan bazı özel işlem reçinelerinin sertleşme safhası ile ilgili tüm karakteristik özelliklerinin ürünle beraber sunulması, uygulamanın başarısı için çok önemlidir.
- c) Kür Safhası; karışımın sertleşerek kullanım mukavemetine eriştiği ana kadar geçen zaman aralığı olarak tanımlanabilir. İstenen mukavemet değerleri ve dayanımı sağlayan moleküler zincirin oluşumu artık tamamlanmıştır. Karışımın kür süresi formül yapıcılar tarafından uygulama yeri ve ortam koşullarına bağlı olarak değiştirilebilir. Ancak tercih edilen ortalama kür süresi yedi gündür. Kür işlemi ortamdaki hava sıcaklığı 5⁰C ‘nin altına düştüğünde durur. Bu durumda, istenilen sonucun elde edilmesinde bir takım zorluklar ve riskler söz konusu olur. Bu gibi durumlarda, ortam şartları kontrol altında tutulmalı (sıcak hava üfleyen makineler kullanılabilir) veya yapıştırma işlemine ara verilmelidir .

Piyasada satışı yapılan onlarca çeşit epoksi reçinesi, yüzlerce sertleştirici ve işlem katkıları arasından, en uygun formül ve kombinasyona sahip olan ürünü tercih edebilmek için, ürünlerin teknik özelliklerinin, yukarıdaki kriterler doğrultusunda uygulayıcı tarafından göz önünde bulundurulması gerekir.

4.2.2 Değerlendirme Kriterleri

Yukarıda belirtilen amaçlara ulaşma doğrultusunda yapılacak deneysel çalışmalar için üretilen deney modelleri aşağıdaki kriterlere göre değerlendirilecektir:

- Göçme yükü – yer değiştirme ilişkisi; bu kriter deney modellerinin yük altındaki davranışlarını belirlemek amacıyla tespit edilecektir. Eğilme deneyi cihazı ve komparatör kullanılarak, yüklenen modellerin göçme yükleri ve her

yük seviyesindeki yer değiştirme miktarı, taşıma gücü, yük altında yavaş ve dengeli bir yer değiştirme hareketi, göçme hareketinin mümkün olduğunca yavaş olması ve göçtükten sonra da bir süre yük taşımaya devamın sağlanmasıdır. Ayrıca birleştirilmiş deney modelleri ve tek parça olarak üretilen mukayese modelinin sağladığı taşıma güçleri karşılaştırılmıştır.

- Çatlak oluşumu; göçme mekanizmasının başlamasına sebep olan çatlama sürecinin ve başlangıç noktasının belirlenmesi, elde edilen verilerle lama yerleşimi ve yapıştırma tekniğinin planlanmasıdır.
- Yüzey hazırlama teknikleri; yapıştırma işleminde elde edilmesi öngörölen yeterli ve standart taşıma gücüne, yüzey pürüzlerinin ve hazırlama işlemlerinin etkisinin belirlenmesidir.

Elde edilen sonuçlar, betonarme yüzeye epoksi reçinesi kullanılarak yapıştırılan elik lama ile güçlendirme tekniğinden, optimum malzeme kullanılarak yüksek performans elde edilmesi amacıyla işlem ve malzemelerin verimli kullanımına ilişkin bir takım sonuçları ve işlem önerilerini ortaya koymaktadır.

5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Genel

Bu çalışmanın kapsamındaki tüm deneyler, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nın mevcut olanakları ile yapılmıştır. Çalışmanın deney programı, literatürde çelik lamaların dış yüzeylerinden yapıştırılması ile güçlendirilen çeşitli betonarme elemanları konu alan çalışmalarda yapılan deneyler, deney teknikleri deney örneği üretim kriterleri ve standartlarını referans alarak geliştirilmiştir.

Benzer araştırmaların deneysel çalışmalar bölümlerinde, genellikle yapılan epoksi – çelik lama eklemesinin, betonarme kolon veya kirişin mukavemet değerlerindeki artış miktarının tespit edilmesini sağlamaya veya alternatif olarak kullanılan malzemeler (cam lifi takviyeli polimer şeritler, v.b.) ile karşılaştırmasını yapmaya yöneliktir. Bu amaçla deney değişkenleri olarak, çelik lama boyutları (en, boy, kalınlık), epoksi reçinesi çeşitleri, tabaka kalınlıkları ve yapıştırma bölgeleri olarak belirlenmiştir. Deney sabitleri ise çoğunlukla deney örneği olan betonarme elemanın beton sınıfı, çelik donatısı ve boyutlarıdır.

5.2 Deney Ortamı ve Kullanılan Cihazlar

Deneyler için kiriş modellerine 20KN eğilme yükü uygulayabilen, ayrıca küp veya silindir şeklindeki beton kontrol örneklerine en fazla 3000KN basınç yüklemesi yapabilen Alman üretimi Seidner marka test cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.1). Bu cihaza köşe birleşim modellerini test etmek için çelik profilden imal edilen çerçeve şeklindeki bir düzenek, literatürdeki benzer deney şekillerine dayanılarak tarafımızdan planlanıp geliştirilmiştir (Şekil 4.2). Deneysel çalışmalar başlamadan bu cihazın kalibrasyonu yeniden yapılmıştır.

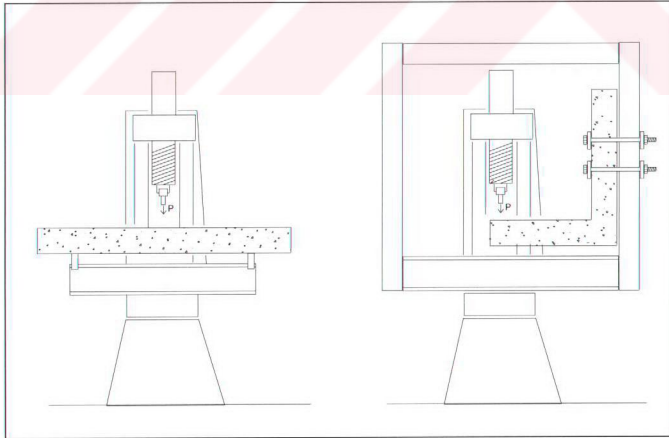
Deneysel ortam koşulları, uygulanan tekniğin şantiyede uygulanabilme amacına bağlı olarak +5°C'nin üzerindeki normal ortam koşulları olarak kabul edilmiştir.

Betonun çelik lamaya, çelik lamaların birbirlerine epoksi reçinesi ile oluşturdukları bağın aderansını tespit etmek için çekme deneyi cihazı (Pull Off Tester) kullanılmıştır (Şekil 4.3). Ayrıca deneylerde kullanılan epoksi reçinesinin standart

mukavemetini tespit etmek için 50mm çapındaki çelik başlık, geniş yüzeyli çelik bir levhaya yapıştırılarak çekme deneyi uygulanmıştır (TS EN 12188).

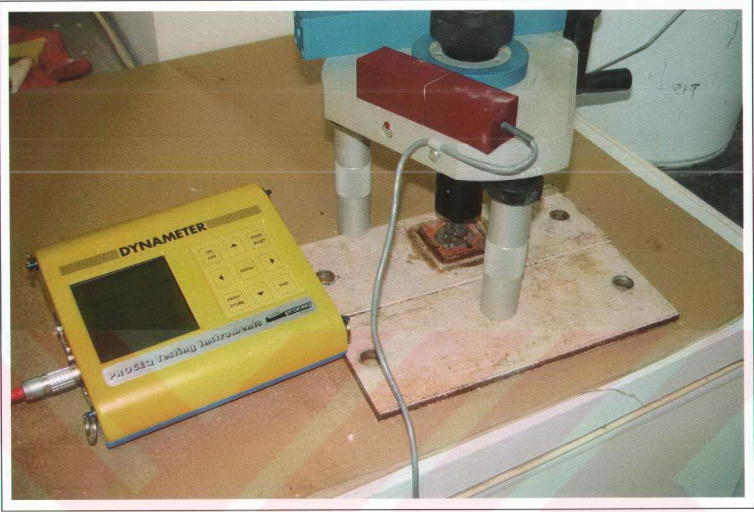


Şekil 5.1. Seidner basınç ve eğilme test cihazı



Şekil 5.2. Deney düzeneği ve yükleme şekilleri.

Betonarme deney modellerinin donatı gerilme mukavemet değerlerini ve çelik lamaların kopma yüklerini tespit etmek için Proseq marka test cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.3).



