T.C.

KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TAŞINMAZ KÜLTÜR VARLIKLARININ TAŞINMA YÖNTEM VE HESAPLARININ TEMEL MÜHENDİSLİĞİ BAĞLAMINDA BULANIK MANTIK MODELLEMESİ İLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Tahir Arpacık

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan-2022
KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Tahir ARPACIK tarafından hazırlanan "Taşınmaz Kültür Varlıklarının Taşınma Yöntem ve Hesaplarının Temel Mühendisliği Bağlamında Bulanık Mantık Modellemesi ile Karşılaştırmalı Analizi" adlı tez çalışması 20/04/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Mustafa YILDIZ	……..
Danışman Prof. Dr. Mustafa YILDIZ	……..
Üye Doç. Dr. Ali Sinan SOĞANCI	……..
Üye Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Hakkı ERKAN	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Tahir ARPACIK

Tarih: 20.04.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAŞINMAZ KÜLTÜR VARLIKLARININ TAŞINMA YÖNTEM VE HESAPLARININ TEMEL MÜHENDİSLİĞİ BAĞLAMINDA BULANIK MANTIK MODELLEMESİ İLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Tahir ARPACIK

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

2022, 149 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Mustafa YILDIZ
Doç. Dr. Ali Sinan SOĞANCI
Dr. Öğr. Üyesi İ. Hakkı ERKAN

Şehirlerin büyümesi, alan ihtiyacının artması, baraj ve gölet yapılarının yapılmasıyla tarihi yapıların su altında kalma tehlikesi ve taşıt trafiğinin artmasından kaynaklı geniş yol ihtiyacı oluşması gibi sebepler tarihi yapıların taşınmasını zorunlu kılmıştır. Dicle nehri üzerine inşa edilen Ilısu Barajı, Batman'ın Hasankeyf ilçesinde bulunan tarihi dokuyu sular altında bırakma riskini doğurmuştur. Risk altındaki tarihi yapılar Kendinden Tahrikli Modüler Taşıyıcı (SPMT) sistemlerle yeni yerlerine taşınmıştır.

Bu çalışmada, Taşınmaz Kültür Varlıklarının yeni bir konuma taşınması, taşınmış olan yapılar üzerinden mevcut veriler kullanılarak geoteknik mühendisliği bağlamında bulanık mantık metodu yöntemiyle değerlendirilmiş ve örnek alandaki yapı üzerinden taşımada dikkat edilmesi gereken genel sonuçlar çıkartılmıştır. Batman'ın Ilısu barajı yapımından dolayı sular altında kalmaması için Hasankeyf bölgesinde bulunan ve yeni Arkeopark alanına bütüncül olarak tek parça halinde taşınan yapılar dünya örnekleriyle birlikte incelenmiştir. Taşıma projelerinin süreç olarak karmaşık yapısı ve her yapının kendine özgü problemlere sahip olduğundan, uygun mühendislik çözümlerinin belirlenmesinde rehber kurallara gereksinim duyulmaktadır. Taşıma projelerinin yapısal ve durumsal özellikleri kavramsal olarak tanımlanmıştır. Yapılan tanımlar ışığında bulanık mantık yöntemiyle kural şemaları yazılmıştır. Tanımlanan değişkenler MATLAB programında bulunan Fuzzy Logic Toolbox yardımıyla analiz edilmiştir. Hasankeyf'te 2017 yılında taşınan Zeynel Bey Türbesi'nin taşıma parametreleri programa işlenip taşıma projesinin risk analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen çıktı değerleri sayısal ve grafiksel olarak ifade edilmiş ve yapıya ait genel sonuçlar mevcutta uygulanan süreçle kıyaslanmıştır. Elde edilen rehber tanımlar ileride taşınacak tarihi nitelikteki yapılar için öngörü sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Taşınmaz Kültür Varlıkları, Zeynel Bey Türbesi, Taşıma, Bulanık Mantık

ABSTRACT

MS THESIS

COMPARATIVE ANALYSIS OF MOVING METHODS AND CALCULATIONS OF IMMOVABLE CULTURAL HERITAGE IN THE CONTEXT OF FOUNDATION ENGINEERING WITH FUZZY LOGIC MODELLING

Tahir ARPACIK

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Mustafa YILDIZ

2021, 149 Pages

Jury
Prof. Dr. Mustafa YILDIZ
Assoc. Prof. Dr. Ali Sinan SOĞANCI
Asst. Prof. Dr. İ. Hakkı ERKAN

The growth of cities, the increase in the need for space, the danger of inundating historical buildings with the construction of dams and the need for wide roads due to the increase in vehicle traffic made it necessary to move historical buildings. The Ilısu Dam, which was built on the Tigris river, risked flooding the historical fabric in Batman's Hasankeyf district. Historical buildings at risk have been moved to their new locations with Self Propelled Modular Transporter (SPMT) systems.

In this study, the relocation of Immovable Cultural Heritages to a new location has been evaluated with the fuzzy logic method in the context of geotechnical engineering by using the existing data on the relocated structures. General conclusions that should be considered in transport were revealed from the structure in the sample area. In order to prevent Batman from being flooded due to the construction of the Ilısu dam, the structures in the Hasankeyf region, which were transported to the new Archeopark area as a whole, were examined together with examples around the world. Guidelines are needed in determining the appropriate engineering solutions, since relocation projects have a complex nature as a process and each structure has its own problems. Structural and situational features of relocation projects are conceptually defined. In the light of the definitions made, rule schemes were written with the fuzzy logic method. The defined variables were analyzed with the help of the Fuzzy Logic Toolbox in the MATLAB program. The transportation parameters of Zeynel Bey Tomb, which was moved in Hasankeyf in 2017, were entered into the program and the risk analysis of the transportation project was carried out. The output values obtained as a result of the analyzes are expressed numerically and graphically, and the general results of the structure are compared with the currently applied process. The guide definitions obtained provide foresight for the historical buildings to be moved in the future.

Keywords: Immovable Cultural Heritage, Zeynel Bey Tomb, Relocation, Fuzzy Logic

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde çalışmalarım süresince bana yardımcı olan, çalışma azmimi artıran ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa YILDIZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans dönemimde geoteknik mühendisliği alanında beni geliştiren değerli hocalarım Prof. Dr. Özcan TAN, Prof. Dr. Murat OLGUN, Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ ve tüm hocalarıma teşekkür eder şükranlarımı sunarım.

Tüm eğitim hayatımda beni destekleyen ve her zaman yanımda olan anneme ve babama teşekkür ederim.

Tahir ARPACIK
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

ÖNSÖZ ..... **iii**

İÇİNDEKİLER ..... **iv**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **vii**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Tezin Amacı 2
1.2. Tezin Önemi 3
1.3. Tezin Kapsamı 3

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **5**

2.1. Performansa Dayalı Tasarım ve Bulanık Mantık 6
2.2. Taşınmaz Kültür Varlıklarının Taşınması 8
2.3. Taşınma Güzergahının İncelenmesi 10

3. MATERYAL VE YÖNTEM **12**

3.1. Bulanık Mantık 13
3.1.1. Bulanık uzman sistemi 15

4. TEMEL KAVRAMLAR **17**

4.1. Taşınmaz Kültür Varlığı 17
4.2. Kültür Varlıklarının Koruması 18
4.3. Taşınmaz Kültür Varlıklarının Taşıyıcı Sistem Çeşitleri 20
4.4. Taşınma Yöntemleri 21
4.4.1. Numaralandırılarak yapı elemanlarına ayırarak taşıma 22
4.4.2. Parçalar halinde taşıma 24
4.4.3. Bütüncül taşıma 27
4.5. Proje Planlaması ve Tasarım Aşamaları 34

5. TAŞINMAZ KÜLTÜR VARLIKLARININ BÜTÜNCÜL OLARAK TAŞINMASI **38**

5.1. Lastik Tekerlekli Araçlarla Taşıma Örnekleri 39
5.1.1. Zeynel Bey Türbesi – Hasankeyf (2017) 40
5.1.2. Artuklu Hamamı (2018) 46
5.1.3. İmam Abdullah Zaviyesi (2018) 47
5.1.4. Eyyübi Camii (2018) 48
5.1.5. Orta Kapı (2018) 48
5.1.6. Harriet F. Rees Malikânesi – Chicago, ABD (2014) 49
5.1.7. Emmaus Kilisesi – Leipzig, Almanya (2007) 50
5.2. Raylı Sistemlere Taşınan Yapı Örnekleri 51

5.2.1. Meryem Ana Kilisesi – Most, Çekya (1974) 51
5.2.2. Cape Hatteras Deniz Feneri - Kuzey Karolina, ABD (1999) 52
5.2.3. Oerlikon tren istasyonu – Zürih, İsviçre (2012) 53
5.2.4. Zhengguanghe Binası – Shanghai, Çin (2013) 53
5.2.5. Hankou Yiyong İtfaiye Dernek Binası – Wuhan, Çin (2016) 54
5.2.6. Lagena İlkokulu – Shanghai, Çin (2018) 55
5.2.7. Xiamen Otobüs Terminali – Xiamen, Çin (2019) 55
5.3. Taşınmaz Kültür Varlıklarının Taşınma Aşamaları 56
5.4. Yük Destekleme Sistemi (Load Underpinning System) 58
5.5. Destek Kirişi ve Çelik Silindirler 61
5.6. Raylı Sistem ve Kazık Temeller 64
5.7. Taşıyıcı Sistemin Kesilmesi 67
5.8. Yapının Kaldırılması 68
5.8.1. Hidrolik sistem ve bilgisayar kontrolü 71
5.8.2. Kaldırma işlemi öncesinde dikkat edilmesi gereken hususlar 72
5.9. Taşınma Rotasının Geoteknik Analizi 73
5.10. İtici Kuvvetler ve Hareket Sistemi 77
5.10.1. İtmeli kontrol sistemi 79
5.11. Yeni Temelle Bağlantı 80
5.12. Yapısal Strüktür Analizi 82
5.12.1. Bütüncül Güçlendirme 84

6. TAŞINMAZ KÜLTÜR VARLIKLARI TAŞINMA PARAMETRELERİNİN BULANIK MANTIK İLE MODELLENMESİ 86

6.1. Bulanık Mantık Modelindeki Çıkarım Operatörlerinin Seçimi 87
6.2. Girdi ve Çıktı Parametrelerinin Belirlenmesi 88
6.3. Bulanık Mantık Model Çıktılarının Tanımlanması 89
6.3.1. Raylı sistemlerle taşıma bulanık mantık model çıktıları 90
6.3.2. Tekerlekli sistemlerle taşıma bulanık mantık model çıktıları 91
6.3.3. Ortak özellikler bulanık mantık modeli çıktıları 93
6.4. Bulanık Mantık Modelinin Girdi Parametrelerinin Belirlenmesi 95
6.4.1. Yapısal forma ait girdilerin tanımlanması 95
6.4.2. Yapı strüktürü ve korunma durumuna ait girdilerin tanımlanması 98
6.4.3. Yol özelliklerine ait girdilerin tanımlanması 102
6.5. Kural Tanımlamaları 105
6.6. Çıktı Sonuçları 108
6.6.1. Burulma, sehim, çatlak, eğim, ivme ölçer (T1) çıktısının yorumlanması 111
6.6.2. Deneme taşıması (T2) çıktısının yorumlanması 112
6.6.3. Taşıma aracı özellikleri (T3) çıktısının yorumlanması 114
6.6.4. Kesim işlemi (O1) çıktısının yorumlanması 116
6.6.5. Kaldırma yöntemi (O2) çıktısının yorumlanması 118
6.6.6. Uygulanan destek kiriş sistemi ve kazıklar (O3) çıktısının yorumlanması 119
6.6.7. Sismik izolatör (O4) çıktısının yorumlanması 121

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 123

EKLER 126

EK-1 Şekiller Tablosu Listesi 126
EK-2 Çizelge Listesi 133
EK-3 Bulanık Modelde Kullanılan Kuralların Veri Kümesi (Dataset) Değerleri 134

KAYNAKLAR 135

ÖZGEÇMİŞ ..... Error! Bookmark not defined.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

f_{cv}	:	Arayüz betonunun kesme dayanımı (kPa)
f_{sv}	:	Cıvataların kesme dayanımı (kPa)
μ	:	Saha testlerinden elde edilen sürtünme katsayısı
T	:	Titreşim periyodu (sn)
qf	:	Zemin sınır taşıma kapasitesi (kPa)
k_s	:	Zemin Yatak Katsayısı kN/m^3

Kısaltmalar

TKV	:	Taşınmaz Kültür Varlığı
SPMT	:	Self Propolled Modular Transporter
NPS	:	National Park Services
GPS	:	Global Positioning System
PLC	:	Programlanabilir Mantıksal Denetleyiciler
LRB	:	Lead Rubber Bearing
FPS	:	Friction Pendulum İsolator
FIS	:	Fuzzy Inference System

1. GİRİŞ

İnsanlar inşa ettikleri yapıları, çizdikleri resimleri, yazdıkları eserleri koruyarak kültürlerini bir sonraki nesillere aktarabilmiştir. Türkiye'de bulunan Göbeklitepe ve Çatalhöyük gibi insanlık tarihinin en eski yerleşim yerleri bile bugüne kadar gelmeyi başarmıştır. Son yüzyılda geçmişin izlerini taşıyan tarihi yapıları koruma bilinci daha da artmıştır. Tarihi yapıların yeniden konumlandırılması, diğer tüm koruma yöntemlerinin çözüm olmadığı durumlarda binayı korumanın bir yolu olarak tercih edilmiştir. Tarihi yapıların taşınmasında izlenen üç farklı yol bulunmakta olup, o yöntemler;

- Yapının her bir parçasının numaralandırılarak taşınması,
- Yapının parçalara ayrılarak bloklar hâlinde taşınması,
- Bütüncül olarak tek parça hâlinde taşınması olarak sıralanabilir (Kendir, 2020).

Tarihi bir yapının taşınması, kaçınılmaz olarak yapı bütünlüğünün kaybolmasına, yapı ve dekorasyon dokusunun zarar görmesine neden olabilir ancak yapıyı yıkımdan kurtarmak için son çare olarak kabul edilmiştir.

Şehirlerin büyümesi, alan ihtiyacının artması, baraj ve gölet yapılarının yapılmasıyla tarihi yapıların su altında kalma tehlikesi ve taşıt trafiğinin artmasından kaynaklı geniş yol ihtiyacı oluşması gibi sebepler tarihi yapıların taşınmasını zorunlu kılmıştır. Türkiye'de 2018 yılında yapımı tamamlanan Ilısu Barajı, Hasankeyf ve Yukarı Mezopotamya bölgesinin önemli bir kültürel miras alanını sular altında bırakma riskini oluşturmuştur. Risk altındaki tarihi yapılar Kendinden Tahrikli Modüler Taşıyıcı (SPMT) sistemlerle yeni yerlerine taşınmıştır. Taşınmaz Kültür Varlıklarının (TKV) taşınmasında aşağıda sıralanan zeminden kaynaklı sebepler önemli rol oynamaktadır;

- Tarihi yapıların etrafındaki asırlık ağaç köklerinin yapı temeline zarar vermesi,
- Eğimli araziye inşa edilmiş olanlarda şev problemlerinin oluşması,
- Zamanla meydana gelen depremlerin zemin sıvılaşmasına sebep olması,
- Yeraltı su seviyesindeki değişikliklerden kaynaklı yapıyı taşıyan zeminin mukavemetini kaybetmesi durumlarında yapının mevcut zemininin iyileştirilmesi, iyileştirmenin mümkün olmadığı durumlarda ise zemin ve temel problemleri hesaba katılarak başka bir yere taşınması gerekebilir.

Taşıma işleminin yapılabilmesi için birçok değişken hesaba katılarak en uygun taşıma yöntemi, taşıma risk analizi ve taşıma maliyeti gibi parametreler belirlenir. Bu sonuçların belirlenmesinde;

- Yapının cinsi,

- Yapı strüktür sistemi,
- Korunma durumu,
- Yapının mevcut temeli,
- Zemin özellikleri,
- Taşınma rotası gibi etkenlerin hesap ve tahmininin zor olabilmesinin yanı sıra değişken varlığının fazlalığı, taşınma yöntem haritasının belirlenmesini zorlaştırmaktadır.

Taşıma yönteminin belirlenmesinde yapının mevcut temel özellikleri kritik bir değer taşımaktadır. Bütüncül olarak taşınan yapıların mevcut temellerinin taşıma sistemi ile uyum içinde çalışması gerekir. Çünkü yapının temeli, yapıyı zeminden ayırırken taşıyıcı sistem ve temel kesim işlemi için yeterli yükseklikte ve uygunlukta olmalıdır. Ayrıca yapının kaldırılması için inşa edilecek geçici temel sistemi, krikolardan gelen kuvveti taşıyıcı kolon veya duvarlara aktarabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Taşınma işleminin raylı sistemler kullanılarak yapılması durumunda taşınma rotasındaki zeminin taşıma gücü ve oturma miktarı dikkate alınmalıdır. Yapı ağırlığı yeni zemine aktarılırken ray hatlarında ve zeminde olabilecek deformasyonları müsaade edilebilir değerlere indirebilmek için maliyet ve güvenliği de hesaba katarak zemine uygun kazık, jetgrout ve derin karıştırma kolonları gibi iksa yapıları inşa edilmelidir (Shang vd., 2017).

1.1. Tezin Amacı

"Taşınmaz Kültür Varlıklarının Taşınma Yöntem ve Hesaplarının Temel Mühendisliği Bağlamında Bulanık Mantık Modellemesi ile Karşılaştırmalı Analizi" adlı bu çalışmanın amacı Taşınmaz Kültür Varlıklarının (TKV) bütüncül olarak taşınmasında yapı strüktürü, TKV'nin korunma durumu, taşınacak yolun altyapı özellikleri dikkate alınarak özellikle yapının temel parametreleri çerçevesinde irdelenmesi ve çalışmalardan çıkarılacak sonuçlardan kural şemaları oluşturulup yapı temel özelliği, zemin türü, taşınma rotası, deprem durumu bağlamında taşıma yöntem analizi yapılmasıdır. TKV'lerin taşınması geoteknik mühendisliği bağlamında yapılacağı için sadece bütüncül taşıma yöntemi incelenmiştir.

1.2. Tezin Önemi

İnsanlık tarihinin ilk zamanlarına tanıklık yapmış ve mimari eserler bakımından çok zengin olan Anadolu topraklarında, şehirlerin büyümesiyle beraber bazı tarihi yapılar risk altına girmiştir. Dicle nehri üzerine inşa edilen Ilısu Barajı, Batman'ın Hasankeyf ilçesinde bulunan tarihi dokuyu sular altında bırakma riskini doğurmuştur. Tuğla ve taş yığma yapı olarak inşa edilen bu bölgedeki yapılar 2018 yılında güvenli bir konuma ile taşınmıştır.

Büyüyen şehirleşmeyle beraber taşınması gerekecek tarihi yapıların artacağı düşünülmektedir. Şu ana kadar yapılmış olan taşıma projelerinden elde edinilen tecrübeler kullanılarak gelecekte yapılacak olan taşıma projelerinde karşılaşılan zorluklara pratik çözümler üretilmesi planlanmaktadır. Bu bağlamda, çok sayıda değişkenin bir arada işlenip tarihi yapıları taşıma işlemini geoteknik mühendisliği bağlamında irdeleyerek istatistiksel sonuçlar ortaya çıkarması bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmayı diğer çalışmalardan farklı kılan en önemli özellik çözüm odaklı olması ve farklı disiplinleri bir arada kullanarak karmaşık ve tahmini zor hesaplamaları sade ve görsel bir hale getirmesidir.

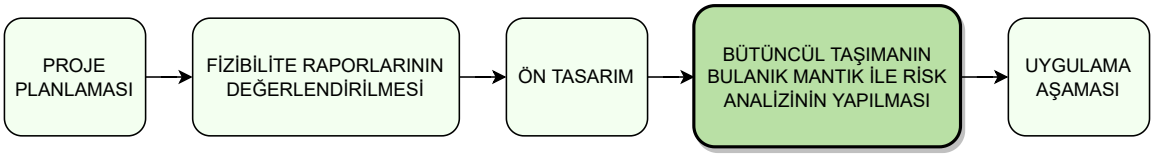
1.3. Tezin Kapsamı

Çalışmanın kapsamı Taşınmaz Kültür Varlıklarından olan Tarihi Binaların taşınması üzerinedir. Kültürel mirasın sahip olduğu değerler dikkate alınıp, bu yapıların bütüncül şekilde taşınarak korunmasında verilen karar mekanizmalarına kolaylaştırıcı olmak adına teorik çerçeve oluşturulmuştur. Bunun için, günümüze kadar yapılmış olan bütüncül taşıma projeleri ve üretilen çözümler bilgi kaynağının sağlamlığı da dikkate alınarak kural tabanlı bir bulanık modele işlenmiştir.

Önerilen model 2017 yılında Hasankeyf'de taşınan Zeynel Bey Türbesi üzerinde uygulanmış ve denenmiştir. Taşıma projelerinin çok karmaşık olması ve her yapının kendine özgü problem ve sorunlarının olması en uygun mühendislik çözümlerinin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Üretilen modelde kullanılan veriler ve kurallar şu ana kadar yapılan bazı bütüncül taşıma uygulamalarının dikkat çeken genel özellikleri baz alınarak yapılmış ve örnekler kapsamı metodun içeriğinden çıkarılmıştır. Dolayısıyla üretilen model kesin bir çıkarım içermemektedir. Teknolojinin gelişmesi ve heuristik

(sezgisel) analiz ihtiyacının artmasıyla beraber bu tarz disiplinler arası uygulamaların aynı model altında çözümlenebildiği yazılımlara ihtiyaç duyulacağı öngörülmektedir.

Genel olarak bir taşıma projesi planlama, tasarım ve uygulama aşamalarından oluşmaktadır. Önerilen bulanık mantık tabanlı model, proje planlaması, fizibilite analizleri ve ön tasarımın yapılmasından sonra uygulama aşamasına geçilmeden önce taşıma projesinin risk analizini yaparak öngörülemeyen problemleri ortaya çıkarmayı hedeflemektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Önerilen bulanık modelin taşıma uygulaması sürecindeki konumu

Taşıma projelerinin yanı sıra büyük ölçekli inşaat projelerinde uygulama aşamasına geçilmeden önce tasarımı bitmiş olan elektrik, mekanik, inşaat ve mimari projeler bütüncül düşünülerek uygulama projesi hazırlanır. Olası riskler, projeler arasındaki çakışmalar, uygulama sıraları gibi konuların tartışıldığı bu çalışmaya süperpoze çalışması denir. Günümüz teknolojisinde bu ihtiyacı BIM (building information modeling) uygulamaları gidermeye çalışmaktadır. Bu tez çalışmasında önerilen model, inşaat projelerinde uygulanan süperpoze çalışmalarını kapsamaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Taşınmaz Kültür Varlıklarının taşınmasına dair literatürde birçok araştırma bulunmaktadır. Bununla beraber teknolojinin sürekli gelişmesi büyük ölçekteki yapıların uzak mesafelere taşınmasını mümkün kılmaktadır. Tarihi Hasankeyf'te dünya literatürüne girecek ölçüde taşınma işlemleri gerçekleşmiştir. Bu bağlamda Hasankeyf'te gerçekleşen taşınma işlemleri üzerinde öncelikli olarak durulmuştur ve dünyadaki diğer bazı örnekler de kaynak araştırması olarak incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında incelenen Hasankeyf'le ilgili bilimsel çalışmalar aşağıdaki gibidir;

Hasankeyf Sultan Süleyman Camii Minaresi

Şener (2004) yaptığı çalışmada, tarihi yığma yapıların bütünlüğünü bozmadan taşınabilmesi kapsamında Hasankeyf Sultan Süleyman Camii minaresi çalışma konusu alınarak bir metot önerilmiştir. Sonlu elemanlar analiz yöntemiyle modellenen yapı radyal ve dikey ön germeli halatlar ile dıştan güçlendirilmiştir. Uzun ve ince yığma yapı, taşınma aracına yüklenirken çok yüksek eğilme kuvvetlerine maruz kalacaktır. Bu yüksek momenti karşılamak ve yapının taşınması sırasında oluşabilecek dinamik kuvvetlerin yapıya zarar vermesini engellemek için yapı üst ve altına destekleyici çelik kirişler kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilen yığma yapının, çekme kuvvetlerini karşılayacağı statik hesaplamalar ile gösterilmiştir. Ancak yığma yapıların harç ve tuğladan oluşması analiz sonuçlarının etraflıca irdelenmesini gerektiği belirtilmiştir.

Hasankeyf Zeynel Bey Türbesi

Yılmaz vd. (2017) yaptıkları çalışmada, çokgen bir temel üzerine oturan ve cephesi kesme taşlarla örülü 1100 ton ağırlığındaki Zeynel Bey türbesinin taşınma işlemi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Yapının yeni konumunda yapı ve zemin periyotlarının yakın değerler olması yapıyı rezonansa sokma riskini oluşturmuştur. Türbenin yeni temelinde sarkaç tipi izolatörler kullanılarak yapının rezonansa girmesinin önüne geçilmiştir. Hidrolik krikolar yardımıyla yerinden kaldırılan yapı SPMT (Self-Propelled Modular Transporter) araçlarına yüklenmiştir. SPMT araçlarıyla taşınan yapının taşınma rotasında oluşabilecek problemlerin önüne geçmek için deneme taşımaları yapılmıştır. Taşıma sırasında yol eğimi ve sarsıntıdan kaynaklı yapıda meydana gelebilecek dinamik kuvvetleri gözlemlemek için çatlakölçer, eğimölçer ve üç eksenli ivmeölçer kullanılmıştır.

Hasankeyf Er Rızk Camisi

Yılmaz ve Sevgi (2020) yaptıkları çalışmada, Hasankeyf Er Rızk Camisinin yeni konumuna taşınma aşamaları anlatılmıştır. Yapının kuzeyinde bulunan revaklı mekân kütlesi "*Bütüncül Olarak*", minare "*Birim Yapı Elemanlarına Ayrılarak*" ve kuzey cephe duvarı "*Bloklara Ayrılarak*" taşınması gerçekleşmiştir. Revaklı mekân kütlesinin SPMT araçlarına yüklenebilmesi için hidrolik krikolar ile uygun kota getirilerek yükseltilmiştir. Krikolardan gelen kuvvet ilk olarak kaldırma platformuna aktarılmış, ikinci olarak yapı taşıyıcı sistemi olan duvar temellerine entegre edilen betonarme kirişler aracılığıyla yapıya aktarımı gerçekleşmiştir.

Hasankeyf Orta Kapı

Yazgan (2020) yaptığı çalışmada, sonlu elemanlar metoduyla modellenen Orta Kapı'nın, bütüncül ve parçalı taşınmaları durumunda yapısal strüktür analizleri yapılarak, sergiledikleri olası performanslar incelenmiştir. Belirli eğim ve dönme açılarında çekme ve basınç gerilmelerine maruz kalan yapının bütüncül olarak kaldırıldığı zaman belirlenen sınır gerilmelerini aştığı belirtilmiştir. Çelik strüktür ile desteklenen parçalı modelin, vinç ile kaldırılması ve eğimli yollarda taşınması sırasında etkileneceği ek kuvvetleri karşılayabileceği yapılan analizler sonucunda belirtilmiştir.

Yılmaz vd. (2021) yaptıkları çalışmada, Hasankeyf'te bulunan Orta Kapının taşınma aşamalarında karşılaşılan zorluklar ve önerilen çözümler üzerinde durulmuştur. Yapının batı kesiminin doğal kayalık üzerine oturmasının ayırma işini güçleştirmiş olmasından ve taşınma rotasında Roma döneminden kalma tarihi eserlerin yüksek ağırlık ile zarar görme riskinden dolayı yapının üç bloğa ayrılarak taşınması uygun görülmüştür. Yapıyı üç parçaya ayıracak güçlendirilmiş çelikten yapılma strüktür imal edilerek ayırma ve taşınma sırasında oluşabilecek yapı bozulmalarının önüne geçilmiştir.

2.1. Performansa Dayalı Tasarım ve Bulanık Mantık

Yeni bina yapımından farklı olarak, yapı taşıma projesinde, inşaat yönetiminin maliyetini, süresini ve kalitesini büyük ölçüde belirleyen, destekleme, ayırma, taşıma ve yeni konumundaki bağlantı aşamalarında birçok özel teknikler kullanılır. Her yapı taşıma projesi benzersiz ve tekrarlanamaz olduğundan, mühendislik tekniklerinin uygun şekilde planlanması için performansa dayalı bir tasarıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda **Lu ve Wang (2016)** yaptıkları çalışmada, orijinal planların yapıldığı maliyet,

zaman, üst yapıya etki, kontrol edilebilirlik ve kapsam indeksi ile projenin gereksinimi ve teknik özellikleri kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Daha sonra, projenin yönetim hedeflerinin tamamlanmasına hizmet eden nihai optimize planını elde etmek amacıyla, proje gereksinimlerinin dikkate alınmasıyla birlikte, üst yapının belirli yerlerindeki performansına dayanan sonlu elemanlar modeli kullanılarak fizibilite analizi yapılmıştır.

Korumaz (2015) yaptığı çalışmada, kültürel miras değerleri karar verilme sürecinin çok yönlü olmasından dolayı birçok problemi barındırdığı belirtilmiştir. Bugüne kadar, uzmanların karar verme süreçlerinde fizibilite çalışmaları ve bireysel tecrübelerine dayanarak geleneksel yöntemler kullanıldığı söylenmiştir. Kullanılan bu yöntemlerin karmaşık problemlerin çözümünde yetersiz kaldığı ve yanlış kararların kültürel miras değerlerinin yok olmasına sebep olduğu ifade edilmiştir. Dolayısıyla karar verme sürecinde analiz, belgeleme, veri paylaşımı ve yönetimi avantajlarını kullanarak kültürel miras merkezli *"Değer Tabanlı Kültürel Miras Karar Destek Modeli"* önerilmiştir. Koruma uzmanları tarafından seçilen yapılar, bu miraslara yapılan müdahaleleri yapının mevcut hali ile değerlendirilerek alanında uzman bireylerin yaptıkları seçimler doğrultusunda analiz edilmiştir. Değerlendirmeler Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) ve AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Önerilen model, kültürel miras değerleriyle müdahale kararları arasında ilişki kurmayı ve yapıların alınan müdahale kararlarından sonra nasıl etkilendiğini belirlemeyi amaçlamıştır.

Zhang vd. (2019) yaptıkları çalışmada, Çin'in Şanghay kentindeki Yeşim Buda Tapınağı'nın (*Jade Buddha Temple)* mimari düzenini iyileştirmek ve yapısal bütünlüğünü geliştirmek için 2017'de 30,66 m taşınan ve ardından 1,05 m yükseltilen yapının, yapısal yer değiştirmesine ve yükseltilmesine yardımcı olmak amacıyla, göreli yer değiştirmeyi sürekli olarak ölçmek için bir izleme sistemi tasarlanmıştır. Eğim açısına göre değerlendirilen tarihi ahşap yapı, kiriş ve konsol için *"Eski ahşap binaların bakımı ve güçlendirilmesi için teknik kod (GB 50165-92)"* yönetmeliği uyarınca maksimum sehim sırasıyla; $\Delta > H/150$, $\Delta > H/90$ değerlerinin kritik eğim açısına dönüştüren 0.239^{o} ve 0.637^{o} eğimleri tasarım değerleri değerlendirilmiştir. Kolonların ve duvarların eğim açısı iki bağımsız girdi değişkeni olarak kabul edilmiştir. Herhangi bir girdi değişkeninin performansından bağımsız olarak, girdi değişkenlerinden biri zayıfsa, tüm yapının zayıf davranacağı şekilde tasarlanmıştır. Örneğin; *duvar zayıf ve kolon iyi ise, genel yapı zayıftır*. Yer değiştirmenin yapısal performans üzerindeki etkisini değerlendirmek için, izleme verileri yer değiştirmeden önce ve yer değiştirme sırasında olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Sonuçlar, yer değiştirme sırasında

performans değerinin 0,332'den 0,370'e yükseldiğini ve yapının performansının yer değiştirme sırasında kötüleştiğini, ancak güvenli bir aralıkta (0,50'den az) kaldığını göstermektedir.

2.2. Taşınmaz Kültür Varlıklarının Taşınması

(Bisson, 1971) yaptığı çalışmada, büyük ölçekteki ağır yapıların taşınması için bir taşıma aracı önerilmiştir. Yapıyı kaldırma ve yeni yerine yerleştirme sırasındaki güvenlik ve doğruluğu sağlamak için hidrolik krikolar ile kot ayarlanabilmektedir. Yapı taşınırken zor manevralar yapabilecek özellikte tasarlanmıştır. Ayrıca çeşitli geometrik şekle sahip yapıların taşınması için uygun olduğu belirtilmiştir.

National Flood Proofing Committee (1990) yaptıkları çalışmada, Amerika'da deniz seviyesinin yükselmesi ve selden etkilenme riski bulunan yapıların korunması için yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Yapıların mevcut yerlerinde temellerinden ayrılarak yükseltilmesi ve başka bir konuma taşınması korunma yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları zaman, maliyet ve kullanılabilirlik çerçevesinde incelenmiştir. Yapıların kendine özgün strüktürel ve mimari özelliklerinin olması koruma yönteminin seçiminde değişkenlik göstermektedir. Yapının mevcut temeliyle beraber taşınmasının en önemli avantajları; yapının kullanılmaya devam edilebilmesi, iç ve dış strüktürel desteklerin kullanılmasından kaçınılabilmesi olarak sıralanmıştır.

Kaisersaal Binası

Brand ve Werner (1997) yaptıkları çalışmada, Berlin'de bulunan Kaisersaal Binasının hava yastıkları ve hidrolikler yardımıyla taşınma aşamaları anlatılmıştır. Binanın taşıyıcı sistemi olan duvarlara kazıklı sisteme oturan taşıyıcı konsol kirişler inşa edilmiştir. Yapı yükünü konsol kirişlere aktaracak öngermeli çerçeve betonarme temel inşa edilmiş ve hidrolik sistemlerle yapı kaldırılmıştır. Yapının taşınması için çelik ve betonarmeden raylı sistem inşa edilmiş hava yastıkları yardımıyla yapı bir manada yüzdürülerek taşınmıştır.

Su ve Wang (2006) yaptıkları çalışmada, Tayvan'daki tehlike altındaki tarihi yapıların taşınma serüvenleri ve bölge halkının taşınan yapıyla arasında kurduğu bağ anlatılmıştır. Tayvan'a ait yerel taşıma tekniklerinin toplumsal birleştirme ruhuna uygun olduğu belirtilmiştir.

Telem vd. (2006) yaptıkları çalışmada, betonarme bir yapının inşası sırasında fark edilen yanlış konumlandırmanın düzeltilmesi için uygulanan süreç aşamaları

anlatılmıştır. Yapının doğru konumuna taşınması sırasında karşılaşılan zorluklar ve önerilen çözümler risk ve süre bağlamında irdelenmiştir.

Peltola (2008) yaptığı çalışmada, Taşınmaz Kültür Varlıklarının taşınmasında dikkat edilmesi gereken etik kurallar iki yapı üzerinden incelenmiştir. En iyi korunmanın sağlanması için yeni konumunun kültürel özellikleri yapının devamlılığını sağlayacak özellikte olması gerektiği vurgulanmıştır.

Lu vd. (2010) yaptıkları çalışmada, tarihi yapıların bütünsel olarak kayma çubukları, kayma tabakası ve tekerlekli treyler üzerinde taşınması örnekler üzerinden anlatılmıştır. Yapıların kaldırılmasını sağlayan betonarme sistemlerin (underpinning) kesme güvenliği hesaplamaları detaylandırılmıştır. Yapının kaldırılmasını ve taşınmasını sağlayan hidrolik sistemlerin özellikleri ve taşınma sırasında anlık verilerin kaydedilip bir sonraki aşama için en uygun koşulların oluşturulmasının gerekliliği anlatılmıştır.

Guo vd. (2013) yaptıkları çalışmada, yüksek katlı betonarme bir binanın raylı sistemlerle taşınması için bir yük destek sistemi önerilmiştir. Dikey yükleri raylara eşit olarak aktarabilen ve itici kuvvetleri binanın bir ucundan diğer ucuna dağıtan bu sistem aynı zamanda binanın düzlem içi rijitliğini sağlamak için yatay bir çerçeve olarak tasarlanmıştır. Orijinal temelde sınırlı iç mekân yüksekliğinden dolayı ankrajlı kazıklar kullanılmıştır. Böylece orijinal bodrumdaki raylar büyük kazık makinelerine ihtiyaç duymadan desteklenebilmiştir. Çekme ve itmenin avantajlarını birleştiren bu sistem başarıyla uygulanmış olup yapı hareketinin verimlilik ve kararlılığı garanti altına alınmıştır. Yapı yeni temeline bağlanırken taşıyıcı kolon ve duvarların sismik kapasiteleri düşürülmeden uygulanma aşamaları detaylı olarak anlatılmıştır.

Xu vd. (2014) yaptıkları çalışmada, tarihi bir yapının sonradan inşa edilecek derin temel üzerinde geçici olarak taşınması ve bodrum inşasının bitiminden sonra eski yerine geri getirilme aşamaları anlatılmıştır. Garaj ihtiyacı için yapılacak olan 4 katlı bodrum üzerinde taşınmasında iki çeşit raylı sistem imal edilmiş ve komşu yapılara zarar vermeden inşa edilebilmiştir. Taşınma sırasında anlık olarak kaydedilen kazık ve başlık kirişlerin oturma değerleri yapının güvenli bir şekilde taşındığını göstermiştir.

Kołakowski (2015) yaptığı çalışmada, tarihi yapıların yeniden konumlandırılması ekonomik açıdan incelenmiştir.

Sömen vd. (2015) yaptıkları çalışmada, baraj rezervuar alanında kalacak olan Tarihi Çamçavuş Demir Köprüsü'nün taşınmasında yeni yer seçimindeki etkenler ve taşınma projesi anlatılmıştır. Köprünün yeni temeli aslına uygun olarak ve derivasyon çalışmaları dere yatağına dik olacak şekilde uygulanmıştır.

Zhang ve Pan (2015) yaptıkları çalışmada, tarihi yapıların taşınmasında uygulanan teknikler anlatılmıştır.

Kılıç Demircan vd. (2016) yaptıkları çalışmada, tarihi yapıların taşınma yöntemleri, onarım, hasar nedenleri ve güçlendirme teknikleri örnekler üzerinden anlatılmıştır.

Ren-liang vd. (2016) yaptıkları çalışmada, ray paylaşımlı bütünsel hareket yöntemi ile verimli uzun mesafe hareket yöntemini birleştiren bina temeli integral destek tekniği ve kavisli hat taşıma tekniği ortaya konulmuştur. Tekniğe göre ilk önce taşıma kirişine bağlanan her bir kazığın uç ve yanal sürtünme dirençleri hesaplanarak toplam taşıma kapasitesi belirlenir. Taşıma kapasitelerinin birbirinden farklı olması veya tasarım kapasite değerinden düşük olması düzensiz oturmalara sebep olur. Ray kirişinin temele bağlanabilmesi için öncelikli olarak sıkışma katsayısı 0.94' den az olmayan ve sıkıştırılmış zemin kalınlığı 1000 mm' den az olmayan temel zemininin gevşek tabakasının kaldırılması gerektiği belirtilmiştir.

Cape Hatteras Deniz Feneri

Witcher (2018) yaptığı çalışmada, Amerika'nın doğu sahilinde bulunan Cape Hatteras Deniz Fenerinin taşınma aşamaları anlatılmıştır. Denizin yapı altındaki zemini aşındırması ve yapı strüktürünü korozyona uğratması sebebiyle yapı daha yüksek bir konuma taşınmıştır. Granit mevcut temel yapıyı yol boyunca taşıyacak olan geçici kafes sistem çelik temel ile değiştirilmiştir. Taşınma sırasında yapının düz bir eğimde olabilmesi için hidrolik krikolar yardımı ile sürekli olarak eğim düzenlemesi yapılarak itme krikolar yardımıyla yapı yeni yerine aşamalı bir şekilde taşınmıştır.

2.3. Taşınma Güzergahının İncelenmesi

Taşınmaz Kültür Varlıklarının raylı sistemlerle kısa mesafede taşınması durumunda taşınma güzergahındaki oturmaların analiz edilmesi gerekir. Çünkü taşınma sırasında yapının hidrolik sistemlerle çekilmesi düzensiz oturmalardan kaynaklı hassas taşıma işlemini zorlaştıracak ve binada devrilme momenti oluşturacaktır. Taşınma hızı ve yapıyı bekletme süresi zemin oturmasını ve binada oluşacak eğilme momentini doğrudan etkileyecektir. Dolayısıyla, yapıların taşınma rotasında oluşabilecek oturma ve göçme güvenliklerini incelemek bina güvenliği açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda yapılan çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Koitzsch vd. (2008) yaptıkları çalışmada, Almanya'da bulunan Emmaus Kilisesinin SPMT araçlarıyla yeniden konumlandırılması sırasında taşınma rotasında karşılaşılan

problemler ve üretilen çözümler anlatılmıştır. Yapının bulunduğu bölgede zengin maden yataklarının olmasından kaynaklı Termik Santral yapılması kararlaştırılmıştır. Yapının kaldırma işlemi için taşıyıcı duvarlara dikey delikler açılarak yapının kaldırılması sağlanmıştır. Taşınma rotasında tren hattı, yüksek gerilim hattı, köprü, nehir ve menfez gibi zorluklar ile karşılaşılmıştır. Menfez üzerinden geçerken teker yüklerinin dağıtılması için ahşap tabliyeler kullanılmıştır. Ayrıca taşınma rotasında kayma riski olan eğimli arazilerden uzak durulmuştur.

Jia vd. (2011) yaptıkları çalışmada, on beş katlı tarihi betonarme bir binanın raylı sistemlerle taşınması sırasında yol güzergahında oluşabilecek zemin ve temel oturmaları incelenmiştir. Radye temelli yapının oturma kazıkları ile oluşturulan raylı sistem üzerinde taşınması sırasında kazıklarda oluşacak gerilme ve yer değiştirmeler numerik analiz metodu kullanılarak araştırılmıştır. Sonlu elemanlara ayrılan zeminde meydana gelecek oturma ve zeminin taşıma gücü parametreleri ile kazıklı sistemin verileri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kazıklı sistem kullanılması taşıma güvenliğini arttırmış ve oturmaları minimum miktarlara çekmiştir. Yapının yol boyunca yapacağı oturmalar ne kadar tahmin edilse de yeni temelin son kotunun taşıma işlemi bitince inşa edilmesinin daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Shang vd. (2017) yaptıkları çalışmada, Çin'de bulunan Tarihi Longxi Kulesi, yumuşak zemin üzerinde taşınma işleminin derin karıştırma kazıkları kullanılarak yapılması durumunda yapı hızı ve bekletilme süresi değişkenlerine bağlı olarak analiz edilmiştir. Derin karıştırma kazıklarının oturma miktarı, yapının yer değiştirme hızı ve bekletilme süresi ile doğrudan bağlantılı olduğu belirtilmiştir. Yer değiştirme hızının azaldığı ve bekletilme süresinin uzadığı durumda temel oturması ve deformasyon seviyesinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu proje için en uygun yer değiştirme hızı, kazık aralıkları ve uzunluğu belirlenmiş olup bu yöntemin kullanılması durumunda maliyetin düştüğü belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Taşınmaz Kültür Varlıkları (TKV) korunma durumu açısından diğer yapılardan ayrılırlar. TKV'lerin hem eski yapılar olması hem de toplumsal kodları barındırmış olması, taşınması sırasında daha dikkat ve özen gerektirir. Bu bağlamda TKV'lerin taşınması için yapılan analizler sonucunda taşınma metodunun hassasiyetle belirlenmesi gerekir.

TKV'lerin taşınması, mimari koruma, yapı mühendisliği, mekanik ve elektronik mühendisliği gibi, disiplinler arası çalışmayı gerektiren özgün bir uygulamadır. Bu çalışmada, TKV'lerin mevcut temeli, zemin özellikleri ve taşınma rotası gibi geoteknik özellikler yapıların korunma durumu da dikkate alınarak incelenmiştir. Yeni bina yapımından farklı olarak, yapı taşıma projesi inşaat yönetiminin maliyetini, süresini ve kalitesini büyük ölçüde belirleyen taşıyıcı destek kirişler, yapının ayrılması, taşınması ve yeni konumundaki temele bağlanması aşamalarında birçok özel teknik kullanılmaktadır. Tüm bu geoteknik parametreler belirlenirken çeşitli dış ve iç faktörler projenin sağlamlığı ve güvenilirliğinde belirleyici olmaktadır. Her taşıma projesinin kendine özgün şartları olduğundan bütün değişken parametreleri hesaba katmanın güçlüğü bulunmaktadır.

Bu çalışmada yöntem olarak bulanık mantık kullanılmıştır. Bulanık mantık, modellemenin karmaşık ve verilerin net olmadığı durumlarda süreçlerin kontrolünde kullanılan bir yöntemdir. Günlük yaşamda kullandığımız (az, çok, yüksek, alçak gibi) ölçüt kavramlarını başarılı bir şekilde analiz etmesiyle insan mantığına benzerlik göstermektedir.

Bulanık mantık, çok net olmayan önermelerin mantık çerçevesinde incelendiği bir yöntem olarak tanımlanabilir. Klasik mantığın kesin verileri arasındaki "kısmi doğru" kavramını da kapsayan bir üst kümedir (Zimmermann, 2011).

Bulanık mantık kavramı ilk olarak 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yayınlanan bir makalede ortaya konulmuştur. Zadeh, bulanık mantığı genel olarak şu şekilde tanımlamıştır (Zadeh 1965);

- Bulanık mantık kesin olmayan düşünme yani yaklaşık düşünmeye dayanır.
- Bulanık mantık sözel ifadelerle tanımlanır (büyük, küçük vb.).
- Bulanık mantıkta her şey [0,1] aralığında tanımlanır.
- Mantıksal olarak ifade edilen tüm sistemler bulanık olarak tanımlanabilir.

- Bulanık mantık matematiksel model oluşturmanın zor olduğu durumlarda oldukça yararlıdır.

Bu çalışmada Bulanık Mantık model verilerini oluşturmadan önce Hasankeyf özelinde gerçekleşmiş olan taşıma projeleri ve dünyadaki taşıma örnekleri geoteknik açıdan incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda örnek alana uyarlanabilecek genel mühendislik yaklaşımları sistematize edilmiştir. Elde edilen kurallar girdi ve çıktı parametreleriyle birlikte Excel tablosuna işlenmiştir.

Bulanık mantık verileri, MathWorks tarafından geliştirilen Matlab programlama dili R2021a sürümünde bulunan Bulanık Mantık Araç Kutusu (Fuzzy Logic Toolbox) kullanılarak programa işlenmiştir. Karmaşık matematik hesaplamalarının yapılabildiği Matlab, 2 ve 3 boyutlu görsel grafikler de oluşturabilmektedir. Bulanık mantıkta elde edilen veriler grafiksel olduğundan Matlab programı tercih edilmiştir.

Yığma, ahşap ve betonarme yapılar zemin türü, deprem özellikleri, taşıma güzergahı, strüktür özellikleri ve temel cinsi dikkate alınarak uygulanan taşıma aşamaları tablolara işlenmiştir. İşlenen veriler benzer durumlarla karşılaştırılıp kurallar oluşturulmuştur. Kurallar oluşturulurken bilgi kaynağının sağlamlığı da dikkate alınarak literatürde uygulanmış veya test edilmiş çalışmalar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Hazırlanan bulanık mantık kurgusu Batman'ın Hasankeyf ilçesinde bulunan ve Ilısu barajının suları altında kalmaması için 2017 yılında taşınan Zeynel Bey Türbesi'nde test edilmiş ve çıkan sonuçlarla yapılan taşınma projesi risk analizi bağlamında karşılaştırılmıştır.

3.1. Bulanık Mantık

Günlük yaşamda tahmininde zorlandığımız kesin olmayan durumlarla karşılaşırız. Bu durumlarda, önceden planlanmış sayısal tahminler yapılabilmesi için bazı kabuller ve varsayımlar yapılmalıdır. Bulanık mantığın keşfedilmesinden önce yapılan mühendislik çalışmalarında, bu gibi varsayım ve kabulleri kesinlik ile ifade edebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bulanık mantık ve yapay zekanın kullanımından önce, belirsizliklerden anlamlı sonuçlar çıkarabilmek için ihtimaller teorisi kullanılmıştır. Bu teori mühendislik ve matematikte, istatistik yöntemleri kullanarak belirsizlikleri çözmüştür.