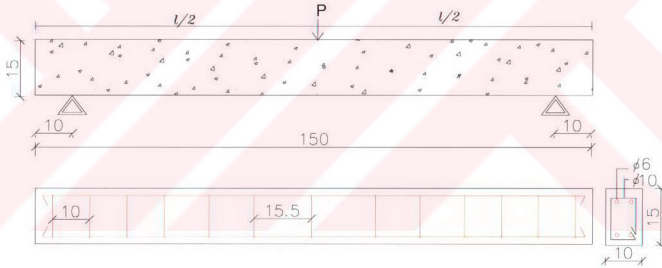
Şekil 5.3. Epoksi reçinesi aderans testi

5.3 DeneySEL Çalışma Programı

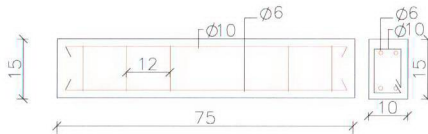
DeneySEL çalışmalar, ön deneyler ve ana deneyler olmak üzere iki bölümde planlanmıştır. Ön deneylerde öncelikle, üretilecek deney örneklerinin boyutlarını ve yükleme noktalarını dikkate alarak uygun bir deney düzeneği belirlenmiş ve mevcut laboratuvar cihazına gereken ekler yapılmıştır. Sonra ana deneylere veri oluşturmak amacı ile çeşitli şekil ve boyutlar kullanılarak üretilen örnekler hasara uğratılmıştır. Bu aşamada elde edilen verilere bağlı olarak kesin deney kriterleri belirlenmiş ve ana deneylerde kullanılacak örnekler üretilmiştir.

Betonarme deney örnekleri, TS 3068 (Laboratuvar Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı)' e göre hazırlanmış, normal ortam şartlarında özel bir bakım yapılmadan kurlanmışlardır. Üretilen deney modellerinin öncelikle aynı mukavemet değerlerine sahip olması, sonuçların hatasız değerlendirilebilmesi için gereklidir. Ayrıca bu değerlerin mümkün olduğu kadar yüksek olması planlanmıştır. DeneySEL çalışmalar kapsamında aşağıdaki testler uygulanmıştır:

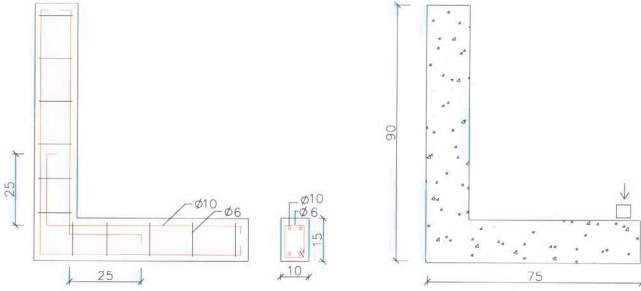
- Betonarme kiriş deney modellerine, orta noktalarından yükleme yapılarak, kırılma mekanizmasının, kırılma yükünün ve komparatör cihazı ile yer değiştirme miktarının belirlenmesi,
- Betonarme köşe birleşim modellerine, dikey kolları sabit ve mesnetlenmiş haldeyken, yatay kollarının uç kısımlarından yükleme yapılarak, kırılma mekanizmasının, kırılma yükünün ve komparatör cihazı ile yer değiştirme miktarının belirlenmesi,
- Uygulanan güçlendirme-birleştirme tekniğinin temel performans kriteri olan çelik ve betonun aderans değerlerinin, tespit edilip buna bağlı olarak yüksek performanslı bir yapışkan bağ oluşturmak amacıyla değişik yapışma şekilleri ile yapıştirılan örneklere çekme – koparma testi uygulanması.
- Uygulanan test metodunun sonuçlarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine bağlı olarak, betonarme deney modellerinin standart kalıplara alınmış örneklerine basınç testi, donatılarına ve güçlendirmede kullanılan çelik lamalara çekme testi uygulanması.



Şekil 5.4. Kiriş mukayese modeli donatı açılımı



Şekil 5.5. Eleman deney modeli donatı açılımı.



Şekil 5.6. Çerçeve köşesi mukayese modeli donatı açılımı

5.3.1 Deney Örneklerinin Üretimi

Deneylerde kullanılan betonarme örnekler, beton kontra levhadan imal edilmiş kalıpla, her seferinde altı adet eleman şeklinde üretilmiştir. Bunun sebebi karşılaştırmalı deneylerde kullanılacak olan ve 3'er adet birleştirilmiş deney örneğinin, aynı harç yığınınından ve aynı ortam şartlarında hazırlanarak beton kalitesinin aynı olmasını sağlamaktır. Kullanılan tüm örneklerin beton kontrol testlerinin yapılmasına karşın, kesin sonuç almak amacıyla bu şekilde bir üretim yapılması planlanmıştır.

Kronolojik İşlem Dizisi; deney örneklerinin üretim aşamaları aşağıda anlatılmıştır;

- Yüzeylerin hazırlanması; çelik lamaların yüzeyleri, epoksi boyası ile kaplanarak, yapışma işlemi için astar oluşturulmuştur. Betonarme yüzeylerde ise tel fırça ve hava kompresörü ile temizlik yapılmıştır. Karşılaştırmalı deneyler için bazı yüzeyler "tarak çekic" ile pürüzlendirilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 5.7. Temizlenmiş ve astarlanmış yüzey.



Şekil 5.8. Pürüzlendirilmiş yüzey.

- Malzemelerin hazırlanması; kullanılan epoksi reçinesi ve sertleştirici karışımı, sertleşme süresine bağlı olarak 2 ölçek epoksi reçinesine, 1 ölçek sertleştirici katılması ile hazırlanmıştır. Dolgu malzemesi ise yapıştırılacak yüzey boşluklarına ve gerekli viskoziteye bağlı olarak değişken miktarlarda kullanılmıştır.



Şekil 5.9. Çelik lamalar ve karışımın hazırlanması.

- Yapıştırma işlemi; öncelikle yapıştırılacak beton ve çelik yüzeylere, reçine-sertleştirici karışımı tek kat astar olarak fırça ile uygulanmış ve kurumaya bırakılmıştır. Bu arada akışkan kıvamda olacak şekilde, ayrı bir dolgu malzemeli karışım hazırlanmıştır (Şekil 4.9). Yatay uygulamalar için akışkan karışım, fırça ile derinlemesine ve her noktaya yayılacak şekilde yüzeylere

sürüldükten sonra, çelik betona bir işkence ile düşük baskı yapılarak tutturulmuş ve model oluşturulmuştur (Şekil 4.10). Daha sonra viskozitesi düşük olacak şekilde dolgu malzemesi artırılmış olarak hazırlanan bir karışım ile boşluklar ve lama kenarları tekrar doldurulmuştur.



Şekil 5.10 Yapıştırma işleminin tamamlanması.

- Yaklaşık 1 saat sonra karışımın ısısı iyice yükseldikten ve karışım jel kıvamına geldikten sonra işkenceler bir miktar daha sıkılarak, yapıştırıcı karışımın iyice yayılması sağlanmıştır. Yapışma işleminin en hassas noktası, yapışkanın mümkün olduğunca daha çok yüzeye temasının sağlanmasıdır. İşkenceler 24 saat sonra çıkarılmış, deney ise 48 saat sonra uygulanmıştır.

5.3.2 Ön Deneyler

Yapılan ön deneylerde sabit dozaj ve donatı ve kontrol altında tutulan mukavemet değerleri ile üretilen 36 adet 100x150x750mm (Şekil 4.5) boyutlarındaki betonarme eleman birimleri, çeşitli boyutlarda çelik lamaların epoksi ile yapıştırılması ile çerçeve köşesi modelleri (Şekil 4.6) ve uçlarından birleştirilmiş iki elemanın oluşturduğu kiriş modelleri olmak üzere iki ayrı birleşimde test edilmiştir. Bu aşamada 2 adet kiriş modeli ve 15 adet çerçeve köşesi modeli kullanılmıştır.

Ön deney çalışmasında yapılan uygulamalar ve elde edilen veriler aşağıda açıklanmıştır:

- a. Mevcut deney düzeneği köşe birleşim örneğinde hasar oluşturmak için düzenlenmiştir. Bu amaçla ilk olarak, iki mesnete oturan kiriş modeline, 20KN kapasitesindeki beton eğilme test cihazında, eğilme yüklemesi yapılmış ve komparatör cihazıyla ölçülen deformasyon değerleri, her yükleme kademesi için tespit edilip grafik olarak ifade edilmiştir.
- b. Mevcut test cihazına, çelik profilden imal edilmiş bir çerçeve düzeneği ilave edilerek, bir kolundan dikey olarak mesnetlenmiş köşe birleşimine, mesnetsiz olan yatay kolundan yükleme yapılabilecek hale getirilmiştir (Şekil 4.2). Elde edilen veriler, yük–yer değiştirme grafiklerinde ifade edilmiştir.
- c. Deney modellerinde farklı birleştirme teknikleri denenmiş, sonuçta gerçek uygulamalara bağlı olarak birleştirme, tespit edilen en etkin ve basit teknik kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.11. Fazla miktarda lamalanan bir modelin göçme şekli(ön deney)

- d. Farklı yapıştırma bölgeleri, lama boyutları, “paspayı ayrılması”(peeling) göçmesi, eksik uygulama işçiliğinden oluşan “sıyrılma” göçmesi (Şekil 4.8) ve örnek modellerin göçme mukavemet değerleri, ana kriterler olarak tespit edilmiştir. Bu kriterlere bağlı olarak göçme mukavemetlerinin birbirine yakın olduğu değerler tespit edilerek, modelin kompozit davranış göstermesi ve buna bağlı olarak minimum çelik lama boyutlarının tespit edilmesini sağlamak amaçlanmıştır.