Mühendislikte karşılaşılan belirsizliklerin tesadüf ve rastgele olmadığına, sözel belirsizliklerle yapılan sonuç odaklı uygulamalarda, ihtimal teorisi ve istatistik gibi

sayısal belirsizliklerin kullanılmaması örnek olarak gösterilebilir (Şen, Zekai, 2001). Bir sistem hakkında ne kadar çok bilgi sahibi olmak, sistemi o derece anlaşılır kılar, sistemin karmaşıklığı azalır ancak tam olarak bitmez. Yeterli miktarda veri olmaması sistemin karmaşıklığını arttıracaktır. Bu tarz sistemlerin çözümünde bulanık mantık uygulanması, faydalı ve anlamlı çıkarımlar yapmamızı sağlayabilir (Şen, Z., 2004)

Bulanık küme kavramı, Berkeley'deki California Üniversitesi'nde Profesör ve Elektrik Mühendisliği Bölüm Başkanı olan Lotfi Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiştir. Bulanık mantık, her şeyin dereceler ile kabul edildiği fikrine dayanır: sıcaklık, yükseklik, hız, mesafe, güzellik gibi hepsi değişken bir ölçeği ifade eder. Örneğin; “Tom çok kısa bir adam”, “Motor gerçekten çok sıcak çalışıyor”, “Elektrikli arabalar çok hızlı değil” (Negnevitsky, 2011).

Zadeh (1965), bulanık kümeleri, klasik ikili mantığın kesin üyeliğinden ziyade üyelik derecelerine dayalı bilgi temsili için bir dizi matematiksel ilke olarak tanımlamıştır. Sonuç olarak bulanık mantık, insan düşüncesinde, iletişiminde, bilgisinde ve soyutlamasında önemli bir role sahiptir. İnsan yargısını ve karar vermesini modellemek için bulanık sistem yaklaşımı kritik özelliklere sahiptir. Aksine, net kümeler için, bulanık sistemlerin uygulamaları, üyeleri [0, 1] aralığı arasında bir dereceye kadar kendisine ait olan bir bulanık küme kavramını kullanır. Derece, üyelik derecesi olarak tanımlanır ve [0, 1] aralığında gerçek bir sayı olarak belirtilir (Özyurt, 2010). İki değerli “*Boole*” mantığının aksine, bulanık mantık çok değişkenden oluşur. Üyelik dereceleri ve doğruluk dereceleriyle ilgilenir (Şekil 3.1). Bulanık mantık, 0 (tamamen yanlış) ile 1 (tamamen doğru) arasındaki mantıksal değerleri kullanır (Negnevitsky, 2011).

Şekil 3.1. Boole ve bulanık mantıktaki değerler aralığı (a)İki değişkenli; (b) Çok değişkenli (Korumaz, 2015)

Iliadis (2005), kesin küme ve bulanık küme fonksiyonlarını şu şekilde tanımlamaktadır;

Kesin kümelerde, $\mu(X) = 1$ eğer $X \in S$,

$$0 \text{ eğer } X \notin S$$

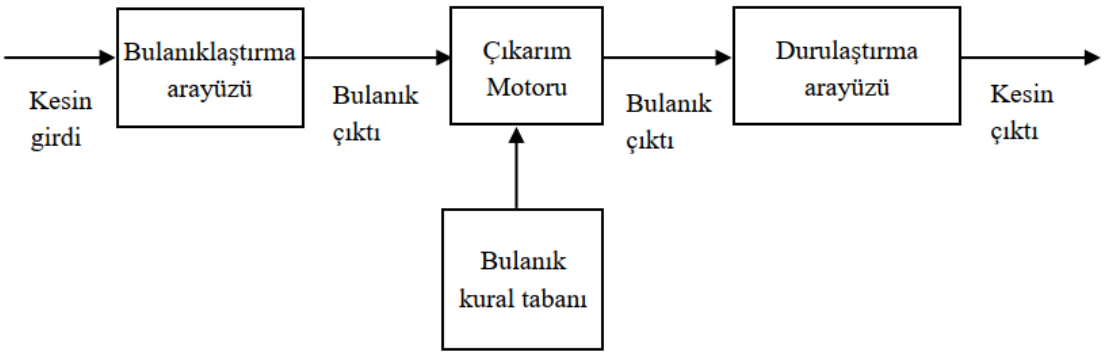
Bulanık kümelerde 0 ile 1 arasındaki tüm X üyeleri farklı üyelik derecesine sahiptir;

$$\mu(X) - [0, 1]$$

3.1.1. Bulanık uzman sistemi

Uzmanlar, muğlak terimler de dahil olmak üzere sorunları çözerken genellikle sağduyuya güvenirler. Bulanık teorinin kökü dilsel değişkenlere dayandığından, uzman bilgisini bir bilgisayarda temsil etme fikri araştırmacıları bulanık mantığa yönlendirir. Bulanık teori kullanan bilgiye dayalı karar verme modeli, bulanık uzman sistem olarak tanımlanır. Bu çalışmada uzman sistemi olarak şimdiye kadar yapılmış olan bütüncül taşınma çalışmalarından kurallar çıkarılarak bir metot geliştirilmiştir. Negnevitsky (2011), bulanık bir uzman sistemin beş ana adımı olduğunu tanımlar:

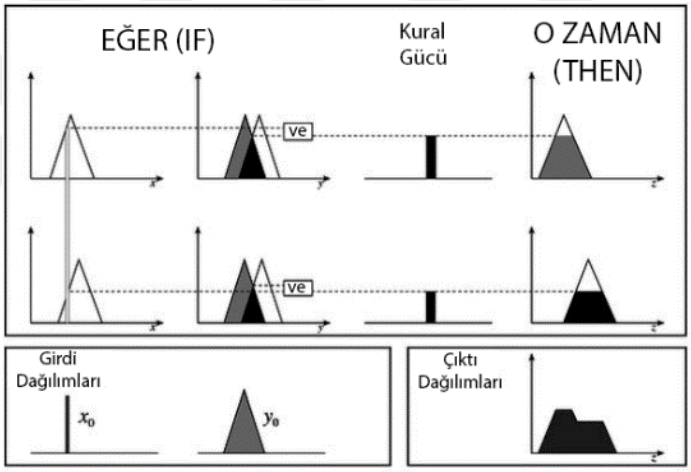
1) Problemi belirleyip dilsel değişkenlerin tanımlanması,
2) Bulanık kümelerin belirlenmesi,
3) Bulanık kurallar oluşturulması,
4) Bulanık çıkarımı gerçekleştirmek için bulanık kümelerin ve bulanık kuralların kodlanması,
5) Sistemin değerlendirilip ayarlanması.



Şekil 3.2. Bulanık uzman sistem modeli (Nilashi vd, 2011)

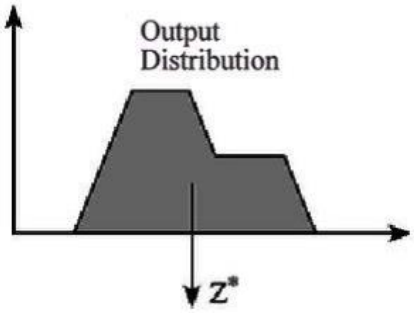
Her adım arasındaki ilişkiler, Şekil 3.2'de gösterilen bulanık uzman sistem yapısını oluşturur. Ana bileşenler bir bulanıklaştırma arayüzü, bir bulanık kural tabanı (bilgi tabanı), bir çıkarım motoru (karar verme mantığı) ve bir durulaştırma arayüzüdür. İlk süreç, girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanıklaştırıldığı bulanıklaştırmadır. Bulanıklaştırma aşamasında, girdi değişkenlerinin ait olma derecesi

belirlenir. Kural tabanı bileşeninde, dilsel değişkenler kullanılarak eğer- o zaman (if-then) kuralları şeklinde bulanık kurallar belirlenir. Bulanık bir kural şu şekilde tanımlanabilir: "Eğer x A ise O ZAMAN y B'dir" burada x ve y dilsel değişkenlerdir ve A ve B, bulanık kümeler tarafından belirlenen dilsel değerlerdir. Bulanık eğer-ise kuralları ve bulanık muhakeme, bulanık küme teorisine dayalı en önemli modelleme araçları olan bulanık uzman sistemlerin temelini oluşturur. Çıkarım motoru, her kuralın sonucunu hesaplar (Nilashi vd., 2011). En yaygın olarak kullanılan bulanık çıkarım tekniği Mamdani yöntemidir (Negnevitsky, 2011). Şekil 3.3'de gösterilen Mamdani yönteminde, kural gücünü sağlamak ve birden fazla bulanık girdiyi bulanık hesaplamalarla birleştirmek için minimum operatör kullanılır. Çıkış üyelik fonksiyonunda ise, bulanık girdiyi hesaplamak için maksimum operatör kullanılmaktadır (Cook, 2007).



Şekil 3.3. İki girişli, iki kurallı Mamdani bulanık çıkarım sistemi (Cook, 2007)

Son olarak durulaştırma aşamasında bulanık çıktı kesin çıktıya dönüştürülür. Durulaştırma yöntemleri arasında en çok tercih edileni, bulanık çıktının kütle merkezine karşılık gelen bir kesin sayı bulmaya dayanan *centroid* tekniğidir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kütle merkezini kullanarak durulaştırma (Bayri, 2018)

4. TEMEL KAVRAMLAR

4.1. Taşınmaz Kültür Varlığı

Uzmanlar, muğlak terimler de dahil olmak üzere sorunları çözerken genellikle sağduyuya güvenirler. Bulanık teorinin kökü dilsel değişkenlere dayandığından, uzman bilgisini bir bilgisayarda temsil etme fikri araştırmacıları bulanık mantığa yönlendirir. Bulanık teori kullanan bilgiye dayalı karar verme modeli, bulanık uzman sistem olarak tanımlanır. Bu çalışmada uzman sistemi olarak şimdiye kadar yapılmış olan bütüncül taşınma çalışmalarından kurallar çıkarılarak bir metot geliştirilmiştir. Negnevitsky (2011), bulanık bir uzman sistemin beş ana adımı olduğunu tanımlar:

1) Problemi belirleyip dilsel değişkenlerin tanımlanması,
2) Bulanık kümelerin belirlenmesi,
3) Bulanık kurallar oluşturulması,
4) Bulanık çıkarımı gerçekleştirmek için bulanık kümelerin ve bulanık kuralların kodlanması,
5) Sistemin değerlendirilip ayarlanması.

Anıt, yapı grupları, tek yapı, peyzajlar, tarihsel yerleşmeler ve bunlara ait tüm bileşenleri kapsayan kavramlar bütününe Kültürel Miras denilmektedir. 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu'nda, "*Tarih öncesi ve tarihi devirlere ait bilim, kültür, din ve güzel sanatlarla ilgili bulunan veya tarih öncesi ya da tarihi devirlerde sosyal yaşama konu olmuş bilimsel ve kültürel açıdan özgün değer taşıyan yer üstünde, yer altında veya su altındaki bütün taşınır ve taşınmaz varlıklardır*" olarak tanımlanmaktadır. Kültürel Miras ise "Taşınabilir Kültür Varlıkları" ve "Taşınmaz Kültür Varlıkları" olarak iki başlıkta ele alınmaktadır (Alioğlu, 2013).

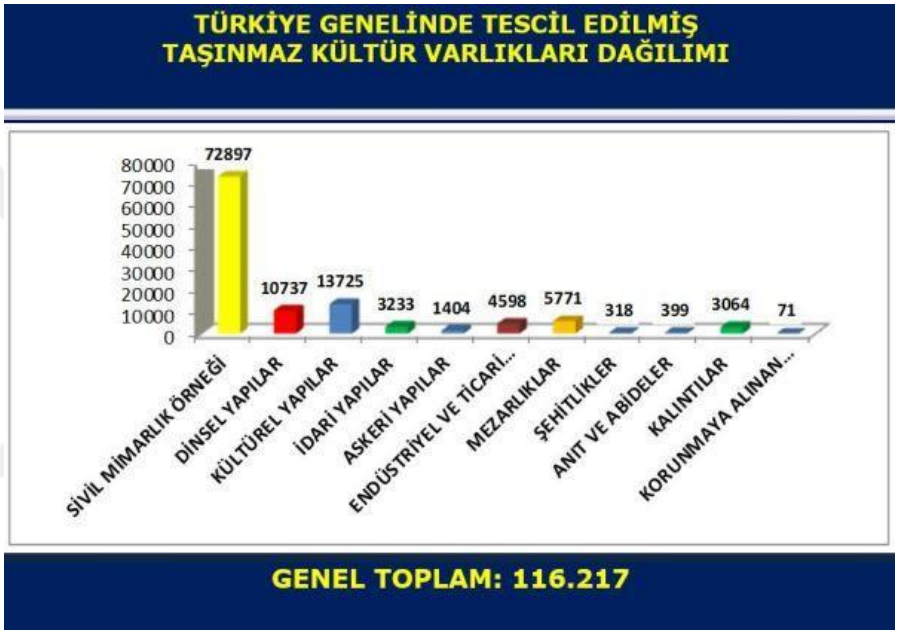
Taşınabilir kültür varlıkları, çini, seramik, dokuma, mobilya, el yazması, fosil vb. mimari ve kent ölçeğindeki elemanları, arkeolojik eserleri, endüstriyel ve tarımsal eşyaları kapsayan tarihsel özellikteki malzemelerden oluşmaktadır. Ayrıca taşınmaz bir kültür varlığının yıkılması durumunda ortaya çıkan parçalar taşınabilir kültür varlığına dönüşebilir.

Taşınmaz kültür varlıkları, 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu'nda;

- Yazılı, resimli ve kabartmalı yazılar, resimli mağaralar;
- Hisar, kale, sur, burç, tarihi kışla;

- Kervansaraylar, han, hamam ve medreseler;
- Köprüler, su yolları, su kemerleri, kümbet, türbe, kitabeler;
- Tarihi yol kalıntıları, dikili taşlar;
- Tarihi saraylar, evler, köşk ve yalılar;
- Camiler, mescitler, çeşme ve sebiller; vb. yapılar taşınmaz kültür varlığı olarak kabul edilmektedir (Resmi Gazete 1983).

Türkiye'de korunması gereken TKV'lerin sayısı Şekil 4.1'de gösterilen Kültür ve Turizm Bakanlığının 2020 yılı verilerine göre 116.217 adettir.



Şekil 4.1. Türkiye'de korunması gereken taşınmaz kültür varlıklarının 2020 yılı istatistiği (URL-5)

4.2. Kültür Varlıklarının Koruması

Anadolu toprakları yüzyıllardır birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Tarih boyunca yaşamış olan topluluk ve medeniyetler yaşam alışkanlıklarını, deneyimlerini, inşa ettikleri yapıları kendilerinden sonraki nesillere aktarmışlardır. İlk çağlardan beri gelen her devlet, varlığı günümüze kadar sürecek olan yapılar inşa etmişlerdir. Dolayısıyla, TKV'ler inşa edildikleri dönemin, hayat standartlarını, bilim ve sanat değerlerini, mimari üslubunu ve zaman içerisinde yapılan restorasyonlarla değişim sürecini anlatırlar. Bu bağlamda, geçmişteki bilgiyi gelecek kuşaklara aktarabilmek için TKV'lerin korunması gerekmektedir.

TKV'ler her ülkenin kendi envanterine belirli yasalarla kaydedilebilirler. Örneğin, Amerika'da Ulusal Tarihi Yerler Kaydı (NRHP) (Ahunbay, 2014), Finlandiya'da 'Yapılmış Mirasın Korunması Yasası (Etusivu, 2015), kapsamına giren bir liste vardır. Bu yasalarla yapının özgünlüğü korunmakta ve korunma şekli ile ilgili düzenlemeler anlatılmaktadır (Verstichele, 2020).

Türkiye'de TKV'lerin korunması için Avrupa Konseyi ve UNESCO'nun birçok kararını, Avrupa Mimari Mirası Koruma Sözleşmesini (1985), Venedik Tüzüğünü (1964), Avrupa Arkeoloji Mirasının Korunması Sözleşmesi'ni (1992), Dünya Kültürel ve Doğal Mirası Koruma Sözleşmesini (1972) yasallaştırarak iç hukuk belgesi haline getirmiştir. Ancak, Osmanlı döneminden beri günümüze yasal ve örgütsel düzenlemelere sahip olan Türkiye'de koruma alanını düzenleyen kimi yasa ve yönetmelikler korumayı doğrudan ya da dolaylı olarak tehdit eden nitelikte hükümler içerdiğinden Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi (2013) hazırlanmıştır (ICOMOS 2013).

Bu bildirgede yapıların korunmasına dair birçok konuya değinilmiş ve yapının bütünlüğü kavramı *"Mimari mirasın yapısal ve mimari olarak bir bütün tanımlaması ve miras olma durumunu belgeleyen tüm unsurları ile var olması durumudur. Bütünlüğün diğer bir boyutu ise, mimari mirasın içinde varlık kazandığı çevre ve diğer miras unsurlarıyla birlikte süreklilik göstermesi şeklinde anlaşılmaktadır."* olarak tanımlanmıştır. Bununla beraber, kültür varlıklarının taşınarak korunması kavramı *"Taşınmaz kültür varlıkları ve parçalarının, bulundukları yerlerde (in-situ) korunmaları esastır. Ancak, taşınmaz kültür varlıkları için açık ve ortadan kaldırılamaz bir tehdit söz konusuysa ya da bilimsel olarak kanıtlanmış ve seçeneği olmayan toplumsal bir yarardan ötürü başka bir yere nakil zorunluluğu varsa ve bu işlem mümkün ise, hazırlanacak projelere göre taşıma işlemi gerçekleştirilebilir."* şeklinde tanımlanmıştır.

Yapının korunmaya ve dolayısıyla listelenmeye değer olup olmadığına karar vermek için yapı ve tarihi hakkında kapsamlı bir çalışma yapılmalıdır. Tarihi binaların adaylığı bir komisyon tarafından yapılır ve bu komisyon yerel, ulusal veya uluslararası düzeyde olabilir. Ana kriterler yaş, bütünlük ve önemden oluşur. Doğal olarak, bir binanın tarihi olarak nitelendirilmesi için belirli bir yaşı olması gerekir. Yapı bütünlüğü, orijinal karakterine ve görünümüne hala sahip olması gerektiği anlamına gelir. Yapının önemi ise, yapının geçmişte önemli olan olaylarla, kişilerle, faaliyetlerle, gelişmelerle bağlantılı olduğu anlamına gelir (Ahunbay, 2014).

4.3. Taşınmaz Kültür Varlıklarının Taşıyıcı Sistem Çeşitleri

TKV'lerin bütüncül olarak taşınırken yapı bütünlüğünün bozulmaması ve yapının göçmemesi birincil önceliktir. Bu amaçla yapının taşınması sırasında oluşabilecek ek iç kuvvetlerin hesaplanması ve yapının strüktürel analizinin yapılması gerekir.

TKV'ler taşıyıcı sistemlerine göre gruplandırılırsa;

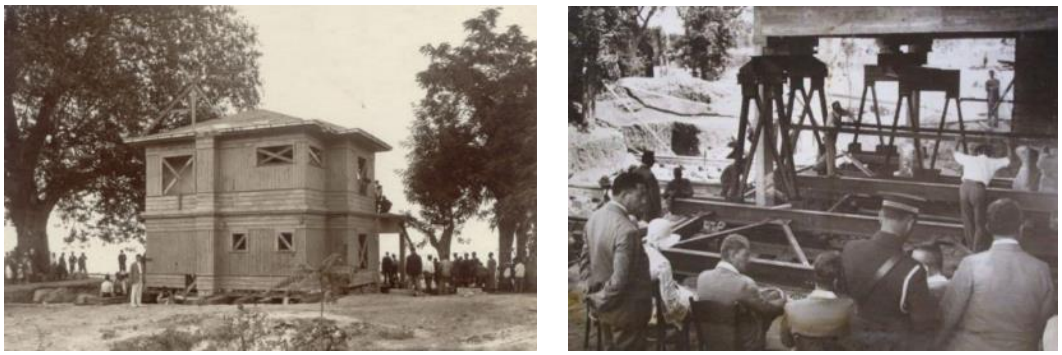
- Ahşap
- Kerpiç
- Çelik
- Yığma-kârgir
- Betonarme
- Karma yapılar olarak sınıflandırılabilir.

Günümüze kadar ulaşmış olan tarihi yapılarda genellikle yığma yapı tekniği kullanılmıştır. Hem yatay hem dikey yüklerin taşıyıcı duvarlar ile taşındığı yapılara yığma yapı denilmektedir. Dünyadakine benzer olarak Türkiye'de de tarihi yapıların büyük bir kısmı yığma olarak inşa edilmiştir. Ancak ahşap ve betonarme yapılar da görülmektedir. Örneğin, Şekil 4.2(a)'da gösterilen Saint Antuan Kilisesi, 1906 yılında Türkiye'de inşa edilen ilk betonarme yapıdır. Türkiye'nin ilk çok katlı betonarme yapısı ise, Şekil 4.2(b)'de gösterilen ve 1922 yılında inşası tamamlanan İstanbul'daki Crawne Plaza Otel binasıdır. Ahşap yapıya örnek olarak, Yalova'da 1930 yılında raylı sistemlerle 5 metre kaydırılan Şekil 4.3'deki yapı gösterilebilir (Özer ve İnel, 2021).

(a) St. Antuan Katolik Kilisesi (İstanbul)

(b) Crowne Plaza Hotel (İstanbul)

Şekil 4.2. Türkiye'de inşa edilen ilk tarihi betonarme yapılar



Şekil 4.3. Türkiye'de inşa edilip raylı sistemlerle taşınan tarihi bir ahşap yapı, Yürüyen Köşk (1929) (Özer ve İnel, 2021)

4.4. Taşınma Yöntemleri

Yapıların taşınma yöntemi belirlenirken, tarihi açıdan önemli binalar ile normal binalar arasında bir ayrım yapılmalıdır. Tarihi öneme sahip binalar, yalnızca bir koruma amacı olarak taşınmalıdır. Tarihi olmayan binaların taşınmasının çeşitli nedenleri olabilir.

Yapıların yerini değiştirmek, dünyanın en eski ve en büyük geri dönüşüm endüstrisidir. Binaları yeniden yerleştirme geleneği yüzyıllardır mevcuttur, ancak bu durum ülke ve kültürlerde farklılık gösterebilmektedir. Bir yapıyı taşımak, sıfırdan yeni bir yapı inşa etmekten genellikle daha basit ve daha ucuz olduğundan dolayı binaların taşınması, 18. yüzyılın sonlarından beri Amerika Birleşik Devletleri'nde çok yaygınlaşmıştır (Curtis, 1979). Çin'de hızlı nüfus artışı ve ardından gelen kontrolsüz kentleşme nedeniyle, sayısız tarihi alan kaybedilmiştir. Bu nedenle 1990'lı yıllardan itibaren Çin'de tarihi yapıların taşınması yıkılmaya tercih edilen bir alternatif haline gelmiştir (Lo, 2017). Tayvan'da ise, aileler nedensiz yere bir dizi talihsizlikle karşılaştığında, çözümü yapıların yönünü değiştirmekte bulmuşlardır (Su & Wang, 2006). Yani, yapıların taşınması, bilinen bir yapı koruma yöntemi haline gelmiş ve şu anda tüm dünyada çeşitli nedenlerle bina yer değiştirmeleri yapılmaktadır. Günümüzde, bina yer değiştirmelerinin en yaygın nedenleri, kentsel dönüşüme uyum sağlamak ve yapıyı doğanın tahribatından korumak olabilir.

Bir yapının yerini değiştirmenin üç ana yolu bulunmaktadır:

- Yapının komple sökümü ve aynı malzemelerle yeniden yapımı
- Yapının kısmi parçalara bölünerek taşınması
- Hareketli bir araç üzerinde bir bütün olarak taşınması olarak sıralanabilir.

Doğru yöntem ve tekniklerin seçilmesi birçok faktöre bağlıdır. Yapının yeni konumu, taşınma mesafesi ve rotası en önemli faktörlerdir. Ancak gelişen teknoloji ve taşınma sürecinin uzmanlaşmasıyla birlikte, neredeyse her tür yapı için az hasarlı çözümler mümkün hale gelmiştir. TKV'lerin mimari ve strüktürel özelliklerinin, taşıma işleminden sonra da bozulmadan sürdürülmesi, yöntemin seçimi ve uygulanmasında temel kriter olmalıdır.

Tarihi yapıların taşınmasında, eserin sökülüp tekrar birleştirilerek taşınması yerine yapılacak en uygun yöntem bütüncül olarak taşınmasıdır. Parçalara ayırarak sökülüp taşınmaları halinde, özgünlük gibi birçok açıdan değer kaybına uğrarlar. Söküp takma sistemi, özellikle yığma yapım sistemiyle inşa edilen yapıların statik durumlarını genel anlamda olumsuz etkiler. Ayrıca bu taşıma işleminden sonra bu gibi yapılar deprem gibi yükler karşısında dayanıksız hale gelebilmektedir. Bu tarz yapılar, taşınmadan önce birçok açıdan (yapı malzemesi, yapının boyutları, geometrisi, strüktürel durumu, yapı malzemelerinin dayanımı vb.) analiz edilmeli ve detaylı olarak incelenmelidir. Özellikle kültür varlığı niteliğindeki tarihî anıtların taşınmasında temel yöntem veya prensip, taşınacak yığma yapıya yeni bir temel sistemi entegre edilmesi ve yapının sağlıklı bir şekilde taşınması ilkesine dayanmaktadır.

4.4.1. Numaralandırılarak yapı elemanlarına ayırarak taşıma

Tarihî bir yapının tüm parça ve bileşenlerinin numaralandırılarak sökülüp birleştirilmesi ve tekrar kurulması aşamalarında izlenecek yöntem ve çalışmalardır. Bu tür çalışmalara ve bu aşamada izlenecek yöntemlere bakıldığında çok karmaşık olduğu görülür. Bu yüzden bu tür çalışmalarda çok dikkatli olunması, planlama ve belgelendirmenin çok titizlikle yapılması önemlidir. Yapı taşınmadan önce yapının ayrıntılı rölövesi çıkarılmalı, yapının bütün detayları, fotoğraf ve video çekimleriyle kaydedilmelidir. Söküm aşamasından önce yapının iç/dış cephelerinde bulunan tüm bileşenleri iç ve dış taraftan numaralandırılmalı, yatay/düşey düzlemdeki komşuluk ilişkileri de yazılmalıdır (Ahunbay, 2014).

Dolayısıyla bir tarihi yapının söküp takma şeklinde taşınmasında en önemli aşama sökme aşamasıdır. Taş yapılardan oluşan ve kâgir yapı şeklinde olan tarihi yapının sökme aşamalarına özellikle dikkat etmek gerekmektedir (Şekil 4.4). Sökme ve birleştirme aşamasında özellikle bazı yapılarda malzeme kaybı, ufalama, aşınma gibi durumlar önlenemez. Bu tür yapılar genelde, duvar kaplama malzemeleri ve mimarî

süsleme detayları; *kireç, çimento esaslı harçlar vb*. malzemelerden oluşan yapılar. Bu yapıların sökülüp taşınmasında oluşan malzeme kayıpları, boyalarında aşınma, hasar oluşma vb. birçok açıdan özgünlüğünden değer kaybetmesine yol açacaktır (Curtis, 1979).

Şekil 4.4. Hasankeyf - Süleyman Han Camii minaresinin numaralandırılarak sökümü (solda) ve yeniden inşa edileceği Arkeopark alanında istiflenmesi (sağda) (URL-7)

Tarihi yapıların taşınmasında en önemli aşamalardan birisi sökülen parçaların gerekli işaret ve numaralandırılmalarının çok dikkatli yapılması ve düzenli bir şekilde istiflenmesi gerekmektedir. Bu aşamada hassas olan parçaların bazı özel teknikler ile paketledikten sonra muhafaza sandıklarında korunması ve güvenli bir şekilde taşınması da önem arz etmektedir (Şekil 4.5).

Şekil 4.5. Pertek-Tunceli Sungur Bey Cami, Numaralandırılarak sökümü yapılıp yeni yerinde montajı tamamlanan duvar kaplamaları (URL-8)

Ahşap yapılar söküp takma işlerinde yığma yapılara göre daha az zarar görürler. Bunun nedenlerinden birisi ahşap yapıların sökülüp takılması ve montajının yapılmasının ahşabın bütüncül yapısından dolayı daha kolay bir işlem olmasıdır. Bu nedenle, söküp takma işleminde ahşap yapı daha az zarar görmekte ve malzeme kaybı

daha az olmaktadır. Ancak bunula berber ahşap yapının da bağlantı elemanlarında kayıpların yaşanılması olasıdır.

Diğer taraftan bazı yapıların numaralandırılarak söküp takma işlemi kullanılarak taşınması mümkün görünmemektedir. Düzenli bir örgüye ve boyuta sahip olmayan, çeşitli cins ve büyüklükteki doğal taşlardan oluşan yapılar ile moloz taşlarla yapılmış yapılar bu teknik ile taşınamaz. Çünkü sökme/takma sırasında birbirinden ayrılan parçaların tekrar aynı kurgu ve düzen ile bir araya getirilmesi zor görünmektedir. Bu açıdan bu tür yapılar bloklar hâlinde kesilerek veya bütüncül bir şekilde taşınması daha uygundur.

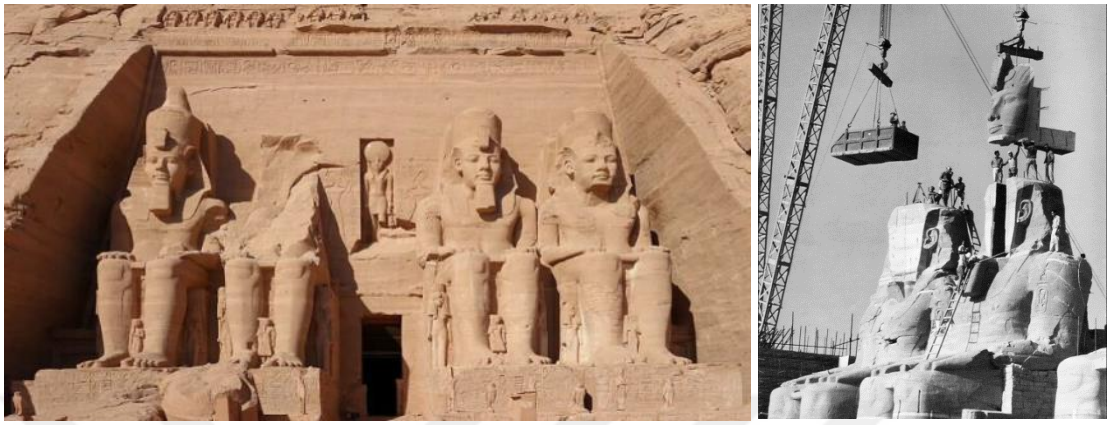
4.4.2. Parçalar halinde taşıma

Daha önce değinildiği gibi tarihi ve kültürel varlıkların taşınmasının tek parça hâlinde yapılması ilkesel olarak benimsenmesi gereken ilk yöntemdir. Ancak bazı özel durumlar bu şekil bir yönteme olanak vermeyebilir. Bu gibi durumlarda bu tür yapıların parçalara ayırarak bloklar hâlinde taşınmasını kaçınılmaz kılabilmektedir. Parçalar ve bloklar halinde taşıma ile bütüncül taşıma kıyaslandığında; parçalar halinde taşımanın daha zor, karmaşık ve daha fazla zaman ve maliyete sebep olduğu açıktır. Taşınmada yapının özelliğine bakmak önemlidir. Yapının malzemesine, bağlantı yerlerine vb. tüm fiziki yapısı kontrol edildikten sonra en uygun taşıma yöntemi seçilmelidir (Şekil 4.6).

Şekil 4.6. Moloz duvarın bloklara ayrılarak vinçler yardımıyla taşınması, Kadıköy-Söğütlüçeşme otopark inşaatı (URL-9)

Nil nehrine yapılan bir barajdan dolayı yok olma tehlikesiyle karşılaşan Mısır'daki Ebu Simbel Tapınağı başka bir konuma taşınmak zorunda kalmıştır. Önemli bir tarihi

geçmişe sahip olan 250 bin tonluk anıt, baraj sularından uzak bir konuma parçalar halinde özenle kesilerek taşınmıştır. 19 ayda tamamlanan birleştirilme işlemine, dünyanın birçok noktasından uzman ekipler katılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Mısır'daki Ebu Simbel Tapınağı taşıma işlemi (1971) (URL-6)

TKV'nin parçalar hâlinde taşıması aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda belirtilmiştir:

- Tüm kültür varlıklarının parça veya bloklar hâlinde taşıma yönteminde rölövelerin çıkarılması, detaylı fotoğraflanması ve kamera kayıtlarının eksiksiz ve titiz bir biçimde saklanması gerekmektedir.
- Yapının taşıma aşamasından önce yapının mevcut korunma durumunu gösterir konservasyon raporu hazırlanmalı ve yapının stabil hâle getirilmesine yönelik sağlamlaştırma çalışmaları titizlikle yapılmalıdır. Yapının olası eksik yönleri (duvar örgüleri, derz onarımları vb.) tamamlanmalıdır (DSİ, 2017).
- Özellikle yığma yapılarda bütüncül taşıma işleminde bazı işlemlere dikkat etmek gerekir. Örneğin hassas bir denge üzerinde, zayıf strüktür üzerinde gelişen bir yapı için bütüncül taşıma riskli olabilmektedir. Böyle bir durumda yapı, bloklar hâlinde kesilerek taşınması oluşabilecek muhtemel riskleri de azaltacaktır.
- Bloklar halinde kesim yapılarak taşınacak yapının yer aldığı topoğrafyada yapı ile bitişik doğal çevre formasyonlarının (kaya, yamaç, tepe vb.) bulunması durumunda göçme, devrilme gibi risklere karşı yapının etrafında geçici destek sistemleri inşa edilmesi önemlidir.

- Yapı bölümlerinin parçalara ayrılacak bölümleri ve kesim hat ve noktaları, restorasyon projesinde gösterilmeli, kesim hatlarının mimari detaylara, süsleme unsurlarına vb. denk gelmesine dikkat edilmelidir.
- Yapı parçalara ayrılırken mümkün olan en az parçaya bölünmesi her açıdan önemlidir. Bu durum yapının taşınmasında ve birleştirmelerinde kolaylığa sebep olmaktadır.
- Sökülen parçaların güvenle taşınması için metal veya ahşaptan taşıyıcı kafes sistemlerinin kullanılması önemlidir (Şekil 4.8).

Şekil 4.8. Hasankeyf Orta Kapı; üç parça halinde taşınan yığma yapının, çelik kafes detayı ve uygulaması (Demirtaş, 2016) (URL-10)

- Taşınacak yapının tüm kesim hatları belirlendikten sonra tüm parçalar içeriden ve dışarıdan numaralandırılmalı, birleşim yerleri işaretlenmelidir.
- Kesim sırasında muhtemel devrilme, yıkılma durumlarına karşı yapıya hem içeriden hem de dışarıdan geçici destek mekanizmaları kurulmalıdır.
- Taşınması parçalar hâlinde olacak bir yapının kesim işlemleri duruma göre yatay ya da düşey düzlemde veya her iki yönde gerçekleştirilebilir. Düşey yönünde ayırıldığında üstteki parça, altta bulunan parçadan belli bir mekanizma kullanılarak hidrolik kriko ile kaldırılması ve böylece oluşabilecek zarar veya tahribat önlenmeye çalışılmalıdır.

- Yapının kesim işlemi her zaman uzman ve deneyim sahibi personel tarafından ve en uygun araçlarla (karot makinası, tel/halatlı kesme makinası, disk kesme makinaları vb.) gerçekleştirilmelidir (Şekil 4.9, Şekil 4.10).

Şekil 4.9. Karot makinası ve halatlı (telli) kesme makinası uygulama aşaması (Zhao vd., 2012)

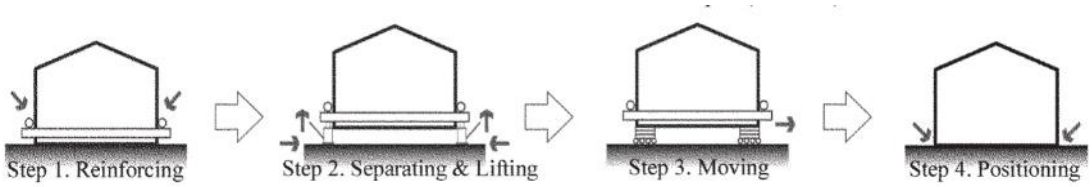
Şekil 4.10. Marmaray Üsküdar şantiyesi disk kesme makinası yardımıyla anıt kalıntısının kesilerek parçalara ayırma işlemi (URL-9)

4.4.3. Bütüncül taşıma

Bütüncül yapı taşınması, ana yapı bütünlüğünü ve kullanım işlevini bozmadan mevcut konumundan başka bir konuma taşınması olarak tanımlanabilir. TKV'lerin bir bütün olarak tek parça halinde taşınması, uygulamada ilk seçenek olarak tercih edilmelidir. Bütüncül taşıma aşamaları Şekil 4.11'de gösterildiği gibi genel olarak 4 adımdan oluşmaktadır.

- Destek sisteminin oluşturulması
- Yapının zeminden ayrılması ve kaldırılması
- Yeni konumuna taşınması

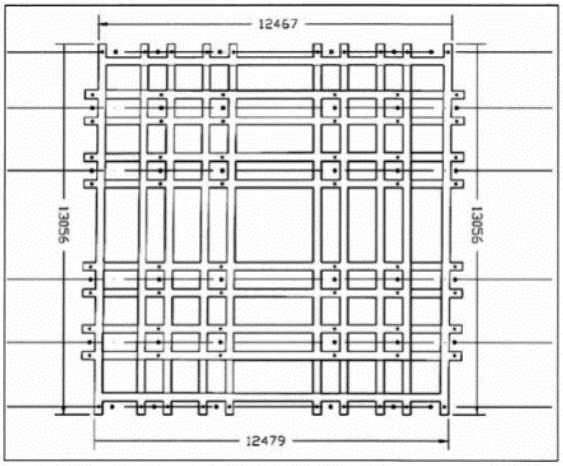
- Yeni konumuna yerleştirilmesi olarak sıralanabilir.



Şekil 4.11. Yapı taşıma aşamaları (Su ve Wang, 2006)

Kâgir yapı sistemine sahip bir kültür varlığının taşınmasındaki aşamalar ise kısaca şu şekildedir:

- Öncelikle stabilitenin ve yapısal bütünlük için yapıya yeni bir çerçeve temel-kiriş sisteminin (underpinning) entegre edilmesi (Şekil 4.12),
- Daha sonra yapının zeminden koparılarak kaldırılması ve özel taşıma kullanılarak yeni yerine nakledilmesi (Demirtaş, 2016).



Şekil 4.12. Artuklu Hamam'ının temeline entegre edilen betonarme temel-kiriş sistemi ve krikoların yerleşim planı **(Demirtaş, 2016)**

Genel anlamda strüktürel bütüncül taşımada yaklaşım şudur: Günümüzde geçerli korumacılık kuramları ve ilkeleri çerçevesinde taşınmaz kültür varlığının korunması amacıyla ileri mühendislik tekniklerinin kullanılması ve bu şekilde kültür varlığının taşınması esnasında oluşacak deformasyonların önlenmesi önemlidir. Ayrıca düşey ve yatay yüklerin dağılımının çok titiz bir şekilde dengeli olmasına dikkat edilmesi de gerekmektedir. Bu yaklaşımda öncelikli amaç ve ilkeler şunlar olmalıdır:

- TKV'nin özgünlüğünün korunması,
- Taşınmazın yerleştirileceği yeni konumun uygunluğu,

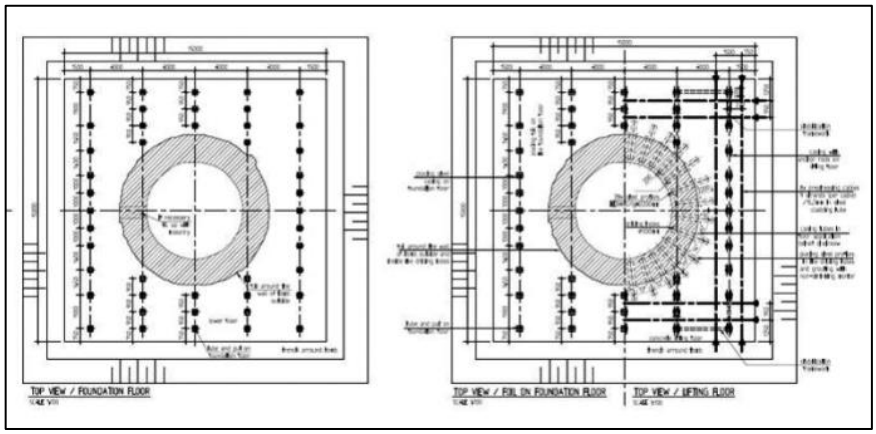
- Taşınmazın yapısı ve strüktürel olarak taşınabilirlik analiziyle birlikte tasarlanması ve değerlendirilmesi.

Bütüncül taşımada taşıma yoluna bağlı olarak dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda belirtilmiştir:

- Taşıma mesafesi kısa ve arazi yapısı uygun ise yapı, arazinin sabit eğimine uygun olarak döşenen beton veya çelikten imal edilmiş raylar üzerinde kaydırılarak taşınmalıdır.
- Taşıma mesafesi dikkate alınarak taşıma tasarlanmalıdır. Mesela taşıma mesafesinin uzun olması veya ray sisteminin teşekkül edilememesi durumunda, taşıma işlemi lastik tekerlekli özel taşıyıcılar (SPMT, mobil vinçler, tır veya çekici vb.) kullanılarak yapılmalıdır.
- Taşıma işleminde modern donanım ve araçların tercih edilmesi, yapının taşınması sırasında maruz kalacağı dinamik yüklerin etkisini azaltacaktır (Yılmaz vd., 2017).

Gerekli görülmesi hâlinde mukavemetin artırılması amacıyla ihtiyaca göre *mevcut temelde sağlamlaştırma, koruma-onarım, derz onarımı, eksik duvar örgülerinin tamamlanması, enjeksiyon işlemleri vs.* çalışmalarının yapılması önemlidir.

Yapının kesiminin yapılması aşamasından sonra, bulunduğu zeminden hidrolik krikolarla kaldırılmaktadır. Hidrolik krikolara iletilen yük, krikolardan zemine aktarılmaktadır. Hidrolik krikoların sayısı, çapı ve kaldırma kapasiteleri gibi kıstaslar, yapı ağırlık hesabına göre oluşturulmalıdır. Düşey yönde krikolar yardımıyla zeminden ayrılan yapının yatay düzlemde dengede kalması bu açıdan çok önemlidir. Bu aşamada hidrolik krikolar, eş basınç değerine sahip gruplar hâlinde birbirine bağlanarak ortak bir hidrolik pompa istasyonuyla kontrol edilir (Şekil 4.13 - Şekil 4.14).



Şekil 4.13. Krikoların projelendirilmesi (Yılmaz vd., 2017)

Şekil 4.14. Zeynel Bey Türbesi'nin, dikey olarak kaldırılması için yerleştirilmiş hidrolik kriko sistemi (Yılmaz vd., 2017)

Taşınacak yapının temelden ayrılması sırasında oluşabilecek esnemeyi gözlemlemek ve olası burulma hareketlerinin önüne geçmek için; temel-kiriş sisteminin uygun konumlarına ve oluşan en küçük deformasyonları anlık olarak ileten burulma ölçer ve sehim ölçer cihazları yerleştirilmelidir (Şekil 4.15) (DSİ, 2017).

Şekil 4.15. Burulma ölçer cihazı (URL-11)

Taşınacak anıtın stabil hâlde ve sağlam bir şekilde taşınabilmesi adına oluşabilecek esneme/burulma hareketlerinin önlenmesi önemlidir. Bu amaçla temel-kiriş sistemiyle ve statik hesaplamalara göre uygun çerçeve kafes sistemi oluşturulmalıdır. (Şekil 4.16).

Şekil 4.16. Yeşilköy tren istasyonu taşınmasında, çelik kafes sistemin uygulanması, İstanbul (URL-9)

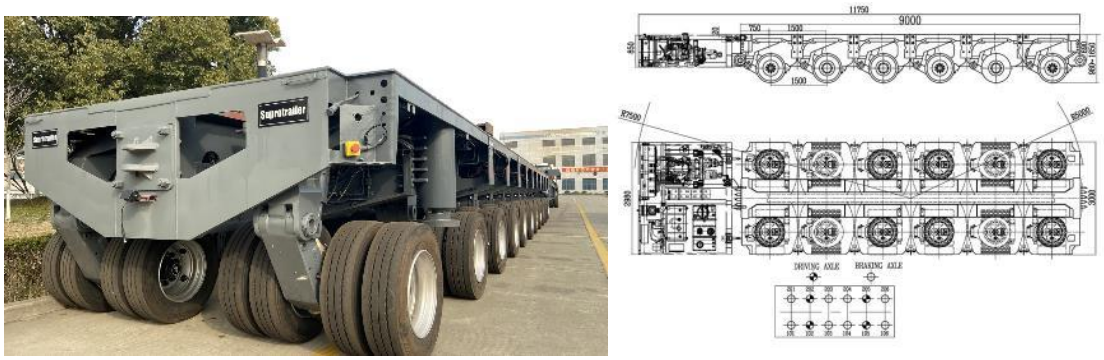
Ray sistemi kullanılarak yapılacak taşıma işleminde öncelikle yapının temel duvarlarında ray hattı yapımı için karot gibi tel kesme makinaları ile belli bir yükseklik ve genişlikte uygun delikler açılmalıdır. Ray hattı, yapının mevcut yerinden taşınacağı yeni yere kadar uzatılmalıdır. Öncelikle yapı ağırlığı ve taşınma sırasında oluşacak dinamik yükleri hesaba katarak ray hattında montaj öncesi zemin sağlamlaştırma çalışmaları kapsamında betonarme alt yapı inşa edilmelidir. Yapıların raylarla kaydırılması durumunda çelik ya da betonarme raylar kullanılmalıdır. Bu raylar sürtünme katsayısını minimum seviyede tutan (teflon gibi) kaygan malzeme ile kaplanmalıdır. Bu arada yapı, raylarda paralel yönde güç uygulayan pistonlar ile itilerek kaydırılmaktadır (Şekil 4.17).

Özellikle anıt eserler üzerinde -*dinamik yüklerin etkisiyle*- oluşabilecek tahribatların gözlemlenebilmesi de bu aşamada çok önemlidir. Bu amaçla kaydırma işlemi sırasında pistonların itme hızları bilgisayarla sürekli kontrol altında tutulmalıdır (Kılıç Demircan vd., 2016).

Şekil 4.17. Tarihi Oerlikon Binasının çelik raylarda pistonlar yardımıyla itilmesi, 2012 (URL-12)

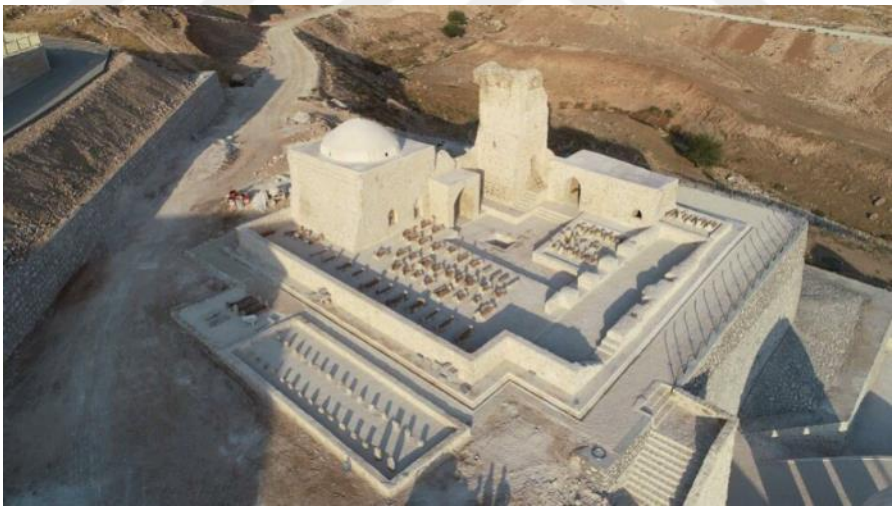
Taşıma mesafesinin uzak ve yapı ağırlığının fazla olduğu durumlarda yapılar; treyler, vinç, gemi, lastik tekerlekli özel taşıyıcı (SPMT, Self Propolled Modular Transporter) araçlar ve türevleri ile taşınabilmektedir. Kendinden hareketli olan modüler taşıyıcılar, genel anlamda ağır kütlesel yüklerin taşınmasında kullanılan elektronik ve mekanik sistemle çalışan özel araçlardır. Bu tür araçlar, enine ve/veya boyuna bir araya getirilerek taşınacak yapının planına uygun bir sistem oluşturabilmektedir. Kapasite olarak farklılık arz edebilen bu tür araçların her bir aksı bazen 35 tona kadar taşıma yapabilmektedir. Her bir teker çifti, birbirlerinden bağımsız, yüksek manevra esnekliği olan ve hidrolik dönüş sistemine sahip olmakla beraber 360 derece dönüş imkânına sahiptir. Ayrıca teker çifti ve şasi arasında bağlantı kuran hidrolik süspansiyon, yük altında dikey olarak 70 santimetreye kadar hareket olanağı sunabilmektedir. Bunun sonucu olarak taşıma yolundaki kot farkları ve zemin düzensizlikleri soğrulabilmektedir. SPMT platformları, elektronik olarak kumanda edilmekte ve GPS entegresi sayesinde senkron çalışabilmektedir (Demirtaş, 2016) (Şekil 4.18 ve Şekil 4.19)

Şekil 4.18. İmam Abdullah Zaviyesinin, SPMT aracıyla bütüncül olarak taşınması - Hasankeyf,2018 **(**URL-14**)**



Şekil 4.19. SPMT (Self Propolled Modular Transporter), Kendinden tahrikli modüler taşıyıcı ve detayı (URL-13)

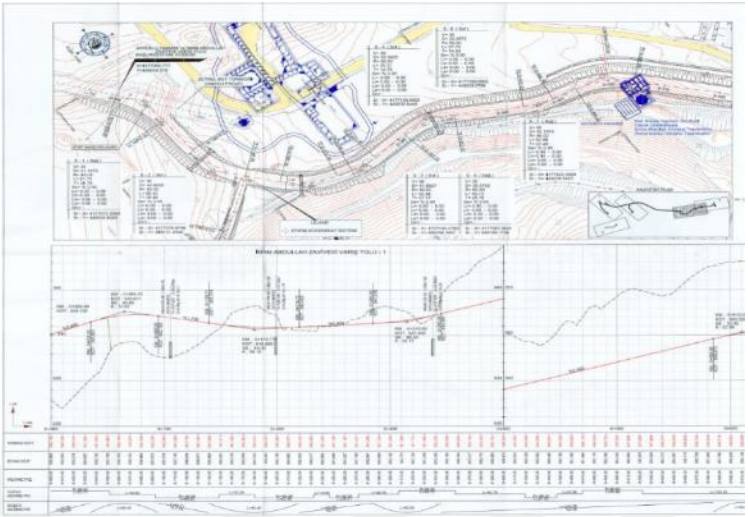
Anıt eserlerin bazı özel araçlarla yeni belirlenen yerine taşınması aşamasında daha önceden yapılan işlemlerin tam tersi bir yol izlenerek taşıma işlemi gerçekleştirilir. Sisteme önceden belirlenen ve taşıma sonrasında eklenmesi planlanan *temel-kiriş sistemleri* taşıma işleminden sonra yeni temel sistemine dahil edilebilir. Kafes sistemi, parça sökümü, koruma ve onarma işlemleri gibi tüm işlemlerin eş zamanlı olarak yapılmasına özen gösterilmelidir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. İmam Abdullah Zaviyesi'nin taşındıktan sonraki durumu, Hasankeyf, 2018 (URL-15)

Taşıma işleminde özel taşıma yolu oluşturulması ve gerekli tüm koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu arada taşıma işlemi üzerinde gerçekleştirilecek yol eğimi, taşıma projesinde belirtilen değeri aşmamalıdır. Özellikle yolun enine kesit değişkenine dikkat edilmeli ve yatay düzlem sabit tutulmalıdır. Taşıma yol genişliğinin, paftalarda işaret edilen orana uygun olmasına dikkat edilmeli ve taşıyıcı araçların yol boyunca muhtemel manevralarına imkân sağlayacak genişlik sağlanmalıdır. Bu arada yol

zemininin de taşınma esnasında oluşacak gerilimleri karşılayacak şekilde sağlamlaştırılması gerekir (Şekil 4.21).



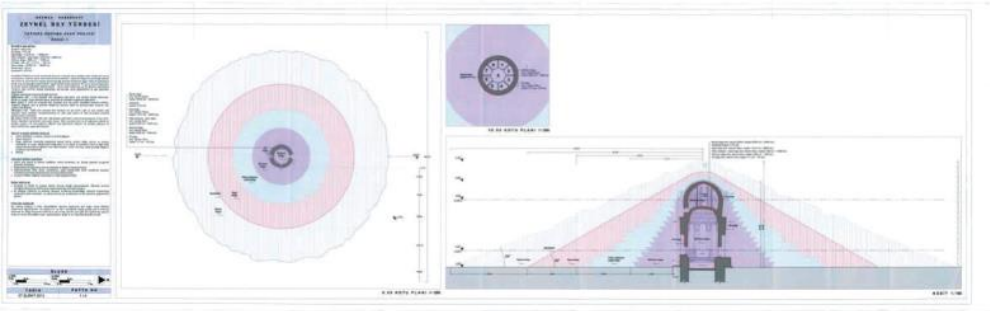
Şekil 4.21. Artuklu Hamamı ve İmam Abdullah Zaviyesi Taşıma Yolu Projesi (Demirtaş, 2016)

4.5. Proje Planlaması ve Tasarım Aşamaları

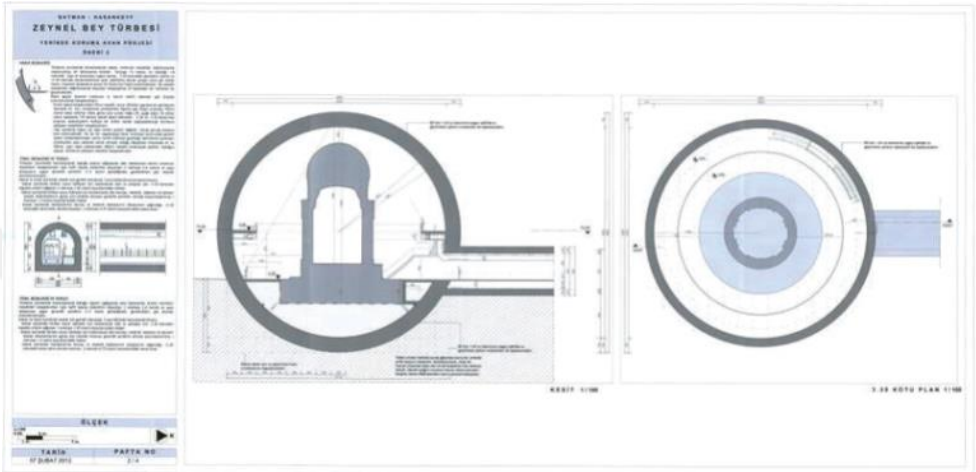
Tarihi öneme sahip anıtların taşınması yapılmadan önce teknik ve ekonomik fizibilite yapılır. Büyük ölçekte bir taşıma projesi, mimarlık, inşaat mühendisliği, arkeoloji, sanat, ekonomi, restorasyon, mekanik, elektronik gibi birçok alanının içinde olduğu disiplinler arası bir çalışmayı gerektirir. Taşınma işlemine karar vermeden önce yapıyı koruma metotları projelendirilerek gerekli kurum veya kuruluşlara sunulur. Önerilen yöntemler belirlendikten sonra, projenin teknik fizibilitesi ve ekonomik faydalarını anlatan bir rapor hazırlanır. İnşaat planlama tekniklerinin sentezlenmesinden sonra teknikler için birkaç başlangıç planı yapılır. Ancak bu planlarda, üst yapının performansı dikkate alınmadığından inşaat başarısı garanti edilmez. Bu sebeple, ilk planların fizibilite analizleri ve optimizasyonları proje gereksinimleri doğrultusunda belirlenir.

Örneğin Hasankeyf Zeynel Bey Türbesinin baraj suyundan korunması için;

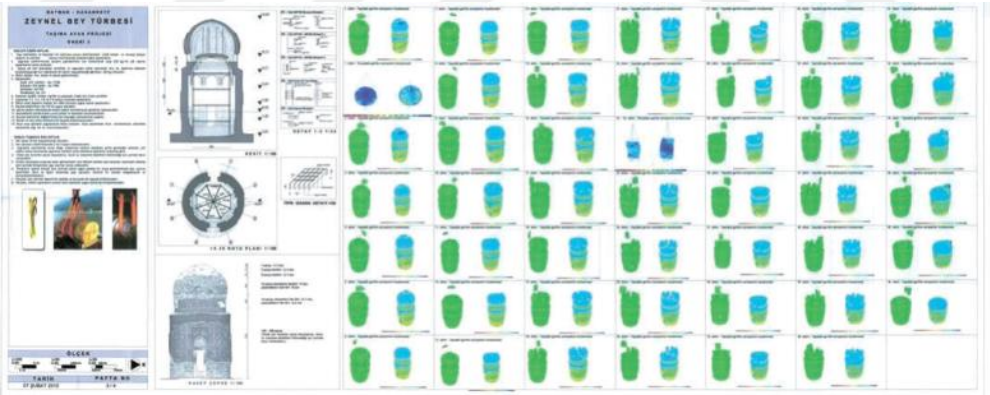
- Mevcut konumunda, su altında üzerini kapatarak koruma (Şekil 4.22),
- Mevcut konumunda, küre biçimindeki bir kabuğun içinde dolaşılabilir tünel bağlantılarıyla koruma (Şekil 4.23),
- Kısmi parçalara ayrılıp güvenli bir alana taşıyarak koruma (Şekil 4.24),
- Bütüncül olarak yeni bir alana taşıyarak koruma seçenekleri (Şekil 4.25) projelendirilerek koruma durumları değerlendirilmiştir (Yılmaz vd., 2017).



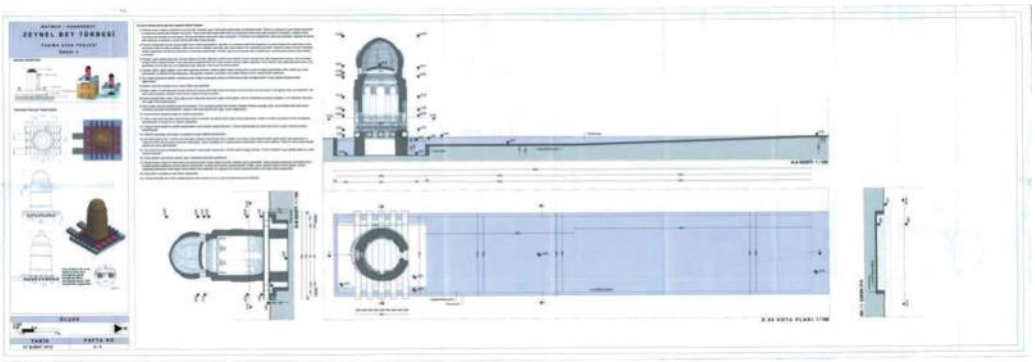
Şekil 4.22. Mevcut yerinde su altında korunması önerisi (Yılmaz vd., 2017)



Şekil 4.23. Mevcut yerinde kabuğun içinde korunma önerisi (Yılmaz vd., 2017)



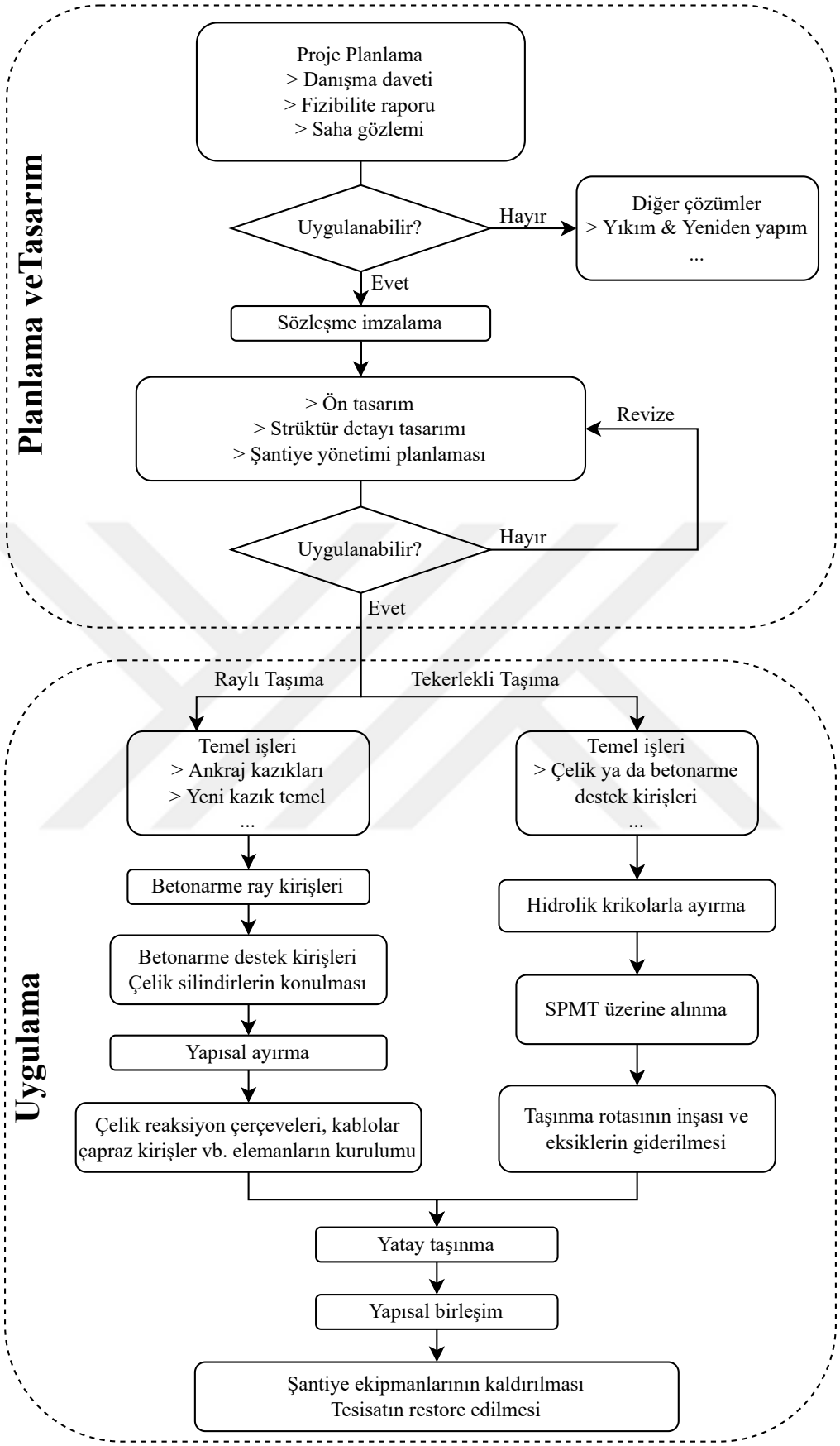
Şekil 4.24. Parçalara ayırarak taşınması önerisi (Yılmaz vd., 2017)



Şekil 4.25. Bütüncül olarak taşınma önerisi (Yılmaz vd., 2017)

Özgünlüğüne zarar vermeden kültür varlıklarıyla bu varlıkların çok değerli olan çini süslemeli malzemelerinin bütüncül taşıma yöntemi ve ileri teknoloji kullanılarak taşınması, bu tür varlıkların zarar görmemesi için en güzel yol olduğu açıktır. Zeynel Bey Türbesi'nin bütüncül olarak taşınması, türbenin en az zararla taşınmasına neden olduğu gibi başka yol ve yöntemle türbeyi koruma çalışmaları (su altında koruma gibi) türbe için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Seçilen yöntemin uygulanabilir olduğu belirlendikten sonra kurumlar ve yüklenici firma arasında sözleşmeler imzalanır. Belirlenen taşıma yöntemine göre ön tasarım, strüktür detayı ve şantiye yönetim planı hazırlanarak gerekli mercilere sunulur. Tasarımın son revizyonlarının tamamlanmasından sonra uygulama aşamasına geçilir. Şekil 4.26'da bütün proje ve uygulama aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Taşınma işleminin planlama, tasarım ve uygulama aşamaları

5. TAŞINMAZ KÜLTÜR VARLIKLARININ BÜTÜNCÜL OLARAK TAŞINMASI

Bu bölümde şimdiye kadar bütüncül olarak taşınmış olan bazı yapıların taşınma yöntem aşamaları detaylarıyla birlikte anlatılmıştır. Her bir taşınma aşaması birçok değişkene bağlı olarak analiz edilerek 6. Bölümde anlatılacak olan bulanık modele işlenmek üzere kural tanımlamaları araştırılmıştır. Ayrıca girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenebilmesi için mevcut taşınma yöntemlerinden elde edilen bilgiler kullanılmıştır.

Bir taşıma projesinin karmaşıklığı ve zorluğu, büyük ölçüde binanın yapısal koşullarına bağlıdır. Bu koşullar; Yer değiştirme gereksinimleri,

- Mesafe
- Yön
- Yükseklik

Saha koşulları;

- Zemin özellikleri
- Taşınma alanı
- Çevre olarak sıralanabilir (Song vd., 2018).

Bu nedenle yapıların taşınması; yapısal güçlendirme, zemin iyileştirmesi ve inşaat kontrolünün sıklıkla birlikte uygulandığı işlemlerdir. Dolayısıyla bir taşınma projesi hazırlanırken yukarıda belirtilen durumlara göre çeşitli mühendislik problemleriyle karşılaşılmaktadır. Bu bölümde, taşınma işlemi aşamaları kısımlara ayrılarak anlatılmış olup taşıma projesinde karşılaşılabilecek genel problemlere değinilmiş ve bazı mühendislik problemlerine karşı üretilen çözümlerden bahsedilmiştir. Bütüncül taşımada uygulanabilecek iki yol olan raylı sistemlerle taşıma ve lastik tekerlekli araçlarla taşıma işlemleri uygulamalar üzerinden detaylı olarak incelenmiştir.

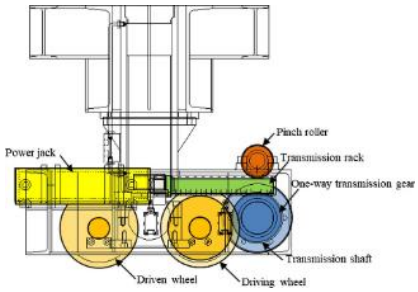
Raylı sistemlerle taşıma işlemi üç metot ile yapılabilir:

- Çelik plakalar üzerinde silindirler yardımıyla (Şekil 5.1a)
- Raylar üzerinde çelik tekerlekli sistemle (Şekil 5.1b)
- Özel tasarlanmış hidrolik kaydırma sistemiyle taşınma yapılabilir (Şekil 5.1c).

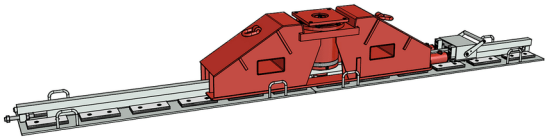
Lastik tekerlekli araçlarla taşıma işlemi ise:

- Treyler
- Vinç
- Kendinden Tahrikli Modüler Taşıyıcılar (SPMT) ile yapılabilir (Şekil 5.2).

a) Silindir ile taşıma



b) Çelik tekerlek sistemi ile taşıma



c) Özel tasarım mekanizmalarla taşıma

Şekil 5.1. Raylı sistemlerle taşıma yöntemleri

Şekil 5.2. SMPT aracının teknik özelliklerini anlatan kesitler: a) Yükün aktarılması, b) Engeller karşısındaki süspansiyon özelliği, c) Yol eğimini ayarlayabilme, d) Birleşme ve manevra kabiliyeti (URL-18)

5.1. Lastik Tekerlekli Araçlarla Taşıma Örnekleri

TKV'lerin kurtarılması ve yok olma riskinin ortadan kaldırılması amacıyla çok sayıda ve farklı bütüncül taşıma teknikleri uygulanmaktadır. Bu tekniklerin kullanıldığı sistemler arasında kendinden hareketli modüler lastik tekerlekli taşıyıcılar denilen (SPMT) sistemler örnek olarak verilebilir. Bu sistemin Türkiye'de çok sayıda kullanıldığı uygulama örnekleri bulunmaktadır. Kültür Bakanlığı 13.3.1981 tarih ve A-2767 sayılı kararı ile, Hasankeyf 1981 yılında 1. derece arkeolojik sit alanı olarak

kaydedilen ve Ilısu baraj projesi sonucunda su altında kalma tehdidi olan Hasankeyf antik kentindeki TKV'ler taşınma sırasına göre şu sırayla ele alınabilir; *Zeynel Bey türbesi, Artuklu Hamamı, İmam Abdullah zaviyesi, Kızlar camii ve Er rızk Camii* (Şekil 5.3, Şekil 5.4).

Yukarıda isimlerini sıralanan TKV'ler 2017-2019 yılları arasında özgün bir çalışma ile strüktürel bir bütün halinde, *Hasankeyf*'te oluşturulan arkeopark alanındaki yeni yerlerine taşınmışlardır. Böylece bu değerli kültür varlıkları sular altında kalmaktan kurtarılmıştır. Bu tezin amacında belirtilen bulanık mantık modeli Hasankeyf Zeynel Bey Türbesi'nde test edileceği için bu türbenin taşınma aşamaları detaylıca anlatılacaktır.

Şekil 5.3. Hasankeyf'te baraj sularından etkilenecek kültür varlıklarının konumları **(Demirtaş, 2016)**

Şekil 5.4. Hasankeyf yeni yerleşim alanı tasarımları **(Demirtaş, 2016)**

5.1.1. Zeynel Bey Türbesi – Hasankeyf (2017)

Strüktürel bir bütün halinde taşınarak Hasankeyf'teki baraj suyu altına girmekten kurtarılan ilk taşınmaz; Zeynel Bey türbesidir. Türbenin Akkoyunlu hükümdarı Uzun Hasan zamanında oğlu Zeynel Bey için yaptırıldığı kuzey girişteki kemerli alınlık üzerindeki çini mozaik yazıtlardan bilinmektedir. Kitabede herhangi bir tarih

belirtilmemekle beraber Zeynel Bey'in 1473 yılında Otlukbeli Savaşı'nda vefat ettiği bilinmektedir. Dolayısıyla, yapının 15. yüzyılın sonlarına doğru yapıldığı düşünülmektedir. Hasankeyf, 1981 yılında Kültür Bakanlığı, Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu Başkanlığı tarafından Birinci derece arkeolojik sit alanı olarak ilan edilmiştir. Zeynel Bey Türbesi'nde, kubbenin güney yönündeki kubbesinde çatlaklar bulunduğu için yıkılma tehdidi altında kalmıştır. 2008-2010 yıllarındaki gerçekleştirilen koruma uygulamalarıyla yapı kurtarılmıştır. Genel itibarıyla sağlam olan türbenin, +5.00 metre kotu üstünde ve yer yer kubbe civarında, gevşek malzeme tespit edilmiştir. Kazı başkanlığınca yürütülen çalışmalarda, türbenin onaltıgen bir taban üzerine oturduğu ortaya çıkartılmıştır (Er- Bu, 2016b). Türbenin kriptasında 2007 yılında yapılan kazıda, 1,90 m derinliğinde ve 2,85x1,45 m ölçülerinde bir mezar odası tespit edilmiştir. Türbenin özelliklerine baktığımızda şunlar söylenebilir: Türbe tuğla ve çini tuğla malzemesi kullanılarak ve dıştan yuvarlak, içten sekizgen görünümlü olup çift cidarlı kubbeye sahiptir (Yurttaş, 1996) (Şekil 5.5). Türbenin ana malzemelerini oluşturan taş ve tuğladır. Taş ve tuğla yapı elemanlarının gerekli dayanım testleri yapılarak elde edilen verilere göre bir taşıma projesi tasarlanmıştır.

Yapının taşıyıcı sistemine bir kaldırma platformu entegre edilerek taşıma projesi gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte mevcut zemin statik koşulları ve yapı yükünün düzgün dağılımının sağlanması önemsenmiştir. Önce platformla birlikte, krikolar yardımıyla yapı yerinden kaldırılmış ve tek seferde transfer edilmiş ve sonrasında ise yeni yerine indirilmiştir. Kaldırma, taşıma ve yeni konumunda montaj aşamalarında, sistemin son derece küçük ivmelere maruz bırakılmasıyla, mevcut konumundaki statik koşullar neredeyse hiç değişmeden türbenin taşınması mümkün olmuştur. Zeynel Bey Türbesi'nin taşınma işleminde, yaklaşık 2 km'lik mesafe, güzergâhta bulunan yatay ve düşey kurplar ve nihai konuma ulaşınca yapılacak geniş açılı dönüşlere uygun manevra kabiliyeti göz önünde bulundurularak, SPMT'lerin kullanılmasına karar verilmiştir. SPMT'de her teker çifti, hidrolik bir kriko aracılığı ile rijit yapıdaki şasiye bağlanmakta ve bu kriko süspansiyon özelliği sergileyebilmektedir. Taşıma güzergâhındaki yol eğimleri de yine bu hidrolik krikolar yardımıyla tolere edilmektedir. 800 ton ağırlığındaki türbenin taşıma işlem aşamaları şu şekilde gerçekleşmiştir;

Şekil 5.5. Zeynel Bey Türbesi 2008 ve 2010 yıllarındaki görünümü (Yılmaz vd., 2017)

a) Strüktürel bütüncül taşıma yöntemi kapsamında yapıya bir betonarme platform eklenmiş ve daha sonra krikolar yardımıyla kaldırılmıştır. Bu aşamada kendinden tahrikli modüler lastik tekerlekli taşıyıcılar kullanılmıştır. Eklenen betonarme platformla birlikte türbenin ağırlığı yaklaşık 1100 tona ulaşmıştır. Betonarme kaldırma platformu altında ise 30 cm kalınlığında ve 15x15m boyutlarında betonarme temel platformu oluşturulmuştur.

Şekil 5.6. Kaldırma platformu için karot ile delik açma aşamaları ve H çelik profillerin yerleştirilmesi (Yılmaz vd., 2017)

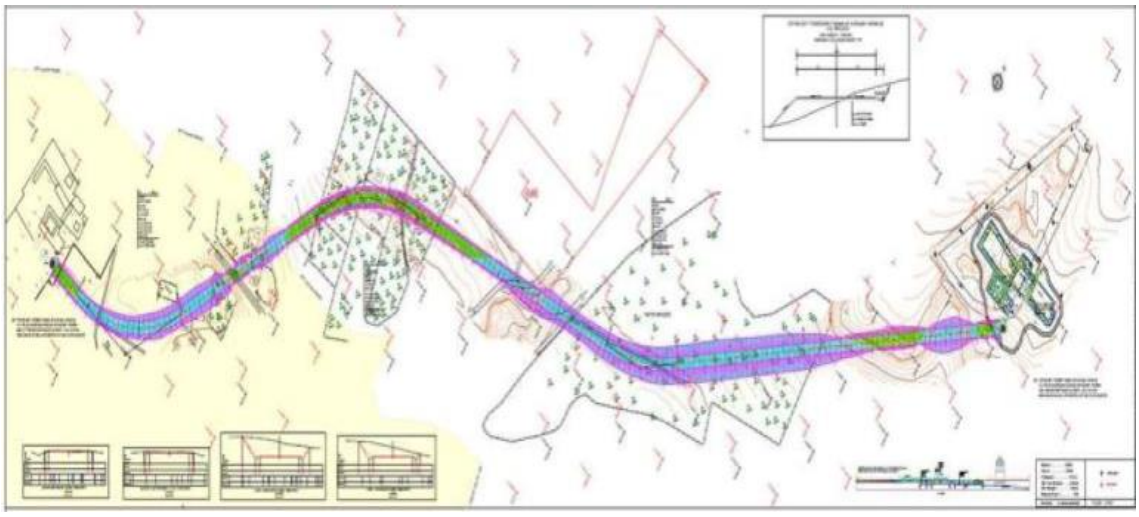
b) Daha sonraki aşamada türbenin kaldırma platformunun geleceği özgün duvar hattında eşit aralıklarla, 28 adet, 50 cm çapında ve 110 cm derinliğinde delikler açılmıştır (Yılmaz vd., 2017). Açılan deliklerin içerisine, uzunluğu 220 cm ebadında çelik profil kirişlerin 110 cm'lik kısmı delik içerisinde kalacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5.6).

c) Daha sonra ise hızlı priz alan yüksek dayanımlı rötresiz beton ile boşluk bırakmayacak şekilde doldurulmuştur.

d) Son aşamada ise 90 cm yüksekliğinde ve 15x15 m boyutlarındaki betonarme kaldırma platformunun imalatına geçilmiştir. Bu işlemlerin ardından türbenin betonarme kaldırma platformuna yerleştirilmiş olan her biri 22 cm çapında ve 3 metre uzunluğunda olan 44 adet çelik boru sütunu ve her bir sütuna monte edilmiş 50 ton kapasiteli hidrolik krikolar vasıtasıyla 1,45 m yüksekliğe kaldırılmış ve toplam 48 akstan oluşan sistem, türbenin altına sürülerek yerleştirilmiştir (Şekil 5.7).

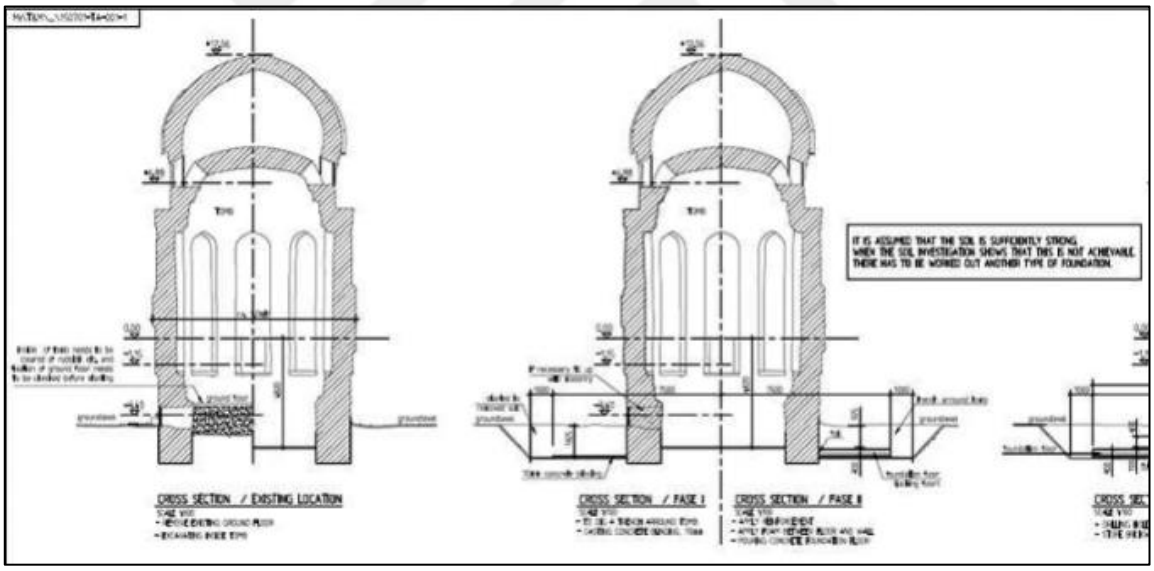
Şekil 5.7. Kaldırma platformu imalat ve ardgerme uygulaması (Yılmaz vd., 2017)

Kaldırma platformunun üzerine yüklenen türbe, taşıma hareketi için özel olarak maksimum %4 eğimde, 15 m genişliğinde, yaklaşık 2000 m uzunluğunda yapılan ve başlangıç/bitiş noktaları arasında yaklaşık 64 m kot farkının olduğu taşıma yolu kullanılarak yeni konumuna nakledilerek yerleştirilmiştir (Yılmaz vd., 2017) (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Zeynel Bey Türbesi'nin taşıma yolu projesi (Yılmaz vd., 2017)

Söz konusu türbe, 2016 senesinde yapılan kazıda türbe temelinin ampatmanlı olduğu görüldüğünden, betonarme kaldırma platformu, yapıyı tümüyle kavrayabilmesi amacıyla, yapı zemininin mevcut durumuna göre kripta kotunda yapılmıştır (Şekil 5.9).

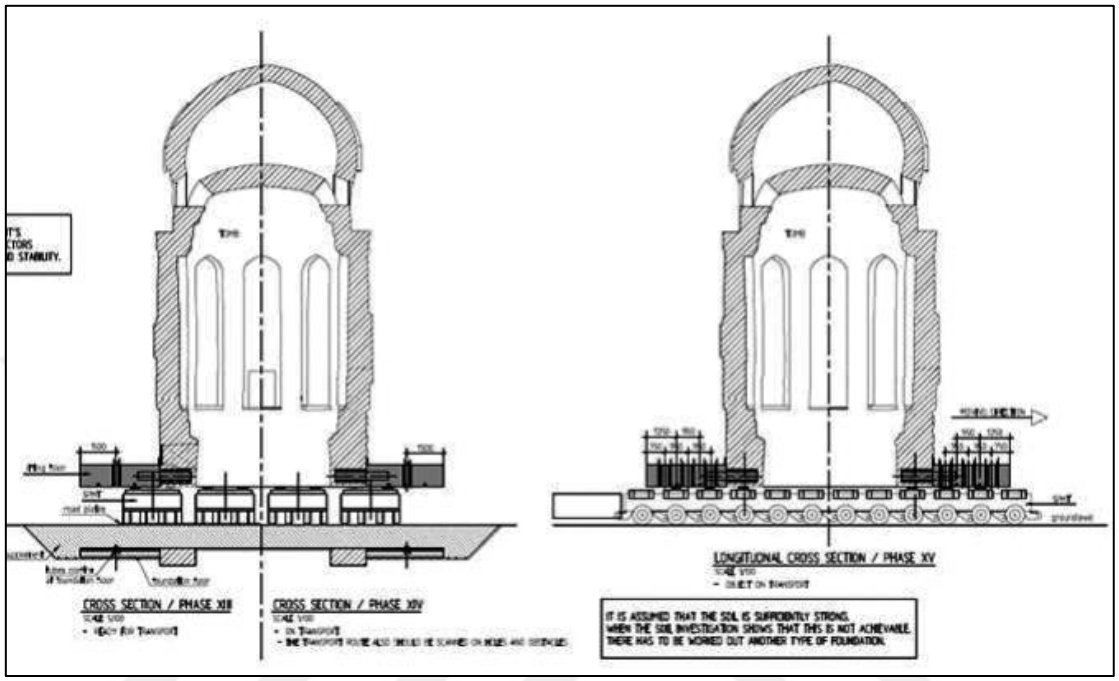


Şekil 5.9. Bütüncül taşımanın projelendirilmesi (Yılmaz vd., 2017)

Zeynel Bey Türbesi'nin taşınma işleminde aşağıdaki nedenlerden dolayı SPMT'lerin kullanılması tercih edilmiştir:

- Taşıma mesafesini yaklaşık 2 km olması,
- Güzergâhta bulunan yatay ve düşey kurplar,
- Geniş açılı ve dönüşlere uygun manevra yapılabilen alan vb.

Türbenin taşınmasında kullanılan SPMT'de çiftli olmak üzere 4 tekerlekten ibaret her bir aks yaklaşık 42 ton taşıyabilmektedir. Ancak taşıma işleminin daha güvenli olması için her bir aksa 36 ton yük gelecek şekilde hesaplamalar yapılmıştır (Şekil 5.10 - Şekil 5.11).



Şekil 5.10. Zeynel Bey Türbesi'nin kaldırılma ve SPMT araçlarına yüklenme proje detayı (Yılmaz vd., 2017)

Şekil 5.11. Zeynel Bey Türbesi'nin kaldırılması ve SPMT araçlarına yüklenmesi (URL-14)

Zeynel Bey Türbesi Kültür Varlığının mimari unsurları ve malzemelerine zarar vermeden özgünlüğü korunarak taşınması gerekmiştir. Bu nedenle Zeynel Bey Türbesi'nin tek parça olarak bütüncül olarak taşınabileceği, bu suretle de su altında koruma yöntemine nazaran daha az zarar göreceği anlaşılmıştır. Taşıma projesinde şu esaslar görülmektedir;

- Yapının taşıyıcı sistemine, mevcut zemin koşullarında sahip olduğu tüm statik koşullar hesaplanmıştır.
- Yapısal bütünlüğü koruyacak ve yapı yükünün düzgün dağılımını sağlayacak bir kaldırma platformu entegre edilerek taşınma işlemi tasarlanmıştır.

Yapılan işlem aşamalarına bakıldığında şunlar görülmektedir:

- Platformla birlikte, yapının, zeminde yapılan beton kaldırma temeli hizasından krikolar yardımıyla kaldırılarak ayrılması,
- Daha sonra yapının, SPMT'lerin üzerine alınması ve taşınması,
- Yeni yerinde ise uygulan tüm bu işlemlerin tam tersi uygulanarak montajı gerçekleştirilmiştir.

Genel çerçevede bakıldığında; taşıma işlemlerinin, yapının bir kere yerinden kaldırılması ve tek defada transfer edilmesi ve yeni yerine indirilmesi şeklinde planlandığı görülmektedir. Bütüncül yöntem kullanılarak taşımanın gerçekleşmesi sonucunda türbe, tüm aşamalarda neredeyse hiç zarar görmeden, hiç değişmeden ve strüktürel bir bütün halinde taşınmasına imkân sağlanmıştır.

5.1.2. Artuklu Hamamı (2018)

Batman'ın Hasankeyf ilçesindeki 1500 ton ağırlığındaki Artuklu Hamamı, yaklaşık 3 km uzaklıktaki Hasankeyf Yeni Kültürel Park Alanı'na 256 tekerlekli SMPT araçlarıyla taşınmıştır. 650 yıllık hamamın taşınma işlemi yaklaşık altı saat sürmüştür (Şekil 5.12).

Şekil 5.12. Artuklu Hamamı taşınma, yeni yerine yerleştirilme ve SPMT araçlarının ayrılması aşamaları (URL-14)

5.1.3. İmam Abdullah Zaviyesi (2018)

İmam Abdullah Zaviyesi, 3 parça halinde 37 hidrolik kriko ve 256 tekerlekli SPMT sistemi kullanılarak Hasankeyf mıntıkasında bulunan Arkeopark alanına taşınmıştır.

Yapı yaklaşık 800 ton ağırlığında kâgir bir yapı ve yapısal form olarak asimetrik olduğundan taşımasında daha dikkatli olunması gereken hassas bir yapı olduğu bilinmektedir. Taşıma işlemi 2 bin 400 metre uzaklığa ve 62 metre daha üst kotta bulunan yeni konumuna taşınmıştır (Şekil 5.13).

Abdullah Zaviyesi, toplam üç parçadan oluşmaktadır. Ortak avlu içerisinde kuzeyde sandukanın da bulunduğu kare formlu türbe ve türbenin doğusunda bulunan kule ile bir zaviye ve giriş bölümlerinden oluşan tarihi bir anıttır.

Zaviyenin tarihçesine bakıldığında; 12. yy. Artuklular zamanında yapıldığı anlaşılmaktadır. Daha sonra türbe yıkıldıktan sonra İmam Abdullah'ın türbesinin bulunduğu yer esas alınarak Eyyûbi Sultanı Takıyyeddin Abdullah (1249-1294) tarafından yeniden inşa edildiği görülmektedir. Türbenin, 1478 tarihinde Akkoyunlular tarafından tamir edildiği üzerindeki kitabeden anlaşılmaktadır.

Şekil 5.13. İmam Abdullah Zaviyesi'nin taşınma, yeni konumuna yerleştirme ve taşıma sonrası durumu (URL-14)

5.1.4. Eyyübi Camii (2018)

Yaklaşık 630 yılık Eyyübi Camii'nin (Kızlar Camii) özellikleri ve yapının taşınması işlemi şu şekilde gerçekleşmiştir;

Cami yaklaşık 2 bin 400 ton ağırlığındadır. Taşıma işlemi 352 tekerlekli kendinden tahrikli modüler olarak bilinen SPMT aracına yüklenerek 5 kilometre uzaklıktaki Hasankeyf'deki yeni yerine taşınmıştır. Hasankeyf'te şimdiye kadar taşınan en ağır yapı olma özelliğine sahiptir. Caminin, altı parça halinde taşınması planlanırken 4 bin 600 ton ağırlığındaki ana gövdesinin ise iki ayrı parça halinde taşınması planlanmıştır (Şekil 5.14).

Şekil 5.14. Eyyübi Camii taşıyıcı duvarlara destek kirişlerinin monte edilmesi ve yol boyunca karşılaşılan problemlere üretilen çözümler (URL-14)

5.1.5. Orta Kapı (2018)

Bloklar halinde taşınan yapının genel yapısına bakıldığında şunlar söylenebilir:

- Yapı, düzgün kesme taşlardan inşa edilmiş ve ön cephesi günümüze kadar büyük ölçüde özgünlüğünü korumuştur.
- Yan cephe ve arka cepheler moloz taş örgü sistemine sahip olup kısmen günümüze ulaştığı söylenebilir.
- Yapı, 2018 yılı Ekim ayında 4174 metre uzaklığındaki yeni yerine taşınmıştır.
- Strüktürel yapısı ve mevcut konumu nedeniyle bütüncül taşımanın olanaksız olduğu görüldüğünden eser, düşey eksende 3 parçaya kesilerek ve bloklar halinde taşınmıştır.
- Taşıyıcı sistemiyle birlikte yapının toplam ağırlığı 409 ton ağırlığa ulaştığından yapının her bir parçası özel mobil vinçlerle yol düzlemine indirilmiş ve SPTM aracı ile yeni konumuna taşınmıştır (Şekil 5.15).

Şekil 5.15. Orta Kapı'nın vinç yardımıyla SPMT araçlarına yüklenmesi (URL-14)

5.1.6. Harriet F. Rees Malikânesi – Chicago, ABD (2014)

Tarihi Harriet Rees Malikânesi, Chicago'nun Güney Prairie Caddesinde bulunmaktadır. Yapının 1888 yılında inşa edildiği anlaşılmaktadır. Malikâne, yeni kurulan üniversitenin basketbol sahası için 183 metre kuzeye doğru taşınmıştır. Taşıma işlemi 2014 yılında gerçekleşmiştir. Taşıma, 250 tekerlek üzerinde otomatik taşıma arabalarıyla emekleme hızında dakikada 45 santimetre ilerleyerek yeni yerine 3 gün içerisinde yerleştirilmiştir. Yapının fiziki özelliğine baktığımızda yaklaşık 1000 ton ağırlığında olduğu ve 3 katlı tuğla ile inşa edilmiş 29 metre uzunluğunda ve 22 metre eninde olduğu görülmektedir. Taşıma işlemi için Malikânenin çevresi kazılarak evin uzunluğu boyunca ana kirişlerle çevrelenmiş ve yapının genişliği boyunca bir dizi çapraz kirişler yerleştirilmiştir. Daha sonra 2,5 metre kaldırılan malikânenin altına her biri 8 tekerlekten oluşan 29 adet taşıma arabası yerleştirilmiştir (Şekil 5.16) (Kılıç Demircan vd., 2016).

Şekil 5.16. Harriet F. Rees Malikânesi özgün konumu ve taşınma aşamaları (URL-15)

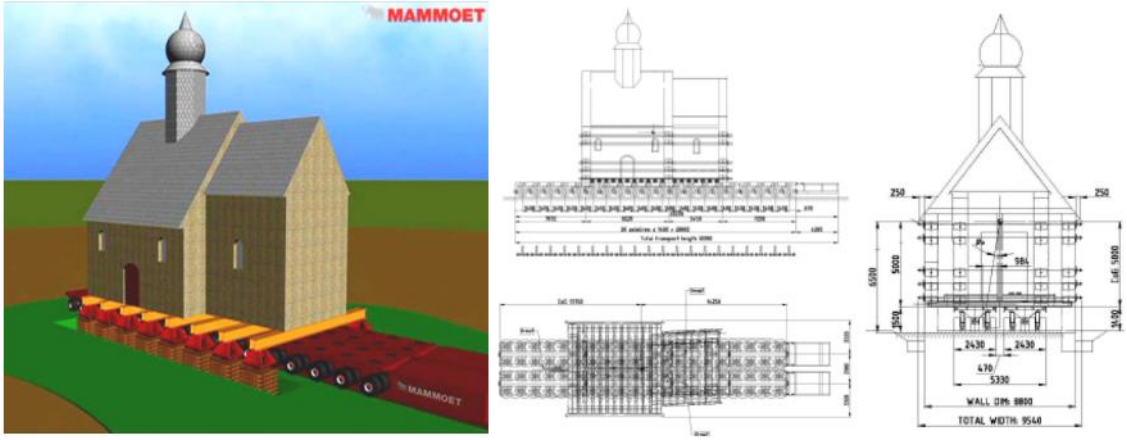
5.1.7. Emmaus Kilisesi – Leipzig, Almanya (2007)

Genelde ABD'de ve özellikle de 20. yy.'da örneklerini çok gördüğümüz SPMT sistemlerin gelişen teknoloji ve mühendisliğe paralel olarak çok kullanıldığı görülmektedir.

Bu tür strüktürel bütüncül taşıma uygulamalarının, ağır yüklerin nakledilmesinde kullanıldığı ve dünya genelinde de yaygınlaşmaya başlandığı görülmektedir. Bu sistemler sayesinde kültür varlıklarının çok uzun mesafelere taşımalarını mümkün hale geldiği görülmektedir.

Buna bir örnek de Almanya'nın Leipzig kentinin yaklaşık 40 km güneyindeki Heuersdorf kasabasında yer alan ve 13. yy. da yapılmış Emmaus kilisesidir. Bölgedeki kömür ocağı madenlerinin genişletilmesi nedeniyle, yok olma riski ile karşı karşıya kalan yapı, Ekim 2007'de SPMT sistemi kullanılarak ve strüktürel bütüncül taşıma yöntemiyle 12 km mesafedeki Borna kasabasındaki yeni yerine taşınmıştır (Koitzsch, vd. 2008) (Şekil 5.17 - Şekil 5.18).

Şekil 5.17. Emmaus Kilisesi strüktürel bütüncül taşınma çalışmaları **(Mammoet, 2007)**



Şekil 5.18. Emmaus Kilisesi taşınma projesi (Koitzsch, vd. 2008)

5.2. Raylı Sistemlere Taşınan Yapı Örnekleri

Dünyada raylı sistemlerle taşınmış birçok yapı bulunmaktadır. Taşıma mesafesinin kısa ve yapının raylı sistemlerle taşınmaya uygun olduğu durumlarda tercih edilen bu taşıma metodu, Türkiye'de büyük ölçekte henüz uygulanmamıştır. Dünya'da raylı sistemlerle taşınan yapıların bazıları taşınma tarihlerine göre şu şekildedir:

5.2.1. Meryem Ana Kilisesi – Most, Çekya (1974)

Geç dönem gotik mimarinin izlerini taşıyan Most şehrindeki Meryem Ana Kilisesi 14. yüzyıldan kalma önemli tarihi bir eserdir. Kilisenin etrafında ve yakın bölgelerinde yüksek kalite kömür yatakları bulunduğundan ve kilise etrafındaki bölgelerde çok yoğun madencilik faaliyetleri yapıldığından kilisenin yapılan bu faaliyetlerden dolayı göçme tehlikesi yaşadığı anlaşılmış ve bu nedenle eser 1970'li yıllarda taşınmıştır.

Kilise, kendi ağırlığı ve eseri destekleyen çelik malzemenin kütlesiyle birlikte toplam ağırlığı 11.000 tona ulaşmaktadır. Eserin taşıma işlemi şu şekilde gerçekleşmiştir: Yapının beden duvarları, zemine yakın bir konumdan kesilmiş ve raylara aktarıldıktan sonra belirli bir eğim kullanılarak mevcut konumundan indirilerek yeni yerine taşınması gerçekleşmiştir (Ahunbay, 2019) (Şekil 5.19).

Şekil 5.19. Meryem Ana Kilisesi'nin raylı sistemle taşınması,1974, Most, Çekya (URL-16)

5.2.2. Cape Hatteras Deniz Feneri - Kuzey Karolina, ABD (1999)

1870 yılında ABD'nin Kuzey Karolina bölgesinde inşa edilen tarihî "Cape Hatteras Deniz Feneri"nin okyanusa mesafesi yaklaşık 460 metredir. Ağırlığı 4.800 tonu bulan bu yığma yapı Hatteras Burnu'nda yer almakta ve granit temel yapı üzerine silindirik formda tuğla malzeme kullanılarak inşa edilmiştir.

Fener ile okyanus arasındaki mesafe kıyı erozyonu nedeniyle ilk yapıldığı dönemden 1999 yılına kadar geçen süreç içerisinde yaklaşık 30 metre azaldığı tespit edilmiştir. Doğa olayları sonucu oluşacak bu tahribatlar bir şekilde önlenmeye çalışılmışsa da başarılı olduğu söylenemez. Bu amaçla Yapının 900 metre uzaklığa taşınması işlemi çelik raylar vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu taşıma işlemi yaklaşık yirmi üç gün sürmüş ve taşıma işleminde hidrolik krikolar kullanılmış denge için sensörlerden yararlanılarak taşıma işlemi tamamlanmıştır (Peltola, 2008).