Şekil 5.12. Pas payı ayrılması ve lama sıyrılmasıyla oluşan göçme.

c. Epoksi reçinesinin çelik ve betonla oluşturdukları bağın mukavemet değerleri ayrı ayrı tespit edilmiştir. Bu amaçla güçlendirmede kullanılan çelik lamalar ve betonarme deney modellerinin ara yüzeylerinde oluşan bağın mukavemet değerleri tespit edilmiştir. Bu deneylerden elde edilen verilerden, yapıştırma işleminden maksimum performans elde etmek için gerekli uygulama kriterlerini belirlemek amacıyla faydalanılmıştır.

d. Deney örneklerinin 150X150X150 mm boyutlarındaki standart kalıplarla alınan beton örnekleri, 28 gün sonunda beton pres cihazında kırılarak, basınç mukavemetleri tespit edilmiştir. Donatı çeliği ise çekme cihazında test edilerek sonuçlar belirlenmiştir. Bu değerler bütün deney örneklerinin aynı mukavemete sahip olduğunu kontrol etmek için yapılmıştır.

e. Deneylerde betonarme elemanların mukavemet değerleri ve epoksi tabakasının kalınlığı sabit değer, çelik lama boyutları ve yapıştırma bölgeleri ve yapışan yüzeylerin koşulları değişken olarak kabul edilmiştir.

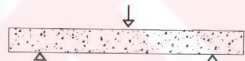
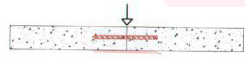
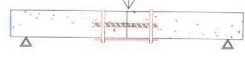
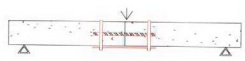
5.3.3 Ana Deneyler

Ön deneylerden elde edilen verilere bağlı olarak kullanılacak deney tekniği ve uygulama şekilleri ve deney modellerinin tipleri belirlenmiştir. Buna göre ana deneyler için üretilen örnekler aşağıda verilmiştir.

- 36 adet 100x150x750 mm boyutlarındaki elemanlı model (Şekil 4.5),
- 2 adet tek parça çerçeve köşesi modeli (Şekil 4.6),
- 2 adet 100x150x1500 mm boyutlarındaki kiriş modeli (Şekil 4.4).

Modellere yapıştırılan lamaların genişlik ve kalınlık ölçüleri sabit tutulup, uzunlukları değiştirilerek kullanılmışlardır. Bu aşamada üç farklı yapıştırma şekli dizayn edilerek 9 adet çerçeve köşesi (Tablo 4.2) ve iki eleman uçlarından birleştirilerek ve farklı şekillerde lamalar yapıştırılarak üç farklı kiriş modeli üretilmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 5.1 Deneylerde kullanılan kiriş modelleri ve tanımları

Model Adı	Açıklama	Şekil
BK101 BK102	100x150x1500mm boyutlarında betonarme kiriş modeli olarak üretilmiş 2 adet deney mukayese örnekleri.	
BK100-40 BK102-40 BK103-40 BK101-50 BK102-50 BK103-50	100x150x750mm boyutlarında 2 adet birim modelin, 40 ve 50cm uzunluğundaki çelik lamalar kullanılarak birleştirilmesi ile üretilmiş 3 adet deney örnekleri.	
BK201-40 BK202-40 BK203-40	100x150x75mm boyutlarında 2 elemanlı modelin, 40 ve 50cm uzunluğunda ve iki farklı kalınlıkta lama kullanılarak birleştirilmesi ile 3 adet üretilmiş deney örnekleri.	
BK211-40 BK212-40 BK211-50 BK212-50	100x150x75mm boyutlarında 2 elemanlı modelin, 40 ve 50cm uzunluğunda ve iki farklı kalınlıkta lama kullanılarak birleştirilmesi ile üretilmiş 2 adet deney örnekleri. (BK210 larda, donatı miktarı kadar lama kullanıldığından alt lamanın eni 1cm daha fazladır)	

Tablo 5.2. Deneylerde kullanılan çerçeve köşesi modelleri ve tanımları

Model Adı	Açıklama	Şekil
CK-a CK-b	Detayları Şekil 4-5 de verilen çerçeve köşesi deney mukayese modelidir., 2 elemanlı(yatay,düşey) deney modelinin köşe oluşturacak şekilde birleştirilmiş şeklildir.	
CK101 CK102 CK103	2 elemanlı deney modelinin köşe oluşturacak şekilde birleştirilmiş şeklildir.5x40x400mm ölçülerindeki çelik lamalar iki yandan şekildeki gibi yapıştırılmıştır.	
CK201 CK202 CK203	2 elemanlı deney modelinin köşe oluşturacak şekilde birleştirilmiş şeklildir.5x40x400mm ve 5x40x150 mm ölçülerindeki çelik lamalar şekildeki gibi yapıştırılmıştır	
CK301 CK302 CK303	2 elemanlı deney modelinin köşe oluşturacak şekilde birleştirilmiş şeklildir. 5x40x400mm ve 5x40x150 mm ölçülerindeki çelik lamalar, 5x40x400 mm lik 2 adet kuşakla gerilme yığılma bölgesi olan uç kısımlardan sarılmıştır.	

6 SONUÇLAR

6.1 Genel

Bu çalışmada betonarme elemanlar için kullanılabilen, güçlendirme ve birleştirme yöntemlerinden biri olan çelik lamaları epoksi reçinesi ile dış yüzeylerinden yapıştırma uygulaması, iki ayrı düzen üzerinde deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonuçlarından anlaşılabileceği gibi (Tablo 5-1), bu yöntem ile birleştirilen deney modellerine uygulanan test verileri, gerek göçme mekanizması ve taşıma gücü, gerekse aderansın verimli değerlendirilmesi ve malzeme etkileşimlerinin kontrol altına alınabilmesi, dolayısı ile kısmen kompozit davranışın sağlanabilmesi açısından anlamlı bilgiler sunmaktadır.

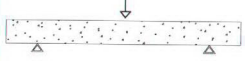
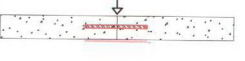
Konunun genel olarak araştırılmasından ve deneysel çalışmalardan elde edilen sayısal ve gözleme dayalı verilerin yorumlanmasına bağlı olarak, çalışmanın sonuçları 7 ana başlık altında toplanmıştır:

- Çelik lamalar ile birleştirilen betonarme eleman deney örneklerinin oluşturduğu kırış modellerinin performansları ve yük altındaki davranışları,
- Çelik lamalar ile birleştirilen betonarme eleman deney örneklerinin oluşturduğu çerçeve köşesi modellerinin performansları ve yük altındaki davranışları,
- Çelik lama ve betonarme eleman arasında epoksi reçinesi ile oluşturulan bağın, yapıştırılan yüzeylerle sağladığı aderans değerleri ve yük altındaki davranışları,
- Yapıştırılmış birleşimlerde, yapışan taraflara yüzey hazırlığı yapmanın performansa etkisi,
- Yapıştırılmış birleşimlerde genel göçme mekanizmasının yorumlanması,
- Yüksek mukavemet ve işlem-sonuç ilişkisinde standart sağlayabilmek için uygulama kriterleri,
- Yöntemin sonuçlara bağlı olarak yorumlanması ve öneriler.

Tablo 6.1. Bütün modellerin eğilme deneyi sonuçları

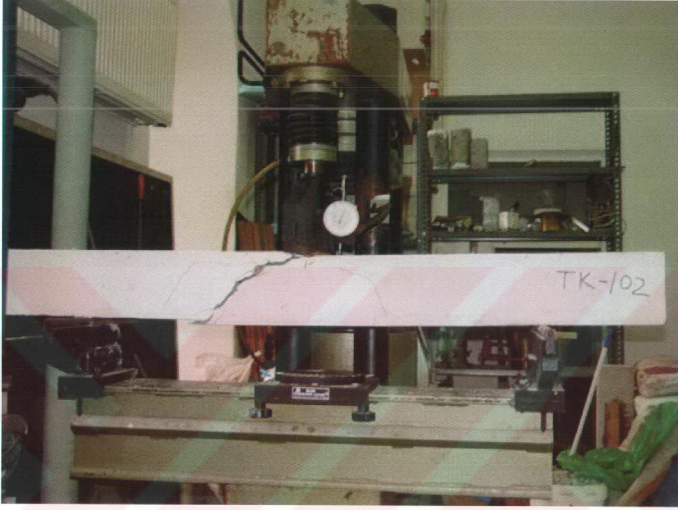
Model Adı	Taşıma Gücü(KN)	Model adı	Taşıma Gücü(KN)
TK100	36	BK22240	31
TK101	38	BK20250	34
BK10140	15	BK21250	35
BK11140	14	BK22250	34
BK12140	14	CK100	7,5
BK10150	16	CK200	8,1
BK11150	16	CK101	3,5
BK12150	15	CK201	3,8
BK10240	31	CK301	3,2
BK11240	31	CK102	5,9
BK12240	32	CK202	6,5
BK10250	33	CK302	5,6
BK11250	32	CK103	7
BK12250	33	CK203	7,2
BK20240	32	CK303	6,8
BK21240	32		

Tablo 6.2. Model grupları ve göçme yükleri

Model Adı	Açıklama	Taşıma Gücü ort.(KN)	Şekil
TK100	Mukayese gurubu	37	
BK10140	Birinci grup	14	
BK10150		15	
BK10240	İkinci ve üçüncü grup	31,5	
BK10250		33	
BK20240		32	
BK20250		34	

6.2 Birleştirilmiş Kiriş Deney Sonuçları

Kiriş modeli oluşturmak üzere 2 adet eleman deney örneği 3 farklı lama boyut ve şekil parametresine göre üç grup halinde yapıştırılmıştır (Tablo 5.1). Sonuçlar mukayese gurubu adı verilen tek parça üretilen kiriş modelleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.1. Kiriş mukayese modeli

Mukayese gurubu kiriş modellerinin göçme yükleri ortalama 37 KN'dir. Komparatör cihazı ile tespit edilen yer değiştirme hareketi, ortalama 3,5 KN yük seviyesinde başlamıştır(Şekil 5.1).