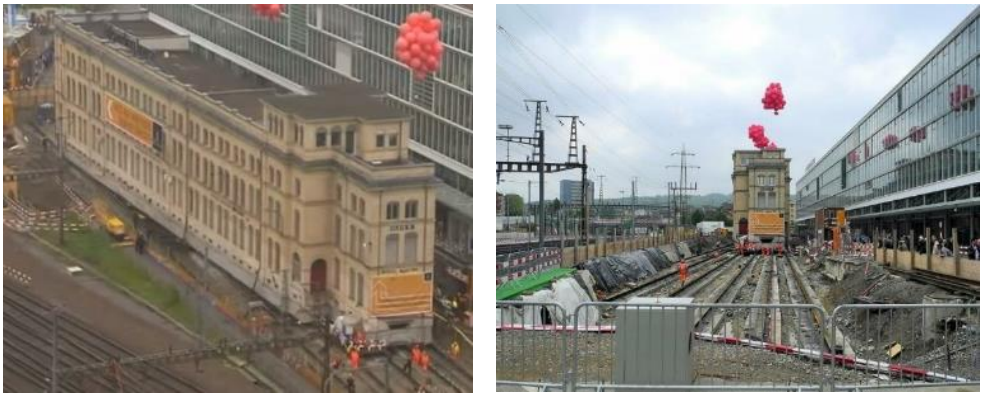
Taşıma işlemi strüktürel bir bütün halinde gerçekleştirilmiştir. Bu arada Fenerin taşımaya hazır hale getirilmesi amacıyla şu aşamalar takip edilmiştir. İtme krikolarının her seferde çelik ray kirişleri üzerindeki çelik milli dollyleri 1,5 metre hareket ettirerek 884 metre mesafede ve güneybatıda yer alan yeni yerine taşıma işlemi yapılmıştır (Şekil 5.20). Diğer taraftan taşıma hareketi esnasında eserin dengede ve sabit hızda kalması da önemli olduğundan taşıma işlemi üç grupta yerleştirilmiş olan hidrolik krikolar vasıtasıyla sağlanmıştır. Ayrıca taşıma hareketi esnasında Deniz fenerinin dengede durmasını sağlamak ve yük dağılımı, eğim, titreşim ve çelik milli dollyler ile hareketini ölçmek içinde otomatik sensörler kullanılmıştır. Fenerin hareketi sırasında rüzgâr hızını ve hava sıcaklığını izlemek için de ayrıca fenerin üzerine uygun bir meteoroloji

istasyonu kurulmuş ve böylece rüzgar hızı ve hava sıcaklığı eş zamanlı olarak ölçülmüştür (Ahunbay, 2019; Witcher, 2018).

Şekil 5.20. Cape Hatteras Deniz Feneri'nin raylı sistemlerle taşınması (Witcher, 2018)

5.2.3. Oerlikon tren istasyonu – Zürih, İsviçre (2012)

İsviçre'nin Zürih şehrinde bulunan 6200 ton ağırlığındaki tarihi makine fabrikası 2012'de tren hattının genişletme çalışmaları nedeniyle pistonlu ve raylı sistemler kullanılarak taşınmıştır. 10 ay önceden hazırlıklara başlanmış ve hidrolik pistonlar kullanılarak 19 saatte toplam 60 metre batı yönünde taşınmıştır (Şekil 5.21).



Şekil 5.21. Oerlikon tren istasyonunun raylı sistemlerle taşınması (URL-2)

5.2.4. Zhengguanghe Binası – Shanghai, Çin (2013)

1935 yılında İngiliz mimarlar tarafından tasarlanan 6 katlı tarihi Zhengguanghe Binası çevre düzenlemeleri gerekçesiyle 2013 yılında 38 metre güneye raylı sistemlerle taşınmıştır. Her bir krikonun 200 ton yük taşıdığı kaldırma sisteminde toplan 28 kriko

kullanılmıştır. Yeni yerinde temel güçlendirilmesine tabi tutulan 12000 ton ağırlığındaki yapının 20 gün içinde taşınması gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.22).

Şekil 5.22. Zhengguanghe binasının taşınma aşamaları ve kullanılan hidrolik sistemler (URL-1)

5.2.5. Hankou Yiyong İtfaiye Dernek Binası – Wuhan, Çin (2016)

Tarihi bir yapı olarak kabul edilen ve bu nedenle yıkılması yerine korunmasına karar verilen 100 yaşındaki 3 katlı yangın istasyonu raylı sistemlerle 2016 yılında yaklaşık 74,5 m batı yönüne taşınmıştır (Şekil 5.23).

Şekil 5.23. Hankou Yiyong itfaiye dernek binasının raylı sistemlerle taşınması (URL-3)

5.2.6. Lagena İlkokulu – Shanghai, Çin (2018)

7600 ton ağırlığındaki tarihi betonarme yapının taşınması için, "Yürüme makinesi" adı verilen ve 200 mobil destekten oluşan bir teknoloji 5 katlı binanın altına yerleştirildi. Bu teknoloji insanların adımlarını taklit eden mobil destekler üzerinde hareket ettiğinden yapının kolaylıkla yükselip alçalarak hareket etmesine olanak vermektedir. Bu şekil bir yöntem seçilmesi yapının düzensiz bir şekle sahip olmasından dolaydır. Diğer yöntem şekilleri (çekme/kaydırma vb.) "L" formundaki bir yapı için uygun gözükmemektedir (Şekil 5.24).

Şekil 5.24. Lagena ilkokulunun yürütme yöntemi ile taşınması (URL-17)

5.2.7. Xiamen Otobüs Terminali – Xiamen, Çin (2019)

Çin'de bulunan otobüs terminali, inşa edilecek hızlı tren yolu güzergahına alan açmak için 90° açılık bir rotada raylı sistemler ile taşınmasına karar verilmiştir. Yaklaşık 30.000 ton ağırlığında, 162 metre uzunluğunda ve 33,6 metre genişliğindeki yapı 532 adet itme ve kaldırma özelliği olan yeni teknoloji kaldırma sistemi ile taşınmıştır (Şekil 5.25).

Şekil 5.25. Xiamen Otobüs Terminalinin yeni geliştirilmiş hidrolik sistemle taşınması (URL-4)

5.3. Taşınmaz Kültür Varlıklarının Taşınma Aşamaları

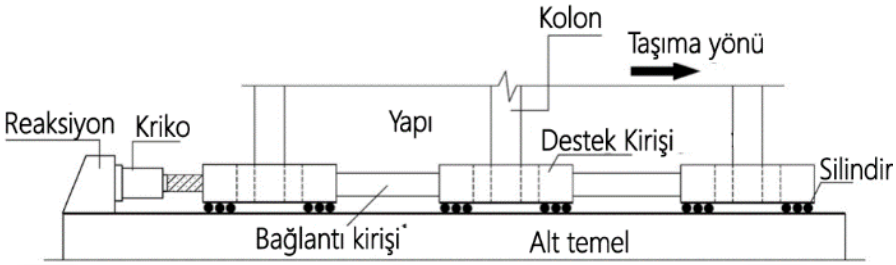
TKV'lerin strüktür sistemi, taşınma rotası ve temel özellikleri yapının taşınma aşamalarını belirleyen temel özellikler olarak sıralanabilir. Bu değişken durum, taşınma aşamalarında yapıdan yapıya göre farklılıklar oluşturmaktadır.

Öncelikli olarak, yapı taşınmadan önce yıkılma riskine karşı sigortalanmalıdır. Yüklenici firma ile yapının yıkılıp yeniden inşa edilmesi, parçalara ayrılarak taşınması, bölümlere ayrılarak taşınması, bütünsel olarak taşınması gibi bütün seçenekler masaya yatırılmalı, maliyet-risk analizleri detaylıca belirlenmeli ve ardından anlaşmalar imzalanmalıdır. Karar verildikten sonra proje ve uyulama aşamasına geçilmelidir.

Raylı ve tekerlekli sistemlerle taşınma aşamaları şu şekilde sıralanabilir;

1) Orijinal temeldeki raylar altına, yapının ve hidrolik sistemin yükününü taşımak için gerekli durumlarda kazıklar inşa edilir.
2) Orijinal temel, geçiş bölümü ve yeni temelde betonarme ray kirişleri hazırlanır (Şekil 5.26).
3) TKV'nin betonarme olması durumunda, taşıyıcı kolon yüklerini ray temellerine aktaracak olan destek kirişleri (underpinning joint) her kolonun çevresine inşa edilir. Yatay bir çerçeve oluşturacak şekilde betonarme yatay kirişlerle birbirlerine bağlanırlar. Bu da düzlem içi rijitliği sağlayarak yatay itici kuvvetlerin aktarılmasını sağlar.
4) Yığma yapı olması durumunda, yapının temel ve geometrik özelliğine göre yapının taşıyıcı duvar ve kolonlarındaki yükü taşıyıcı platforma aktaracak taşıyıcı destek sistemi inşa edilir.
5) Destek kirişlerinin altına çelik silindirler yerleştirildikten sonra yapı yükünün kolonlardan ve perde duvarlardan ray kirişlerine aktarılması için yapısal ayırma işlemi yapılır.
6) Ray kirişlerine çelik tepkime çerçeveleri (steel reaction frames) yerleştirilir. Eğer itme hidrolik krikolar ile yapılacaksa yapının yüklü ucuna hidrolik krikolar yerleştirilir. Çelik tepkime kirişleri ve hidrolik krikolar yardımıyla yapı yeni yerine itilir veya çekilir.
7) Çelik tepkime kirişleri yapı ilerledikçe sökülerek yeniden monte edilir. Bu durum taşımanın kademeli olarak yapılmasını ve halat uzunluğunun kısalmasını sağlar.

8) Yapı yeni konumuna geldiğinde yeni konumundaki zemin ve deprem özellikleri dikkate alınarak taşıyıcı sistemler sismik gereksinimleri karşılayacak şekilde güçlendirilir.
9) Taşınma işlemi bittikten sonra geçici yapılar kaldırılarak mekanik ve elektrik tesisatları tamamlanır. Dolgu işlemi yapılarak taşıma işlemi bitirilmiş olur.



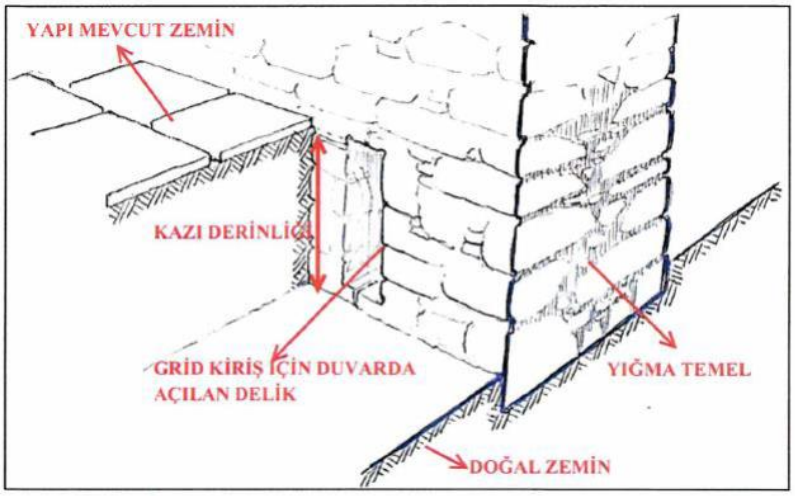
Şekil 5.26. Tipik bir raylı taşıma sistemi (Yue vd. 2017)

Lastik tekerlekli araçlarla bütüncül olarak taşıma yönteminde genel olarak izlenecek adımlar şunlardır:

1) Kazı işleminin yapının temel kotuna yakın bir derinlikte gerçekleştirilmesi,
2) Uygun yöntemlerle ve temele yakın bir yerden yapının duvarlarının delinmesi ve bu delikler yardımıyla yapıyı kaldırmak ve taşımak için betonarme ya da çelikten olan grid sistemin yapının taşıyıcı sistemine entegre edilmesi,
3) Hidrolik krikolar yardımı ile grid sistemin, gruplar halinde bağlanarak yatay düzlemde yerinden kaldırılması,
4) Yapının, yeni konumuna kadar SPMT üzerine alınarak taşınması,
5) Yapı SPMT üzerine alınırken veya kaldırırken uygulanan işlemler, ters sıra uygulanmak suretiyle yapının yeni temelleri üzerine oturtulması aşamalarını içermektedir.

Bütüncül taşıma yönteminde önem arz eden bazı hususlar aşağıda belirtilmiştir:

- Taşınacak yapıya ilave edilecek çerçeve, temel sistem içinde mevcut temelin etrafı hem içeriden hem dışarıdan kazımak suretiyle yapılmalıdır.
- Kazı sonrası ortaya çıkan temel yüksekliğinin, yapı temeline ilave edilecek yeni sistemi karşılar yükseklikte olması gerekir.
- Ancak yapı temelinin yeterince yüksek olmaması veya temelin başka bir yapı kalıntısı üzerinde inşa edilmiş olması durumunda değişken kottaki temeller gibi duruma göre yeni temel için özgün yöntemler geliştirilmelidir (Şekil 5.27).

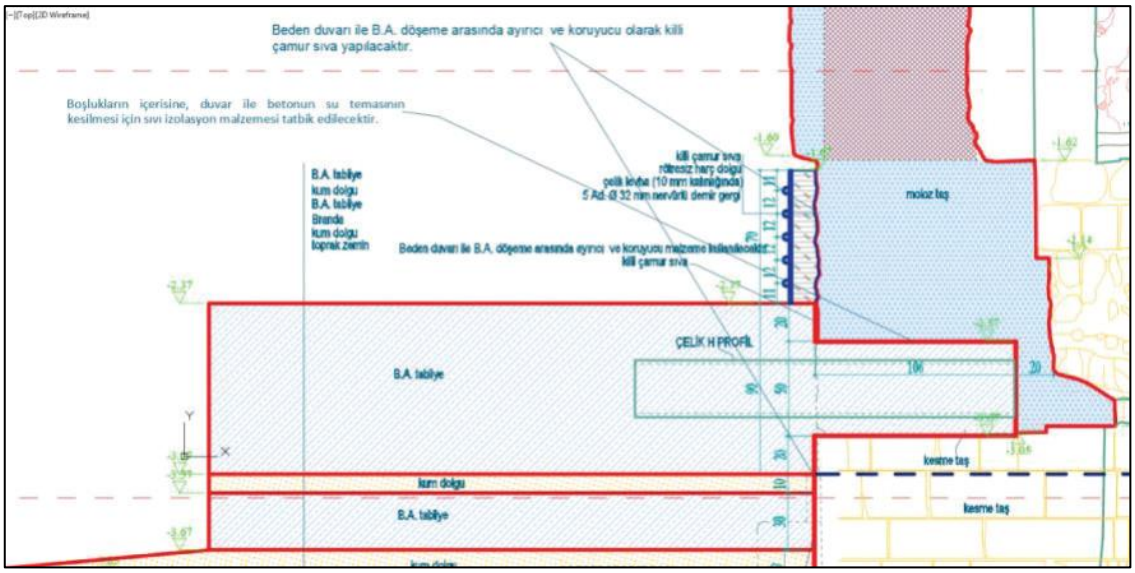


Şekil 5.27. Mevcut temel kotunun kazı sonrasında yeni ilave edilecek destek sistemini karşılar yükseklikte olma durumunu anlatan çizim detayı (Demirtaş, 2016)

5.4. Yük Destekleme Sistemi (Load Underpinning System)

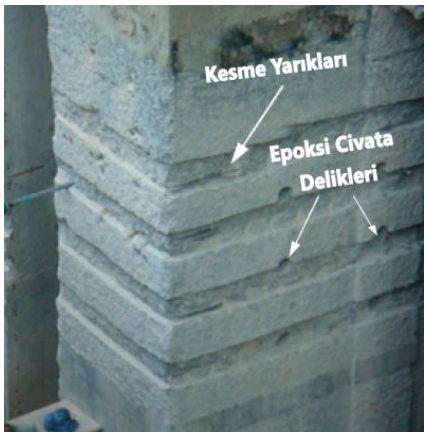
Yük destekleme sistemleri (underpinning), yapıların temellerini güçlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Yapının zemin koşulları ve türü gibi birçok etkene bağlı olarak, desteklemenin birkaç yolu bulunmaktadır. Yük destek sistemi, yapının taşınmasında üst yapı için geçici yanal destek yapısı olarak kullanılır. Yük destekleme sistemi, yapının hareketi sırasında üst yapıdan gelecek yükleri, hareketten kaynaklı kuvvetleri ve sürtünmeleri karşılayacak yeterli dayanım, rijitlik ve güvenilir bağlantılara sahip olmalıdır (Lu ve Wang 2016). Bu sebeple, yük destek sistemi üstyapıyı hareket ettirmede belirleyici ve önemli bir adımdır.

Destekleme sistemi, yapının türüne, kapsamına ve taşınma cihazına büyük ölçüde bağlıdır. Genel olarak, çelik kiriş desteği ve betonarme destek olmak üzere iki ana desteleme türü vardır. Çelik kiriş desteği, hareket sırasında geçici bir yanal destek olarak kullanılır ve basit hafif yapılarda uygulanır. Betonarme destekleme sistemi ise daha ağır yapılarda tercih edilir. Betonarme ve çelik sistemlerin beraber uygulandığı sistemler de mevcuttur (Şekil 5.28). Konsol olarak çalıştırılma durumlarında ve yapının silindirik geometrisinden kaynaklı durumlarda bu sistemler uygulanabilir.



Şekil 5.28. Zeynel Bey Türbesi kaldırma platformu uygulama detayı – Hasankeyf, Batman (Yılmaz vd., 2017)

Kaldırma ve destek kirişinin projelendirilmesinden önce yapı ağırlığı ve her bir taşıyıcı kolona gelen yükler belirlenir. Yapı yükünü kolonlardan ray kirişine veya SPMT araçlarına aktarabilmek için her bir kolon veya duvarın çevresini kavrayacak şekilde özel tasarlanmış destek kirişleri inşa edilir. Kolon ile destek sisteminin beraber çalışmasını sağlamak ve bağlanma alanını arttırmak için destek kirişinin yüksekliğindeki kısmına Şekil 5.29'de gösterildiği gibi pürüzlendirilerek belirli kalınlık ve aralıkta kesme yarıkları (shear slot) açılır. Daha sonra, karot delme yoluyla açık cıvata kanalları açılarak gerekli dayanıma sahip epoksi şerbeti cıvata ankrajlarıyla beraber kolona monte edilir. Cıvatalar kolondaki dikey yükleri destek kirişlerine aktarmak için tasarlanır. Kolon ve destek kirişinin arasındaki yüzeye çimento şerbeti dökülerek ilk bağlantı tamamlanır.



Şekil 5.29. Mevcut kolonun destek kirişine bağlantısı için açılan kesme yarıkları (Guo vd., 2013)

Çelik silindirlerden gelen basınç kuvvetini ray temeline dağıtılmış olarak aktarmak için destek kirişinin alt yüzeyine ve ray kirişinin üst yüzeyine belirli kalınlıkta çelik levha monte edilerek aralarına çelik silindirler yerleştirilir.

Beton, tasarım gücüne ulaştığında kolonlar ray yüksekliğinin biraz daha yükseğine gelecek şekilde kesilir. Böylece yükler sırasıyla kolondan destek kirişlerine, silindirlere, ray kirişine, kazıklara ve son olarak zemine aktarılmış olur.

Kolonlara gelen dikey yük ve destek derzinin (underpinning joint) destekleme kapasitesine (V) göre cıvata sayısı ve çapı belirlenir. Bu yük iki kısımdan oluşur ve Denklem 1.1'e göre belirlenir:

1) Eski-yeni beton yüzeyindeki çimento derzinin kesme kapasitesi (V_{cf})
2) Cıvatalar tarafından karşılanan kesme kapasitesi (V_s)

$$V = V_{cf} + V_s = \gamma(f_{cv}A_c + f_{sv}A_s) \quad (1.\ 1)$$

Burada,

f_{cv} = Arayüz betonunun kesme dayanımı (Yüzeylerin pürüzlendiği durumlarda, $f_{cv} = 0.3f_t$, ancak arayüzlerde Şekil 5.29'deki gibi kesme yarıkları oluşturulduğunda $f_{cv} = 0.5f_t$ olur. f_t = eski ve yeni betonda az dayanıma sahip olanın kesme dayanımı),

A_c = Beton arayüz alanlarının toplamı,

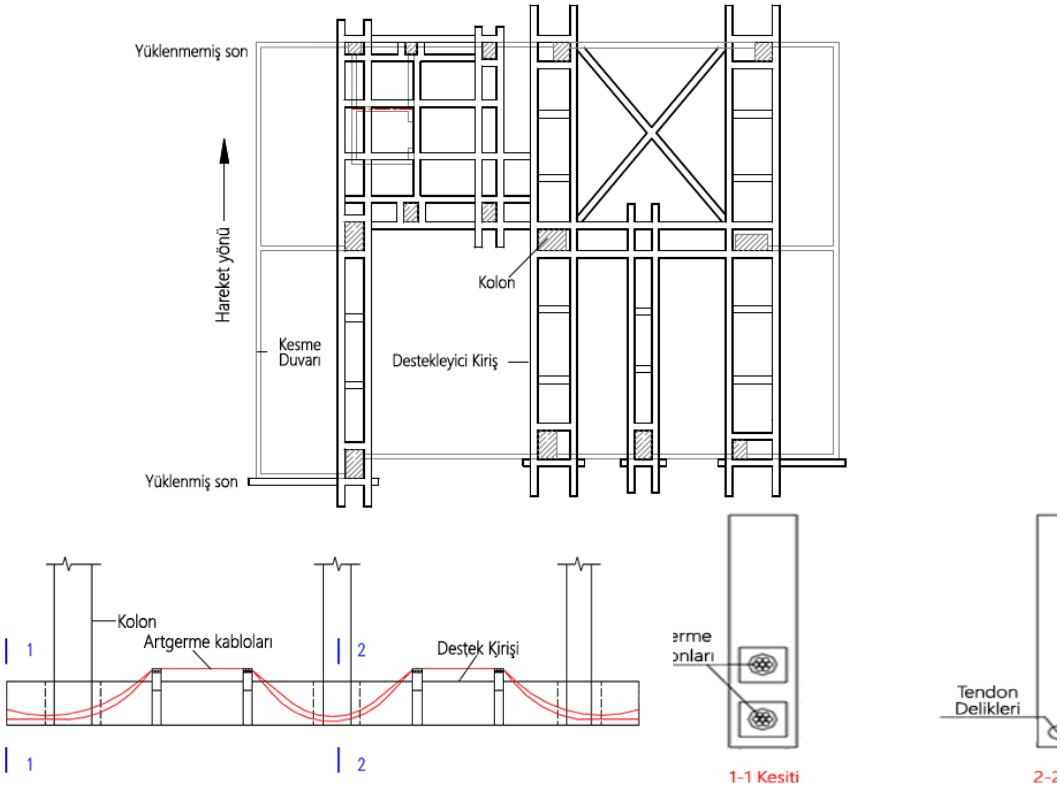
f_{sv} = Cıvataların kesme dayanımı,

A_s = Cıvataların toplam alanı,γ

γ = 0.8 (Deneysel sonuçlardan elde edilen bir katsayı) (Erjun ve Aiqun, 2008)

Destek bağlantıları (underpinning joint) Şekil 5.30'da gösterildiği gibi betonarme destek kirişleriyle (underpinning beam) birbirine bağlanır. Bu bağlantının amacı şu şekilde sıralanabilir;

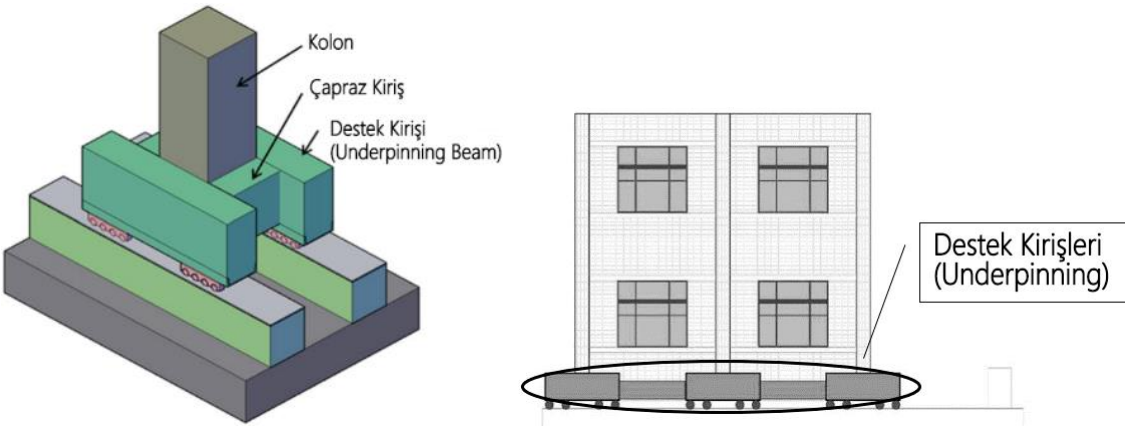
1) Yatay itki kuvvetlerini yapının yüklü ucundan diğer ucuna aktarmak
2) Akslara uygulanan yatay itki kuvvetlerinin dengeli dağılması için düzlem içi rijitliği arttırmak ve böylece yapının raydan çıkmasının önüne geçmek
3) Artgerme kabloları kullanılarak destek bağlantılarına yukarı doğru kuvvetler sağlanarak kolon yükünün bir kısmı orta açıklığa kadar ulaştırılabilir. Ayrıca çelik silindirlerin eşit aralıklarla yerleştirilmesi yükün yayılı olarak aktarılmasına yardımcı olur.



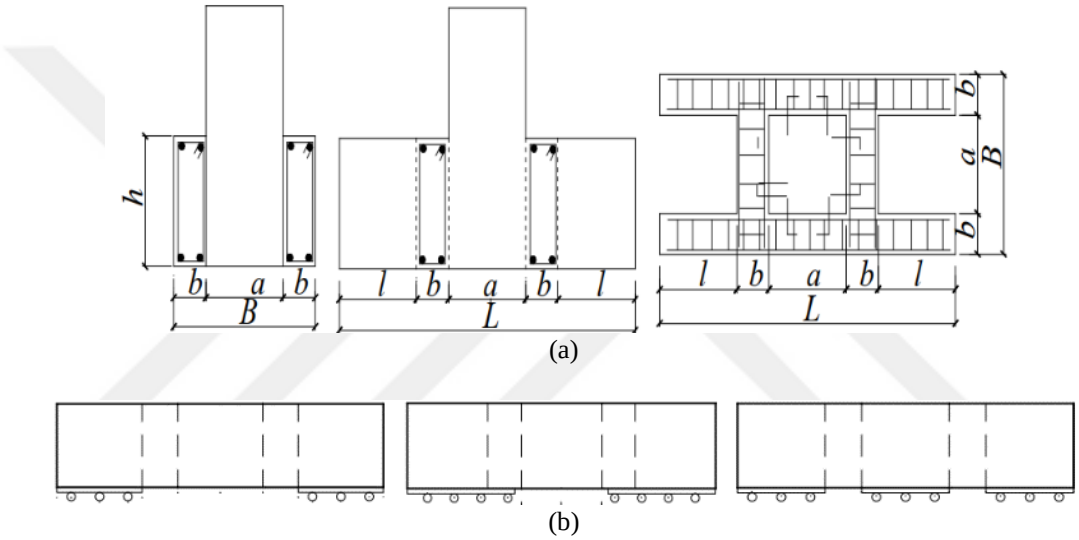
Şekil 5.30. Destek kirişlerine uygulanan artgerme kabloları (Guo vd., 2013)

5.5. Destek Kirişi ve Çelik Silindirler

Raylı sistemlerde yapı ağırlığını ray temellerine iletebilmek için taşıyıcı kolon veya duvarın mevcut temelden ayrılacak kısmına destek kirişi (underpinning) inşa edilir. Destek kirişinin görevi yapı yükünü kolonlar aracılığıyla ray kirişine aktarmaktır. Destek kirişinin altına gelecek olan farklı ray silindir dizilimleri, yapının dengesi ve güvenliği üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Şekil 5.32'de bir destek kiriş sistem örneği gösterilmiştir. Burada, a, kolonun yan uzunluğu, b, destekleyici kirişin genişliği, l, destekleyici kirişin konsol uzunluğu, h, destekleyici kiriş yüksekliğinin derinliği, L, kirişin toplam uzunluğu ve B, kirişin toplam genişliğidir (Şekil 5.31).



Şekil 5.31. Dört taraftan sarılı destek bağlantısı (Yue vd., 2017)



Şekil 5.32. Destek kiriş sistemi (Underpinning) a) Donatı dizilimi; b) Silindir dizilim düzenleri (Daolin, 2018)

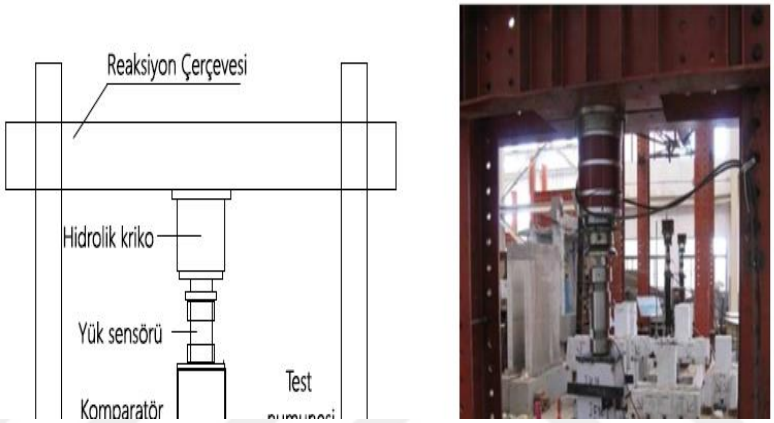
Kolon altına inşa edilen taşıyıcı destek kiriş sistemi (underpinning), özellikle yerçekimi yükleri olan yüksek yapılar için yapısal hareket sürecinde önemli bir birleşendir. Destekleyici kirişin farklı silindir düzenlemesi destek kiriş sisteminin dayanıklılığını ve yapının stabilitesini doğrudan etkilemektedir.

Taşıyıcı kolonlara bağlanan sargı-temel bağlantısının kırılma morfolojisi ile destek kirişinin altındaki farklı silindir düzenlemeleri arasındaki ilişki incelenerek en uygun taşıma kapasitesi belirlenebilir. Dolayısıyle, bu alanda yapılan deneysel çalışmalar incelenerek destek kiriş sistemi irdelenmiştir (Yue vd., 2017; Daolin, 2018) (Şekil 5.32b).

Yapının yatay hareketini sağlayan destek kirişi altındaki silindirlerin yerleşim düzeni, destek kirişinin taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Silindirler kolona yakınlaştıkça destek kirişinin taşıma kapasitesi de artmaktadır. Bu nedenle,

pratik mühendislik uygulamalarında, destekleyici kirişin deformasyonunu azaltmak ve destekleyici kirişin düğüm noktasındaki taşıma kapasitesini iyileştirmek için silindirler destek kirişinin altına eşit olarak dağıtılmalıdır (Daolin, 2018).

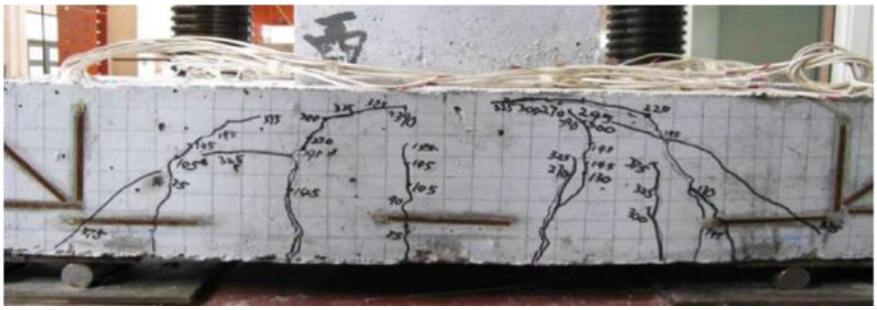
Yue vd. (2017) destek kiriş sistemini yük altında oluşan çatlaklar bağlamında deneysel ve sayısal analizlerle incelenmiştir. Bu incelemelerde hasara dayalı analiz metodu benimsenerek betonun çatlaması ve kırılması ABAQUS programında VUMAT eklentisi yardımı ile modellenmiştir. Model ve hesaplamalardan çıkan sonuç ile Şekil 5.33 ve Şekil 5.34'de gösterilen çatlak deneyinden çıkan numuneler karşılaştırılmıştır.



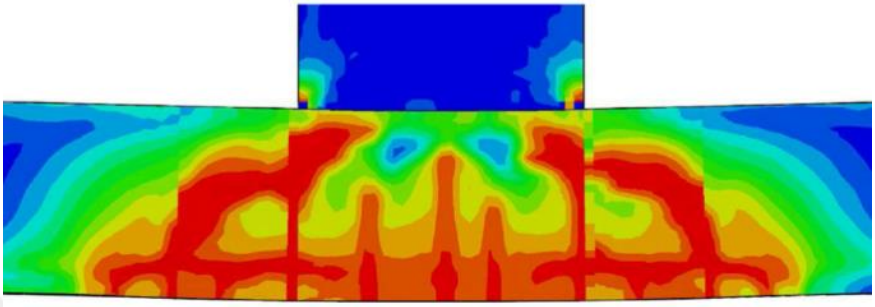
Şekil 5.33. Çatlak analiz deney detayı ve yerinde gösterimi (Yue vd., 2017)

Şekil 5.34. Çatlak analiz deneyi için hazırlanmış destek kiriş sitemi (Yue vd., 2017)

Yapılan deneyler ve model hesaplamalarının karşılaştırılması neticesinde destekleme kirişinin uzaysal özelliğe sahip olduğu, dikkatli ve karmaşık modelleme gerektirdiği sonucu çıkarılmıştır (Şekil 5.35).



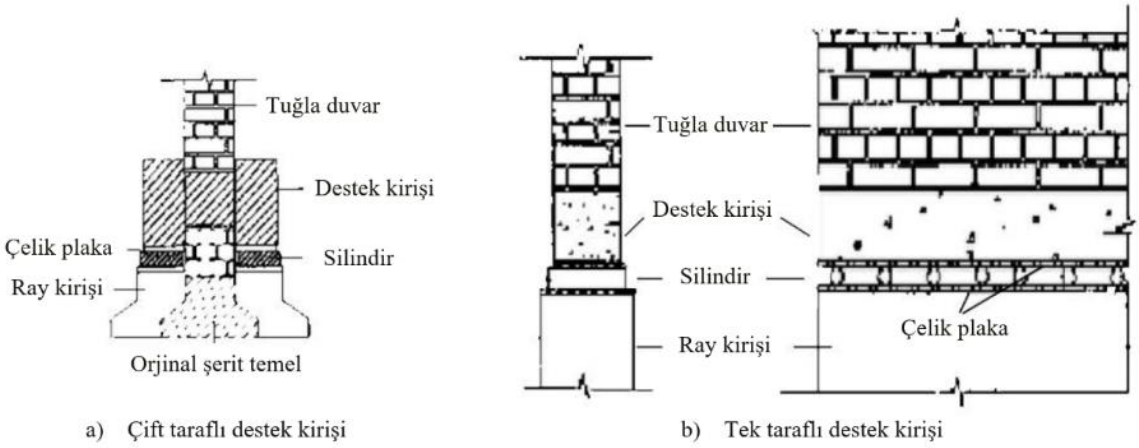
(a) Deneyin çatlak dağılımı



(b) Modelin çatlak dağılımı

Şekil 5.35. Çatlak analiz deneyi ve tasarım modelinin karşılaştırılması (Yue vd. 2017)

Yapı strüktür sisteminin yığma-kargir olması durumunda, yapı ağırlığını ray temellerine iletecek destek sistemi Şekil 5.36'da gösterildiği gibi tek ve çift taraflı olmak üzere iki şekilde betonarme olarak imal edilebilir.

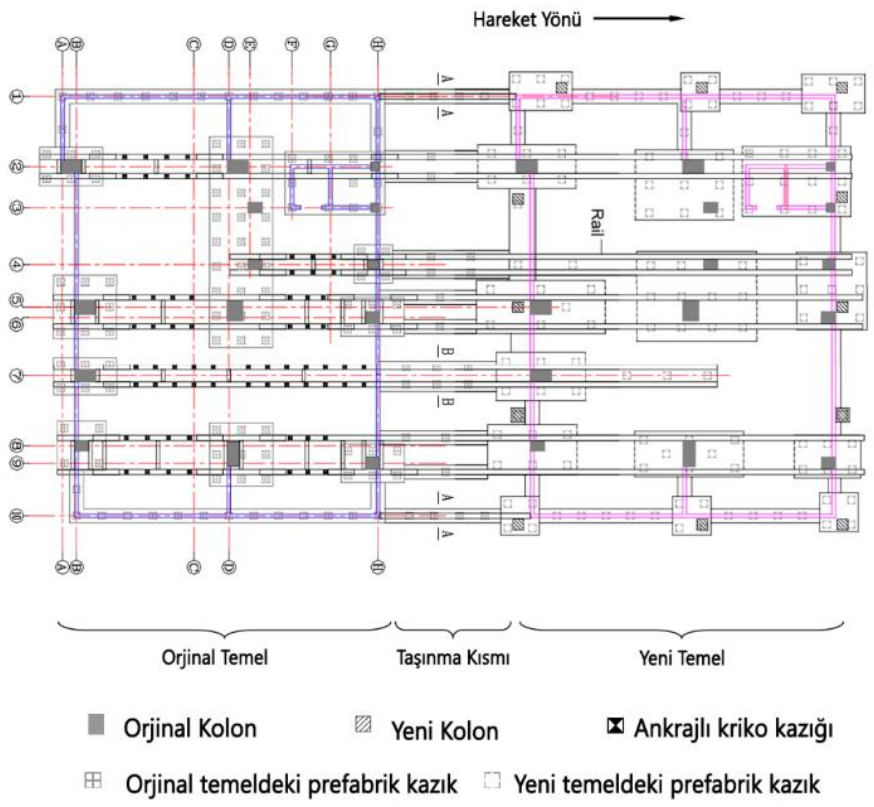


Şekil 5.36. Yığma yapı duvarının destek kiriş sistemi için şematik grafik (W. Lu ve Wang, 2016)

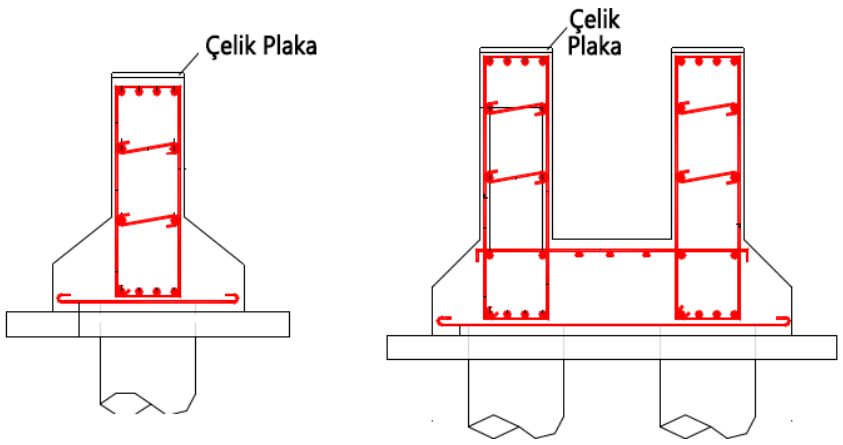
5.6. Raylı Sistem ve Kazık Temeller

Raylı sistem üç kısımdan oluşur; Şekil 5.37'de gösterildiği gibi orijinal temeldeki raylar, yeni temeldeki raylar ve geçiş bölümündeki raylar olarak sıralanabilir. Raylar taşıyıcı özelliklerine göre özel üretilebilir. Şekil 5.38'deki gibi raylar tek kirişli ve çift

kirişli olarak tasarlanabilir. Rayların, toplam maliyetin büyük kısmını oluşturduğu düşünülürse, ray sayısı mümkün olduğunca en aza indirilmelidir.



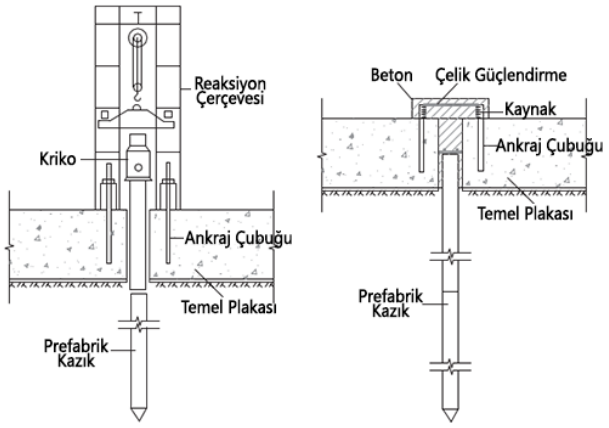
Şekil 5.37. Örnek bir taşıma projesinin orijinal, taşınma rotası ve yeni temel projesi (Guo vd., 2013)



Şekil 5.38. Destek kirişlerinin altındaki raylı sistem detayı (tekli ve ikili ray) **(Guo vd., 2013)**

Mevcut temel altına kazıklar yerleştirilirken kazık makineleri için yeterli alanın olmaması durumlarında Şekil 5.39(a)'da gösterilen küçük reaksiyon çerçevesi, ankraj çubukları ve krikolar gerektiren ankrajlı prefabrik kazıklar kullanılabilir. Kazık bölümleri Şekil 5.39(b)'de gösterildiği gibi kaynak ve yapısal harçla temele bağlanır. Kazık uzunluğu yeterli derinliğe ve kazık kuvveti istenilen tasarım yüküne ulaştığında

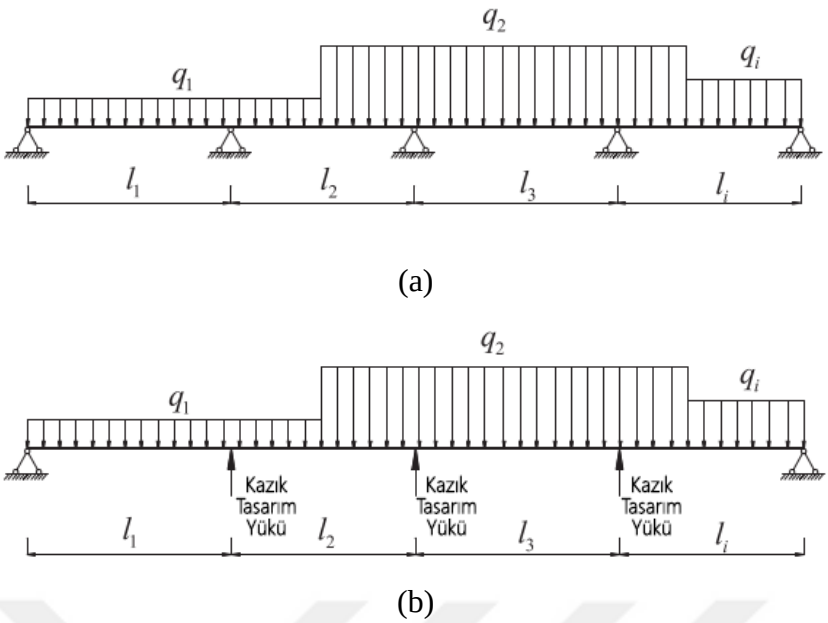
kazık preslemesi durdurulur. Kazık presleme bittiğinde, ankraj çubuklarına çelik takviyeler kaynaklanarak beton dökülür.



(a) (b)

Şekil 5.39. Mevcut temel altındaki ankraj kazıkları: a) Kazık presleme sırasında; b) Kazık presleme bittikten sonra (Guo vd., 2013)

Rayların tasarım momentleri ve kesme kuvvetleri, Şekil 5.40'dekine benzer analitik modeller kullanılarak elde edilebilir. Geçiş bölümündeki raylar ve yeni temel, bir dizi hareketli yayılı yüke (yani q_1, q_2, q_3,…,q_i) maruz kalan çok açıklıklı kirişler olarak kabul edilebilir. Şekil 5.40(a)'da gösterildiği gibi, burada l_i kazıklar veya kazık temeller arasındaki boşluğu gösterir. Silindirlerin artgermeli rijit destekleyici kirişler altında düzgün bir şekilde dağıldığı göz önüne alındığında, tekil kolon yükleri bir dizi yayılı yük olarak aktardığı düşünülebilir. Etki çizgisi analizleri kullanılarak maksimum momentler ve kesme kuvvetleri elde edilir. Orijinal temeldeki ankrajlı kazıkların sadece sınırlı destek sağlayabildiği düşünülürse, negatif moment bölgesindeki takviyeler sürekli olmazlar. Bu nedenle, raylar bir dizi hareketli yayılı yüke (yani, q_1, q_2, ...; q_i) ve bir dizi yukarı doğru tekil yüklere (kazıkların tasarım kapasitesi) maruz kalan tek açıklıklı kirişler olarak kabul edilebilir. Şekil 5.40(b)'de gösterildiği gibi sol ve sağ destekler, aralarına ankrajlı kazıkların bastırıldığı iki orijinal temele karşılık gelmektedir.



Şekil 5.40. Rayların analitik yük modellemesi; (a): geçiş bölümü ve yeni temel (b): orijinal temel

5.7. Taşıyıcı Sistemin Kesilmesi

Yapının taşınması için gereken tüm hazırlıklar bittikten sonra destekleme kirişinin altından kesimi yapılarak, üst yapı temelinden ayrılmış olur. Bu ayırma işlemi, üst yapıyı hareketli hale getirecek ve ray temel sistemi test edileceğinden önemli bir adımdır. En sık kullanılan teknikler manuel kesme, yarı-mekanik kesme ve mekanik kesme yöntemleridir. Kesim işlemi Şekil 5.41'de gösterilen elektrikli zincirli testere veya disk ile yapılabilir. Kesim işlemi bittikten sonra yapı yükü artık destek sistemlerine aktarılacaktır.

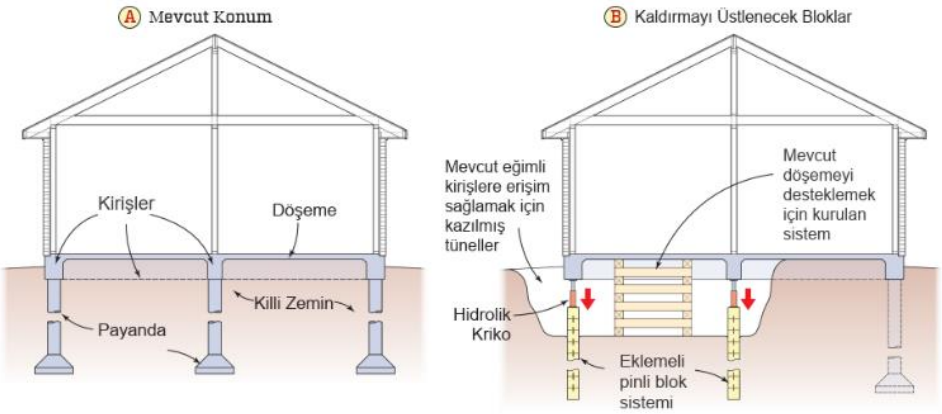
Şekil 5.41. Elektrikli zincirli testerenin betonarme kolonu kesme işlemi (solda) (Zhao vd., 2012), Hasankeyf Zeynelbey Türbesi taş yığma temelinin disk ile kesilmesi (sağda) **(Kendir, 2020)**

5.8. Yapının Kaldırılması

Tarihi bir yapının taşınması, yatay ve dikey yönde veya her ikisinin birleşiminde mümkündür. Bir yapının dikey olarak kaldırılması da başka bir seviyeye taşınma olarak değerlendirilebilir. Yapıların taşınması denilince çoğunlukla, modern bir taşıma teknolojisi ile yapılan uygulamalar dikkate değer bir başarı olarak görülmektedir (Curtis, 1979).

Geleneksel kaldırma teknolojisinde, Şekil 5.42'da gösterildiği gibi her bir kaldırmadan sonra üst yapıyı geçici olarak desteklemek için dolgu blokları kullanılır. Daha sonra yağ pompaya geri döner ve ikinci kaldırma için hidrolik krikonun altına başka bir dolgu bloğu eklenir. Bu işlem, üst yapı hedef yüksekliğe kaldırılana kadar tekrarlanır. Geleneksel kaldırma yönteminin avantajı, tüm sistemin basit olması ve yükün doğrudan aktarılabilmesidir. Bununla birlikte, bu yöntemin dezavantajları şunlardır (Guo vd., 2012):

1) Her kaldırmadan sonra, bir sonraki kaldırma mesafesi için yeni dolgu blokları gereklidir.
2) Dolgu bloklarının sayısı arttıkça kaldırma sırasında kot farkı hataları oluşabilir.
3) Üst yapı, destekleyici platformun düz olmayan alt yüzeyinden veya krikonun dik olmamasından kaynaklanan küçük yatay yer değiştirmelere sahip olabilir.
4) Diferansiyel yük dağılımı ve kaldırma cihazının sınırlamaları nedeniyle yapıda beklenmeyen hasara neden olabilecek ek iç kuvvetleri ortadan kaldırmak zorlaşır.



Şekil 5.42. Geleneksel kaldırma yöntemi ile yapıyı kaldırma (Cushman, 2018)

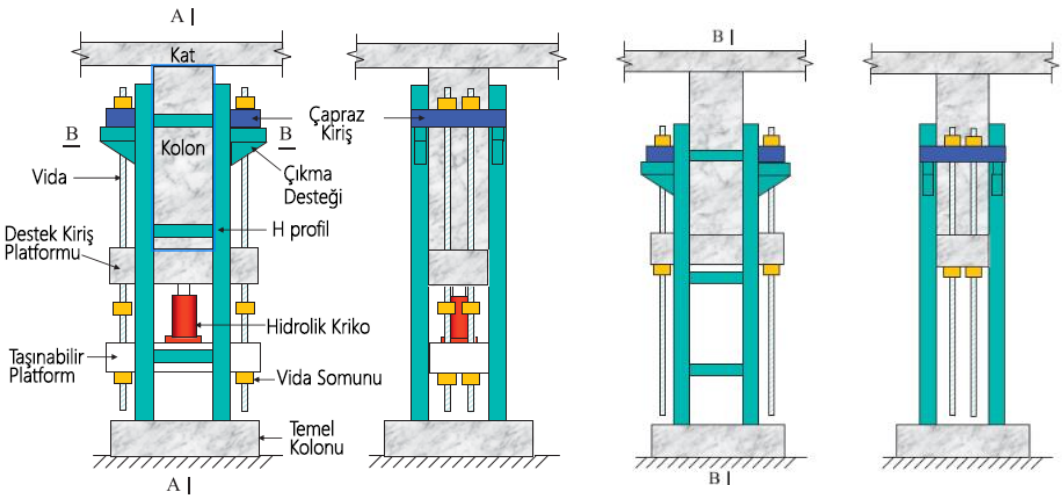
Tarihi yapıların diğer yapılardan daha hassas olduğu ve korunması gerektiği göz önüne alındığında, kaldırma sistemi için özel teknikler geliştirilmelidir. Temel olarak kaldırma işleminde dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekilde sıralanabilir:

1) Kaldırma basıncı kontrolü
2) Deplasman senkronizasyon kontrolü
3) Kaldırma sistemi durumunun gerçek zamanlı izlenmesi (Zhao vd., 2012).

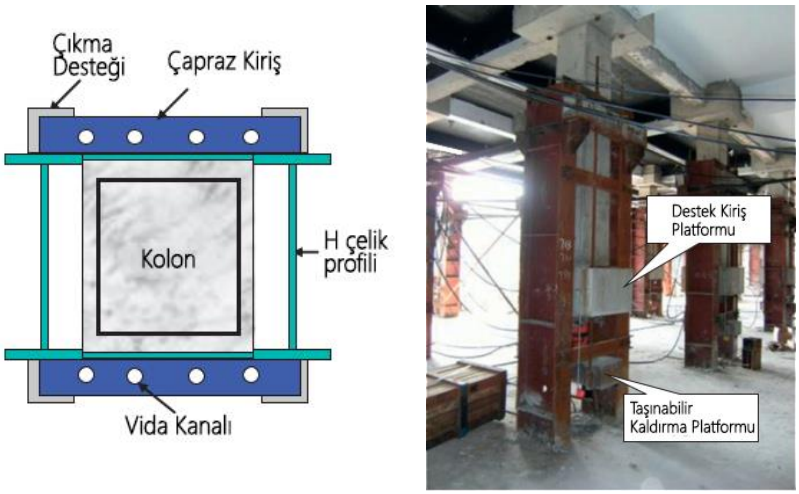
Yapıdaki ağırlık dağılımları farklı olduğundan, hidrolik silindirlere etkiyen sabit yükler de eşit değildir. Bu durum da kaldırma sisteminin hidrolik basıncının her yük dağılımına göre otomatik olarak ayarlanmasını gerektirir. Yapının bozulmasını, çatlamaları ve dengesiz gerilmeleri engellemek için kaldırma sistemi, yapının her noktasını eşzamanlı olarak kaldırma yeteneğine sahip olmalıdır. Silindir basıncı, yer değiştirme ve gerilme durumları gibi parametrelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve zamanında geri bildirimleri, bir kaldırma işleminin güvenliğini ve kararlılığını sağlamak için çok önemlidir.

Kaldırma sisteminin belirlenmesinde yapının korunma durumu, strüktür yapısı, geometrik özellikleri ve çalışma alanı gibi birçok parametre etkili olmaktadır(Zhao vd., 2012; Guo vd., 2012). Bu anlamda literatürdeki bazı uygulama projeleri incelenmiş olup kaldırma sistemlerinde kullanılan temel kavramlara değinilmiştir.

Kaldırma yüksekliğinin fazla olduğu durumlarda yapının yatay kırılmalara karşı desteklenmesi ve kaldırmanın kriko kapasitesinden dolayı sürekli sekteye uğramaması için Şekil 5.43'de gösterilen çelik destekli kaldırma metodu uygulanabilir.



(a) (b) (c) (d)

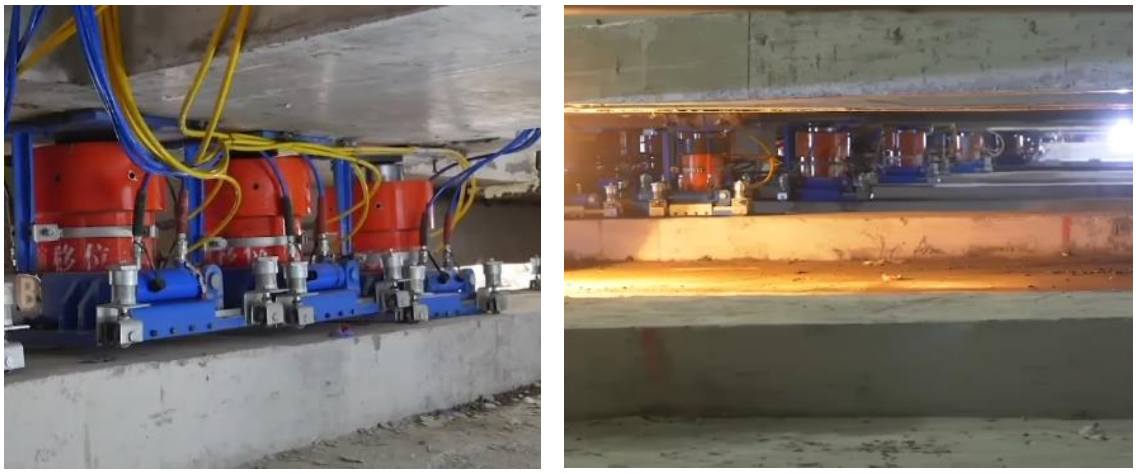


(e) (f)

Şekil 5.43. Çelik destekli kaldırma sistem detayı: (a) Profil (b) A kesiti (c) Bir kaldırmadan sonra (d) B kesiti (e) Profildeki B kesiti (f) Sahada uygulanması (Guo vd., 2012)

Yukarıdaki sistemde, kaldırmanın stabilitesini ve verimliliğini arttırmak için mevcut kolonun her iki yanına H profilli çelik kolon yerleştirilerek çıkma destekler ile kaynaklanmıştır. Daha sonra çıkma desteklerinin üzerine çapraz kirişler yerleştirilmiştir. Hidrolik krikonun altına yerleştirilen hareketli platform sayesinde sistem aksamadan kaldırma işlemi yapılabilmektedir. Kaldırmayı taşıyacak yeterli sayıda vida, çapraz kirişlerden, destekleme platformundan ve hareketli platformdan geçmektedir. Bir kaldırmadan sonra Şekil 5.43(c ve d)'de gösterildiği gibi destek platformunun altındaki vidalar yükseltilip sıkılır. Böylece kolonun dikey yükü vidalar aracılığıyla çapraz kirişe ve H profilli çelik kolonlara aktarılır. Daha sonra hidrolik yağ pompaya geri döndürülerek hareketli platform başka bir kaldırma işlemi için tekrar yükseltilir.

Raylı sistemlerle taşıma işleminde geleneksel hidrolik sistemlerin yetersiz kaldığı durumlarda, Çin'de yeni kullanılmaya başlanan Şekil 5.44'deki taşıma ve itme özelliği olan hidrolik sistem daha avantajlı olmaktadır. Hem kaldırma hem de ileri itme özelliği olan özel tasarlanmış hidrolik krikolar ile taşıma işlemi çok hızlı ve güvenilir olmaktadır. Yapıyla beraber hareket eden bu gelişmiş sistem, yapı geometrisinin karmaşık, ağırlığının çok yüksek ve taşıma rotasının kısa ve açılı olduğu durumlarda kullanılmaya daha elverişlidir.



Şekil 5.44. Kaldırma ve itme özelliğine sahip hidrolik sistem (URL-4)

5.8.1. Hidrolik sistem ve bilgisayar kontrolü

Gelişen teknolojiyle beraber programlanabilir mantıksal denetleyiciler (PLC) ve kapalı döngü kontrol mekanizmaları hidrolik kaldırma sistemlerine entegre edilmiştir. Bu sistemlerle yukarıda bahsedilen gereksinimler hassas bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Hidrolik basıncı ve deplasman değerleri, kapalı döngü sistemler (closed-loop control) sayesinde değişen yük ve yer değiştirmeye göre anlık olarak kendi içinde otomatik olarak belirlenir. Hidrolik alt sistem ve bilgisayar kontrol alt sisteminden oluşan PLC sistemi, senkron kaldırmayı otomatik olarak gerçekleştirme, hidrolik basınç ve deplasman izleme ve kontrolü, kaldırma işlemi görüntüleme, arıza alarmı gibi birçok işlevi arşivleyebilir. Bazı ana özellikler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kullanışlı bir arayüze sahiptir.
- Çek valfi basınç sızıntılarını önleyebilir ve yük için etkin destek sağlayabilir.
- Tüm hidrolik silindirler aynı anda ve bağımsız olarak kontrol edilebilir.
- Kaldırma noktalarının sayısı, yapının ölçeğine ve ağırlığına göre isteğe bağlı olarak artırılabilir veya azaltılabilir.
- Yapının her bir parçası arasındaki senkron yer değiştirme hatası 2 mm'den daha az bir hassasiyetle kontrol edilebilir.

Yapıdaki ölü yük dağılımına göre kaldırma noktalarına tahsis edilen hidrolik krikolar Şekil 5.45(a)'da gösterilen pompa istasyonuna bağlanır. Oransal valf (proportional valves), basınç sensörleri ve yüksek hassasiyetli elektronik amplifikatörlerden oluşan basınçlı kapalı devre kontrol sistemi, kaldırma sırasında basınç düşürme valfinin (PRV) basıncını, krikolardaki ölü yük dağılımına göre

ayarlayabilir. Yapının yükseltilen kısmındaki her bir kriko noktasına yer değiştirme dönüştürücüsü (displacement transducer) yerleştirilerek, yapının konum bilgisini ölçen ve bilgisayara ileten bir kapalı döngü sistemi (closed-loop system) kurulur. Bilgisayar kontrol sistemi bir yer değiştirme talimatı gönderdiğinde, ölçüm ve belirtilen deplasman arasındaki tutarsızlıklar, krikoların hızını otomatik olarak ayarlayan PLC'ye iletir. Bu sayede yapının tüm bölümleri senkronize bir şekilde kaldırılabilir.

Endüstriyel bir kişisel bilgisayar, kaldırma işlemindeki parametre varyasyonunu kaydetmek ve izlemek için PLC ile bağlanır. Teknisyenin kullandığı bilgisayar tarafından alınan başlatma talimatını aldıktan sonra, ana kontrolör bağımlı kontrolörlerle haberleşir ve kaldırma işlemini gerçekleştirir. Hidrolik cihazlar arasındaki iletişim, otomasyon sektöründe bir standart olan PROFIBUS ile yapılabilir. Hem deplasmanlar hem de yükler, PROFIBUS aracılığıyla Şekil 5.45(b)'de gösterilen bilgisayar ekranında canlı olarak görülüp kaydedilebilir (Zhao vd. 2012).

(a)

(b)

Şekil 5.45. (a) Hidrolik sistemin pompa istasyonu (b) Bilgisayar kontrol sistem paneli (Zhao vd., 2012)

5.8.2. Kaldırma işlemi öncesinde dikkat edilmesi gereken hususlar

Yapı kaldırma işlemini başlatmadan önce şu hususlar kontrol edilmelidir:

I. Yapı ve ekipman kontrolü

a. Tüm krikolar sıkıca ve dikey olarak takılmalıdır.

b. Yapının kaldırılmasını engelleyecek tesisler kaldırılmalıdır.

c. Kaldırma ile ilgisi olmayan tüm yükler kaldırılmalıdır.

II. Yapı kaldırma sisteminde oluşması muhtemel hataların kontrolü

a. Hidrolik sistemde aşağıdaki durumlara göre kontrol yapılmalıdır:

- Pompa istasyonu ve silindirleri birbirine bağlayan borular doğru ve sağlam bir şekilde takılmalı ve yağ deposunun sıvı seviyesi belirtilen konuma gelmelidir.
- Yüksüz çalıştırmadan sonra, hidrolik yağın etkin bir şekilde filtrelenebileceği hidrolik yağ boruları düzgün olmalı ve sızıntı olmamalıdır.

b. Bilgisayar kontrol sisteminde aşağıdaki durumlara göre kontrol yapılmalıdır:

- Kontrol cihazlarının ve iletişim hatlarının bağlantısı ve kurulumu doğru olmalıdır.
- Tüm sensörler, valfler ve PLC düzgün çalışmalı ve hidrolik sistem kontrol talimatlarına yanıt vermelidir.
- Deplasman ve basınç sensörlerinin sinyalleri uygun şekilde iletilmelidir.

III. Üst yapı ölü yük ağırlığı

Yapıyı kaldırmadan önce üst yapı ölü yükü hesaplanarak silindirler üzerindeki gerçek yük dağılımının bilinmesi gerekir. Aslında, ölü yükün ağırlığının hesaplanması, üst yapının yaklaşık 5 mm'lik küçük bir yüksekliğe kaldırılmasını gerektirir. Gerçek silindir basıncı ve yer değiştirmesi aynı anda kaydedilmelidir. Basıncı tekrar ayarlayarak, üst yapıyı iyi dengeleyebilen ve yapının farklı kısımlarını eşzamanlı olarak kaldırabilen bir dizi basınç değeri oluşturulur.

IV. Deneme testi

Kaldırma sisteminin güvenilirliğini kontrol etmek ve ayrıca yük sonuçlarını doğrulamak için belirli bir yükseklikte bir deneme kaldırması yapılmalıdır.

5.9. Taşınma Rotasının Geoteknik Analizi

Ağır yapıların raylı sistemlerle taşınması durumunda yol güzergahında oluşabilecek zemin ve temel oturmaları taşınma bekleme süresi de dikkate alınarak analiz edilmelidir. Taşıma gücü düşük zeminlerde ray temelleri altına kazık sistemleri uygulanmalıdır. Kazıklarda oluşacak gerilme ve yer değiştirme değerleri analiz edilmelidir. Oturmaların güvenli limiti aşması durumunda yapıda düzensiz eğilme ve çatlamalar oluşabilmektedir. Raylı sistemin hassas bir düzende olmasından dolayı zeminde meydana gelebilecek oturmalar hem yapı-ray sürtünmesini hem de yapı

strüktür güvenliğini olumsuz yönde etkileyecektir. Yapı taşınma süresinin uzaması durumuna bağlı olarak oturma miktarı da artacaktır. Yapının yol boyunca yapacağı oturmalar ne kadar tahmin edilse de yeni temel son kotunun taşıma işlemi bitince inşa edilmesi kot uyuşmazlığının önüne geçecektir (Jia vd., 2011).

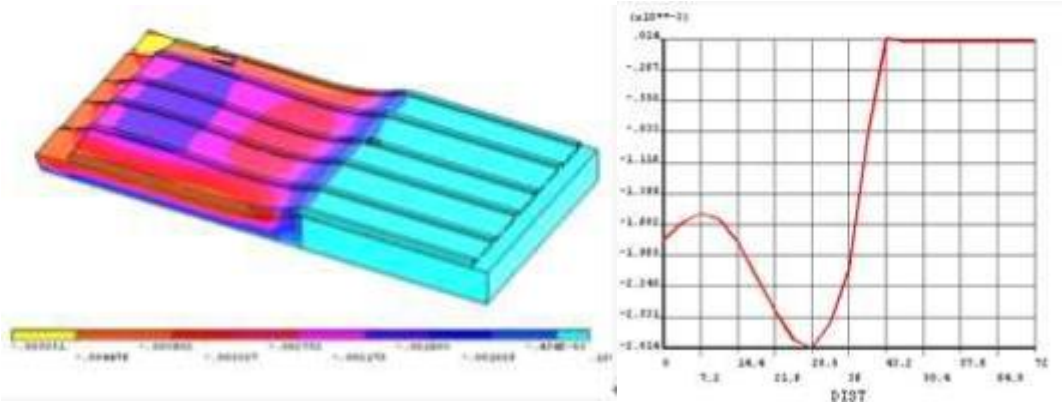
Yapıyı yer değiştirme güzergâhı boyunca taşıyan ray temelinde belli bir aralıktan sonra kabarma meydana gelir. Taşınan yapı hareketi, ray altı temelinde sadece dikey ve yatay sıkıştırma oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda ray hat kirişinde belirli bir aralığın ötesinde yukarı yönde esneme oluşturur ve bu yukarı esnemenin ray altındaki taşıyıcı temel üzerinde küçük bir etkisi vardır. Oluşan bu etki taşıyıcı kirişin çalışma mekanizmasını tersine çevirdiği için rayda bozulmalara neden olabilir.

Yapının taşınması sırasındaki hız kontrolü ve bekleme süresi zemin oturmasını etkileyen önemli faktörlerdir. Aşırı hız, yapıda büyük bir yatay titreşime sebep olabilir. Krikonun çalışma frekansı binanın doğal frekansına yakın olduğunda rezonans meydana gelip yapıya zarar verebilir. Yapının yatay olarak düzgün bir hızla hareket ettiğini varsayarsak maksimum hız Denklem (5.1 ile hesaplanabilir (Shang vd., 2017).

$$V = \frac{S}{T_p} \leq 0.8\frac{S}{T} \tag{5.1}$$

Formülde V, bina yer değiştirmesinin hız sınırını; S, krikonun kriko yolunu; T_p, dinamik etki döngüsünü; T, binanın yer değiştirme yönündeki doğal titreşim periyodunu temsil eder ve T = (0.04～0.06)n ampirik formülüyle tahmin edilebilir. Burada n, binadaki kat sayısını temsil eder.

Uzun bir bekletme süresi sadece inşaat süresini uzatmakla kalmayacak, inşaat maliyetini de artıracaktır. Aynı zamanda yer değiştirme projesinin güvenliğini de etkileyen temel oturmasını ve deformasyonunu artıracaktır. Şekil 5.46’de tarihi bir yapının raylı sistemlerle taşınması sırasında yolda yapmış olduğu deplasmanın yapının bekletilme süresi bağlamında deplasman grafiği verilmiştir. Proje deneyimlerine göre, taşınan yapının genel tutma süresi en fazla 2-3 gün olmalıdır (Shang vd., 2017).



a) b)

Şekil 5.46. a) Yapının taşınma rotasında yapmış olduğu temel deplasmanı b) Taşınma sırasındaki deplasman grafiği (Jia vd. 2011)

Aşırı temel oturması ve deformasyonu, taşınan yapıda ek iç kuvvetlere neden olacaktır. Bir yandan yapıda çatlaklara sebep olacak ve görünümü etkileyecektir, diğer yandan kuvvet bileşenlerine zarar vererek yapının güvenliğini etkileyecektir. İzin verilebilir bina temel kotu deformasyonu, köprü vinç ray yüzeyinin yatay yüksekliğinin 0.003 katı ve dikey yüksekliğinin 0.004 katı olmalıdır (Shang vd., 2017).

Taşıma projesinin taşınma yolu geçici bir yol olduğundan, temel iyileştirmesi sadece taşıma sürecindeki oturma ve deformasyon gereksinimlerini karşılamakla kalmamalı, aynı zamanda proje maliyetinden de mümkün olduğunca tasarruf edilmelidir. Dolayısıyla yumuşak zeminlerde jet grout kolonu, derin karıştırma kolonu, fore kazık ve taş kolonlar ile zemin iyileştirmesi uygulanabilir.

Derin karıştırma kazık sistemlerinde temel oturmasını etkileyen ana unsurlar; çimento tipi, kür maddesi miktarı, kazık uzunluğu, kazık çapı, kazık aralığı (alan değiştirme oranı) ve yastık kalınlığı olarak sıralanabilir.

Tarihi yapıların sağlam ve tarihi dokusuna zarar vermeden SPMT araçlarıyla bir yerden başka bir yere taşınması aşamasında şunlara dikkat edilmelidir:

- Taşıma yolunun boyuna eğimi, taşıma aracının hidrolik sistem kapasitesine göre belirlenen değeri aşmamalıdır.
- Yolun enine kesitinde değişken eğimler bulunmamalı ve yatay düzlemi özellikle sabit olmalıdır.
- Yol genişliği, paftalarda belirtilen genişliği karşılamalı ve taşıma araçlarının manevralarında yarıçapları dönüşe imkân verir şekil ve ölçülerde olmalıdır.
- Yol zemini, asgari basınç gerilmelerini karşılayacak şekilde olmalı ve aşınma tabakasının, belirtilen sınırları geçmediğine dikkat edilmelidir.

- Taşıma yolu yapı ağırlığını taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Kullanılan yolun eğiminin, SPMT aracının hidrolik süspansiyon sistemi hareket alanlarına dikkat edilmelidir.
- Teker sisteminin zemindeki kot farkları ve tümseklerdeki yol eğimi dikkate alınarak esnemelerine özellikle dikkat edilmeli ve oluşan esneme hareketlerini absorbe edecek tedbirler alınarak gerekli sistem mekanizmaları kurulmalıdır.

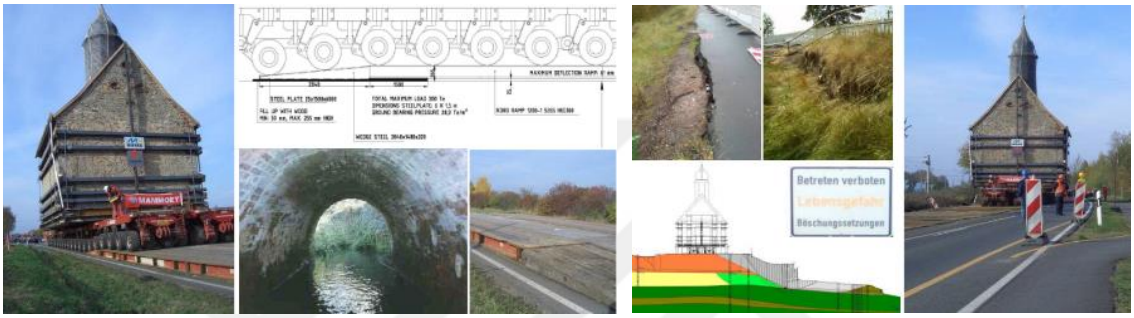
Taşıma güzergahı yol altyapısının güvenliğini test etmek için taşınacak yapı ağırlığından daha fazla bir ağırlıkla yol test edilmelidir (Şekil 5.47).

Şekil 5.47. Zeynel Bey Türbesi taşınma güzergahının beton bloklar ile test edilmesi

Taşınma güzergahında karşılaşılabilecek problemlerden bir diğeri ise elektrik direği ve kablolardır. Bu durumlar önceden tespit edilmeli ve gerekli çalışmalar yapılmalıdır (Şekil 5.48).

Şekil 5.48. Emmaus Kilisesi'nin taşınması sırasında karşılaştığı engellerin vinç ile kaldırılması (Koitzsch, vd. 2008)

TKV'nin özellikle şehir içi rotalarında yol altına bulunan drenaj kanalları, menfez ve kablo kanalları gibi yüksek ağırlık altında çökebilecek boşluklar önceden analiz edilmelidir. Yol altyapısındaki kanallar genellikle araç trafiği için tasarlandıkları için (73 kN/m^2) ağır yapıların taşınması için güvenli değildir. Dolayısıyla bu kritik noktalarda statik hesaplamaların yapılması ve gerekli önlemlerin alınması gerekir. Ayrıca aktif toprak kayması olabilecek noktalar belirlenmeli ve gerekli dolgu çalışmaları yapılmalıdır (Şekil 5.49).



Şekil 5.49. Emmaus Kilisesi'nin taşınma rotasında bulunan menfez ve toprak kayması olabilecek noktalar ve üretilen çözümler (Koitzsch, vd. 2008)

5.10. İtici Kuvvetler ve Hareket Sistemi

Yapının yerinden hareket ettirilmesi için gerekli olan itici kuvvetin ray sürtünmesini aşması gerekir. Bu itici F kuvveti şu formülle tahmin edilebilir.

$$F = \mu . N \tag{5.2}$$

Burada,

N = Silindirler üzerindeki standart dikey yük

μ = Yapılan saha testlerinden elde edilen sürtünme katsayısı

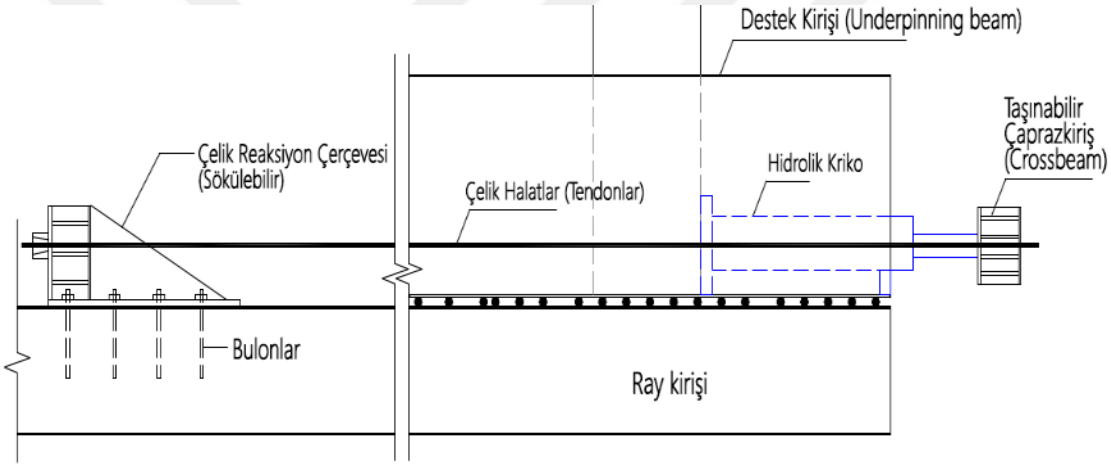
Dinamik yuvarlanma sürtünmesi için, μ katsayısı 0,04 ile 0,06 arasında değişirken, statik yuvarlanma sürtünmesi için bu değer 1,1 ile 1,2 arasındaki bir büyütme katsayısı ile çarpılmalıdır (Guo vd., 2013).

Bir yapıyı hareket ettirebilmek için, üç çeşit yol uygulanabilir;

1) Çelik halatlarla yapının önünden çekmek
2) Hidrolik sistemlerle yapının arkasından itmek

3) Şekil 5.50 ve Şekil 5.51'deki gibi hem çelik halat hem de hidrolik krikolarla bütünleşmiş bir sistem oluşturmak; itme ve çekmeyi beraber uygulayarak yapıyı hareket ettirmek

Çelik tendonları kullanan çekme sistemi genellikle itme sistemine göre daha yüksek verimliliğe ve harekette daha düzgün stabiliteye sahiptir. Çünkü itme sisteminde her itmeden sonra krikolar ve reaksiyon çerçeveleri arasına dolgu bloklarının eklenmesi gerekir, bu da özellikle uzun mesafe taşımalarında yapının yavaş ve kararsız ilerlemesine sebep olarak verimliliği düşürür. Bununla birlikte, çekme sistemi betonarme çerçevede çekme kuvvetleri oluştururken, itme sistemi basınç gerilmeleri oluşturur. Betonun çekmede zayıf olduğu göz önüne alındığında, betonarme yapıların yer değiştirmesi için itme sistemi daha uygun olur.



Şekil 5.50. Bütünleşik hareket sistem profili (itme ve çekmenin bir arada uygulandığı sistem) (Guo vd., 2013)

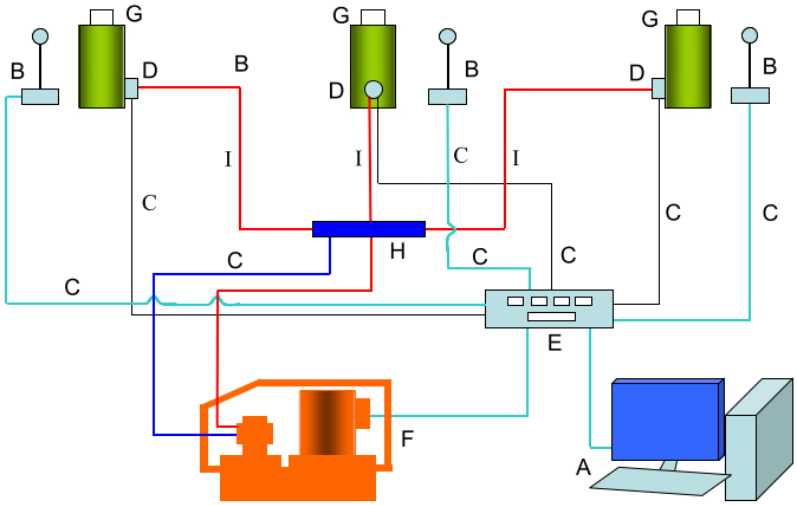
Şekil 5.51. Bütünleşik hareket sisteminin uygulanması (Guo vd., 2013)

Yapının ilk hareketinde statik sürtünmeye karşılık gelen başlangıç kuvvetleri, yapının hareketi sırasında uygulanan dinamik kuvvetlerden %10-20 daha büyük olmaktadır. Bu nedenle, yapı hareketine başlamadan önce çelik halatlar ilk hareket anına kadar birikecek olan enerjiyle uzar ve yapı aniden hareket haline geçer. Tendonlarda oluşan bu etki halatın uzunluğuyla ve yapının çok ağır olmasıyla daha da belirginleşir. Bu etkiyi hafifletmek için reaksiyon çerçeveleri binaya yakın tutularak halat mesafesi kısaltılabilir. Sökülebilir reaksiyon çerçeveleriyle birkaç aşamada taşıma işlemi yapılır. Ayrıca hareketin stabilitesini korumak için taşınma hız ivmesi düşük tutulmalıdır (1-2 mm/sn). İlk hareket anında oluşan ivmeyle yapıda rezonans etkisi oluşturmamak için ilk ivmenin yapının periyoduna yakın olmamasına dikkat edilmelidir.

5.10.1. İtmeli kontrol sistemi

Kolon yüklerinden raylara aktarılan yükler her aks için belirlendikten sonra her ray aksına uygulanacak hidrolik itme değerleri belirlenir. Bu değerlere göre hidrolik kriko kapasite seçimleri yapılır. Burada önemli olan, her aksa uygulanacak kuvvetin doğru tahmin edilmesi ve aynı anda uygulanmasıdır. Aksi takdirde, bitişik eksenler arasındaki itme kuvveti farklılıkları, binanın yatay çerçevesi tarafından emilecektir. En kötü senaryoda, yapı tasarlanmış olan yoldan gitmeyerek raylardan çıkacaktır.

Hidrolik itme sisteminin her aksa aynı anda gereken kuvveti verebilmesi için Şekil 5.52'de gösterilen kontrol ve hidrolik sistemden oluşan senkronik bir sistem kullanılmalıdır (Guo vd., 2012). Kontrol sistemi bir bilgisayar, deplasman göstergeleri, bir hidrolik kontrolör ve basınç sensörleri vb.; hidrolik sistem de yağ pompalarını, servo valfleri ve hidrolik krikoları vb. içerir. Tüm itme eylemleri, programlanabilir bir mantık denetleyicisi aracılığıyla bir bilgisayar tarafından kontrol edilir. Basınç sensörlerinden alınan ölçümlere göre, hidrolik kontrolör, yağ pompası ve servo valf vasıtasıyla yağ hacmini basınç gerekli değerleri karşılayana kadar ayarlar. Binaya takılan yer değiştirme sensörleri, hareket yer değiştirmeleri üzerinde ölçümler sağlayıp bilgisayara iletir ve daha sonra kontrolöre sinyaller göndererek itmeyi senkronize olarak gerçekleştirir.

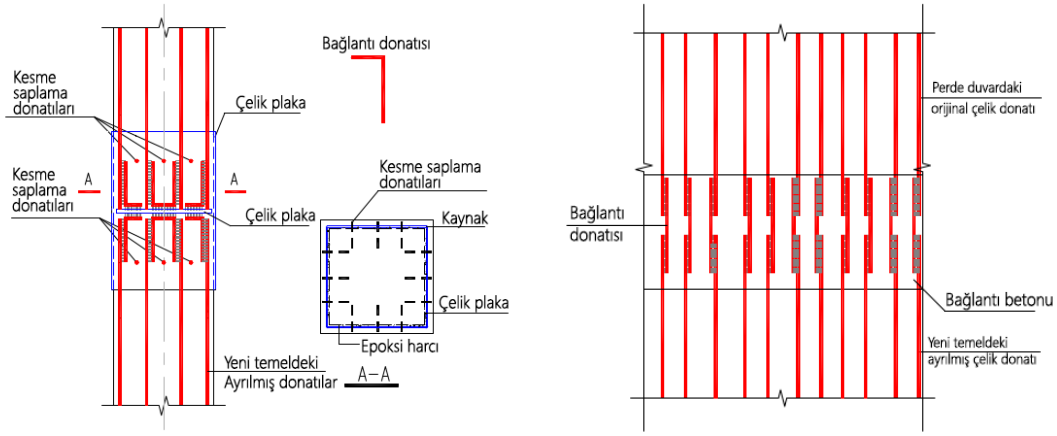


Şekil 5.52. Senkronik itme kontrol sistemi: (A) Bilgisayar; (B) Yer değiştirme göstergesi; (C) Sensör kablosu; (D) Basınç sensörü; (E) Kontrol veriyolu (Control bus); (F) Yağ pompası; (G) Hidrolik kriko; (H) Servo valf **(Guo vd., 2012)**

5.11. Yeni Temelle Bağlantı

Yeni temelle yapılacak olan bağlantı yapının deprem periyoduna ve yeni yerdeki zemin ve deprem durumuna göre değişebilmektedir. Binanın yeni bağlantısı yapının gelecekteki kullanımına ve bakımına engel teşkil etmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu bağlamda betonarme bir tarihi yapı için Şekil 5.53'dakine benzer Guo vd. (2013)'nin önerdiği bir bağlantı kullanılabilir.

Kolonlar için donatıların beton kaplaması ilk olarak soyulur ve boyuna donatılar Şekil 5.53(a)'da gösterildiği gibi çelik plakaya kaynaklanır. Aynı işlem yeni temel donatıları için de tekrarlanır. Ardından çelik plakalar birbirlerine kaynaklanarak bağlantıya hafif genleşme özellikli ince agregalı beton dökülür. Kolonun bağlantı noktasını güçlendirmek için dört adet çelik levha yapısal güçlendirme görevi gören epoksi harçla beton yüzeye yapıştırılır. Çelik levha ve beton arasındaki bağı güçlendirmek için ek çelik saplamalar kullanılabilir. Perde duvarlarının bağlantısı, orijinal çelik donatılar yeni temeldeki donatılarla bağlantı elemanları aracılığıyla birleştirilip Şekil 5.53(b)'de gösterildiği gibi bağlantı betonu dökülerek yapılabilir.



(a) (b)

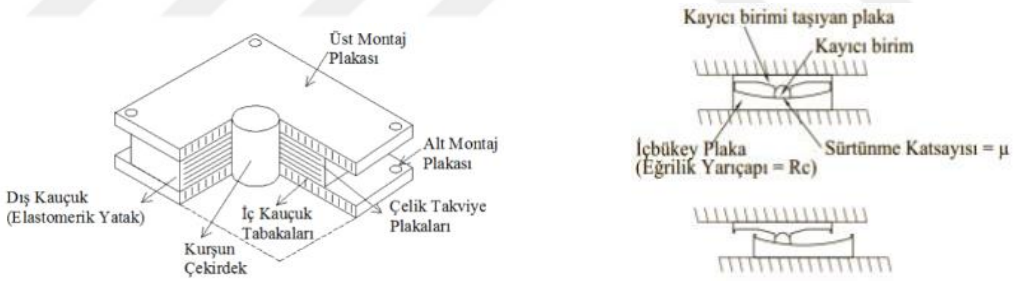
Şekil 5.53. Kolon ve duvarların yeni temelle bağlantısı: (a) kolon bağlantısı (b) duvar bağlantısı (Guo vd., 2013)

TKV'lerin strüktür sisteminin yığma yapı ve kütlelerin ağır olması durumunda bu yapılar, sistem özelliği olarak rijit olduklarından deprem ve taşınma sırasında oluşacak dinamik yüklere karşı rijit cisim davranışı gösterirler. Yatay kuvvetler yapıya etkidiğinde, her noktanın aynı deplasmanı yaptığı söylenebilir. Bu yapıların titreşim periyotları genellikle T=0,15 – 0,45 sn. arasında değişmektedir. Yapının ağırlığının çok olması gelen deprem kuvvetinin (F= m.a) kütle ile doğru orantılı olması sebebiyle daha büyük etkimesine sebep olur. Zemin hâkim titreşim periyodunun yapının periyoduna yakın olması durumunda, yapıda rezonans riski oluşur. Eğer yapı ağırlık merkezi rijitlik merkezine uzak olursa binadaki simetrik denge bozulur ve deprem sırasında yapıda burulma oluşabilir (Çavuş, 2011).

Yapının yeni konumundaki zemin periyodu ile yapının periyodunun aynı olduğu durumlarda muhtemel deprem kuvvetlerinin küçümsenemeyecek artışını önlemek için güçlendirme ve sismik izolasyon kullanımı olarak iki ana yöntem uygulanabilir. Yapının güçlendirilmesinin görüntü kirliliği ve tarihi dokuya zarar verme ihtimalinin olduğu durumlarda sismik izolasyon uygulanmalıdır. Yapının ağırlığı ve sismik özelliklerine göre en uygun sismik izolasyon seçilmelidir. Örneğin; Zeynel Bey Türbesi'nin yeni temelinde kullanılan sarkaç tipi *(friction pendulum)* izolatörler Şekil 5.54'de gösterilmiştir. Uygulanan sismik izolatörlerin su alması engellenmeli ve ileride yapılacak bakım çalışmaları için uygun alanın oluşturulması ve sismik izolatörlerin değişmesi durumunda yapıyı biraz kaldırabilmek için temel altında kriko yuvaları oluşturulması gerekmektedir.

Şekil 5.54. Zeynel Bey Türbesi'nin yeni temelinde; a) Su yalıtımı uygulaması, b) Sismik izolasyon uygulaması, c) Rijit betonarme temelin yapılması, d) Temel uygulamasının son hali

Şekil 5.55'de yaygın olarak kullanılan iki tip izolatör detayları gösterilmiştir: Elastomerik izolatörler (lead rubber bearing-LRB), sürtünmeli izolatörler (friction pendulum isolator-FPS).



Şekil 5.55. Kurşun çekirdekli lamine kauçuk (LRB) ve sürtünmeli sarkaç (FPS) izolatör yatak kısımları ve çevrim modelleri (TBDY-2018)

5.12. Yapısal Strüktür Analizi

Kaldırma işlemi yapılmadan önce yapının gerilme dağılımı analiz edilmeli ve kaldırma nedeniyle oluşabilecek olası olumsuz durumlar araştırılmalıdır. Taşıma işleminin en önemli unsurlarından biri, rotasını mümkün olan en az engelle mümkün olduğu kadar kısa ve geniş olacak şekilde planlamaktır. Taşınma rotası belirlendikten sonra, gelişmiş süspansiyon sistemine sahip SPMT araçlarıyla taşınma işlemi için özel olarak tasarlanan yollar kullanılır. Ancak bu yollarda, hareket halindeki yapının, ani hız

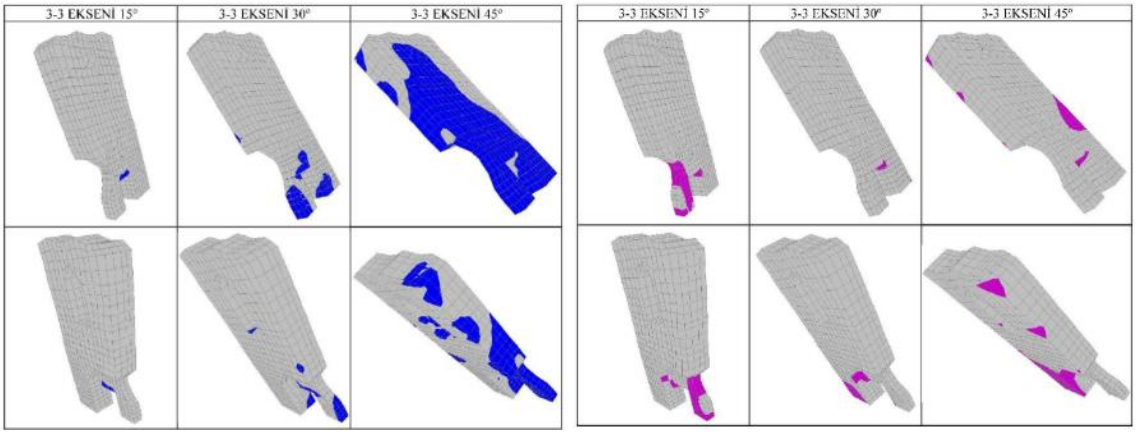
değişimi gibi beklenmedik durumlarla karşılaşması olasıdır. Bu durum özellikle hassas yığma yapılarda öngörülemeyen sonuçlar doğuracaktır.

Taşınma sırasında yapı, yatay ve dikey olmak üzere iki tür beklenmedik ivme ile karşılaşabilir. Bu ivmelerin kaynağı; taşıma aracındaki süspansiyon hataları, operatör hatası veya ani bir şekilde durması/hızlanması olabilir. Yıkılma riski yüksek yapılarda her iki durum için de belirli oranlarda yer çekimi ivmesi tanımlanarak gerilme ve deplasman analizleri yapılmalıdır.

Yazgan (2020), Hasankeyf'teki Orta Kapı'nın taşınması sırasında karşılaşılabileceği olumsuz durumların strüktürel analizini yapmıştır. Yapının aniden durması halinde yapı sırasıyla 0.05-0.25-1-1.5 g ivmelerine maruz bırakılarak seri analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda çekme gerilmelerinin, basınç gerilmelerinden daha etkili olduğu ve hem çekme hem basınç gerilmelerinin kabul edilen emniyet değerlerini aştığı belirtilmiştir. Gerilmelerin modellenen yapının etrafındaki destek strüktürü ve ayaklarında yoğunlaştığı Şekil 5.56'deki grafiklerden anlaşılmaktadır.

Tarihi yapının vinç ile kaldırılması, araca yüklenmesi, indirilmesi ve yeni yerine konumlandırılması sırasında birtakım sebeplerden kaynaklı dikey doğrultuda sapmalar ve dönmeler olması olasıdır. Bu durumda yapıya belirli eğimlerde dönme hareketleri verilerek gerilme değişimi analizler sonucunda incelenmelidir. Çelik çerçevelerle güçlendirilmiş yapıyı, vinç ile kaldırma anında ve yolda taşınması sırasında yol eğiminden kaynaklı yapı dönmelerini 10°-20°-30°'lik eğimlerde modelleyip, çekme ve basınç grafiklerini analizler sonucunda oluşturmuştur.

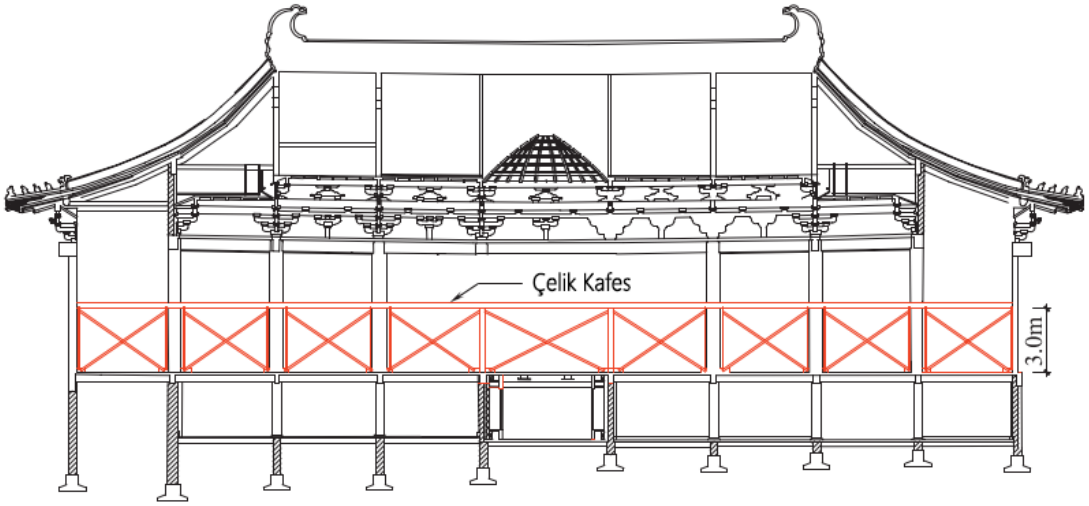
Çekme emniyet gerilmesi sınır değerinin 0,135 MPa ve basınç emniyet gerilmesinin 0,9 MPa olduğu kabulüyle yapılan analizde yapıda sınır değerlerinin aşıldığı, Şekil 5.56'deki grafikte görülmüştür. Bu analizler doğrusal elastik malzeme özellikleri kabulüyle yapılmıştır. Yığma yapının rijit davranış gösterdiği düşünülürse, yapının riskli bölgelerinde kırılmalar ve çatlamalar olması muhtemeldir.



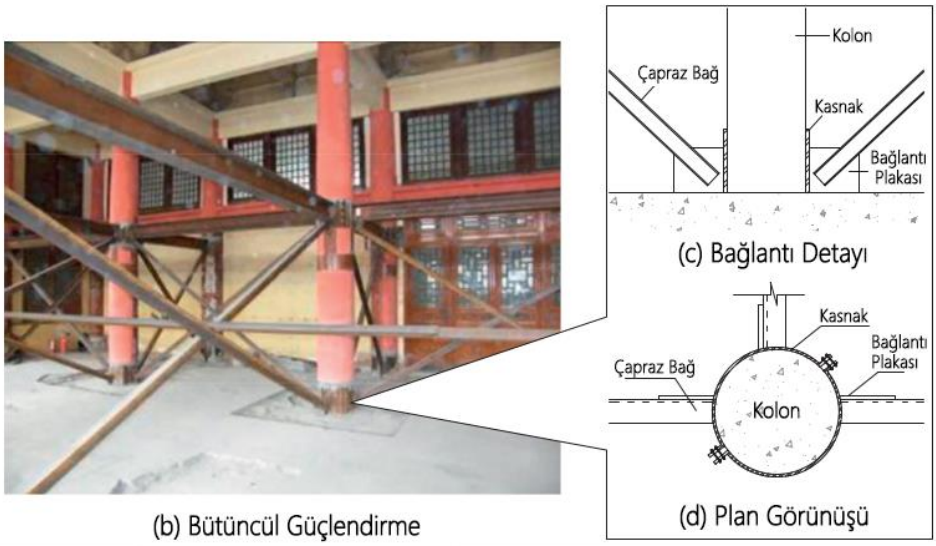
Şekil 5.56. Hasankeyf Orta Kapı'nın bütüncül olarak taşınmasında 15º, 30º ve 45º'lik açılarda dikey yükler altında oluşan çekme ve basınç gerilmeleri (Yazgan 2020)

5.12.1. Bütüncül Güçlendirme

Yapının kaldırılması sırasında uzun açıklıklı yapılarda kaldırma ve taşıma sırasında oluşabilecek ek iç kuvvetleri karşılamak için Şekil 5.57(a)'daki gibi strüktür güçlendirmesi gerekebilir. Yapı kat bütünlüğünü sağlamak ve mekânsal rijitliği arttırmak için uygulanacak kafes sistemin yapıya zarar vermemesi düşünüldüğünde Şekil 5.57(c ve d)'de gösterilen kolon bağlantı detayı uygulanabilir.