Birinci grup deney kiriş modellerine uygulanan göçme yüklemesinden elde edilen veriler ve belirlenen göçme mekanizmasının oluşum adımları aşağıda sıralanmıştır;

- BK10150 kodlu birleştirilmiş kiriş çelik lama uzunluğu 10cm daha kısa olan BK10140 modeline göre ortalama %6 oranında daha fazla mukavemet göstermiştir.
- Göçme hareketi, çelik lamaların uç kısımlarında yığılan gerilmelerden dolayı lamaya bağlı pas payı bölgesinin ayrılması nedeniyle oluşmuştur (Şekil, 5.3).
- Çeliğin betona ve betonun betona bağlandığı ara yüzey bölgelerinden sadece modelin alt kısmında bulunan ve eğilme gerilmesine normal olarak en fazla

maruz kalan lamayı betona bağlayan yapışkan tabakanın ayrıldığı tespit edilmiştir.

- Çelik lama ayrılması, pas payı bölgesinin ayrılması ile oluşan en büyük çatlak genişliği yaklaşık 4mm' ye ulaştığında başlamıştır. Bu noktada sistem zaten göçmüş olduğu için yapışkan tabakadaki çatlama ve ayrılmanın sistemin göçmesinde katkısı olmamıştır.

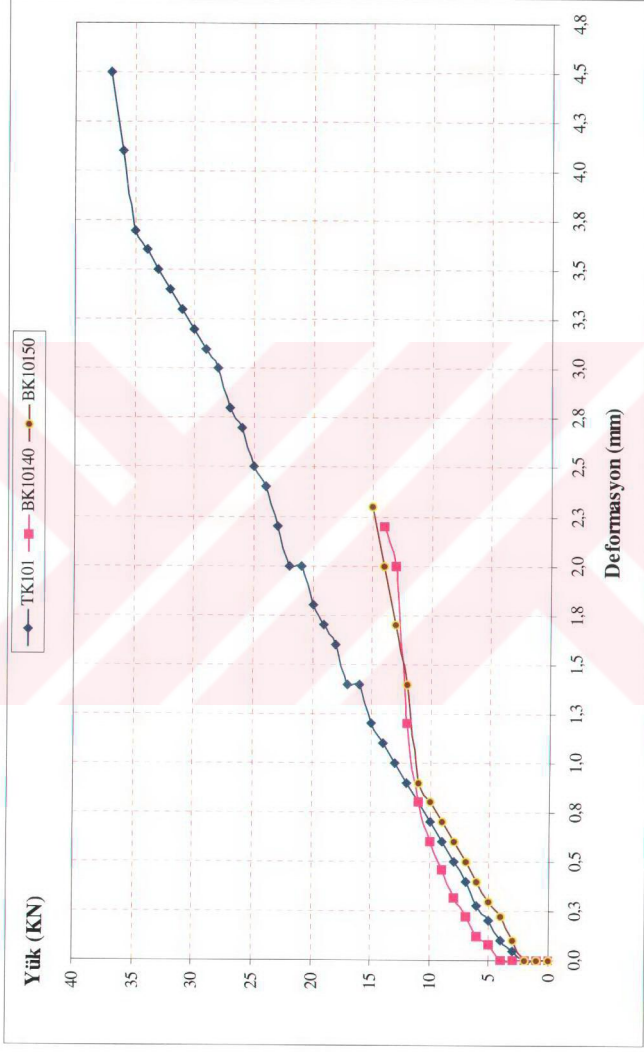


Şekil 6.2 BK10150 modelinin eğilme deneyi sonucu göçmesi

Şekil 5.3 de görüldüğü üzere, sistem göçtüktan sonra çatlakların anlaşılabilmesi için bir miktar daha yüklemeye yapılmıştır.

Bu modellerde gözleme dayalı olarak elde edilen diğer bir veri, çelik lama ile beraber ayrılan pas payı kısmının sistemin ani olarak göçmesine sebep olmasıdır. BK10150 modeli göçme yükü seviyesinden sonra aynı yüklemeye devam ettiğinde ayrılan kısmın etkisi ile taşıma gücü büyük oranda azalmıştır. Bu davranış taşıyıcı sistem için çok büyük bir olumsuzluk olduğu için pas payı ayrılma hareketinin mutlaka engellenmesi sistemin bütünlüğü açısından gerekmektedir.

Bu modelden belirlenen olumlu ve olumsuz noktalar doğrultusunda, lama yerleşiminin planlaması, pas payı bölgesinin ayrılmasını zorlaştıracak şekilde oluşturulmuş ve ikinci grup kiriş modellerinde yatay lamaların uç kısımlarından eklemeler yapılmıştır.



Şekil 6.3. Birinci grup kirişlerin, mukayese modeli ile karşılaştırılması



Şekil 6.4. BK20140 birleştirilmiş kiriş deney modeli.

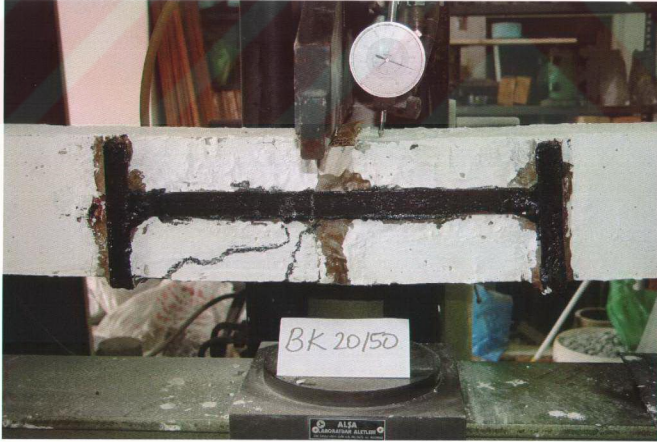
İkinci grup deney modelleri olan, BK20140 ve BK20150 kirişlerinin, lama uzunlukları 10 cm farklı, yapıştırma yerleşimleri aynıdır. Gerilmelerin en fazla yığıldığı lama uç bölgeleri, aynı boyutta ve “U” şekline getirilmiş çelik lamalar ile kuşatılarak yapıştırılmıştır (Şekil 5.4).



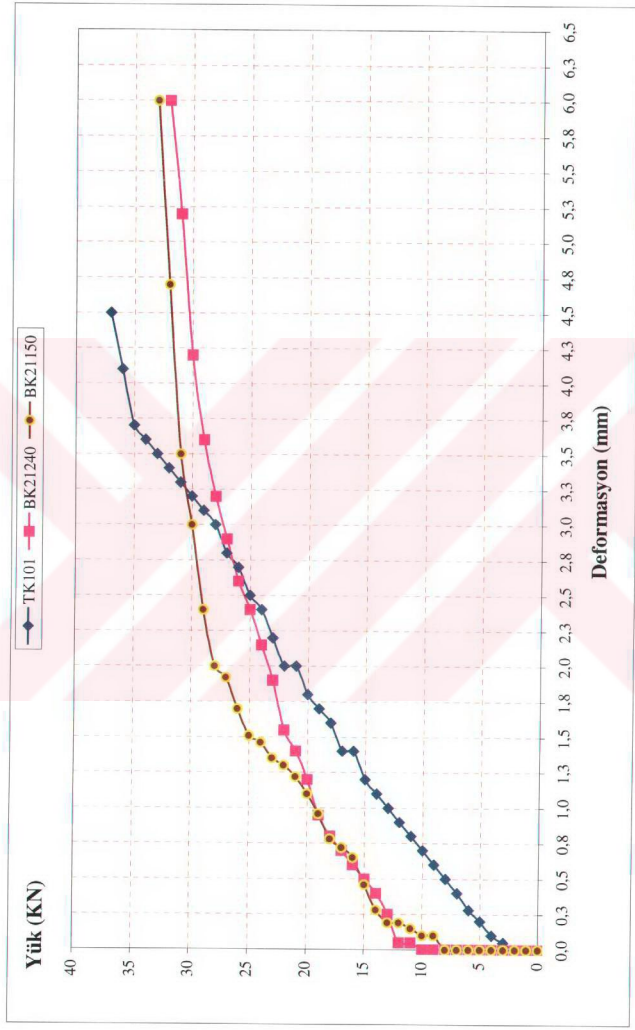
Şekil 6.5 BK20140 modelinin göçmesi

Bu modellerin diğerlerinden farkları ve göçme mekanizmalarını belirleyen davranışları şunlardır:

- Çelik lama uzunlukları 10cm farklı olan iki model karşılaştırıldığında, daha uzun lamalar ile birleştirilen BK20150 modelinin eğilme mukavemetinin diğerine göre ortalama %3.2 oranında artış olduğu tespit edilmiştir.
- Çelik lamaların uç bölgelerine eklenen “U” şeklinde bükülmüş lamaların etkisi ile muhtemel pas payı bölgesi ayrılması engellenmiştir. Bunun sonucunda bu guruptaki kiriş modelinin göçme yükü, aynı lama boyutuna sahip birinci grup modele göre %50 oranında artmıştır.
- Bu guruptaki göçme davranışı beton kısımda oluşan yaklaşık 2-4mm genişliğindeki çatlaklar ile meydana gelmiştir (Şekil 5.5). Göçme çatlakları ile beraber kuşak lamaların uç kısımlarında kalınlıkları 2 mm yi aşmayan çatlaklar oluşmuştur.
- Yüklenen kirişlerde yaklaşık 7,5 Kn yük seviyesinde dengeli ve küçük oranlarda artan bir yer değiştirme gözlenmiştir. Göçme hareketi beton yüzeyde meydana geldiğinde yapışkan tabakada sadece 2 adet kılcal çatlak olması nedeniyle sistem halen yük taşıyabilecek durumdadır. Bu aynı zamanda sistemin kompozit davranış içinde olduğunun göstergesidir.

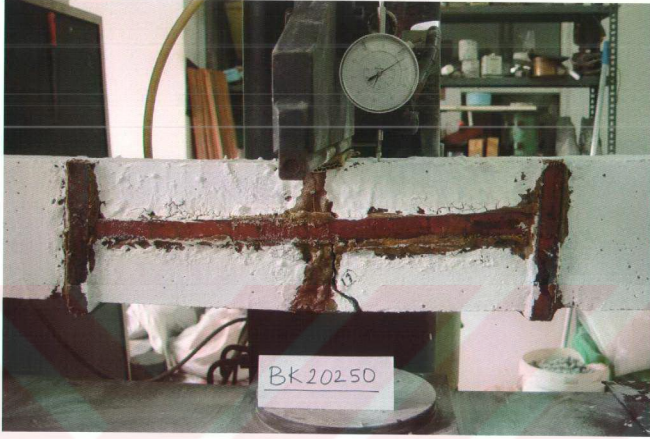


Şekil 6.6 BK20150 modelinin göçmesi



Şekil 6.7. İkinci grup kırışların mukayese modeli ile karşılaştırılması

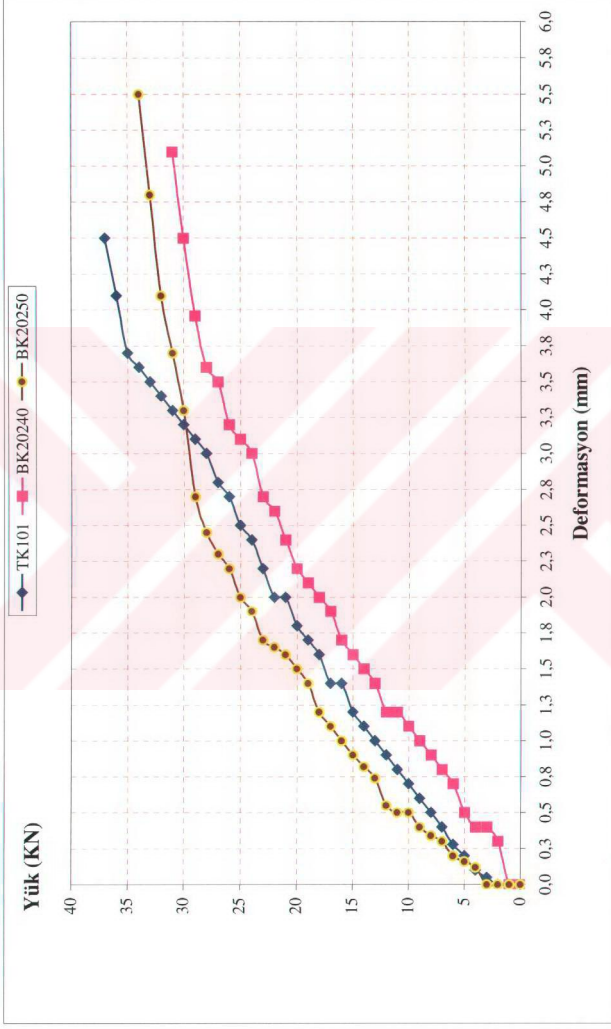
Üçüncü grup deney örnekleri olan BK20250 ve BK20240 kiriş modelleri, mukayese kirişinin donatı miktarı kadar çelik lama kullanılarak birleştirilmiştir. Bu modellerin ikinci grup modellerine göre farklı tarafı alt yüzeylerine yapıştırılan lamanın 1 cm daha geniş olmasıdır .



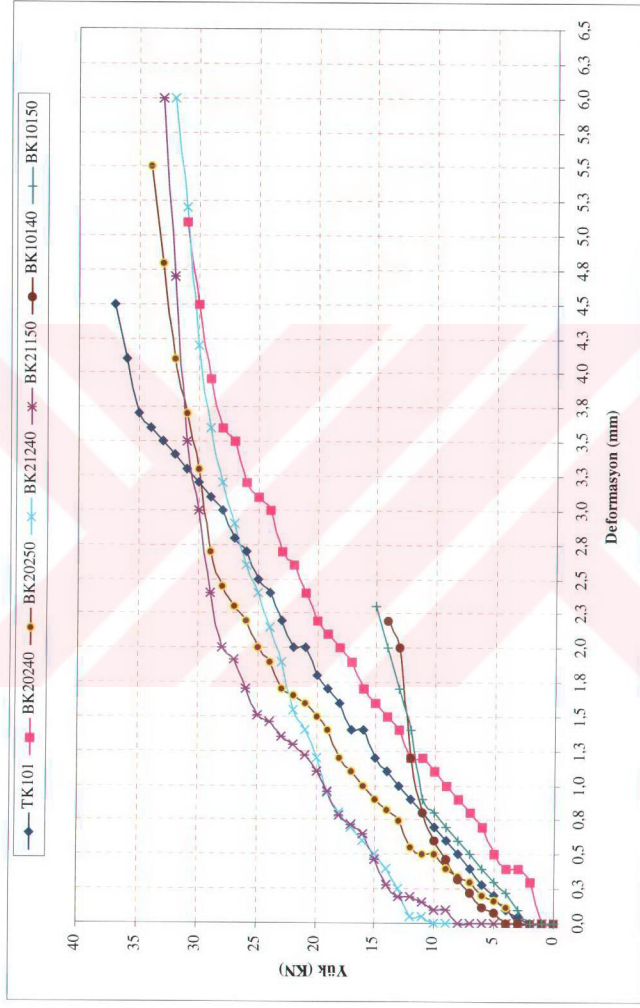
Şekil 6.8. BK20250 modelinin eğilme deneyi sonucu göçmesi

Bu gruptaki modellerin deneysel gözlemlerinden elde edilen veriler şunlardır:

- 50 cm uzunluğunda lamalar ile birleştirilen model diğerlerine göre ortalama %3 oranında daha fazla eğilme mukavemetine sahiptir.
- Göçme yükleri ikinci grup modellere göre ortalama %3-4 oranında artış göstermiştir.
- Göçme mekanizması ikinci grup ile hemen hemen aynıdır. Yapışkan tabaka sadece kuşak lamalardan bir tanesinin uç kısmından paspayı ile beraber ayrılmıştır. Ana göçme davranışı ise alt yüzeydeki lamayı bağlayan yapışkan tabakanın yer değiştirme sonucu çatlaması şeklinde oluşmuştur.
- Göçme hareketinin başlamasından itibaren, yapışkan birleşim ve lamaların bir miktar daha yük taşıyabilecek veya ani göçmeye engel olabilecek kadar az hasarlı ve bütünlük içinde oldukları gözlemlenmiştir.
- Şekil 5.7 de görüldüğü gibi, göçme sonunda oluşan çatlaklar oldukça az sayıda, kısa ve incedir



Şekil 6.9. Üçüncü grup kirişlerin, mukayese modeli ile karşılaştırılması

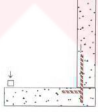
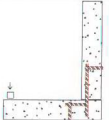


Şekil 6.10. Tüm kiriş modellerinin karşılaştırılması

6.3 Birleştirilmiş Çerçeve Köşesi Modelleri Deney Sonuçları

Bu deneylerde, betonarme çerçeve köşesi oluşturmak üzere üç farklı şekilde yapıştirılarak üretilen 3 farklı grupta, toplam 9 adet birleştirilmiş model ve 2 adet mukayese gurubu modeli olmak üzere toplam 11 adet deney modeli kullanılmıştır.