(a) Çelik kafes profil görüntüsü



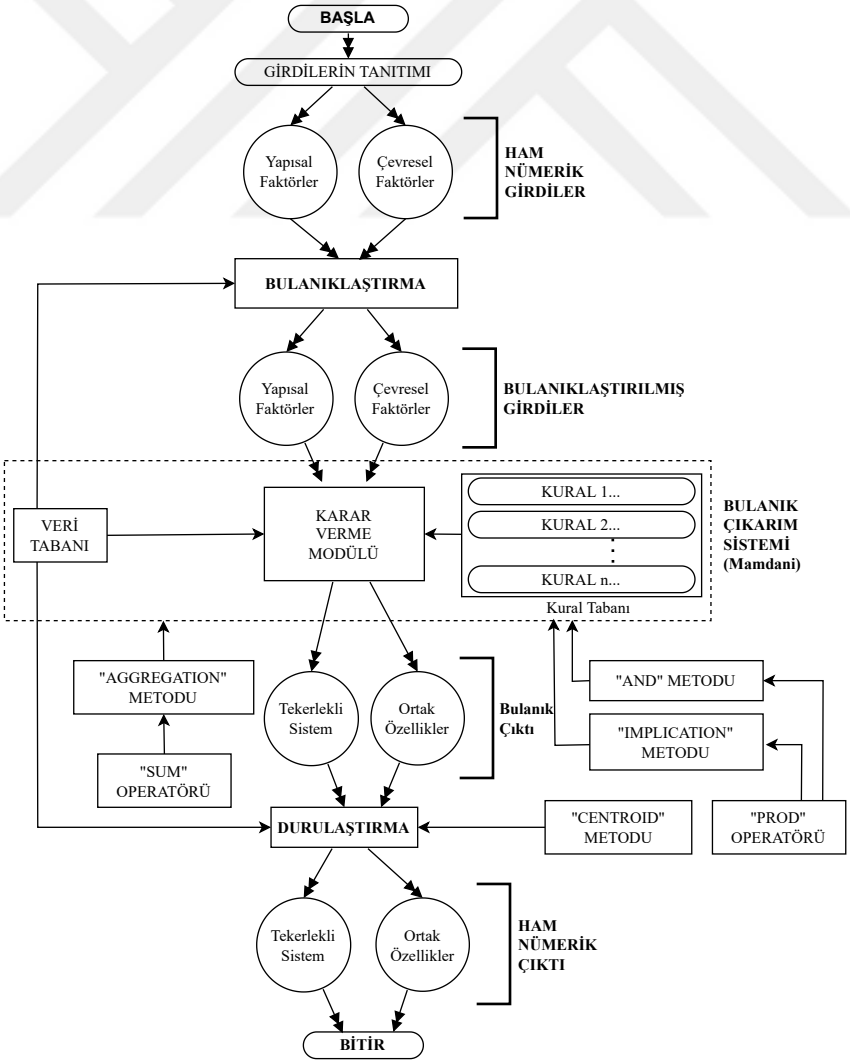
Şekil 5.57. Mekânsal güçlendirme kafes sistemi (Guo vd., 2012)

Yığma sistemler taş, tuğla, kerpiç gibi elemanlarla inşa edildiğinden çok rijit özellik gösterirler (Kara, 2009). Tuğla duvarların çekme dayanımlarının düşük olmasından dolayı taşınma sırasında oluşabilecek çatlama ve kırılmaların önlenmesi gerekir. Öncelikli olarak mevcut çatlaklar yüksek mukavemetli akışkan polimer harç ile doldurulup onarılmalıdır. Kafes donatı demirleri ve güçlendirilmiş kompozit malzeme (ferrocement) kullanılarak duvarlar çift taraflı olarak güçlendirilmelidir (Song vd., 2018).

6. TAŞINMAZ KÜLTÜR VARLIKLARI TAŞINMA PARAMETRELERİNİN BULANIK MANTIK İLE MODELLENMESİ

Bulanık mantık modelin tasarımında ilk adım, verilerin girdi ve çıktı parametrelerinin belirlenmesi ve girdilerin bulanıklaştırılmasının yapılmasıdır. Bulanıklaştırılmış verilerle oluşturulan kural tabanı sisteme dahil edilir. Son olarak, kurallar ve bulanık analize sokulan bulanık çıktılar durulaştırılır ve sözel ifadeler sayısal hale dönüştürülerek model çıktıları elde edilir. Bulanık mantık modelin işleyiş mekanizması ve TKV'lerin taşınması bulanık mantık model girdilerinin geçirdiği aşamalar Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

Bulanık girdiler, taşımadan önce mevcuttaki yapısal ve çevresel faktörler olarak belirlenmiştir. Bu değerler sabit oldukları için girdi olarak tanımlanmıştır. Bulanık çıktılar ise tekerlekli sistem ve ortak özellikler olarak belirlenmiştir. Bu değerler değişken veriler oldukları için çıktı olarak tanımlanmıştır.

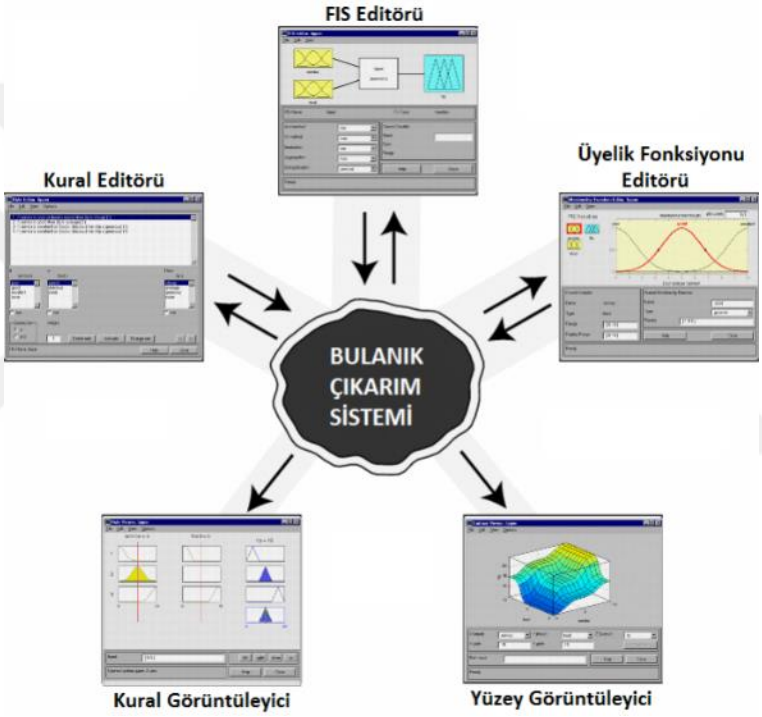


Şekil 6.1. Bulanık mantık modelinin işleyiş mekanizması

6.1. Bulanık Mantık Modelindeki Çıkarım Operatörlerinin Seçimi

Bulanık Mantık Modeli Çıkarım Sistemi genel olarak 5 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sırasıyla şu şekilde sıralanabilir:

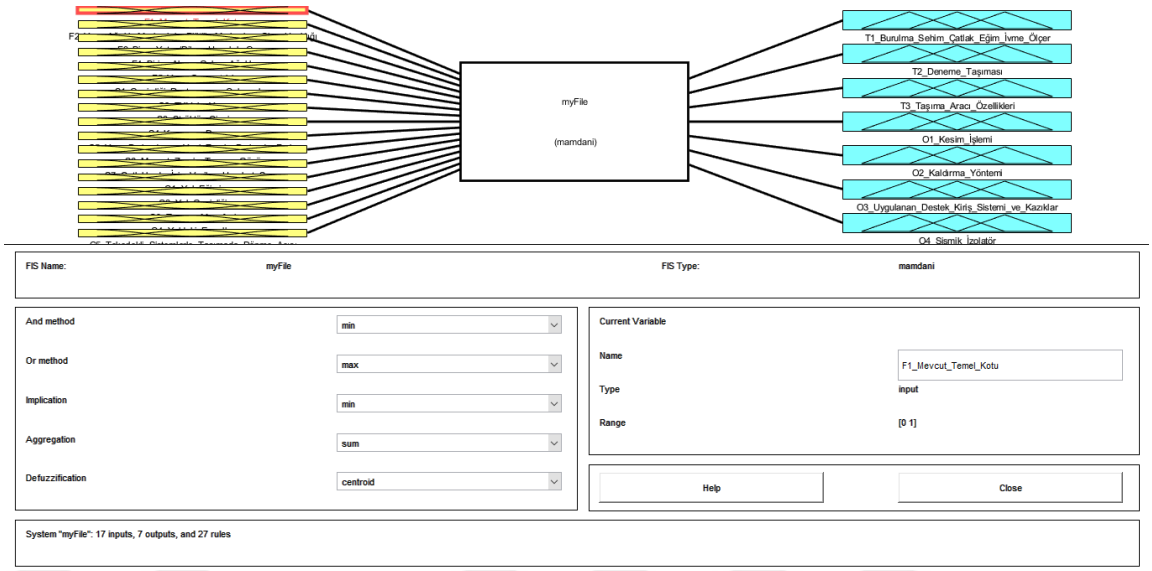
- FIS editörü
- Üyelik fonksiyonu editörü
- Kural editörü
- Kural görüntüleyici
- Yüzey görüntüleyici (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Bulanık mantık aşamaları **(Murtazaoğlu, 2013)**

Bulanık Çıkarım Sisteminde (Fuzzy Inference System, FIS), Mamdani ve Assilian'nın (1975) yaptıkları çalışmadan üretilen Mamdani yaklaşımı kullanılmıştır. Bulanık Çıkarım Sistemi modülündeki bölümlerde sırasıyla;

- AND Metod = "min"
- OR Metod = "max"
- Implication (Karıştırma) = "min"
- Aggregation (Birleştirme) = "sum"
- Defuzzification (Durulaştırma) = "centroid" operatörleri kullanılması tercih edilmiştir (Şekil 6.3).

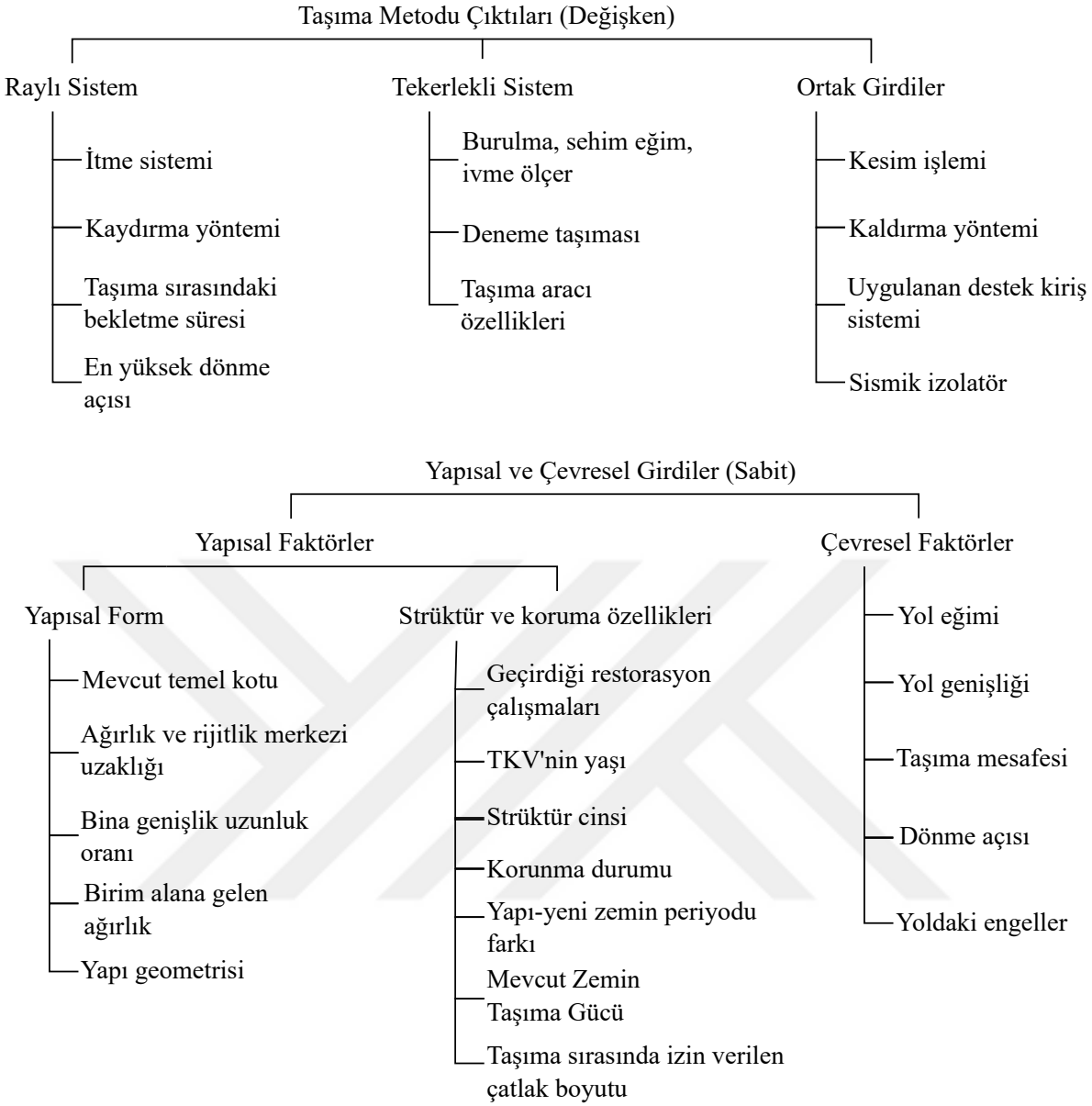


Şekil 6.3. Girdi ve çıktıların genel görünümü ve operatör modüllerinin belirlenmesi

6.2. Girdi ve Çıktı Parametrelerinin Belirlenmesi

TKV'lerin taşınmasındaki girdi ve çıktılar tanımlanırken taşıma metodu, yapısal ve çevresel girdiler olarak kategorize edilmiştir. Taşıma metodu girdileri; raylı sistem, tekerlekli sistem ve ortak girdiler olmak üzere 3 alt başlıkta incelenmiştir. Yapısal ve çevresel çıktılar; yapısal form, strüktür ve koruma özellikleri ve çevresel faktörler olmak üzere 3 alt başlıkta gruplandırılmıştır (Şekil 6.4). Taşıma metodu çıktıları sisteme sonradan dahil edilen uygulamalar oldukları için bu değişkenler ihtiyaca göre değişebilecek çıktılardır. Ancak yapısal ve çevresel girdiler yapıya ve taşınma rotasına ait sabit ve değişmez girdilerdir. Dolayısıyla kural şemaları oluşturulurken, değişken değerler olan taşıma metodu çıktıları, sabit değerler olan yapısal ve çevresel girdilerle karşılaştırılmıştır.

Yapısal ve çevresel girdiler kullanılarak, ağırlık merkezi bulanıklaştırma metodu yöntemiyle taşınacak yapının taşınma aşamasında karşılaşılan aşamaların seçimi yapılmıştır. Taşıma metodu çıktıları belirlenirken sadece tekerlekli sistem için uygulama yapılmıştır. Raylı sistem ile taşınan yapılar bulanık mantık modeline işlenmemekle beraber sadece taşıma yöntem aşamaları anlatılmıştır.



Şekil 6.4. Bütüncül taşıma; Sabit Girdiler: Yapısal ve Çevresel Faktörler, Değişken Çıktılar: Taşıma Metodu Aşamaları

6.3. Bulanık Mantık Model Çıktılarının Tanımlanması

Bulanık çıktılar yapının taşınma riskini önemli ölçüde etkileyecek değişken parametrelerdir. Bu parametreler taşımadan önce, taşıma sırasında ve taşımadan sonra uygulanacak işlemler olarak da açıklanabilir. Toplamda 3 ana başlıkta toplanan bulanık çıktılar 11 adettir. Ancak bu tezde üretilen modelde raylı sistem çıktıları kullanılmadığı için tekerlekli sistem ve ortak girdiler olmak üzere toplamda 7 adet parametre bulunmaktadır. Yapının mevcut durumu ile karşılaştırılabilmesi adına her bir bulanık çıktı detaylı olarak anlatılmıştır.

6.3.1. Raylı sistemlerle taşıma bulanık mantık model çıktıları

Bulanık modelde tekerlekli sistemlerle taşıma metodu inceleneceğinden raylı sistemlerle taşıma çıktıları bulanık modele işlenmemiştir. Bunun yanında raylı sistemlerle taşınacak yapıların analiz edileceği durumlar için bu girdilerin genel tanımları ve olabilecek üyelik fonksiyonları Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de gösterilmiştir. Raylı sistem verileri bulanık modele işlenmeyeceğinden üyelik fonksiyon grafikleri belirtilmemiştir.

Çizelge 6.1. Raylı sistemlerle taşımada bulanık mantık modeli çıktı tanımları

	Çıktılar	Girdi Genel Tanımı
Raylı Sistem (Taşınma Aşaması)	İtme Sistemi	Yapının yerinden hareket ettirilmesi için gerekli olan itici kuvvetin ray sürtünmesini aşması gerekir. Yapının taşınması sırasında maruz kalacağı dinamik etkileri en az seviyeye indirmek için en doğru metodun belirlenmesi gerekir.
	Kaydırma Yöntemi	Yapılar kaydırılarak taşındığı zaman ray sürtünmesi ve rayın zedelenmemesi için son teknoloji kaydırma sistemleri tercih edilmelidir.
	Taşıma Sırasındaki Bekletme Süresi	Ağır yapıların raylı sistemlerle taşınması durumunda yol güzergahında oluşabilecek zemin ve temel oturmaları taşınma bekleme süresi de dikkate alınarak analiz edilmelidir.
	En Yüksek Dönme Açısı	Raylı sistemler genelde düz açılı taşımalarda verimlidir. Taşımada dönme açısı arttığı zaman raylı sistemler stabil çalışmamaktadır.

Çizelge 6.2. Raylı sistemlerle taşımada bulanık mantık modeli çıktılarının üyelik fonksiyon ve tanımlamaları

	Çıktılar	Üyelik Fonksiyonları	Tanımlamalar
Raylı Sistem (Taşınma Aşaması)	İtme Sistemi	Çekme	Kablolar ile çekilerek yapının taşındığı durumlar
		İtme	Sadece hidrolik itme sisteminin kullanıldığı durumlar
		İtme ve çekme	İtme ve çekmenin ayrı mekanizmalarda olduğu durum
		Bütünleşik	İtme ve çekmenin tek bir mekanizmada otomatik kontrol edildiği sistemler
	Kaydırma Yöntemi	Geleneksel	Çelik plakalar üzerinde çelik silindirler yardımıyla taşıma
		Kontrollü Kaydırma	Çelik tekerlek sistemi ile kaydırma
		Hibrit Sistem	Özel tasarlanmış hidrolik kaydırma sistemiyle taşıma
	Taşıma Sırasındaki Bekletme Süresi	Çok	3-4 gün ve fazlası
		Orta	1-2 gün
		Az	0-1 gün
	En Yüksek Dönme Açısı	Çok	10 dereceden yüksek
		Orta	0 - 10 derece
		Az	0 derece

6.3.2. Tekerlekli sistemlerle taşıma bulanık mantık model çıktıları

Yapının taşıma metodunun belirlenmesi ve mevcut taşıma yöntemiyle karşılaştırılabilmesi için belirlenen tekerlekli sistem taşıma çıktıları yapının taşınması ile ilgili parametrelerdir. Bu parametreler yapının anlık durumunu ölçecek cihazların durumu, deneme taşımasının yapılıp yapılmaması ve taşıma aracı türü olmak üzere 3 adet olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.3‘de bu değişken parametrelerin genel tanımları, Çizelge 6.4‘de ise çıktı parametrelerine ait üyelik fonksiyonları ve tanımları gösterilmiştir.

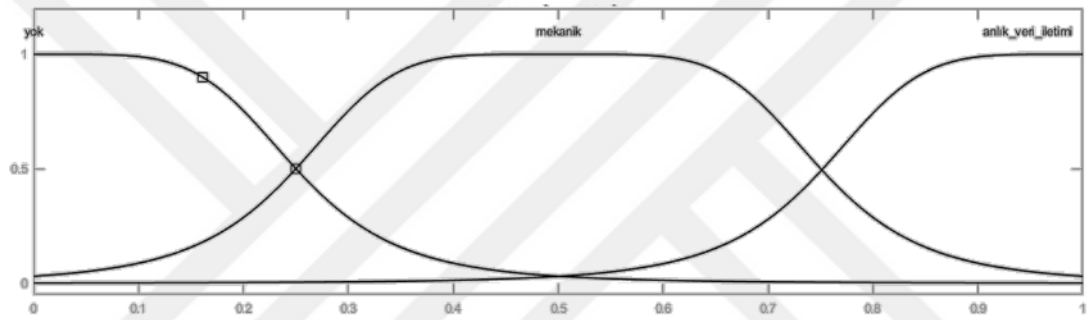
Çizelge 6.3. Tekerlekli sistemlerle taşıma bulanık mantık modeli çıktı tanımları

	Matlab Kodu	Çıktılar	Girdi Genel Tanımı
Tekerlekli Sistem	T1	Burulma, Sehim, Çatlak, Eğim, İvme Ölçer	Taşınacak yapının temelden ayrılması sırasında oluşabilecek esnemeyi gözlemlemek ve olası burulma hareketlerinin önüne geçmek için; temel-kiriş sisteminin uygun konumlarına ve oluşan en küçük deformasyonları anlık olarak ileten burulma ölçer ve sehim ölçer cihazları yerleştirilmelidir.
	T2	Deneme Taşıması	Taşıma güzergahı yol altyapısının güvenliğini test etmek için taşınacak yapı ağırlığından daha fazla bir ağırlıkla yol test edilmelidir.
	T3	Taşıma Aracı Özellikleri	Lastik tekerlekli araçlarla taşıma yapıldığı zaman kullanılan aracın taşınma ve yapısal ayırma sırasında yapıya en az dinamik yük etki ettirecek sistemin seçilmesi yapının hasar almasını engeller. Tüm manevra hareketlerinin otomatik olarak bulut verileriyle bilgisayarın yapması insan kaynaklı hata payını en aza indirecektir.

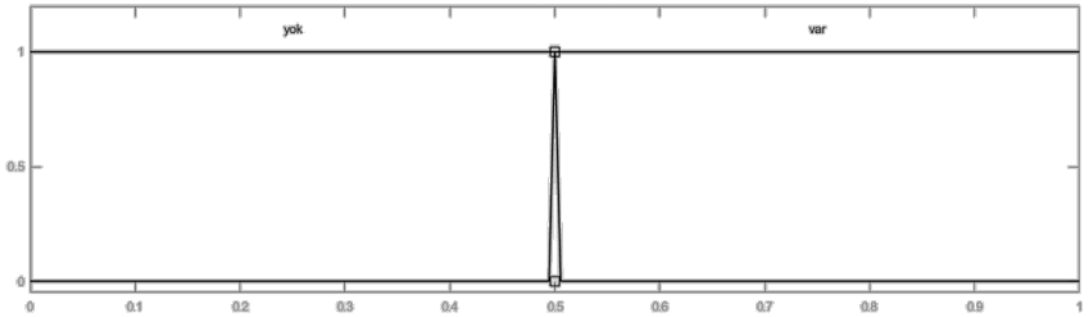
Çizelge 6.4. Tekerlekli sistemlerle taşıma bulanık mantık modeli çıktı üyelik fonksiyonları

	Çıktılar	Üyelik Fonksiyonları	Tanımlamalar
Tekerlekli Sistem	Burulma, Sehim, Çatlak, Eğim, İvme Ölçer	Yok	Herhangi bir ölçümün yapılmadığı durum
		Mekanik	Anlık verilerin iletilmediği ve bazı ölçüm (gauge) cihazlarının eksik olması
		Anlık Veri İletimi	-> GPS destekli eğim ve ivmeölçerler -> 0,01 mm hassasiyette çatlakölçer -> 1/360 derece hassasiyette çift eksenli eğimölçer -> En az 1 g hassasiyette ve 200 Hz okuma hızında üç eksenli ivmeölçer -> Sıcaklık ve nemölçer -> Rüzgâr hızı ve yönü ölçer
	Deneme Taşıması	Yok	Deneme taşımasının yapılmadığı durum
		Var	Deneme taşımasının kendi ağırlığından fazla bir sistemle test edildiği durum
	Taşıma Aracı Özellikleri	Vinç	Taşımanın vinçler yardımıyla kaldırılarak yapılması (Genelde hafif ve esnek yapılar için uygulanır)
		Treyler	SPMT araçlarına nazaran daha az özelliğe sahip mekanik araçlar
		SPMT	-> GPS destekli eğim ve ivmeölçer -> Engeller Karşısında süspansiyon özelliği -> Yol eğimini en az 70 cm'e kadar ayarlayabilme -> Birleşme ve 360 derece manevra kabiliyeti

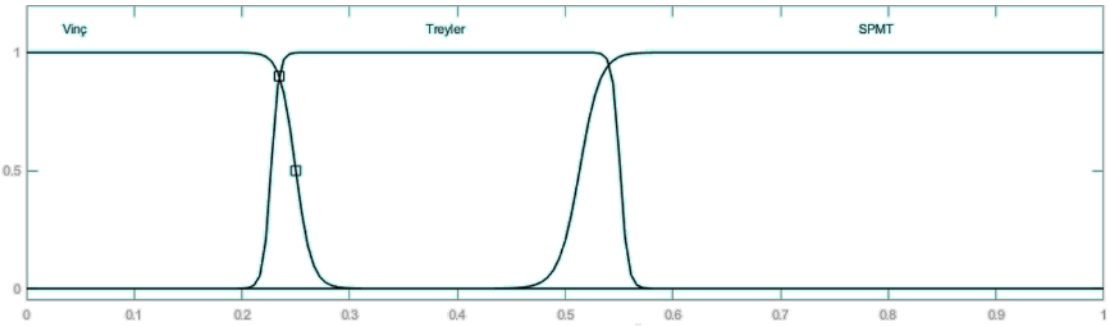
Tanımları yapılan taşıma yöntemlerine ait bulanık girdiler Matlab programına işlenmiştir. Yapının hassasiyetini ölçen cihazlara ait çıktı parametresinin (T1) üyelik fonksiyonları ‘yok’, ‘mekanik’ ve ‘anlık veri iletimi’ olmak üzere Şekil 6.5’deki gibi ‘psigmf’ fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Deneme taşıması parametresi (T2), ‘yok’ ve ‘var’ olarak Şekil 6.6’deki grafikte tanımlanmıştır. Taşıma aracı özellikleri (T3) ise, ‘vinç’, ‘treyler’ ve ‘SPMT’ olarak Şekil 6.7’deki gibi tanımlanmıştır. Üyelik fonksiyonları değer aralığı tüm girdi ve çıktı parametrelerinde [0,1] arasında olacak şekilde belirlenmiştir. Genel olarak ‘0’a yakın olan değerler istenmeyen, ‘1’e yakın olan değerler ise istenen değerler olarak algılanabilir. Ancak kuralların modele işlenmesiyle birlikte bu aralık tanımları değişecektir.



Şekil 6.5. Burulma, Sehim, Çatlak, Eğim, İvme Ölçer çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T1)



Şekil 6.6. Deneme Taşıması çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T2)



Şekil 6.7. Taşıma Aracı Özellikleri çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T3)

6.3.3. Ortak özellikler bulanık mantık modeli çıktıları

Raylı ve tekerlekli sistemlerle taşıma yapılırken her iki yöntemde de yapıyı kaldırma ve yerine yerleştirme sırasında benzer adımlar gerçekleşmektedir. Her iki yöntemin ortak özellikleri çıktı genel tanımları Çizelge 6.5‘de tanımlamalarıyla beraber gösterilmiştir. Kesim işlemi (O1), ‘Manuel’, ‘Yarı-Manuel’ ve ‘Tam Otomatik’ olmak üzere üç üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Kaldırma yöntemine ait (O2) üyelik fonksiyonları ‘Geleneksel’, ‘Yarı Dinamik’ ve ‘Tam Dinamik’ olmak üzere 3 adettir. Yapı yükünü hidrolik sisteme aktaracak olan Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklara ait üyelik fonksiyonları da 3 adet olarak belirlenmiştir. Son olarak yapının yeni temelinde kullanılacak olan sismik izolatöre ait üyelik fonksiyon ve tanımları Çizelge 6.6‘da detaylı olarak gösterilmiştir.

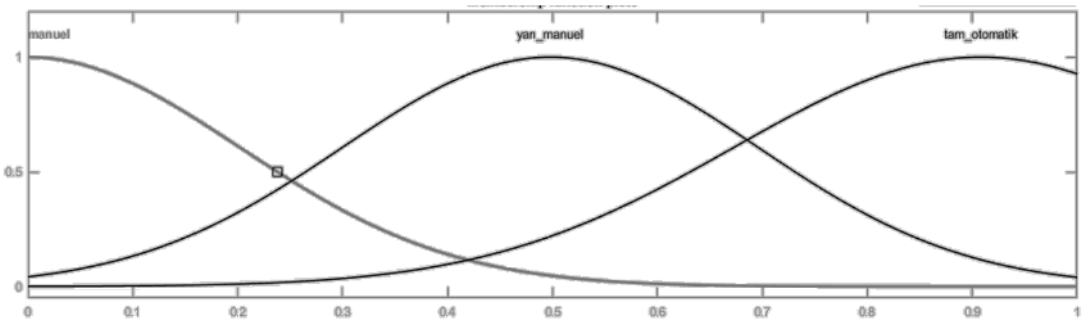
Çizelge 6.5. Ortak özelliklerin bulanık mantık modeli çıktı tanımlamaları

	Matlab Kodu	**Çıktılar**	**Girdi Genel Tanımı**
Ortak Özellikler	O1	Kesim İşlemi	Kesim işlemi yapıldıktan sonra yapı yükü ilk kez destek sistemlerine aktarılacağından kesin işleminin kontrollü yapılması çok önemlidir.
	O2	Kaldırma Yöntemi	Taşıma güzergahı yol altyapısının güvenliğini test etmek için taşınacak yapı ağırlığından daha fazla bir ağırlıkla yol test edilmelidir. Kaldırma sisteminin güvenilirliğini kontrol etmek ve ayrıca tartım sonuçlarını doğrulamak için belirli bir yükseklikte bir deneme kaldırması yapılması gerektiği unutulmamalıdır.
	O3	Uygulanan Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklar	Destekleme sistemi, yapının türüne, kapsamına ve taşınma cihazına büyük ölçüde bağlıdır. Yük destekleme sistemi, yapının hareketi sırasında üst yapıdan gelecek yükleri, hareketten kaynaklı kuvvetleri ve sürtünmeleri karşılayacak yeterli dayanım, rijitlik ve güvenilir bağlantılara sahip olmalıdır. Bu sebeple, yük destek sistemi üstyapıyı hareket ettirmede belirleyici ve önemli bir adımdır. Ayrıca, konsol olarak çalıştırılan sistemlerde çekme kuvvetlerini karşılamak için artgerme sistemleri uygulanmalıdır
	O4	Sismik İzolatör	Yapının yeni konumunda deprem durumuna göre gerektiği zaman sismik izolatörlerin kullanılması gerekebilir.

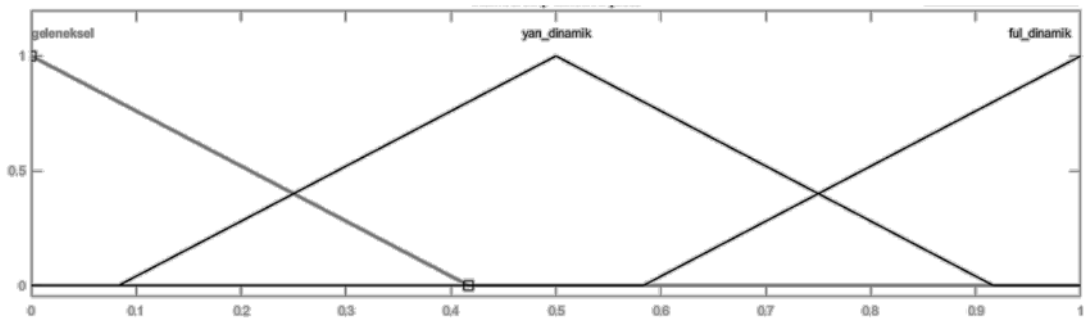
Kesim işlemi (O1), kaldırma yöntemi (O2), uygulanan destek kiriş sistemi (O3) ve sismik izolatör (O4) çıktı parametrelerinde sırasıyla “psigmf”, “trimf”, “dsigmf”, “trapmf” üyelik fonksiyon türleri tercih edilmiştir (Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11).

Çizelge 6.6. Ortak özelliklerin bulanık mantık modeli çıktı üyelik fonksiyonları

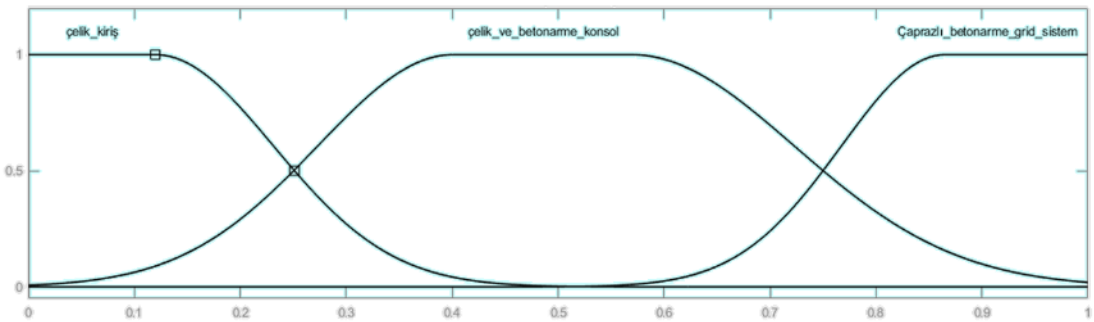
	Çıktılar	Üyelik Fonksiyonları	Tanımlamalar
Ortak Özellikler	Kesim İşlemi	Manuel	Karot yardımıyla elle kesim
		Yarı Manuel	Disk ile yarı-mekanik kesim
		Tam Otomatik	GPS kontrollü elektrikli testere ile kesim
	Kaldırma Yöntemi	Geleneksel	-> Dolgu blokları ile yükseltme -> Mekanik krikolar
		Yarı Dinamik	Kapalı döngü sisteminin kullanılmadığı uygulamalar
		Tam Dinamik	-> Kaldırma basıncı kontrolü -> Deplasman kontrolü -> Gerçek zamanlı izleme
	Uygulanan Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklar	Çelik kiriş	Çelik kiriş desteği, hareket sırasında geçici bir yanal destek olarak kullanılır ve basit hafif yapılarda uygulanır.
		Çelik ve betonarme konsol	Konsol olarak çalıştırılma durumlarında ve yapının silindirik geometrisinden kaynaklı ekstrim durumlarda bu sistemler uygulanabilir.
		Çaprazlı betonarme grid sistem	Betonarme destekleme grid sistemi çok ağır yapılarda tercih edilir. Ayrıca taşıma yol altyapısında Kazık sistemleri kullanılmalıdır.
	Sismik İzolatör	Yok	İzolatörün kullanılmadığı durum
		Düşük Sönümlü İzolatör	Düşük sönümlü izolatörler yapıda burulmaya sebep olabilir
		Yüksek Sönümlü İzolatör (FPS)	FPS tip izolatör kendini yeniden merkezleme özelliğine sahiptir. Ancak bu modele etkiyen taban kesme kuvveti LRB'ye göre daha fazladır
		Kurşun Çekirdekli İzolatör (LRB)	LRB tip izolatörün kurşun dolgusu sayesinde yüksek sönüm özelliği bulunmaktadır.



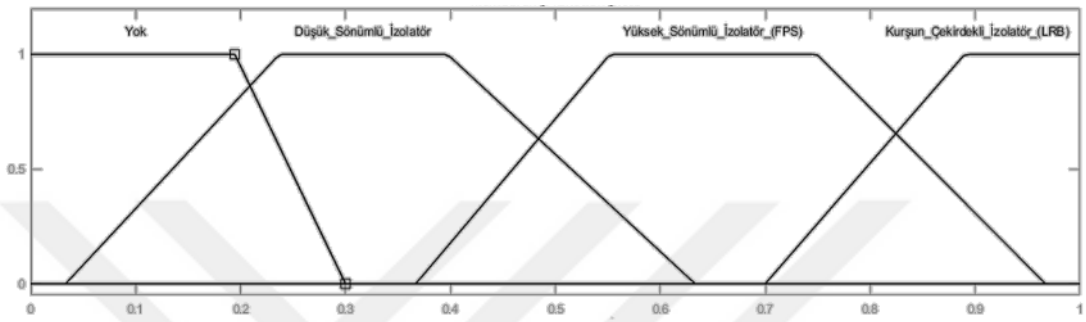
Şekil 6.8. Kesim İşlemi çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O1)



Şekil 6.9. Kaldırma Yöntemi çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O2)



Şekil 6.10. Uygulanan Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklar çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O3)



Şekil 6.11. Sismik İzolatör çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O4)

6.4. Bulanık Mantık Modelinin Girdi Parametrelerinin Belirlenmesi

TKV'lerin bütüncül olarak taşınmasındaki risk analizi için oluşturulan bulanık mantık tahmin modelindeki her bir girdi değişkeni için 2, 3 veya 4 adet "*üçgen*" üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Toplamda 17 adet olan bulanık girdiler az, orta, çok gibi üyelik dereceleri veya kuralın tanımını anlatan isimlendirmeler almıştır. Değişken aralıklarına göre tüm girdilerin üyelik fonksiyonları detaylı olarak aşağıda anlatılmıştır.

6.4.1. Yapısal forma ait girdilerin tanımlanması

Sabit yapısal faktörlerden olan yapısal forma ait girdiler belirlenirken TKV'lerin mevcut durumundaki temel cinsi, yapı geometrisi, ağırlığı ve rijitliği gibi özellikler dikkate alınmıştır. Yapısal forma ait girdi tanımları Çizelge 6.7'de gösterilmiş olup toplamda 5 adettir. Yapısal form girdilerinin üyelik fonksiyon ve tanımları Çizelge 6.8'de detaylı olarak gösterilmiştir.

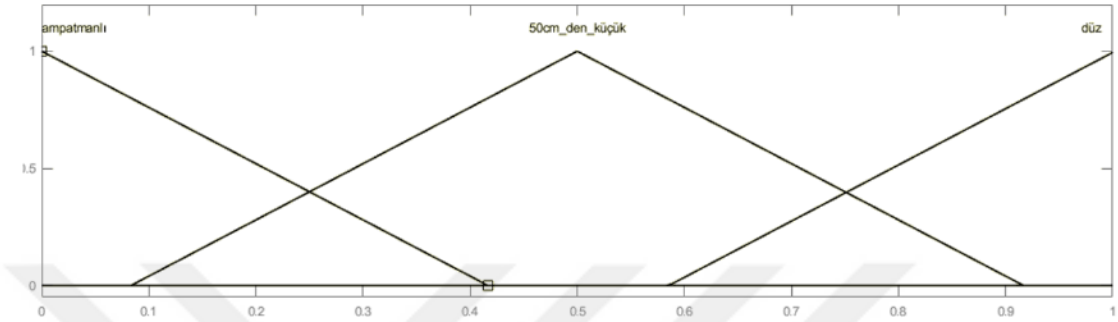
Çizelge 6.7. Yapısal forma ait girdi tanımları

Yapısal Form		
Matlab Kodu	**Girdiler**	**Girdi Genel Tanımı**
F1	Mevcut Temel Kotu	Mevcut temel kotunun kazı sonrasında yeni ilave edilecek destek sistemini karşılar yükseklikte olması gerekir. Değişken kottaki temele sahip yapılara destek kirişleri düz bir zeminde ilave dilemeyeceğinden taşıma aracına veya raylara oturtulmakta zorluk çekilebilmektedir.
F2	Yapı Ağırlık Merkezinin Rijitlik Merkezine Olan Uzaklığı	Eğer yapı ağırlık merkezi rijitlik merkezine uzak olursa binadaki simetrik denge bozulur ve taşınma sırasında yapıda burulma oluşabilir. X veya Y koordinatlarına göre oluşan maksimum eksantiriste fark yüzdesi üzerinden değerlendirme yapılmıştır.
F3	Bina Yatay/Dikey Uzunluk Oranı	Dikey yapıların taşınması yatay yapıların taşınmasına göre daha risklidir.
F4	Birim Alana Gelen Ağırlık	Yapının ağırlığının çok olması taşınma sırasında gelen dinamik yatay kuvvetin (F= m.a) kütle ile doğru orantılı olması sebebiyle daha büyük etkimesine sebep olur. Ayrıca kullanılacak hidrolik sistemin kapasitesi, yol altyapısının dayanımı gibi bir çok parametreyi etkilemektedir.
F5	Yapı Geometrisi	Yapı geometrisi taşınma sırasında meydana gelecek sarsıntıların ve bozuk geometrisinden dolayı dönüş manevralarının yapılmasını zorlaştıracaktır.

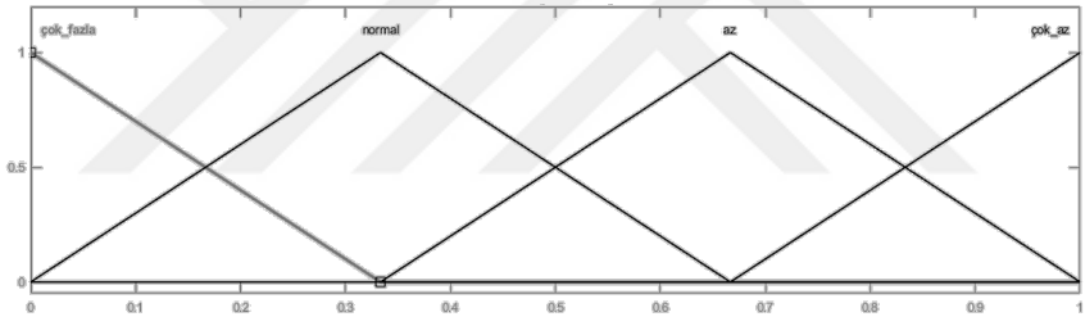
Çizelge 6.8. Yapısal forma ait girdi üyelik fonksiyonları

Yapısal Form		
Girdiler	**Üyelik Fonksiyonları**	**Tanımlamalar**
Mevcut Temel Kotu	Ampatmanlı veya Çok eğimli kot	Temelin ampatmanlı veya 50 cm'den fazla eğimli olduğu durum
	50 cm'den küçük	Temel kot farkının en fazla 50 cm olduğu durum
	Düz temel	Destek kirişlerinin eğimsiz olarak entegre dilebileceği düz bir temele sahip olması
Yapı Ağırlık Merkezinin Rijitlik Merkezine Olan Uzaklığı	Çok fazla	7-10%
	Normal	3-7%
	Az	1-3%
	Çok az	≤1%
Bina Yatay/Dikey Uzunluk Oranı	Çok fazla	≤1
	Normal	1-3 arasında
	Az	3-5 arasında
	Çok az	≥5
Birim Alana Gelen Ağırlık	Çok ağır	≥20 ton
	Ağır	5-20 ton
	Normal	1-5 ton
	Hafif	≤1 ton
Yapı Geometrisi	Asimetrik	Yapının taşımayı zorlaştıracak asimetrik bir görüntüye sahip olması
	Simetrik	Yapının silindirik ve küp gibi simetrik geometriye sahip olması

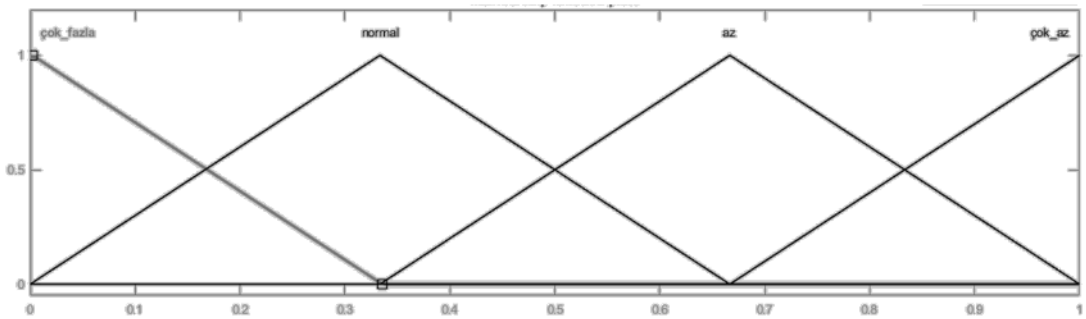
Yapısal form üyelik girdileri modele işlenirken Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da gösterildiği gibi 'trimf' üyelik türü olarak tercih edilmiştir. Üyelik tipleri ve aralıkları tanımlanırken F1, F2 ve F3 parametrelerinde dengeli bir dağılım tercih edilmiş olup F4 parametresinde üyelik fonksiyonları sağ ve sola yakın olacak şekilde tasarlanmıştır.



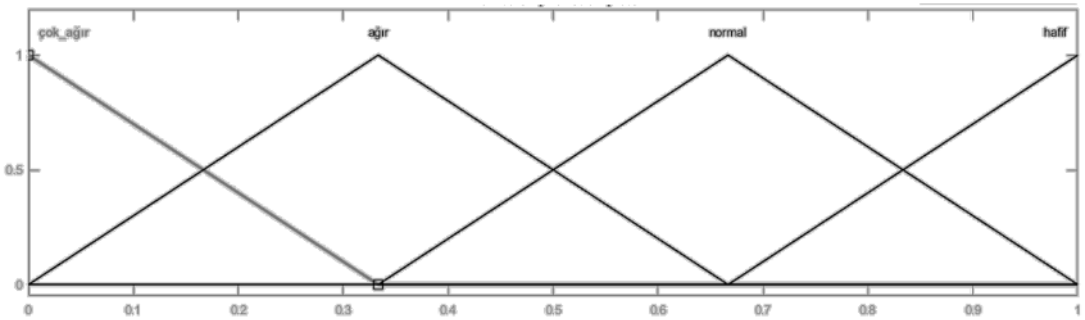
Şekil 6.12. Mevcut Temel Kotu girdisi üyelik fonksiyon grafiği (F1)



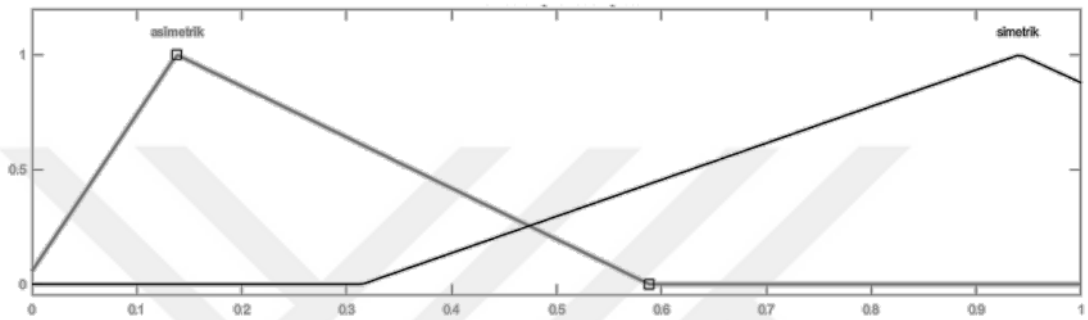
Şekil 6.13. Yapı Ağırlık Merkezinin Rijitlik Merkezine Olan Uzaklığı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (F2)



Şekil 6.14. Bina Yatay/Dikey Uzunluk Oranı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (F3)



Şekil 6.15. Birim Alana Gelen Ağırlık girdisi üyelik fonksiyon grafiği (F4)



Şekil 6.16. Yapı Geometrisi girdisi üyelik fonksiyon grafiği (F5)

6.4.2. Yapı strüktürü ve korunma durumuna ait girdilerin tanımlanması

Yapısal girdiler olan yapı strüktürü ve korunma durumu girdileri belirlenirken tarihi yapılarda karşılaşılan genel problemler dikkate alınmıştır. Şimdiye kadar taşınan tarihi yapıların taşınmanın güvenliğini en çok etkilendikleri durumlar tercih edilmeye çalışılmıştır. Yapı strüktürü ve korunma durumu girdileri çizelge ‘de gösterildiği gibi ‘S’ kodlarıyla tanımlanmış olup 7 adettir. Bu girdilere ait üyelik fonksiyon ve tanımlamaları ise çizelge de gösterilmiştir. Üyelik fonksiyon tanımları, literatürden ve yönetmeliklerden alınan bilgiler değerlendirilerek oluşturulmuştur. Örneğin; ‘Mevcut Zemin Taşıma Gücü’ (S6) girdi üyelik fonksiyonları Bowles’in (1996) Yatak Katsayısı tanımı dikkate alınarak tasarlanmıştır. ‘TKV’nin Yaşı’ (S2) girdi üyelik fonksiyonları modelin kural tabanlarının oluşturulmasında kullanılan ve tarihi nitelikteki yapıların literatürdeki yaşları dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Çizelge 6.9. Yapı strüktürü ve korunma durumu girdi tanımları

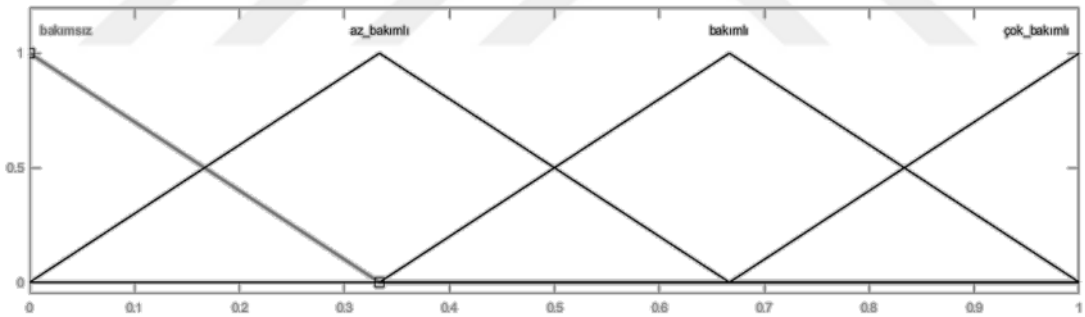
Yapı Strüktürü ve Korunma Durumu		
Matlab Kodu	**Girdiler**	**Girdi Genel Tanımı**
S1	Geçirdiği Restorasyon Çalışmaları	Taşınmazın inşa edildiği dönemden itibaren geçirmiş olduğu restorasyon ve bakım çalışmaları yapının sağlamlığı hakkında bilgi verebilir. İyi bakılmış bir yapının taşınma sırasındaki yükleri güvenli bir şekilde karşılayacağı düşünülmektedir.
S2	TKV'nin Yaşı	Günümüze kadar ulaşmış olan TKV'nin inşa edildiği dönemden itaberen geçirdiği süre olarak tanımlanabilir.
S3	Strüktür Cinsi	TKV'nin strüktür cinsi taşıma işleminin güvenirliliğinde belki de en önemli kriterdir. Tarihi yapılarda yaygın olan strüktür türleri hesaplamalarda dikkate alınmıştır.
S4	Korunma Durumu	Taşınmazın estetik, sosyo-kültürel, tarihi, bilimsel, özgünlük ve manevi değerlerinin bütüncül olarak değerlendirilmesidir. Gerekli yönetmelikler incelenerek yapıya müdahele derecesi belirlenmelidir. Korumaz (2015)'in önerdiği bulanık mantık metodu kullanılarak yapıya ait ön bilgi elde edilebilir.
S5	Yapı Periyodu - Yeni Zemin Periyodu Farkı	Periyot; yapının kütlesi ile doğru, rijitliği ile ters orantılıdır. Zemin hâkim titreşim periyodunun yapının periyoduna yakın olması durumunda, yapıda rezonans riski oluşur. Dolayısıyla yapı ve zeminin deprem periyotlarının birbirinden uzak olması istenir.
S6	Mevcut Zemin Taşıma Gücü (Yatak Katsayısı kN/m3) (Bowles 1996)	Tarihi yapıların zemini yıllar boyunca oturmasını tamamlamış olsa da, yapıya sonradan entegre edilecek destek kiriş sistemlerinden dolayı mevcut zemine ekstra yük binecektir. Ayrıca hidrolik kaldırma noktalarından kaynaklı zeminde yeni noktalara yük aktarılacaktır. Dolayısıyla mevcut zeminin taşıma kapasitesi belirlenip yeni duruma göre taşıma analizi yapılmalıdır.
S7	Taşıma ve Kaldırma Sırasında Çatlaklarda İzin Verilen Hareket Sınırı	Yapının sonlu elemanlar modelinin karşılaşacağı yükler karşısında zarar görmeden yapacağı maksimum deplasman değeridir. İzin verilecek limit değerler heuristik yöntemle belirlenebilir.

Çizelge 6.10. Yapı strüktürü ve korunma durumu girdi üyelik fonksiyonları

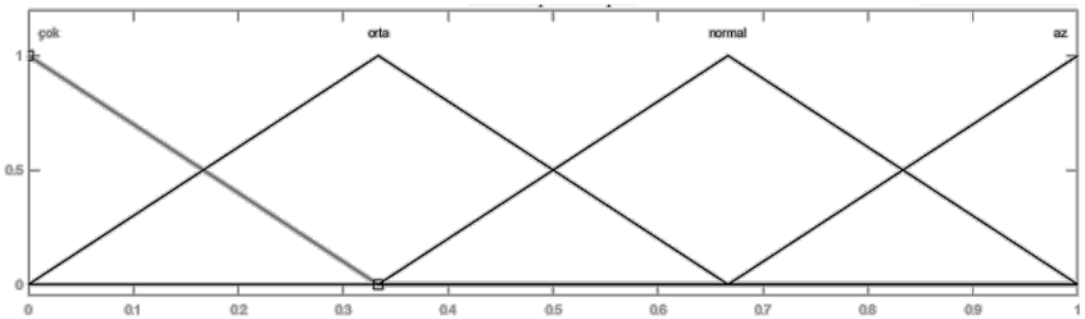
Yapı Strüktürü ve Korunma Durumu		
Girdiler	**Üyelik Fonksiyonları**	**Tanımlamalar**
Geçirdiği Restorasyon Çalışmaları	Bakımsız	İnşa edildiği dönemden itibaren hiç restorasyon yapılmadığı durum
	Az Bakımlı	Çok nadir bakım yapıldığı durum
	Bakımlı	Yapılan bakımların yetersiz veya eksik olduğu durum
	Çok Bakımlı	Düzenli olarak strüktürel bakımlarının yapılması
TKV'nin Yaşı	Çok	500 yaşından büyük
	Orta	500 ile 200 yaşı arasında
	Normal	100 ile 200 yaşı arasında
	Az	100 yaşından küçük
Strüktür Cinsi	Yığma-Kagir	Tuğla veya taş kâgir
	Yarım-Kagir	Ahşap veya demirle sağlamlaştırılmış karma kâgir
	Ahşap	Ahşap yapı
	Betonarme	Betonarme sistem
Korunma Durumu	Çok Yüksek	100% öneme sahip
	Yüksek	75% öneme sahip
	Orta	50% öneme sahip
	Düşük	20% öneme sahip

Yapı Periyodu - Yeni Zemin Periyodu Farkı	Aynı	Yapı periyodu ile zemin periyodunun aynı olduğu durum
	Çok Yakın	Yapı periyodu zemin periyodu arasında en fazla 0,5 sn fark olduğu durum
	Yakın	Yapı periyodu zemin periyodu arasında en fazla 1 sn fark olduğu durum
	Uzak	Yapı periyodu zemin periyodu arasında 1,5 sn ve üstü fark olduğu durum
Mevcut Zemin Taşıma Gücü (Yatak Katsayısı kN/m3) (Bowles 1996)	Zayıf	-> Gevşek veya orta sıkılıkta kum 4800-16000 arasında, -> Killi zeminler için qa≤200 kPa: 12000-24000 arasında
	Orta	-> Orta sıkılıkta kum 9600-80000 -> Siltli orta sıkılıkta kum 24000-48000 -> Killi zeminler 200< qa≤800 kPa ise, 24000-48000
	Sağlam	-> Sıkı kum 64000-128000 araında veya -> Killi zeminler için qa >800 kPa (izin verilebilir zemin taşıma gücü) >48000
Taşıma ve Kaldırma Sırasında Çatlaklarda İzin Verilen Hareket Sınırı	Çok Az	0,2 mm'den küçük
	Az	0,5 - 0,2 mm arasında
	Fazla	0,8 - 0,5 mm arasında
	Çok Fazla	0,8 mm'den büyük

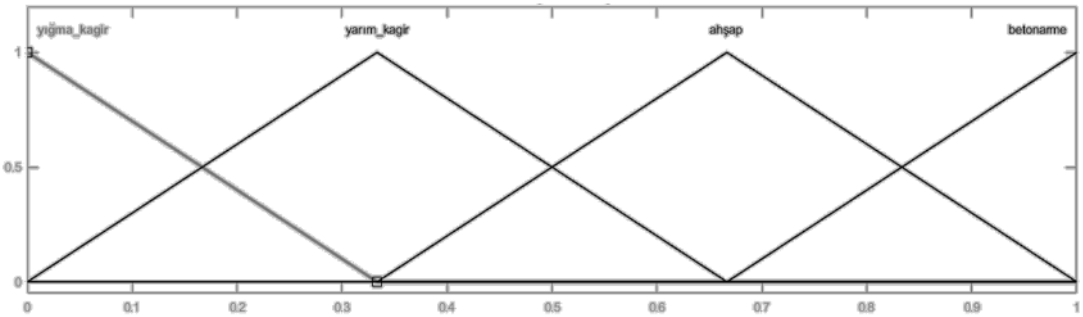
Yapı strüktürü ve korunma durumu girdi üyelik fonksiyonları Şekil 6.17, Şekil 6.18, Şekil 6.19, Şekil 6.20, Şekil 6.21, Şekil 6.22 ve Şekil 6.23'de gösterildiği gibi 'trimf' üyelik türünde [0,1] aralığında dengeli olarak oluşturulmuştur.



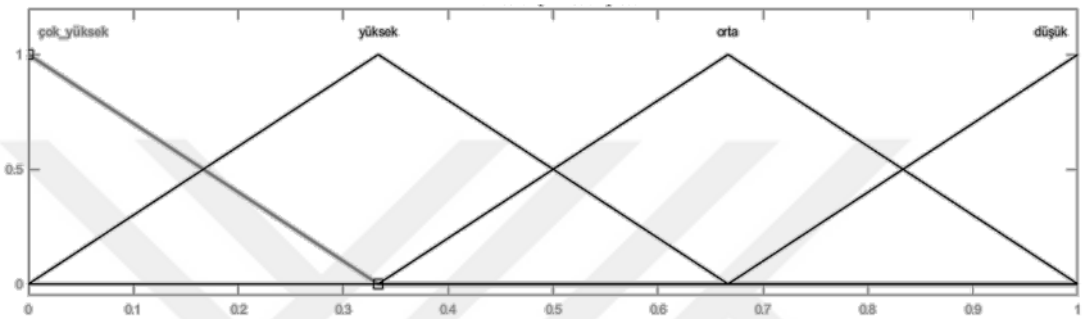
Şekil 6.17. Geçirdiği Restorasyon Çalışmaları girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S1)



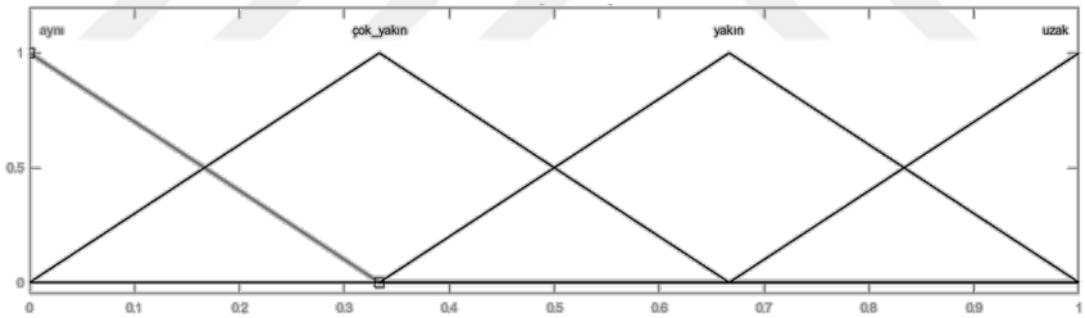
Şekil 6.18. TKV'nin Yaşı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S2)



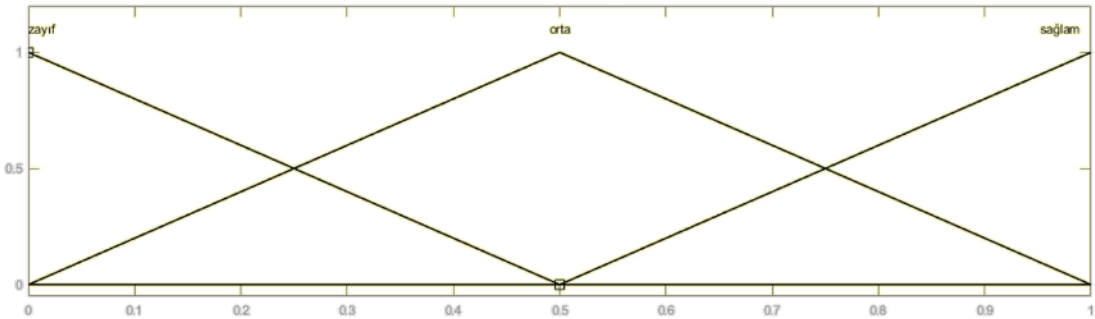
Şekil 6.19. Strüktür Cinsi girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S3)



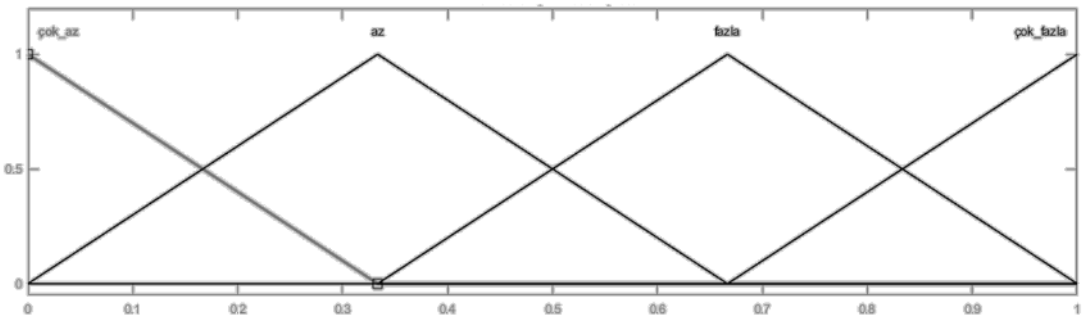
Şekil 6.20. Korunma Durumu girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S4)



Şekil 6.21. Yapı Periyodu-Yeni Zemin Periyodu Farkı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S5)



Şekil 6.22. Mevcut Zemin Taşıma Gücü girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S6)



Şekil 6.23. Taşıma ve Kaldırma Sırasında Çatlaklarda İzin Verilen Hareket Sınırı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S7)

6.4.3. Yol özelliklerine ait girdilerin tanımlanması

Yapının taşınması sırasında en önemli faktörlerden birisi taşınacak yolun durumudur. Yolun maksimum eğimi, genişliği, uzunluğu, kurp açısı ve karşılaşılabilecek engeller TKV'nin taşınmasında riskli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla yol özelliklerine ait bu girdiler bulanık mantığa işlenmiş olup genel tanımlarıyla Çizelge 6.11'de açıklanmıştır. Yol özellikleri girdileri üyelik fonksiyon tanımları ise tanımlamalarıyla beraber Çizelge 6.12'de gösterilmiştir.

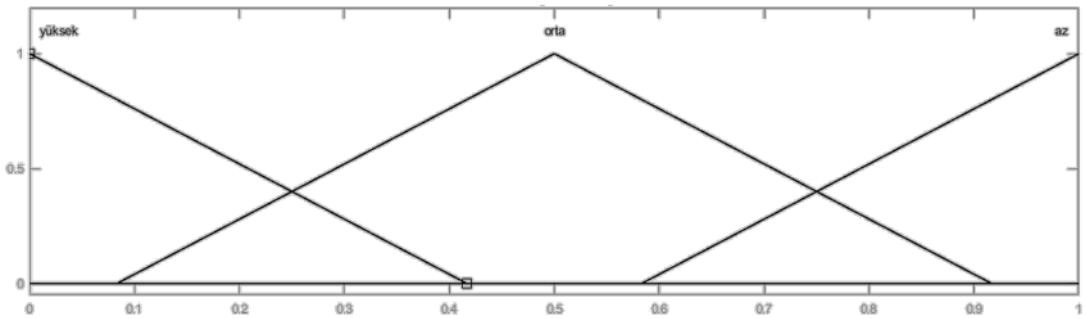
Çizelge 6.11. Yol özelliklerinin girdi tanımları

Yol Özellikleri		
Matlab Kodu	**Girdiler**	**Girdi Genel Tanımı**
C1	Yol Eğimi	Yapı taşınırken yoldaki eğimlere rağmen düz bir konumda kalması gerekir. Bu durumda SPMT aracının yoldaki eğimin bir kısmını hidrolik sistemlerle absorbe ettiği düşünülerek en uygun tasarım eğimi belirlenmelidir.
C2	Yol Genişliği	Yapının taşınması sırasında engellere takılmamak ve güvenli taşıma için yol genişliğinin özellikle dönüş yerlerinde geniş olması gerekir.
C3	Taşıma Mesafesi	Taşıma mesafesinin artması yapının yol boyunca alacağı dinamik kuvvet ve sarsıntılara daha fazla maruz kalmasına sebep olacaktır. Dolayısıyla yol mesafesinin uzaması özellikle sorunlu rotalarda taşıma güvenliğini olumsuz etkileyebilir.
C4	Yoldaki Engeller	Yapılar taşınırken yolda karşılaşılabilecek engel ve riskler iyi analiz edilmeli ve önceden çözüm üretilmelidir.
C5	Tekerlekli Sistemlerle Taşımada Dönme Açısı	Tekerlekli sistemlerle yapıyı taşırken yolda yapacağı manevralar, yapının stabilitesini tehlikeye atacaktır. Manevra kabiliyeti sınırlı olan taşıma araçlarında bazı dönüşler tehlikeye girecektir. Yapının boyutları ve yolun genişliği dönme açısıyla beraber analiz edilmelidir.

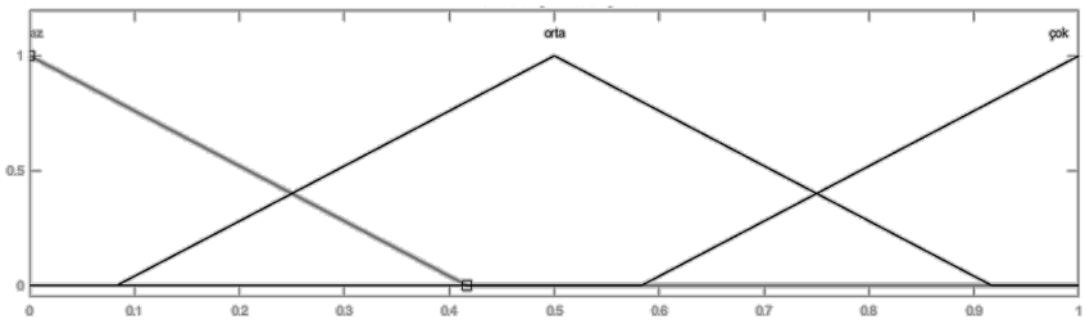
Çizelge 6.12. Yol özelliklerinin girdi üyelik fonksiyonları

	Yol Özellikleri		
	Girdiler	**Üyelik Fonksiyonları**	**Tanımlamalar**
Çevresel Faktörler	Yol Eğimi	Yüksek	≥8%
		Orta	4-8%
		Az	≤4%
	Yol Genişliği	Az	Yol genişliğinin yapının uzun kenarlarından kısa olduğu durum
		Orta	Yol genişliğinin yapıyı ucu ucuna kurtardığı durum
		Çok	Yol genişliğinin yapıyı çok rahat kurtarabildiği durum
	Taşıma Mesafesi	Uzak	1000 metreden yüksek
		Orta	500 - 1000 m arasında
		Kısa	500 m'den düşük
	Yoldaki Engeller	Taşınamaz Engeller	Menfez, nehir kenarından geçiş, yol altındaki kanallar gibi taşınamaz engellerin olduğu durum
		Taşınabilir Engeller	Elektik direği ve kablo gibi taşınabilir engellerin olduğu durum
		Engel Yok	Engelin olmadığı durum
	Tekerlekli Sistemlerle Taşımada Dönme Açısı	Çok	50 derecenden büyük
		Orta	10 - 50 derece arasında
		Az	10 dereceden küçük

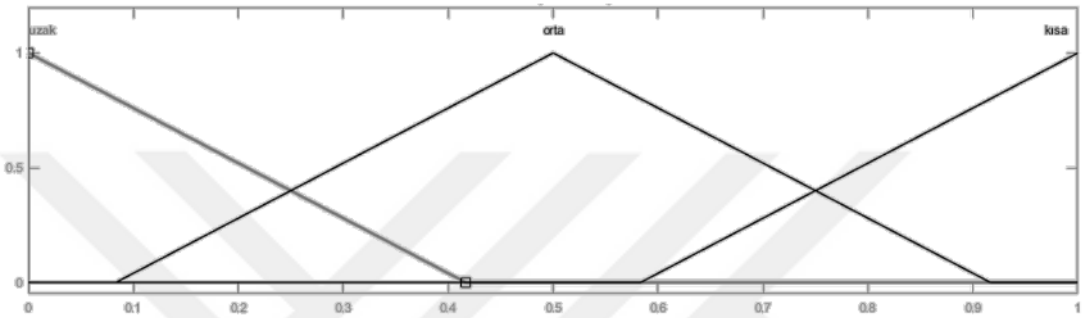
Çevresel faktörlerden olan yol özelliklerine ait her bir girdinin tanımlanan üyelik fonksiyonları bulanık modele işlenmiştir. Yol Eğim girdi (C1) fonksiyon grafiği Şekil 6.24'de, Yol Genişliği girdi (C2) fonksiyon grafiği Şekil 6.25'de, Taşıma Mesafesi girdi (C3) fonksiyon grafiği Şekil 6.26'de, Yoldaki Engeller girdi (C4) fonksiyon grafiği Şekil 6.27'de ve Dönme Açısı girdi (C5) fonksiyon grafiği Şekil 6.28'de 'trimf' türünde 3'er adet olmak üzere tasarlanmıştır.



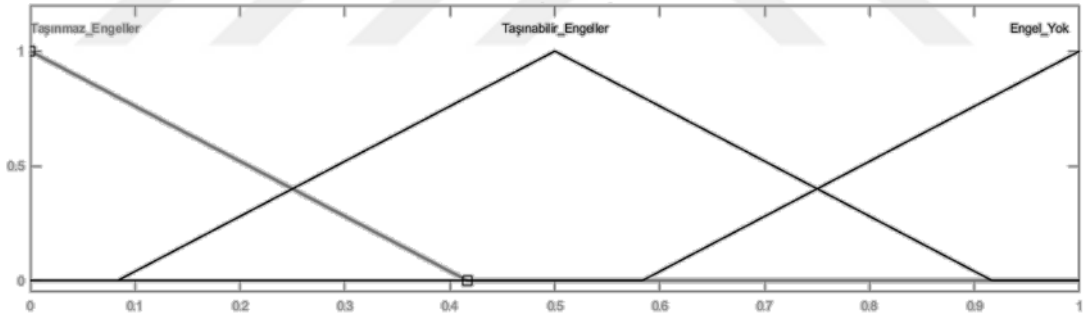
Şekil 6.24. Yol Eğimi girdisi üyelik fonksiyon grafiği (C1)



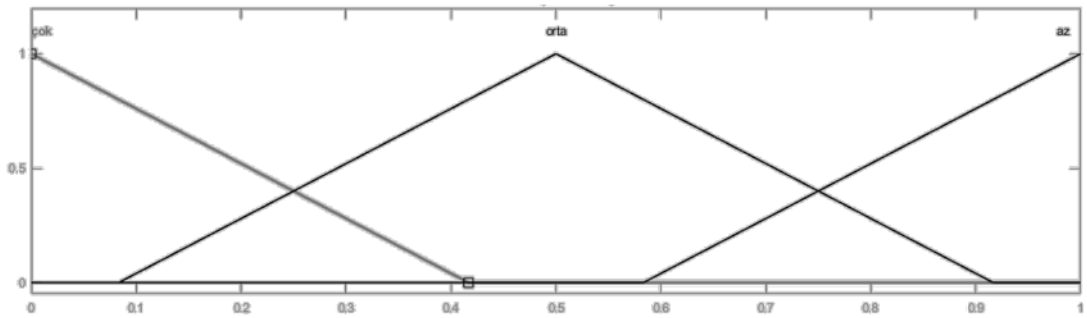
Şekil 6.25. Yol Genişliği girdisi üyelik fonksiyon grafiği (C2)



Şekil 6.26. Taşıma Mesafesi girdisi üyelik fonksiyon grafiği (C3)



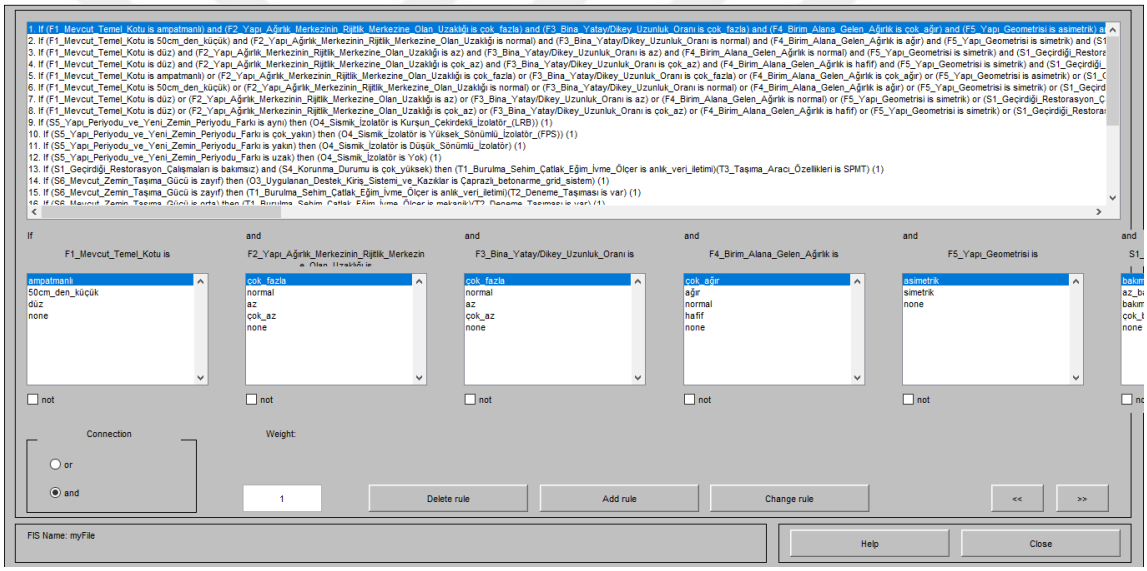
Şekil 6.27. Yoldaki Engeller girdisi üyelik fonksiyon grafiği (C4)



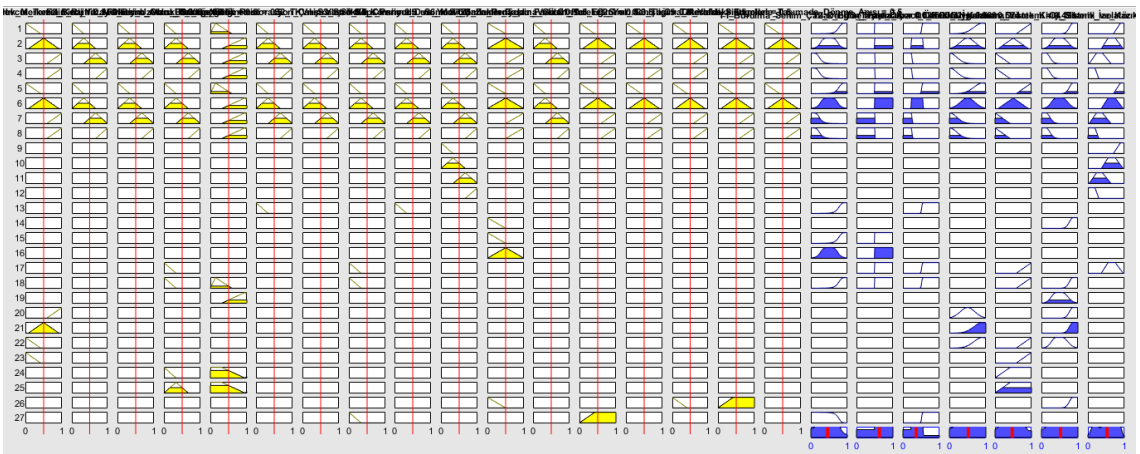
Şekil 6.28. Tekerlekli Sistemlerle Taşımada Dönme Açısı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (C5)

6.5. Kural Tanımlamaları

TKV'lerin mimari ve strüktürel özelliklerinin, taşıma işleminden sonra da bozulmadan sürdürülmesi, kuralın seçimi ve uygulanmasında temel kriter olması prensibiyle kural atamaları yapılmıştır. Literatürde yapılan taşıma çalışmaları incelenerek karşılaşılan problemler ve üretilen çözümlerden girdi değişkenleri bağlamında kural tabanları oluşturulmuştur (Şekil 6.29 - Şekil 6.30). İşlenen kurallar ve matlab versiyonları Çizelge 6.13'de gösterilmiştir. Toplamda 27 adet olan kurallar matlaba aktarılırken işlem kolaylığı olması açısından Dataset kullanılmıştır. EK-3'de belirtilen Girdi (Antecedent), Çıktı (Consequent), Kural Etki Oranı (Weight) ve Kural çeşidi (And||OR) verileri sayı formatında çizelgeye işlenerek fonksiyonlar yardımıyla matlaba yüklenmiştir.



Şekil 6.29. Fuzzy Logic Toolbox arayüzünde kuralların tanıtılması



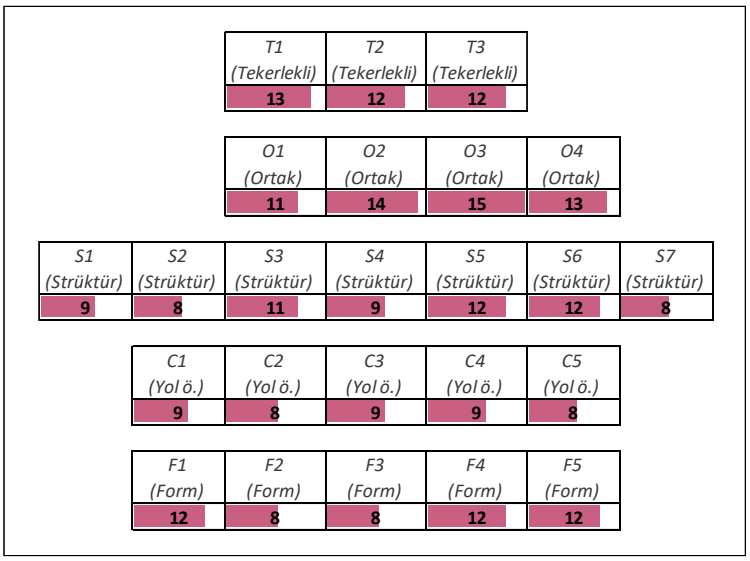
Şekil 6.30. Fuzzy Logic Toolbox arayüzünde tanımlanan kuralların şematik gösterimi (durulaştırma)

Çizelge 6.13. Bulanık mantık modeline işlenen kural tanımları ve matlab versiyonları

	Kural Tanımı	Kuralın Bulanık Mantık Versiyonu	Matlab Dataset
1	Yapı periyodunun zemin periyoduna çok yakın olduğu durumlarda sismik izolatör kullanılmalıdır	S5="aynı" ise O4="Kurşun Çekirdekli İzolatör (LRB)"	S5=1 => O4=4
		S5="çok yakın" ise O4="Yüksek Sönümlü İzolatör (FPS)"	S5=2 => O4=3
		S5="yakın" ise O4="Düşük Sönümlü İzolatör"	S5=3 => O4=2
		S5="uzak" ise O4="yok"	S5=4 => O4=1
2	Eğer yapının korunma durumu çok yüksek ve güçlendirme yapılmamışsa ise burulma ve sehim ölçerlerin çok hassas seçilmesi gerekir ayrıca taşıma aracı olarak SPMT tercih edilmesi uygun olur.	S4="çok yüksek" ve S1="bakımsız" ise T1="Anlık Veri İletimi" T3="SPMT"	S1=1 & S4=1 => T1=3 & T3=3
3	Yapı temeli taşıma gücü düşük zeminlerde kaldırma kirişleri çaprazlı betonarme grid sistem seçilmelidir. Ayrıca gelen ekstra yüklerden dolayı temel altına kazık sistemleri uygulanmalıdır.	S6="zayıf" ise O3="Çaprazlı betonarme grid sistem"	S6=1 => O3=3
4	Eğer taşıma rotasındaki zemin dayanımı düşük ise taşıma sırasında sehim ölçerler kullanılmalı ve deneme taşıması yapılmalıdır.	S6="zayıf" ise T1="Anlık Veri İletimi" ve T2="Var"	S6=1 => T1=3 & T2=2
		S6="Orta" ise T1="Mekanik" ve T2="Var"	S6=2 => T1=2 & T2=2
5	Strüktür sisteminin yığma yapı ve kütlelerin ağır olması durumunda bu yapılar, sistem özelliği olarak rijit olduklarından deprem ve taşınma sırasında oluşacak dinamik yüklere karşı rijit cisim davranışı gösterirler.	S3="Yığma-Kagir" ve F4="çok ağır" ise T2="Var" ve T3="SPMT" ve O2="Tam Dinamik" O4="Yüksek Sönümlü İzolatör (FPS)"	S3=1 & F4=1 => T2=2 & T3=3 & O2=3 & O4=3
6	Yapı ağırlığının fazla, strüktür sisteminin kagir ve yapı geometrisinin asimetrik olduğu durumlarda taşıma çok risklidir. Dolayısıyla en hassas taşıma araçları ile taşıma gerçekleştirilmelidir.	F4="çok ağır" ve F5="asimetrik" ve S3="yığma-kagir" ise T1="Anlık Veri İletimi" T2="Var" T3=SPMT" O2=Tam Dinamik" O3="Çaprazlı betonarme grid sistem"	F4=1 & F5=1 & S3=1 => T1=3 & T2=2 & T3=3 & O2=3 & O3=3
7	Yapı geometrisinin silindir biçiminde simetrik olduğu ve iç mekânda bozulma istenmediği durumlarda kaldırma sırasında çelik konsol sistemleri kullanılabilir.	F5="Simetrik" ise O3="Çelik ve betonarme konsol"	F5=2 => O3=2
8	Kazı sonrası ortaya çıkan temel yüksekliğinin, yapı temeline ilave edilecek yeni sistemi karşılar yükseklikte olması gerekir. Eğimsiz temele sahip yapılarda kesim işlemi disk ile yapılabilir.	F1="düz temel" ise O1="Yarı Manuel" ve O3="Çaprazlı betonarme grid sistem"	F1=3 => O1=2 & O3=3
		F1="50 cm'den küçük" ise O1="Tam Otomatik" ve O3="Çaprazlı betonarme grid sistem"	F1=2 => O1=3 & O3=3
		F1="Ampatmanlı veya çok eğimli kot" ise O1="Tam Otomatik" ve O2="Tam Dinamik" ve O3="Çelik ve betonarme konsol "	F1=1 => O1=3 & O2=3 & O3=2
9	Yapı temelinin yeterince yüksek olmaması veya temelin başka bir yapı kalıntısı üzerinde inşa edilmiş olması durumunda değişken kottaki temeller gibi duruma göre yeni temel için özgün yöntemler geliştirilmelidir.	F1="Ampatmanlı veya çok eğimli kot" ise O2="Tam Dinamik"	F1=1 => O2=3
10	Yapıdaki ağırlık dağılımları farklı olduğunda, hidrolik silindirlere etkiyen sabit yükler de eşit değildir. Bu durum da kaldırma sistemindeki hidrolik basıncın her yük dağılımına göre otomatik olarak ayarlanmasını gerektirir.	F5≠"simetrik" ve F4="çok ağır" ise O2≠"Geleneksel"	F5=(-2) & F4=1 => O2=(-1)
		F5≠"simetrik" ve F4="ağır" ise O2≠"Geleneksel"	F5=(-2) & F4=2 => O2=(-1)

11	Taşıma projesinin taşınma yolu geçici bir yol olduğundan, temel iyileştirmesi sadece taşıma sürecindeki oturma ve deformasyon gereksinimlerini karşılamakla kalmamalı, aynı zamanda proje maliyetinden de mümkün olduğunca tasarruf edilmelidir. Dolayısıyla yumuşak zeminlerde jet grout kolonu, derin karıştırma kolonu, fore kazık ve taş kolonlar ile zemin iyileştirmesi uygulanabilir (L. N. 2006).	S6="Zayıf" ve C3="Uzak" ve C4≠"Taşınamaz Engeller" ise O3="Çaprazlı betonarme grid sistem"	S6=1 & C3=1 & C4=(-1) => O3=3
12	Çekme sistemi betonarme çerçevede çekme kuvvetleri oluştururken, itme sistemi basınç gerilmeleri oluşturur. Betonun çekmede zayıf olduğu göz önüne alındığında, betonarme yapıların yer değiştirmesi için itme sistemi daha uygun olur.	S3="betonarme" ve C1≠"Yüksek" ise T3="SPMT" ve T1≠"Anlık Veri İletimi"	S3=1 & C1=(-1) => T3=3 & T1=(-3)

Çizelge 6.13'deki kurallar oluşturulurken girdi ve çıktıların etki oranlarını belirlemek maksadıyla her bir girdi ve çıktının kurallarda kullanılma adetleri Şekil 6.31'de gösterilmiştir. Kural tabanları oluşturulurken 8 adet kural ile oluşturulan fonksiyonların ilk tanımlamaları yapılmıştır. Yani her bir 0'a yakın girdinin birleşiminde 1'e yakın çıktı olmakta, 1'e yakın girdilerin birleşiminde ise 0'a yakın çıktı olmaktadır. Bu bağlamda yol özelliklerine ait kuralların, bulanık çıktıları etkileyecek sayıda olmadığı görülmektedir. Yapısal Strüktüre ait girdilerin kurallarda kullanılma miktarları 8 ile 12 arasında değişkenlik göstermektedir. Tekerlekli ve Ortak Özellik çıktıların kullanılma miktarları ise 11 ile 15 arasında değişmektedir. Bu bağlamda girdi ve çıktıların kurallarda kullanılma miktarlarının artması bulanık modelin hassasiyetini doğru orantılı olarak etkileyecektir.



Şekil 6.31. Bulanık mantık modelindeki girdi ve çıktıların kurallarda kullanılma miktarları

6.6. Çıktı Sonuçları

Bölüm 5.1.1'de anlatılan Zeynel Bey Türbesi'nin 17 adet olan tüm girdileri, girdi tanımı bağlamında mevcut değerleri yazılarak bu tanıma karşılık gelen üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Belirlenen üyelik fonksiyonunun bulanık mantık modeldeki tanımı da yanına yazılarak üyelik fonksiyon grafiğinden matlab değeri çekilmiştir. Türbeye ait tüm girdi tanımlamaları Çizelge 6.14'de gösterildiği gibi sayısallaştırılmıştır. Örneğin F1 (Mevcut Temel Kotu) girdisi tanımlanırken türbenin temel kotu seviyesi ve temel türü, yapısal forma ait bulanık girdi tanımlamaları çizelgesindeki (Çizelge 6.7) F1 tanımı çerçevesinde analiz edilerek mevcut değer kısmına işlenmiştir. Ardından bulanık mantık üyelik fonksiyonuna, yapısal forma ait bulanık girdi üyelik fonksiyon çizelgesinden (Çizelge 6.8) mevcut değere karşılık gelen üyelik fonksiyonu atanmıştır. Belirlenen üyelik fonksiyonunun tanımı da yanına yazılarak mevcut değer ile bulanık modelde tanımladığımız değerin benzerliği karşılaştırılmıştır. Üyelik fonksiyonu tanımlandıktan sonra ilgili girdiye (F1) ait üyelik fonksiyon grafiğinden (Şekil 6.12) karşılık gelen matlab değeri okunmuştur. Böylece yapının mevcut durumunun sözel ifadesi sayısallaştırılarak bulanık mantık modele işlenmiştir.

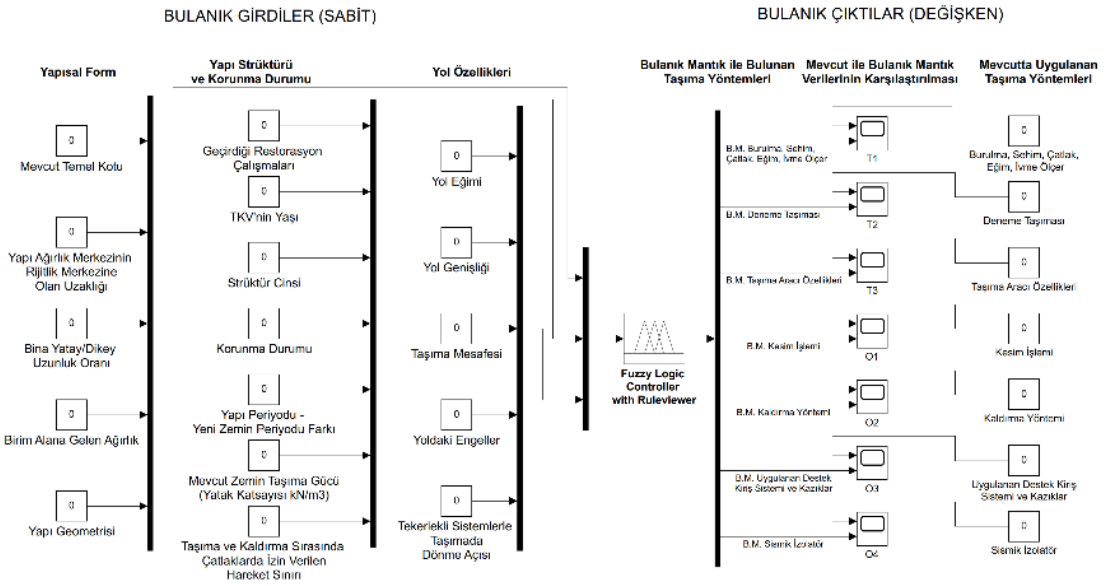
Çizelge 6.14. Zeynel Bey Türbesinin Bulanık Mantık Model Girdileri

Girdi Kodu	Girdi Adı	Mevcut Değer	B.M. Üyelik Fonksiyonu	B.M. Üyelik Fonksiyon Tanımı	Matlab Değeri (0-1)
F1	Mevcut Temel Kotu	Söz konusu türbenin, 2016 senesinde yapılan kazıda temelinin ampatmanlı olduğu görülmüştür.	Ampatmanlı veya Çok eğimli kot	Temelin ampatmanlı veya 50 cm'den fazla eğimli olduğu durum	0.20
F2	Yapı Ağırlık Merkezinin Rijitlik Merkezine Olan Uzaklığı	Simetrik bir geometriye sahip olan türbenin ağırlık merkezi rijitlik merkezine çok yakındır.	Çok az	≤1%	0.15
F3	Bina Yatay/Dikey Uzunluk Oranı	Türbe dikey bir mimariye sahip olup yüksekliği genişliğine göre daha fazladır. Bu da yapının taşınmasını daha riskli hale getirmektedir.	Normal	1-3 arasında	0.25
F4	Birim Alana Gelen Ağırlık	Zeynel Bey Türbesi taşınırken aks başına düşen ortalama yük, 23 tondur.	Ağır	5-20 ton	0.30

F5	Yapı Geometrisi	Türbe dıştan yuvarlak içten sekizgen planlı silindirik bir geometriye sahiptir.	Simetrik	Yapının silindirik ve küp gibi simetrik geometriye sahip olması	1.00
S1	Geçirdiği Restorasyon Çalışmaları	Kubbenin Dicle Nehri'ne bakan bölümündeki çatlaklardan dolayı yıkılma tehdidi altındaki yapı, 2008-2010 yıllarında gerçekleştirilen koruma uygulamalarıyla kurtarılmıştır.	Bakımlı	Yapılan bakımların yetersiz veya eksik olduğu durum	0.75
S2	TKV'nin Yaşı	Türbede bulunan kitabede herhangi bir tarih belirtilmemekle beraber Zeynel Bey'in 1473 yılında Otlukbeli Savaşı'nda vefat ettiği bilinmektedir. Dolayısıyla, yapının 15. yüzyılın sonlarına doğru yapıldığı düşünülmektedir.	Çok	500 yaşından büyük	0.15
S3	Strüktür Cinsi	Türbe tuğla ve çini tuğla malzemesi kullanılarak ve dıştan yuvarlak, içten sekizgen görünümlü olup çift cidarlı kubbeye sahiptir. Tuğla yığma yapı olarak inşa edilmiştir.	Yığma-Kagir	Tuğla veya taş kâgir	0.30
S4	Korunma Durumu	Hasankeyf, Kültür Bakanlığının 13.3.1981 tarih ve A-2767 sayılı kararı ile, 1. derece arkeolojik sit alanı olarak belirlenmiştir.	Çok Yüksek	100% öneme sahip	0.10
S5	Yapı Periyodu - Yeni Zemin Periyodu Farkı	İlk periyodu 0,1 saniye olan yapı, bulunduğu T_A=0,15 ile 0,30 saniye aralığa sahip yumuşak zeminden alınarak daha rijit T_A=0,10 ile 0,15 saniye aralığında bir zemine yerleştirilmiştir.	Aynı	Yapı periyodu ile zemin periyodunun aynı olduğu durum	0.10
S6	Mevcut Zemin Taşıma Gücü (Yatak Katsayısı kN/m3) (Bowles 1996)	Hasankeyf çevresindeki kireçtaşlarının boşluk oranı (%34 - 48) oldukça fazladır. Ayrıca mevcut zemin alüvyon tabakadan oluştuğu için taşıma gücü zayıftır.	Zayıf	-> Gevşek veya orta sıkılıkta kum 4800-16000 arasında, -> Killi zeminler için qa≤200 kPa: 12000-24000 arasında	0.25
S7	Taşıma ve Kaldırma Sırasında Çatlaklarda İzin Verilen Hareket Sınırı	Heuristik (sezgisel) yöntemle belirlenen maksimum çatlak hareket sınırı 0,2 mm'dir.	Az	0,5 - 0,2 mm arasında	0.20
C1	Yol Eğimi	Taşıma hareketi için özel olarak maksimum %4 eğimde tasarlanmıştır.	Az	≤4%	0.95
C2	Yol Genişliği	Yol genişliği 15 m olarak tasarlanmış ve yapının taşıma platformuyla birlikte toplam uzunluğunu kurtarmaktadır.	Çok	Yol genişliğinin yapıyı çok rahat kurtarabildiği durum	0.90

C3	Taşıma Mesafesi	Taşıma mesafesi 2000 m'dir.	Uzak	1000 metreden yüksek	0.15
C4	Yoldaki Engeller	Taşıma yolunda aşılması gereken 3 adet su yolu geçişi, 4 adet yatay ve 6 adet düşey kurp bulunmaktadır.	Taşınamaz Engeller	Menfez, nehir kenarından geçiş, yol altındaki kanallar gibi taşınamaz engellerin olduğu durum	0.20
C5	Tekerlekli Sistemlerle Taşımada Dönme Açısı	Yaklaşık 2000 metrelik taşıma yolunda yapının geçmesini zorlayacak kadar bir dönme açısı bulunmamaktadır.	Az	10 dereceden küçük	1.00

Bulanıklaştırılmış girdilerin tanımlanan kurallarla karıştırılmasından sonra ortaya çıkan ürünler durulaştırmadan geçip ham numerik veriler elde edilmiştir. Hasankeyf Zeynel Bey Türbesi'nin taşıma kriterleri baz alınıp elde edilen bilgiler sayısallaştırılarak bulanık mantık sonuç verileri olarak kullanılmıştır. Modelin bitmiş halinin Matlab Simulink üzerinde görselleştirilmiş hali Şekil 6.32'de gösterilmiştir. Bu modelde soldaki sabit parametrelere modelde test edeceğimiz Zeynel Bey Türbesi'ne ait yukarıda (Çizelge 6.14) tanımlanmış olan numerik girdiler işlenmiştir. Ardından yapıya ait sabit girdiler Bulanık Mantık Araç kutusunda işleme tabi tutularak bulanık çıktı sabitleri oluşturulmuştur. Son olarak bulanık çıktılarla mevcut durumda kullanılan yöntemler grafiksel olarak karşılaştırılmış ve risk analizi bağlamında her bir çıktı parametresi irdelenmiştir.



Şekil 6.32. Bulanık Mantık Modelinin Matlab Simulink arayüzünde görselleştirilmesi

Zeynel Bey Türbesi'nin girdilerine göre elde edilen her bir bulanık çıktı sonuç verileri Excel'e aktarılarak grafik haline getirilmiştir. Toplamda 7 adet çıktının her biri incelenerek çıktı değeri ve grafik şekillerine göre yorum yapılmıştır.

6.6.1. Burulma, sehim, çatlak, eğim, ivme ölçer (T1) çıktısının yorumlanması

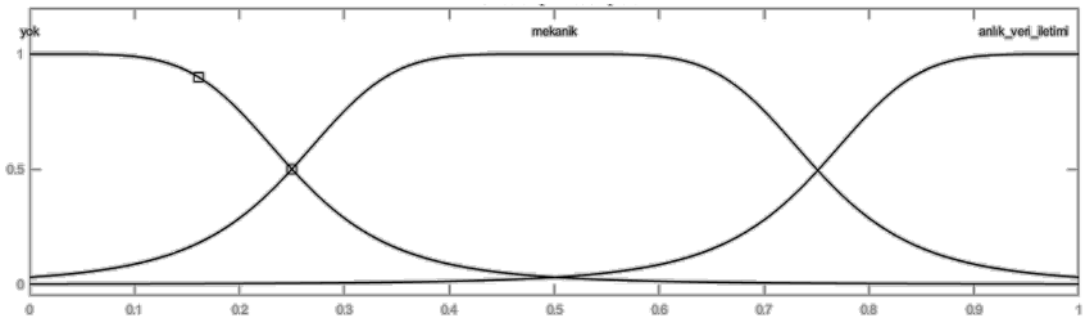
Çıktı sonuçlarının yorumlanmasında ilk olarak mevcut taşınma durumunda uygulanan yöntem analiz edilip matlab değeri belirlenmiştir. Ardından bulanık modelden elde edilen çıktı sonucu grafiksel olarak yorumlanıp mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.