Tablo 6.3. Deney modeli gurupları ve ortalama göçme yükleri

Model Adı	Açıklama	Ort. taşıma Gücü(KN)	Şekil
CK100	Hesapla elde edilen sonuç	4,5	
	Mukayese modeli	6,5	
CK101	Birinci grup	3,5	
CK102	İkinci grup	5	
CK103	Üçüncü grup	6	

Her model gurubunun birbirleriyle ve mukayese modeli ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Değerlendirmelerde ortalama sonuçlar dikkate alınmıştır.

Mukayese amacıyla üretilen tek parça modeller, dikey kolu mesnetlenmiş, yatay olanı ise konsol halinde, deney düzeneğine sabitlenmiştir (Şekil 5.11). Çerçeve

köşesi modelinin konsol durumundaki kolunun uç kısmından yapılan yükleme ve elde edilen veriler sunulmuştur (Tablo 5.3).



Şekil 6.11 Mukayese modelinin deney düzeneğine yerleşimi



Şekil 6.12 CK-100 kodlu mukayese modelinin göçmesi

Birinci grup çerçeve köşesi modeli CK- 201 de modelin 2 yüzeyinden 1 er adet 40 cm uzunluğunda kiriş yapıstırılmış ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir:

- En az miktarda çelik lama kullanılan model olmasına rağmen, göçme davranışı, betonarme kirişin çatlaması ile oluşmuştur (Şekil 5.14).

- Çelik lama göçme anında lineer bir davranış ve yeterli mukavemet göstererek, birleşme bölgesinde bütünlüğü korumuştur. Birleşme bölgesinde göçmeden dolayı lama uç kısmı ve betondan az miktarda pas payı ayrılmıştır.



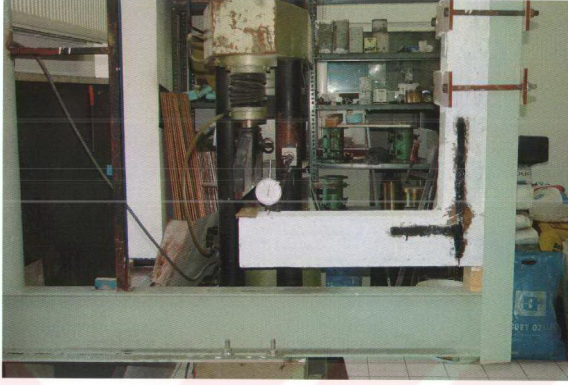
Şekil 6.13. CK201 deney modeli



Şekil 6.14. CK201 göçme sonundaki çatlak oluşumu

- Göçme davranışı deney örneğinin birleşme bölgesine en yakın kısmında meydana gelmiştir. Dolayısı ile ikinci grup modellerin çelik lama yerleşim planlamasında bu bölge hesaba katılmıştır.

- Göçme sreci hızlı bir şekilde gerçekleşmiş ve bu srede modelin yk taşımaya devam etmesi gibi bir fayda tespit edilmemiştir.



şekil 6.15. CK101 ikinci grup deney modeli

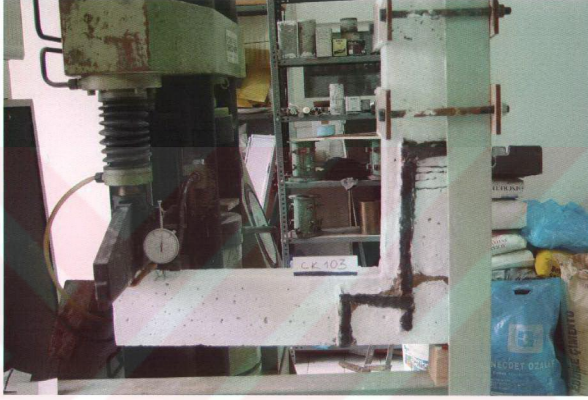


şekil 6.16. İkinci grup deney modelinin gçmesi ve çatlak oluşumu

İkinci grup deney modellerinin den elde edilen veriler şunlardır (şekil 5.14):

- İkinci grup deney modellerinin gme yk değerlerinde birinci gruba gre ortalama %71.2 oranında artış elde edilmiştir.

- Yapıştırma birleşim noktasında, iki eleman modelin birleştiği yüzeylerde hiçbir hasar oluşmamıştır. Sadece lamaların uç kısmında 1-2 mm genişliğinde az miktarda çatlak meydana gelmiştir.
- Bu grupta deney modelinin yatay koluna eklenen 20 cm uzunluğundaki çelik lamanın etkisi ile tek noktadan hızlı bir göçme hareketi yerine üç farklı noktadan daha yavaş bir göçme hareketi kaydedilmiştir (Şekil 5.16). Buna bağlı olarak göçme süresinde, deney modelinin bir miktar daha yük taşıyabildiği belirlenmiştir.



Şekil 6.17. Üçüncü grup deney modeli (CK103)

Üçüncü grup deney modellerinin ikinci gruptan farkı, yatay koldaki lamanın uç kısmına, pas payı bölgesinin kopmasını güçlendirmek için “U” şekline getirilmiş lama yapıştırılmasıdır (Şekil 5.17). Bu modellere yapılan deneylerden elde edilen veriler şunlardır:

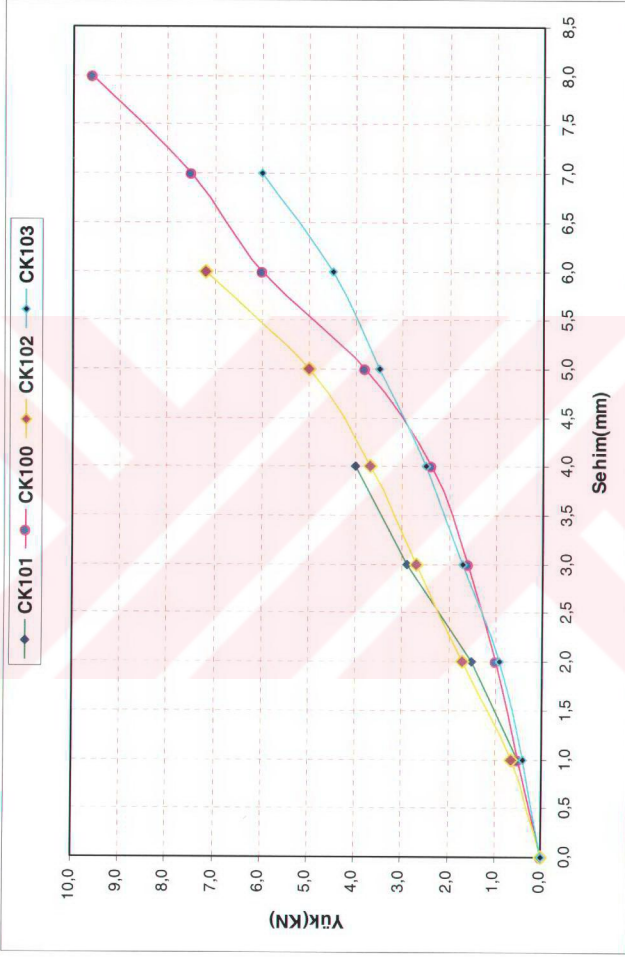
- Bu grup modellerin ortalama eğilme mukavemet değeri, ikinci grup modellere göre %10,6 oranında yüksektir.
- Göçme sonunda, yapışkan tabakada herhangi bir sıyrılma veya çatlamaya rastlanmamıştır. Göçme davranışı tamamen betonu çatlaması ve pas payı kısmının kopup ayrılması ile gerçekleşmiştir (Şekil 5.18).
- Deney sırasında, komparatörle belirlenen yer değiştirme hareketi, diğer gruplara göre daha yüksek yükleme seviyesinde başlamıştır. Göçme hareketi başladıktan sonra, yük altında kısa bir süre daha formunu koruyabilmiştir.



Şekil 6.18. CK103 modeline göçme deneyi uygulanması – göçme mekanizmasının belirlenmesi için model göçtükten sonrada bir miktar yükleme yapılmıştır.

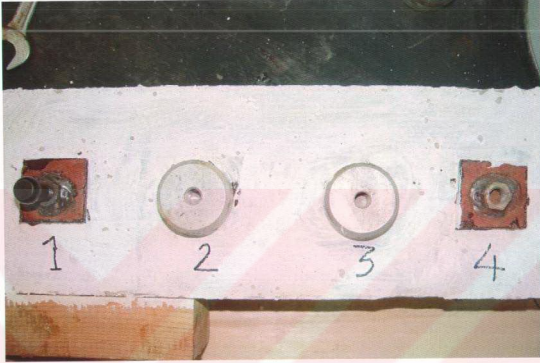
Genel olarak çerçeve köşesi modellerine uygulanan eğilme deneylerinde gözlemlenen ortak veriler şunlardır;

- Betonun betona yapıştığı yatay birleşim noktası hiçbir modelin göçmesinden etkilenmemiştir. Ancak genel göçme hareketinin başlamasına sebep olan 3-6 mm genişliğindeki çatlaklar, bu birleşim noktasının yakın çevresinde oluşmuştur,
- Çelik lama ile beton arasındaki epoksi tabakasında bu şekil bir yükleme karşısında kaydedilmeye gerekecek bir hasar oluşumu gözlemlenmemiştir,
- Pas payı kısmının ayrılmasını zorlaştırmak amacı ile kademeli olarak eklenen çelik lamaların, mukavemet artırımına belirli oranlarda katkıda bulunduğu tespit edilmiştir,
- Birleştirilmiş modellere bağlanan çelik lama miktarının artırılması ile elde edilen mukavemet değerlerinin, tek parça olarak üretilen mukayese modeline ulaşmış olması yapıştırma birleşim tekniğinin, bu detay açısından yeterli sonuç metot olduğunu ortaya koymaktadır.

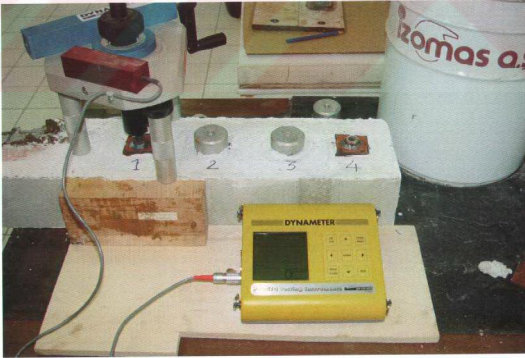


Şekil 6.19. Üçüncü grup deney modellerinin karşılaştırılması

Deneysel çalışmalarda, yapıştırma birleşim kapsamındaki, beton çelik ve epoksi reçinesinin birbirleri ile olan aderans değerlerini tespit etmek ve bu değerlere, yüzey pürüzlerinin olumlu veya olumsuz katkılarını tespit etmek amacıyla bir dizi deney yapılmıştır. Epoksi tabakasının ara yüzey yapışkan tabaka olarak yer aldığı, beton-çelik, çelik-çelik, standart alüminyum başlık – beton ve son olarakta bu elemanların birbirleriyle oluşturdıkları birleşimlerin aderans değerleri, TS EN 12188’ uygun olarak çekme deneyi (Pull off test) ile belirlenmiştir.



Şekil 6.20. Aynı beton yüzeyin farklı şekilde pürüzlendirilmesi ile yapıştırılan çelik ve alüminyum deney örnekleri.



Şekil 6.21. Aderans deneyi (Pull off test)

Yüzey temizlik ve pürüzlülüğünün aderansa etkisini tespit etmek için ise, iki kademeli olarak pürüzlendirilmiş, pürüzlendirilmemiş ve temizlenmemiş beton

yüzeylere epoksi reçinesi ile yapıştırılan 50X50 çelik lamalar ve 50 mm çapındaki standart alüminyum başlıklara çekme deneyi uygulanmıştır(Şekil 5.20), (Şekil 5.21). Bu deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

Tablo 6.4. Çelik lamaların betonarme yüzey ile oluşturdıkları aderans değerleri

Yapıştırılan Malzeme	Yapıştırılan yüzeyin koşulları	Ort. Kopma Değeri (N/mm2)
Çelik lama (1)	Hazırlanmamış betonarme yüzey	1.73
Çelik lama (2)	Basıncılı hava ve tel fırça ile hazırlanmış yüzey	2.18
Çelik lama (3)	Yüzey Hazırlığı + az miktarda pürüzlendirme	1.93
Çelik lama (4)	Yüzey Hazırlığı + çok miktarda pürüzlendirme	1.70

- Yüzey hazırlamanın aderans değerine etkisi; her türlü yapıştırma işleminde olduğu gibi, bu uygulama şeklinde de yüzey temizliği(Yüzeyi toz, nem ve zayıf parçalardan arındırma işlemi) yapmanın aderansa olumlu etkisi tespit edilmiştir.
- Çelik lama yüzey özelliklerinin etkisi; yüzeyine epoksi boyası ile astar uygulanan çelik lamalar, standart alüminyum başlıklardan elde edilen aderans değerlerinin en fazla %80' ine ulaşmışlardır. Kopma şekillerinin tümü pas payı kısmının kopması şeklinde oluşmuştur.
- Pürüzlendirmenin aderansa etkisi; bu tür yapıştırma şeklinde mekanik yapışma teorisi geçerli olmamıştır. Bunun nedeni epoksi reçinesinin pürüzlü yüzeyin her noktasını tam olarak ıslatamamasıdır. Bu sonucun belirtisi, düz yüzeyden elde edilen aderans değerlerinin yüksek olmasıdır.

6.4 Sonuçların Değerlendirilmesi

Bölüm sonlarında verilen ara değerlendirmelere ek olarak bu yöntem ile gerçekleştirilen birleşimlerden elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir:

1. Çelik lamalar kullanılarak betonarme elemanlarda ek ve güçlendirmeye yönelik çalışmaların esasları ve özellikleri incelenmiş, konuya yönelik geniş bir kaynak taraması yapılmıştır.

2. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerdeki bağlantılar, çelik lamalarla oluşturulacak güçlendirmelerin, bu tür durumlarda verimli bir şekilde kullanılabileceğini doğrulamaktadır.
3. Yapılan deneylerde birleşim elemanı olarak, ülkemizde temin kolaylığı nedeniyle çelik lamalar seçilmiş ve bunların etkinliği araştırılmıştır. Kaynak taramasında da belirtildiği üzere benzer uygulamalar, elyaf türü malzemeler içeren elemanlarla da yapılmaktadır; bu doğrultudaki deneyler başka bir çalışmanın konusu olabilir.
4. Deney düzeneği gereği seçilen yükleme durumlarına bağlı olarak oluşan çekme bölgeleri çelik lamalarla güçlendirilmiştir. Deprem etkisi benzeri tersinir yük durumlarında seçilen yapıştırma bölgelerinin karşıtlarına/karşı taraflarına da lama yapıştırılması gereği açıktır.
5. İki tür betonarme deney örneğinin, epoksi reçinesi ile yapıştırılmış çelik lamalarla birleştirilmesi ile üretilen ideal kiriş ve çerçeve köşesi modelleri, yük altında yüksek oranda kompozit davranış göstermişler. Eğilme ve çekme taşıma gücü değerlerinde artış kaydedilmiştir.
6. Esnek epoksi sistemi sayesinde yapışkan tabaka, göçme mekanizmasının son adımı kadar çatlamamaktadır. Bu özelliği, hem beton ile çelik arasında gerilme transferi sağlayarak sistemin göçmesini geciktirmemekte, hem de kompozit sistemin yapısal direncine katkı sağlamaktadır.
7. Uygun epoksi sistemi kullanılarak önerilen işlem kriterlerine bağlı olarak yapılan her uygulamada potansiyel göçme davranışı kesinlikle yapışkan tabakadan başlamamaktadır. Göçme mekanizması yüksek oranda paspayı bölgesinin mukavemetine ve donatı çeliği ile var olan aderans seviyesine bağlıdır.
8. Paspayı bölgesinin ayrılmasını geciktirmek için daha fazla sayıda ve daha büyük boyutlu, çift yönlü çelik lama kullanılması bir çözüm olarak düşünülebilir. Ancak beton kısmı çeşitli nedenlerden dolayı düşük taşıma gücüne sahip ve donatısı yeterli olan betonarme elemanlar için yapıştırılan çelik lama oranını aşırı artırmak yerine, yapıştırılacak bölgelere isabet eden pas payları gerekirse tamamen mekanik aletlerle temizlenerek, epoksi tabanlı bir tamir harcı ile kesit kaybı doldurulması işlemi uygulandığında, elde edilen yüksek mukavemetli pas payı bölgesi sayesinde yüksek maliyetli ancak, daha estetik ve emniyetli bir sonuç elde etmek mümkün olabilir.

9. Çalışma kapsamında, seçilen bağlantı türü ve malzemelerinin sakınca ve kısıtlamaları da ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir; böylesi uygulamalarda bu hususların göz önünde tutulması gereği açıktır. Diğer taraftan bu tür çalışmaların bu konunun uzmanı deneyimli elemanlar ve ekipler tarafından yürütülmesi zorunludur.
10. Bu çalışmada elde edilen veriler varılan temel sonuçlardan; doğru şekilde uygulanan bağlama - yapıştırma sisteminin, normal şartlarda güvenilir ve dengeli sonuç sağlaması, taşıyıcılık bütünlüğünü kontrol altında tutabilmesi, diğer bir deyişle, aynı malzemelerle aynı mukavemet ve boyuttaki betonarme elemanları, aynı işlem dizisi uygulanan bu teknik ile aynı performans ve sonuç elde edilebildiğini göstermektedir. Bu durum aynı zamanda her yükleme seviyesinde basit mühendislik kuralları için veri oluşturabilir. Sonuç olarak bu yöntem, uygulama kriterlerine bağlı kalındığında, betonarme taşıyıcı sistem güçlendirme ve birleştirme uygulamaları için basit malzeme, işlem ve ekipmanlar ile uygulanabilen yeterli, etkili ve ekonomik bir seçenektir.

KAYNAKLAR

- Reinforced Beams Using Steel Plates Bonded on Beam Web: Experiments and analysis" *Construction and Building Materials*, v.14, pp. 237-244.
- Adin, M.A., Yankelevsky, D.Z. and Farhey, D.L.**, 1993. Cyclic Behaviour of Epoxy - Repaired Reinforced Concrete Beam - Column Joints", *ACI structural Journal*, pp. 170 - 179.
- Barnes, R.A., Baglin, P.S., Mays, G.C. and Subedi, N.K.**, 2001. External Plate Systems for the Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams, *Engineering Structures*, 23, pp1162-1176.
- Bononi, A., Borreilh, J. and Mouton, Y.**, 1986. 'Influence de l'eau sur les liants époxydes utilisés en réparation par injection, *Sympos. Intern. RILEM ISAP '86*, Aix en provence.
- Cantwell, W.J. and Kausch H.H.**, 1993. "Fracture Behaviour of Epoxy Resins", *Epoxy Resins*, pp. 144-174
- Celep, Z.**, 1999. Yapılarda Deprem Sonrası Hasar Belirlenmesi Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri, *Mesleki Eğitim Semineri, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi*.
- Chung, H.W. and Lui, L.M.**, 1977. "Epoxy Repaired Concrete Joints," *ACI JOURNAL*, Proceedings v. 74, No. 6, pp. 264-267.
- Cirtek, L.**, 2001. RC Columns strengthened with bandage – experimental programme and design recommendations, *Construction and Building Materials*, Elsevier science Ltd, 15, pp341-349.
- Deryaguin, B.V. and Smilga V.P.**, 1969. Adhesion, Fundamentals and Practice, *McLaren London*.
- Ehsani, M.R. and Wight J.K.**, 1982. Behaviour of External Reinforced Concrete Beam to Column Connections Subjected to Earthquake Type Loading, Report No. UMEE 81RS, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Anni Arbor, July, pp. 243.
- El-hawary, M. and Abdel-Fattah H.**, 2000. Temperature Effect on the Mechanical Behavior of Resin Concrete, *Construction and Building Materials*, v.14, pp.317-323.
- French, C.V., Thorp G.A. and Tsai, W.J.**, 1990. Epoxy Repair Techniques for Moderate Earthquake Damage., *ACI Structural Journal*, v. 87, No.4, pp. 416-424.

- French Norm NF P 18-810**, 1989 Special products for hydraulic concrete constructions - synthetic based products – Determination of usual practice time, D.P.U.
- Fukuyama, K., Higashibata, Y. and Miyauchi, Y.**, 2000. Studies on Repair and Strengthening Methods of Damaged Reinforced Concrete Columns, *Cement & Concrete Composites*, v.22, pp.81-88.
- Guedelhoefer, O.C. and Krauklis, A.T.**, 1986. To Bond or not to Bond, *Concrete International*, 169-174.
- Hashim, S.A.**, 1999. Adhesive bonding of thick steel adherends for marine structures, *Marine Structures*, 12, pp. 405-423
- Irwin, C.A.K.**, 1975. Strengthening of Concrete Beams by Bonded Steel Plates, TRRL Supplementary Report No. 160UC, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, pp. 8.
- Jones, R., Swamy, R.N. and Charif, A.**, 1988. Plate Separation and Anchorage of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy Bonded Steel Plates, *Structural Engineer, London*, v.66, No.5, pp. 85 - 94
- Özgen, K.**, 1990. Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem Hasarları, Onarım ve Güçlendirme, *Yapı Dergisi*, İstanbul 116, s. 50-54
- Özgen, K.**, 2001. Betonarme Sistemlerde İyileştirme ve Güçlendirme Esasları, *Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri*, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul, s.102-111.
- Mander, R.F.**, 1981. "Use of Resins in Road and Bridge Construction and Repair, "International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Harlow, v. 3, No. 1, pp. 27-39.
- Mansur, M.A. and Ong, K.C.G.**, 1985. Epoxy-Repaired Beams, *Concrete International*, pp. 97-101.
- Mouton, Y.**, 1999. Some Thoughts About Gluing and its Applications in Construction, *Second International RILEM Symposium on Adhesion Between Polymers and Concrete* , Part 1, pp. 3-9
- Nounu, G., and Chaudhary, Z.U.H.**, 1999. Reinforced Concrete Repairs in Beams, *Construction and Building Materials*, 13, pp. 195-212
- Plečnic, J.M., Gaul, R.W., Pham, M., Cousins, T. and Howard, J.**, 1986. Epoxy Penetration, *Concrete International, Design & Construction*, v. 8, No.2, pp.46-50.
- Quantrill, R. J., Holloway L.C. and Thorne, A. M.**, 1996. Experimental and Analytical Investigation of FRP Strengthened Beam Response: Part I, *Magazine of Concrete Research*, v. 48, No.177, pp. 331-341.
- Ritchie, P.A., Thomas, D.A., Le- Wu Lu and Connelly, M.**, 1994. External Reinforcement of Concrete Beams Using Fiber Reinforced Plastics, *ACI structural Journal*, July - August 1994, 490 - 500
- Raoof, M., El-Rimawi J.A. and Hassanen M.A.H.**, 2000. Theoretical and Experimental Study on External Plated R.C. Beams, *Engineering Structures*, v.22, pp.85-101.

- Swamy, R.N., Jones R. and Bloxham J.W. and Bouderbalah, A., 1980.** Composite Behaviour of Concrete Beams with Epoxy Bonded External Reinforcement, *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, v.2, No:2, pp. 91-107.
- Swamy, R.N., Jones R. and Bloxham J.W., 1987.** Structural Behaviour of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy Bonded Steel Plates, *Structural Engineer London*, Part A, v. 65 A, No. 2, pp. 59 – 68
- Swamy, R.N., Jones R. and Charif, A., 1989.** The Effect of External Plate Reinforcement on the Strengthening of Structurally Damaged RC Beams, *The Structural Engineer*, V.67, No.3/7, pp. 45-49.
- Saadatmanesh, H. and Ehsani, M. R., 1987.** RC Beams Strengthened with GFRP Plates, - Experimental Study, *ASCE Journal of Structural Engineering*, v.117, No. 11, pp. 3417 - 3433.
- Toutanji, A.H. and Gomez, W., 1997.** Durability Characteristics of Concrete Beams Externally Bonded with FRP Composite Sheets, *Cement and Concrete Composites*, **19**, pp. 351-358.
- TS 3068 1978.** Laboratuarda Beton Deney Numunelerinin hazırlanması ve Bakımı, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 3114 1990.** Beton Basınç Mukavemeti Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 5929 1988.** Beton Deneyleri, Boyutlar, Toleranslar ve Deney Numuneleri Uygunluğu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12188 1999.** Beton Yapılar – Koruma ve Tamir İçin Mamul ve Sistemler – Deney Metotları – Yapıda Kullanılan Yapıştırma Maddelerinin Özelliklerinin, Çeliğin Çeliğe Yapıştırılması Metoduyla Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Van Gemert, D.A., 1982.** Repairing of Concrete Structures by Externally Bonded Steel plates”, *Plastics in Material and Structural Engineering*, Richard A. Bares, Ed. Elsevier Scientific Publishing, Newyork, pp. 519 - 526.
- Voyutskii, S. S. 1963.** Autohesion and Adhesion of High Polymers, *Wiley, Newyork*
- Wasti, S.T. ve Özeltay, A., 1995.** “Betonarme Kirişlerin Epoksiyle Yapıştırılan Çelik Plakalarla Güçlendirilmesi”, *TMMOB XIII. Teknik Kongre ve Sergisi*, Milli Kütüphane, Ankara, s. 113-121
- Wake, W.C., 1982** Adhesion and Formulation of Adhesives, *2nd Edn, Applied Science, London*.
- Yelgin, A., Kasap, H. and Özyurt, Z., 1998.** Strengthening of Reinforced Concrete Slabs by Thin Steel Plates Glued with Epoxy, *32nd Solid Mechanics Conference, Zakopane*, Institute of Fundamental Technological Research Polish Academy of Sciences.
- Ziraba, Y.N. and Baluch M.H., 1995.** Computational Model for Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy Bonded Steel Plates, *Finite Elements in Analysis and Design*, vol.20, pp.253-271.

Ziraba, Y.N., Baluch, M.H., Basunbul, I.A., Sharif, A.M., Azad, A.K., 1994.
Guidelines Towards the Design of Reinforced Concrete Beams with
External Plates, *ACI Structural Journal*, Nov.-Dec., pp.639-646.

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut KÖSE 17 ekim 1967’de İstanbul’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Yedikule Gençosman İlkokulu, Özel Çavuşoğlu Lisesi ve Pertevniyal Lisesinde, Lisans öğrenimini 1990 yılında İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü’nde tamamladı. 1990-92 arasında çeşitli şantiyelerde mimar olarak görev almakla beraber İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim dalı, Yapı programında Prof. Dr. Erol GÜRDAL yürütücülüğünde “Gazbeton Niteliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezini tamamladıktan sonra 1993-94 öğretim yılında aynı programda doktora öğrenimine başladı.

1992 haziran ayında İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Yapı Anabilim dalı’na araştırma görevlisi olarak atandı ve halen bu görevini sürdürmektedir.