Söz konusu yapının taşınmasında uygulanan mevcut sistem şöyle açıklanabilir: Türbenin taşınmasında karşılaşılabilecek risklere karşı vaktinde önlemler alabilmek için, gelişmiş bir yapısal sağlık izleme sistemi kurularak, oluşabilecek kötü senaryolar önceden tahmin edilmiştir. Acil müdahale planları oluşturularak düzenli tatbikatlar gerçekleştirilmiştir. Türbe taşınmadan önce ve taşınma sırasında gerçekleşecek birim deformasyonlar, eğilme durumu ve çatlak genişliklerindeki değişiklikler anlık olarak incelenerek taşındıktan sonraki durumu ile karşılaştırılmıştır. Taşıma öncesinde çatlaklarda ölçülen maksimum hareket 0,3 mm, günlük değeri ise 0,1 mm olarak ölçülmüştür. Yapının kaldırılması, taşınması ve yeni yerine yerleştirilmesi aşamalarında mevcut çatlaklarda izin verilen hareket sınırı 0,2 mm olarak seçilmiştir (Yılmaz vd., 2017).

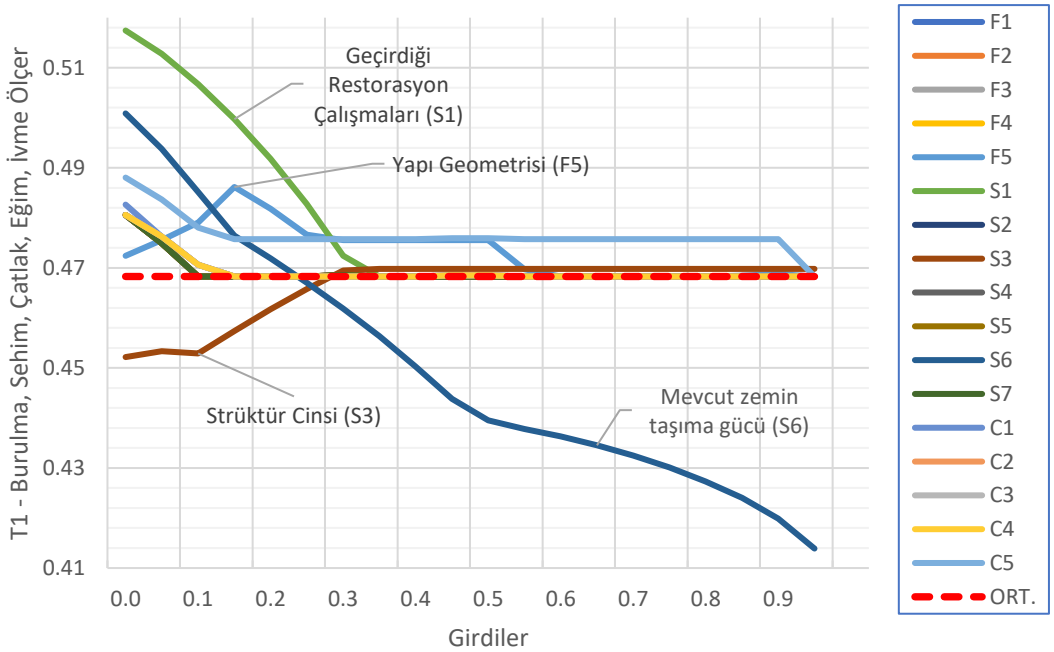
Mevcut durum bilgileri incelendiğinde T1 çıktısının mevcut durum üyelik fonksiyonu, 'Anlık Veri İletimi' olarak belirlenebilir. Bu tanıma karşılık gelen değer, Şekil 6.33'deki üyelik fonksiyon grafiğinden [0.7-1.0] aralığında bir değer alınabilir.

Bulanık modele işlenen verilerden elde edilen T1 çıktısının bulanık değeri '0.4633' olarak bulunmuş olup Şekil 6.34'deki grafikte kesit çizgili kırmızı eğri (ORT.) olarak gösterilmiştir. Bu değer Şekil 6.33'deki grafikten 'Mekanik' üyelik fonksiyonu olarak yorumlanabilir. Bulanık modelden elde edilen T1 çıktısına etki eden tüm girdiler Şekil 6.34'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikteki 'mevcut zemin taşıma gücü' (S6) eğrisine bakıldığında, zeminin taşıma gücü arttıkça yapısal ölçüm cihazlarının kullanılma ihtiyacının azaldığı yorumu yapılabilir. Bununla birlikte 'Geçirdiği Restorasyon Çalışmaları' (S1) eğrisine bakıldığında yapının yeterince restore edilmemesi yapısal ölçüm cihaz ihtiyacını (T1) arttırmakta olduğu görülmektedir.

Türbe'nin S1 girdi değerini 0.75 aldığımız için, bu değere grafikte karşılık gelen T1 değerinin riskli alana girmediği görülmektedir.



Şekil 6.33. Burulma, Sehim, Çatlak, Eğim, İvme Ölçer çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T1)



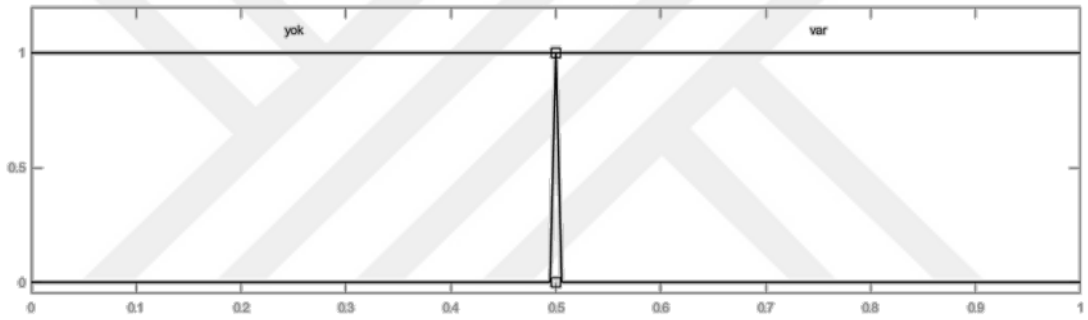
Şekil 6.34. Zeynel Bey Türbesi'nin Burulma, Sehim, Çatlak, Eğim, İvme Ölçer (T1) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi

6.6.2. Deneme taşıması (T2) çıktısının yorumlanması

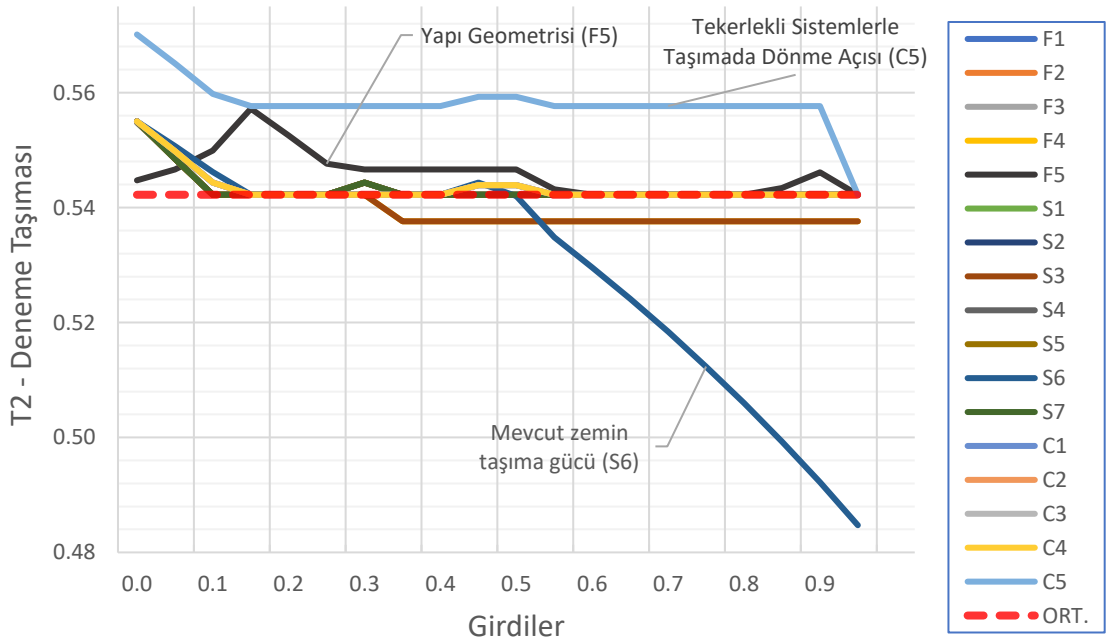
Yapı taşınmadan önce, taşınma rotasında beklenenden çok oturma olma ihtimali, taşıma aracında oluşabilecek mekanik arızalar ve dolguda dengesiz stabilite sorunları ihtimallerine karşı yapı ağırlığına benzer bir ağırlıkta bir test taşıması yapılması gerekebilir. Deneme taşımasının gerekliliğini anlatan Deneme Taşıması (T2) çıktısı, kullanılarak (Şekil 6.35), mevcut değerler ile bulanık çıktı değerleri karşılaştırılmıştır.

Mevcut durum şu şekildedir; Zeynel Bey Türbesi taşınmadan önce taşıma yolunda kendi ağırlığından fazla beton bloklarla test taşıması yapılmıştır. Deneme taşımasında aks başına etkiyecek yaklaşık yük olan 23 ton yerine 31 ton tercih edilmiştir (Yılmaz vd., 2017).

Bulanık modelden elde edilen deneme taşıması değeri '0.5372' olarak bulunmuştur. Bu değer Şekil 6.36'de gösterildiği gibi (ORT.) bütün girdilerin 'mamdani' yönteminin bulanık toplamı olarak belirlenmiştir. Bulunan bu değer üyelik fonksiyon grafiğinden görüldüğü gibi 0.5'in üstünde olduğundan deneme taşımasının gerekliliğini göstermektedir. Şekil 6.36 yorumlandığında; S6 eğrisine baktığımızda mevcut zemin taşıma gücünün artması deneme taşıması gerekliliğini de azaltmaktadır. Dolayısıyla Zeynel Bey Türbesi için taşıma yolu zemini taşıma kapasitesinin, deneme taşıması üzerinde doğrudan etkili olduğu söylenebilir.



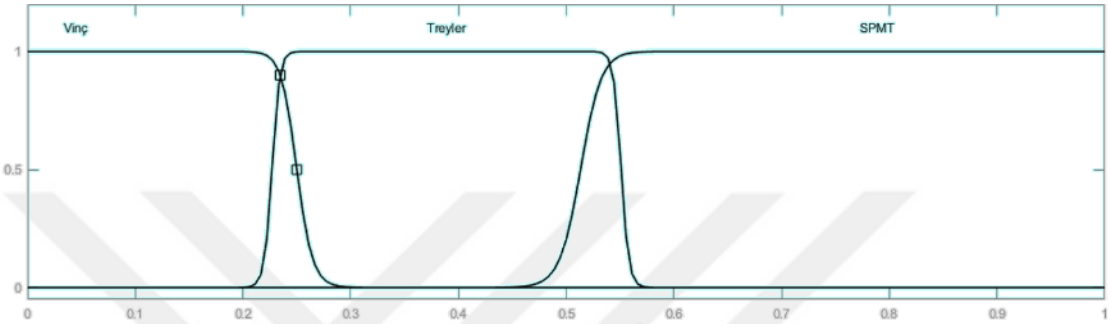
Şekil 6.35. Deneme Taşıması çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T2)



Şekil 6.36. Zeynel Bey Türbesi'nin Deneme Taşıması (T2) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi

6.6.3. Taşıma aracı özellikleri (T3) çıktısının yorumlanması

Yapı kaldırıldıktan sonra yeni konumuna bir taşıma aracı ile taşınır. Taşıma aracının özelliklerinin doğru belirlenebilmesi için birçok parametrenin dikkate alınması gereklidir. TKV'lerin hassas taşıma gerektiren vinç ve araçlarla taşınması prensibiyle, taşıma aracı üyelik fonksiyon grafiği çizilirken 'SPMT aracı ile taşınma' değer aralığı Şekil 6.37'den anlaşıldığı gibi geniş tutulmuştur.



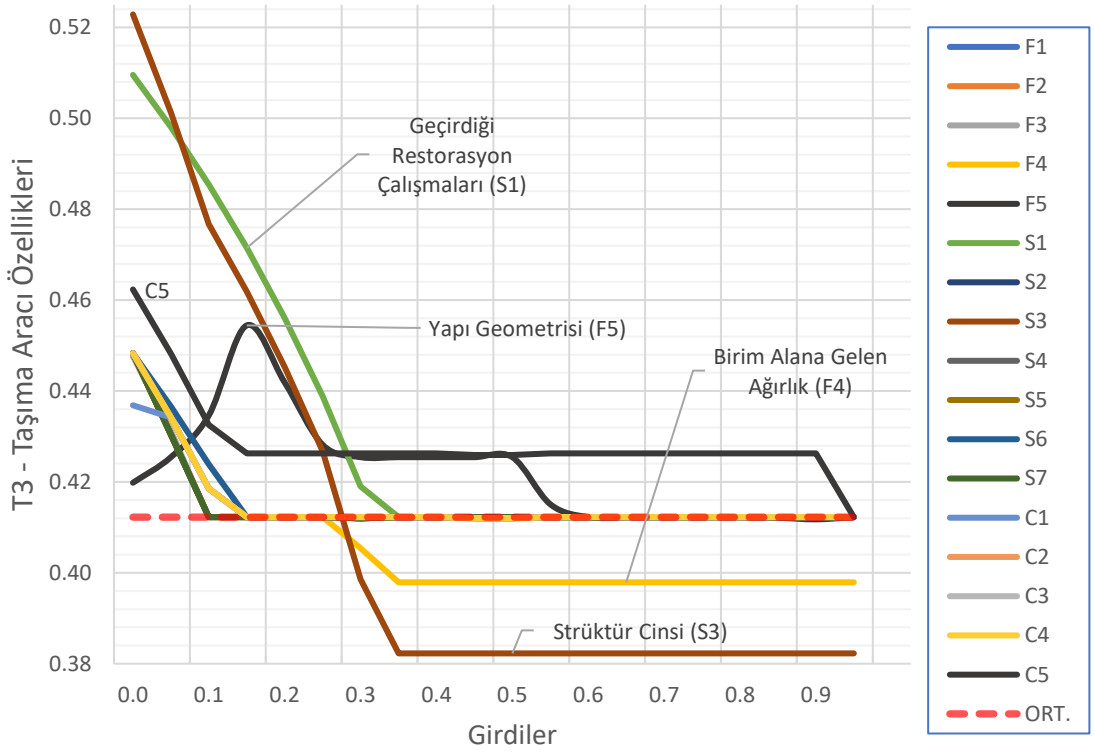
Şekil 6.37. Taşıma Aracı Özellikleri çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T3)

Bulanık mantık modeli ile bulunan taşıma aracı özellikleriyle mevcut durumun karşılaştırılabilmesi için öncelikle mevcut durumda kullanılan taşıma aracı tespit edilmiştir.

Yapı son konumuna ulaşınca yapacağı geniş açılı dönüşler dikkate alınarak SPMT araçları kullanılmıştır. Kullanılan SPMT araçlarının her bir teker çifti, hidrolik kriko yardımıyla şasiye bağlanmakta ve yoldaki eğimleri yutabilmektedir. Toplam 3 sıra olarak kullanılan SPMT araçları kendi etrafında 360 derece dönebilme özelliğine sahiptir ve her aksın taşıma kapasitesi 42 tondur. Tüm bu özellikler dikkate alındığında ve T3 üyelik fonksiyon tanımları incelendiğinde taşıma aracı SPMT olarak belirlenir.

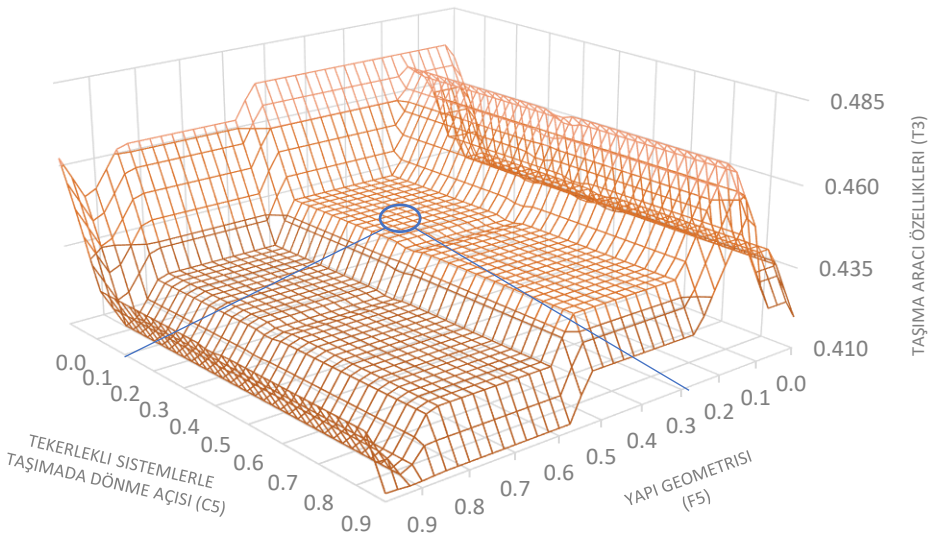
Bulanık girdilerden elde edilen bulanık T3 çıktısı (ORT.) ise Şekil 6.38'dan anlaşıldığı gibi '0.4122' olarak bulunmuştur. Bu değer SPMT üyelik fonksiyon aralığı olan [0.45-1.00] aralığında değildir. Yani treyler üyelik fonksiyon değerine daha yakındır. Grafik yorumlandığında birim alana gelen ağırlığın azalması ve strüktür cinsinin betonarme olması, yapıyı taşımayı daha güvenli kılmaktadır. Grafikteki S3 eğrisine bakıldığında ve türbenin yığma ve kagir strüktür sistemine sahip olduğu göz önünde bulundurularak '0.3' girdi değeri olan Strüktür Cinsi (S3) değerine karşılık gelen taşıma aracı özelliklerinin SPMT olması gerektiği görülmektedir. Yani elde ettiğimiz bulanık modele göre, Zeynel Bey Türbesi için taşıma aracı özelliklerine etki

eden en kritik girdilerin Geçirdiği Restorasyon Çalışmaları (S1), Strüktür Cinsi (S3) ve Yapı Geometrisi (F5) olduğu söylenebilir.



Şekil 6.38. Zeynel Bey Türbesi'nin Taşıma Aracı Özellikleri (T3) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi

Şekil 6.38'deki grafikte iç içe geçmiş eğrileri doğru yorumlayabilmek için Şekil 6.39'daki gibi C5 ve F5 girdilerinin taşıma aracı özelliklerine etkisini gösteren 3 eksenli grafik incelenebilir. Bu grafikte hem iki girdinin birbiriyle olan ilişkisi hem de bulanık çıktıyla olan ilişkisi okunabilir. Türbenin taşıma yolunda karşılaşacağı maksimum dönme açısı 10 dereceden küçük yani '0.1' ve yapı geometrisi yığma kagir yani '0.3' alındığında, karşılık gelen taşıma aracı özelliği Şekil 6.39'da gösterildiği gibi SPMT üyelik fonksiyon değerine yaklaşmaktadır. Bulanık modele göre, taşımayı riske atmamak için SPMT aracının tercih edilmesi daha uygun olacaktır.



Şekil 6.39. Zeynel Bey Türbesi'nin Taşıma Aracı Özellikleri (T3) çıktısına Yapı Geometrisi (F5) ve Tekerlekli Sistemlerle Taşımada Dönme Açısı (C5) girdi parametrelerinin etkisini gösteren 3 eksenli grafik

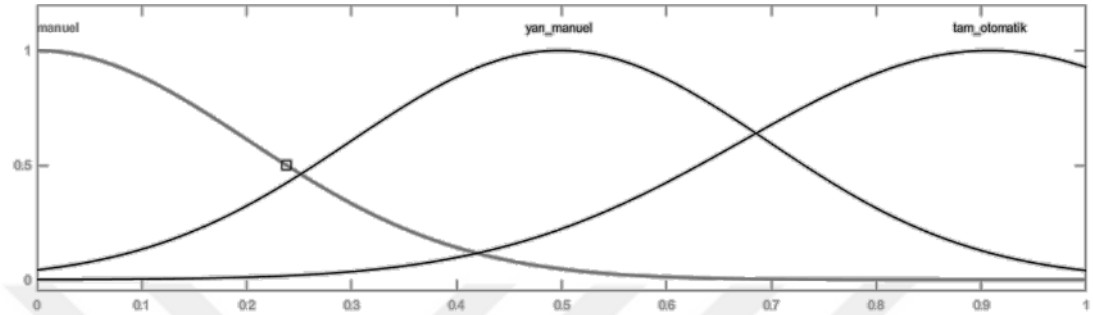
6.6.4. Kesim işlemi (O1) çıktısının yorumlanması

Yapının kaldırılması sırasında olası riskleri en aza indirmek için kesim işleminin çok dikkatli yapılması gerekir. Yapıdaki düşey boşluklar dikkate alınmalı ve kesimin yapılacağı eksen yapıdan kopma olmayacak ve yapı strüktürüne zarar vermeyecek noktadan seçilmelidir. Yığma yapılarda kesimin altından malzeme düşmeyecek şekilde tasarlanmalı ve yeni temeline oturtulurken eğim sorunu yaratmadığından emin olunması gereklidir. Kesim işlemi çıktısının yorumlanabilmesi için öncelikle türbenin mevcut durumunda kullanılan kesim yöntemi belirlenir, ardından bulanık model ile bulunan değer mevcut değer ile grafikler yardımıyla karşılaştırılır.

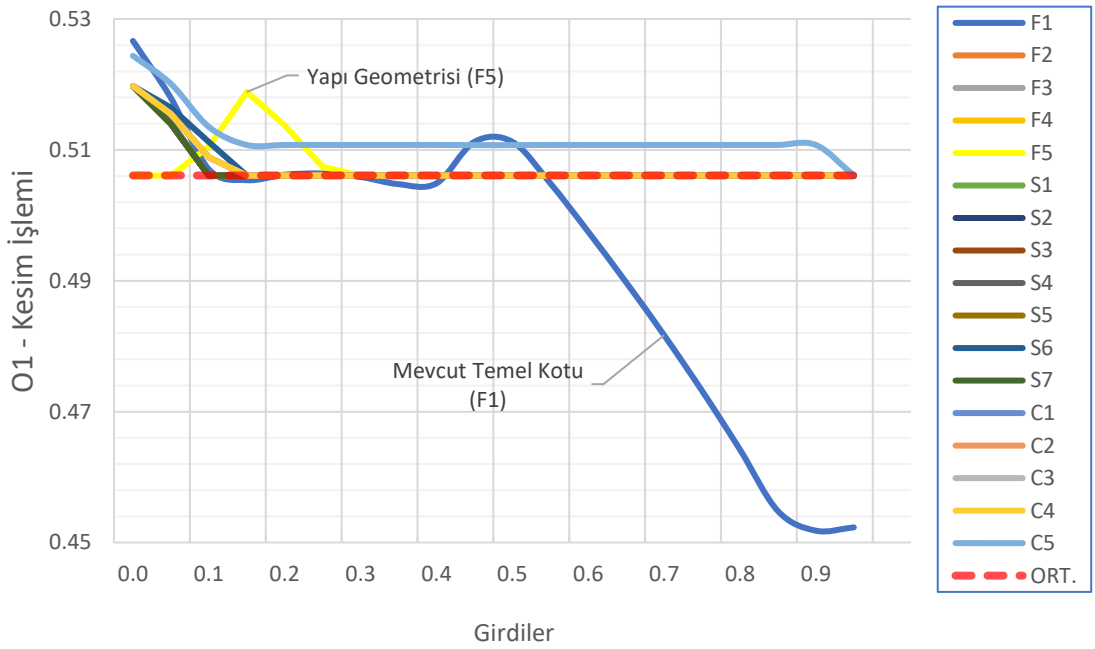
Mevcut kesim işlemi şu şekilde olmuştur: Türbe, taşıma platformunun alt kot hizasından pürüzsüz bir yüzey olacak şekilde dairesel testere ile yarı manuel olarak kesilmiştir. O1 değeri Şekil 6.40'deki kesim üyelik işlem fonksiyonunda 'Yarı Manuel' yani yaklaşık olarak [0.4-0.6] aralığına denk gelmektedir.

Bulanık modelden elde edilen kesim işlemi (O1) çıktısının değeri '0.5011' olarak bulunmuştur. Bu değer Şekil 6.40'deki üyelik fonksiyon grafiğinden 'yarı-manuel' değerine tekabül etmektedir. Bulanık çıktıyı yorumlamak için; Şekil 6.41'deki grafiğe bakıldığında mevcut temel kotu (F1) değerinin kesim işleminde kritik olduğu görülebilmektedir. Mevcut temelin ampatmanlı olmasından dolayı F1 değeri 0.2 kabul edilmişti. Bu durum da grafikten anlaşılacağı üzere kesim işleminin temel üst kotundan

yapılacağı anlamına gelir ve kesim işlemini 'Tam Otomatik' üyelik fonksiyonuna yaklaştırır. Ayrıca yapı geometrisi (F5) eğrisinden de 'asimetrik' üyelik durumunda kesim işleminin riskli olacağı görülebilmektedir. Ancak Zeynel Bey Türbesi'nin simetrik bir geometriye sahip olduğu düşünülerek kesim işleminde yapı geometrisi bağlamında risk oluşturmadığı sonucuna varılabilir.

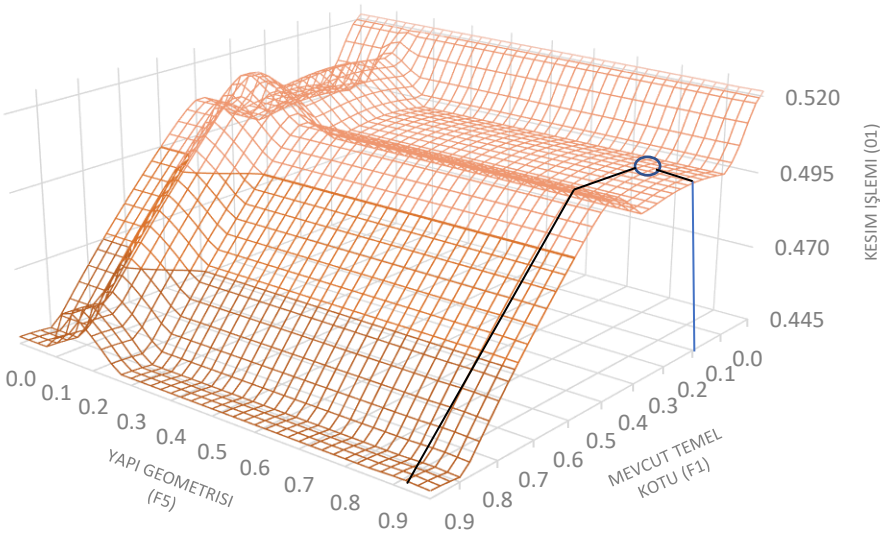


Şekil 6.40. Kesim İşlemi çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O1)



Şekil 6.41. Zeynel Bey Türbesi'nin Kesim İşlemi (O1) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi

Türbe için kesim işlemini etkileyen iki önemli parametre olan F1 ve F5 girdilerinin kesim işlemi çıktısına etkisini incelemek için Şekil 6.42'deki 3 eksenli grafik incelenebilir. Bu bağlamda bu iki girdi dikkate alındığında kesim işleminin 'Tam Otomatik' olması gerektiği yorumu yapılabilir.

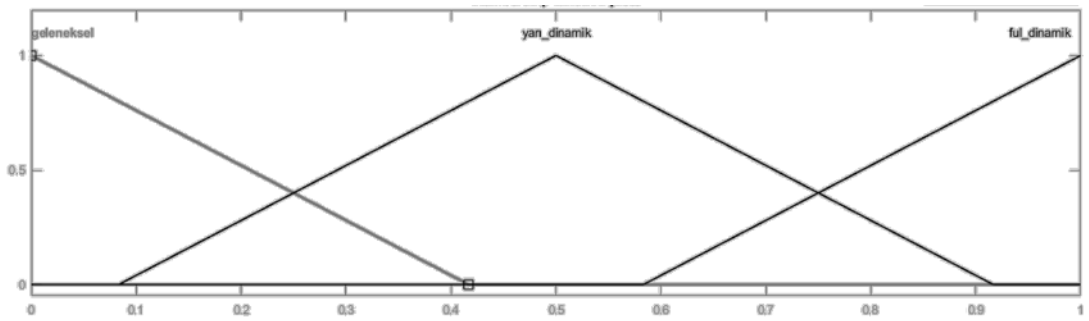


Şekil 6.42. Zeynel Bey Türbesi'nin Kesim İşlemi(O1) çıktısına Mevcut Temel kotu (F1) ve Yapı Geometrisi (F5) girdi parametrelerinin etkisini gösteren 3 eksenli grafik

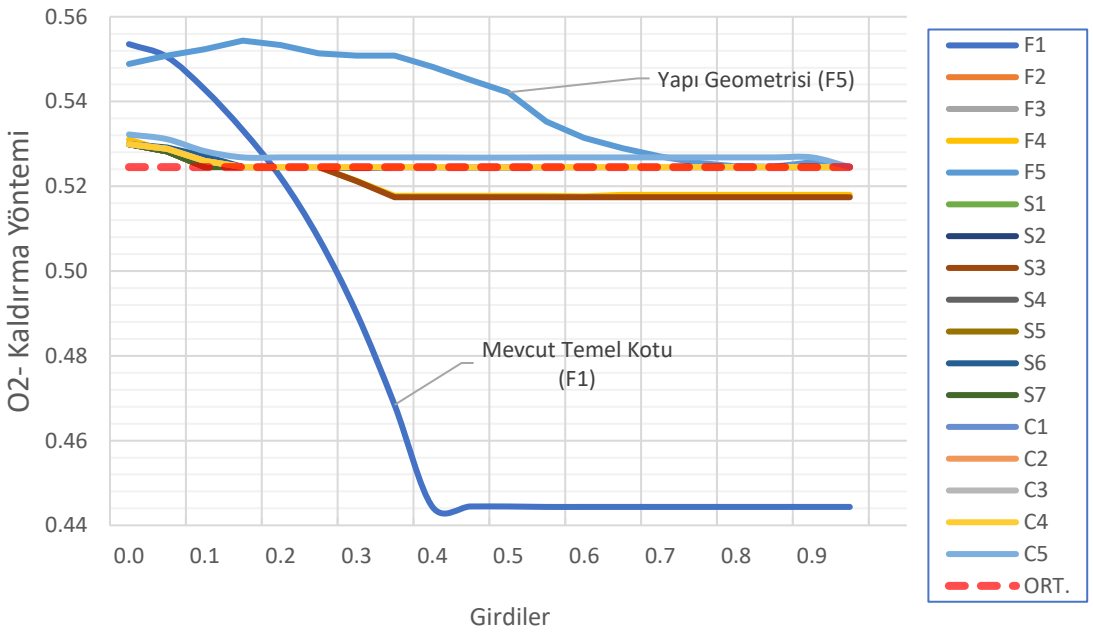
6.6.5. Kaldırma yöntemi (O2) çıktısının yorumlanması

Yapının kesimi yapıldıktan sonra taşıma aracının yapı altına yerleştirilebilmesi için yapının hidrolik sistemlerle kaldırılması gerekir. Asimetrik bir yapı, hidrolik sistemlerde dengesiz yük dağılımına sebep olacağından kaldırma sırasında hidrolik basıncın her noktada birim ağırlığına göre anlık olarak ayarlayabilecek tam dinamik sistemler kullanılmalıdır. Türbenin kaldırılmasında 50 ton kapasiteli 44 tane hidrolik kriko kullanılmış olup yapıyı 144 cm kaldırmışlardır. Kaldırma sırasında sarsıntının en aza indirilmesi ve düşey ivmelerin düşük olmasına özen gösterilmiştir. Kullanılan hidrolik krikolar 3 grup halinde bağlanarak oluşabilecek eğilmeler dengelenmiştir (Yılmaz vd., 2017) Tüm bu bilgilerden mevcut kaldırma yöntemi (O2) [0.6-1.0] aralığında 'Tam Dinamik' olarak belirlenebilir.

Bulanık modelden elde edilen O2 çıktı değeri Şekil 6.44'deki ortalama (ORT.) eğrisinden anlaşılacağı üzere '0.5245' olarak bulunmuştur. Bu değer üyelik fonksiyon grafiğinden 'yarı dinamik' üyelik değerine tekabül etmektedir.



Şekil 6.43. Kaldırma Yöntemi çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O2)

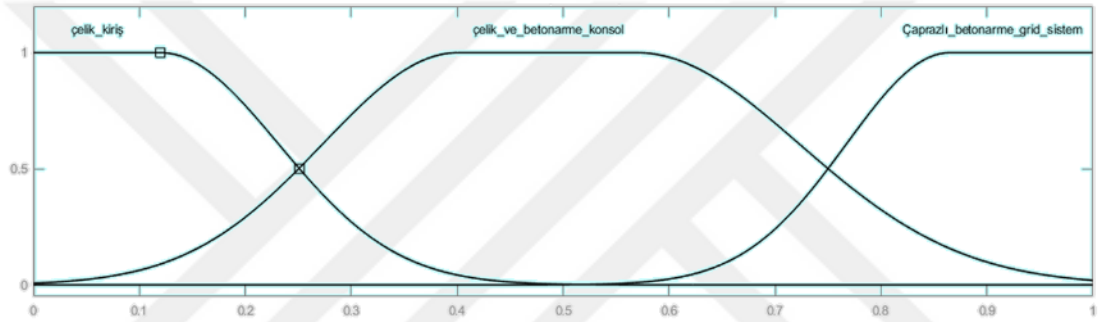


Şekil 6.44. Zeynel Bey Türbesi'nin Kaldırma Yöntemi (O2) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi

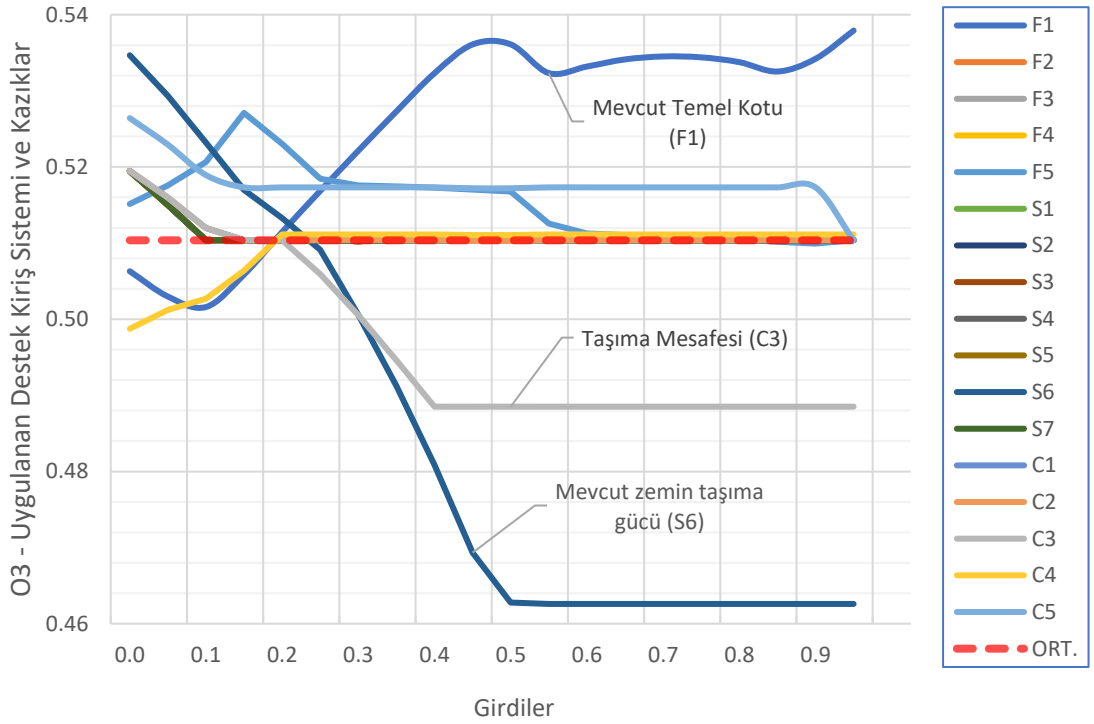
6.6.6. Uygulanan destek kiriş sistemi ve kazıklar (O3) çıktısının yorumlanması

Yapı kaldırılırken yapı ağırlığını hidrolikler aracılığıyla temele ileten sistemlere destek kiriş sistemleri (underpinning) denilmektedir. Bu sistemler yapıya entegre edilerek sistemin birlikte hareket etmesine olanak sağlar. Konsol olarak çalıştırılma durumlarında oluşan momentleri karşılamak için ardgerme işlemleri yapılabilir. Türbenin kaldırılmasında kullanılan destek kiriş sistemi 90 cm kalınlığında olup göreceli deplasmanlar binde bir mertebesinde hesaplanmıştır. Ayrıca ardgerme uygulaması yapılarak güçlendirilmiştir. Betonarme olarak tasarlanan destek kiriş sistemi yapıya 100 cm'lik çelik konsol kirişlerle bağlanmıştır (Yılmaz vd., 2017) Dolayısıyla mevcut durumda kullanılan destek kiriş sisteminin (O3) üyelik fonksiyon değeri [0.3-0.7] aralığında 'Çelik ve Betonarme Konsol' olarak belirlenebilir.

Bulanık Modeldeki türbeye ait O3 bulanık çıktı değeri Şekil 6.46'deki grafiksel sonuçlardan '0.514' olarak bulunmuş olup Şekil 6.45'daki üyelik fonksiyon grafiğinden 'Çelik ve Betonarme Konsol' üyelik değerine karşılık gelmektedir. Grafik çıktı sonuçları incelendiğinde şu sonuçlar çıkarılabilir: C3 eğrisine bakıldığında söz konusu türbenin taşıma mesafesi kısaldıkça uygulanacak destek kiriş sistem türünün çelik kiriş sistemleri olarak kullanılabilmesine olanak sağladığı söylenebilir. S6 eğrisine baktığımızda, mevcut zemin taşıma gücünün azalması Zeynel Bey Türbesi'nin 0.2 değeri ile zayıf zemine sahip olduğu düşünülerek, konsol sistemlerin kullanımını riskli kıldığı öngörülebilir. Bununla beraber zeminin iyileştirilmesi ve dayanıklılığının arttırılması durumunda risk faktörünün azalacağı söylenebilir.

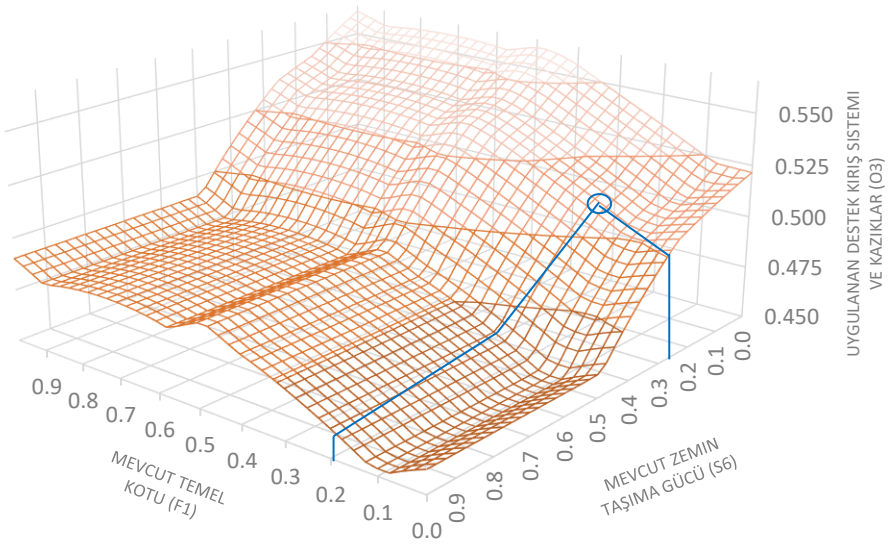


Şekil 6.45. Uygulanan Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklar çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O3)



Şekil 6.46. Zeynel Bey Türbesi'nin Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklar (O3) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi

Destek kiriş sisteminin belirlenmesinde kritik öneme sahip F1 ve S6 girdilerinin O3 çıktısına etkilerini detaylı yorumlayabilmek için Şekil 6.47'deki 3 eksenli grafik incelenebilir. F1 değerinin 0.2 olduğu ve S6 değerinin de 0.25 olduğu bilindiğinden grafikte işaretlendiklerinde O3 değeri yaklaşık olarak 0.520 değerine denk gelmektedir. Bu değerin de mevcutta uygulanan destek kiriş sistemine yakın olduğu söylenebilir.



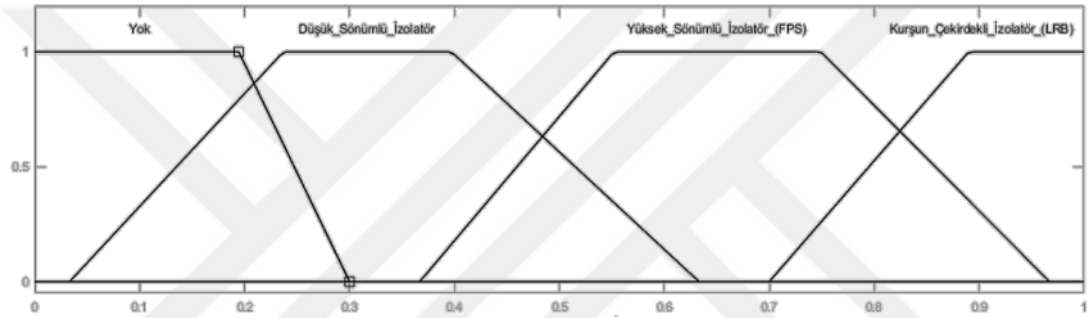
Şekil 6.47. Zeynel Bey Türbesi'nin Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklar (O3) çıktısına Mevcut Zemin Taşıma Gücü (S6) ve Mevcut Temel Kotu (F1) girdi parametrelerinin etkisini gösteren 3 eksenli grafik

6.6.7. Sismik izolatör (O4) çıktısının yorumlanması

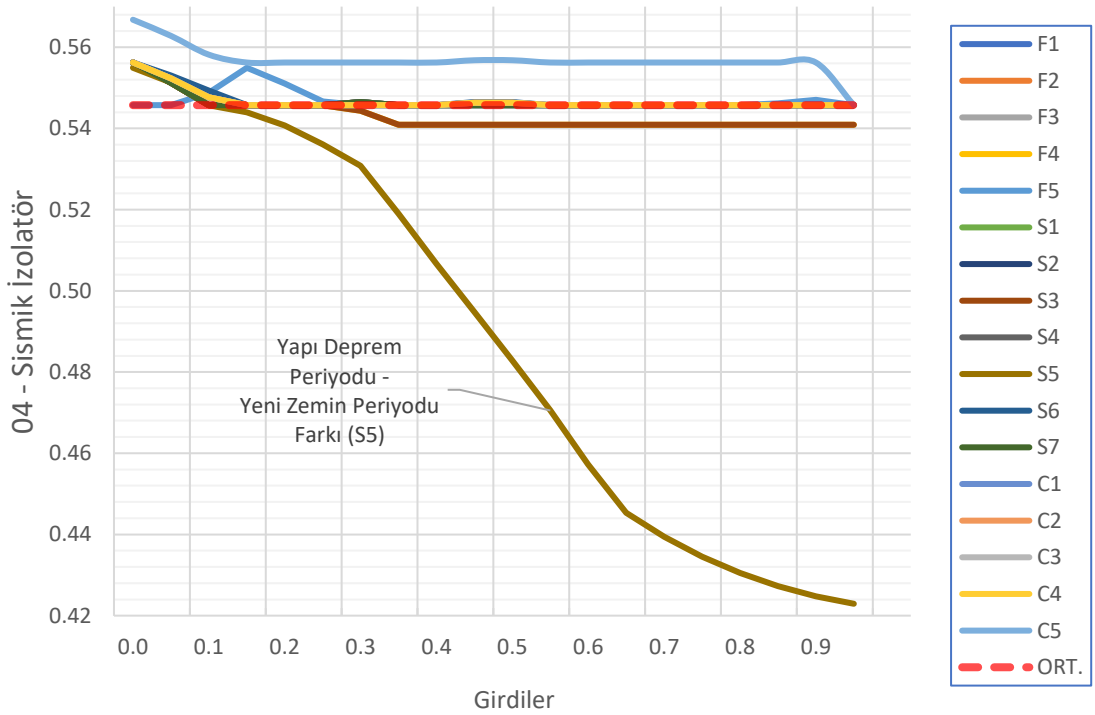
Tarihi yapılarda sismik izolatör kullanımı yaygın bir uygulama değildir. Ancak TKV'lerin taşınması uygulamalarının artması narin özelliklere sahip bu yapıları yeni konumlarında deprem kuvvetlerine karşı savunmasız bırakabilir. Bu durumlarda güçlendirme yapılması veya sismik izolatör kullanılması yoluyla yapı deprem kuvvetlerine karşı korunmuş olur. Türbeden alınan harç örnekleri analiz sonuçlarından elde edilen poisson oranı, ağırlık ve elastik modül gibi değerler kullanılarak yapının sonlu eleman modeli çizilmiştir. Deprem analiz sonuçlarından yapının, 700 kPa çekme gerilmesine maruz kaldığı ve mevcut ağırlığından gelen basınç etkileriyle birleşince 360 kPa değerinde bir çekme kuvveti aldığı görülmüştür. Bu gerilmelerin yıkıma sebep olacağı sonucuna varılmıştır. Modal analiz yönteminde ilk periyodu T=0.1 saniye olan türbenin, zemin periyodu TA=0.15-0.30 aralığında olan mevcut konumundaki yumuşak zeminden taşınarak deprem periyodu TA=0.10-0.15 saniye arasında olan daha rijit bir zemine taşınmıştır. Zeminin yeni konumundaki zemin deprem periyodunun yapı

periyoduna yakın olması yapıyı rezonansa sokma riskini doğurmuştur. Dolayısıyla yeni konumunda sismik izolatör kullanılmasına karar verilmiştir. Yapının geometrik özellikleri ve ağırlığına uygun olarak sarkaç tipi izolatör kullanılması tercih edilmiştir (Yılmaz vd., 2017) Dolayısıyla mevcut O3 değeri [0.5-0.8] aralığındaki 'Yüksek Sönümlü İzolatör (FPS)' olarak belirlenmiştir.

Bulanık modelden elde edilen grafiksel sonuçlar ışığında bulanık O3 çıktı değeri Şekil 6.49'deki grafikte görüldüğü gibi '0.5407' olarak bulunmuştur. Bu değer ise Şekil 6.48'dan 'FPS' tip izolatör kullanımına denk gelmektedir. S5 eğrisine bakıldığında yapı periyodu ile zemin periyodu farkının artması düşük sönümlü izolatör kullanılabilmesi veya sismik izolatör kullanımına gerek duyulmaması sonucunu doğurur.



Şekil 6.48. Sismik İzolatör çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O4)



Şekil 6.49. Zeynel Bey Türbesi'nin Sismik İzolatör (O4) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Büyüyen şehirleşmeyle beraber tarihi yapıların taşınma zorunluluğu giderek yaygınlaşmaktadır. Taşınmaz Kültür Varlıklarının (TKV) bütüncül olarak taşınmasında mühendislik disiplininde literatüre girmiş olan yöntem ve yaklaşımlar söz konusudur. Tarihi yapıların taşınmasında yapının her bir parçasının numaralandırılarak taşınması, yapının parçalara ayrılarak bloklar hâlinde taşınması ve bütüncül olarak tek parça hâlinde taşınması olarak sıralanabilecek üç farklı yöntem bulunmaktadır. Taşıma işleminin yapılabilmesi için yapının cinsi, yapı strüktür sistemi, korunma durumu, yapının mevcut temeli, zemin özellikleri, taşınma rotası gibi etkenlerin hesap ve tahmininin birçok değişken hesaba katılarak taşıma risk analizinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, TKV'lerin yeni bir konuma taşınması, taşınmış olan yapılar üzerinden geoteknik mühendisliği bağlamında değerlendirilerek yeni bir yaklaşım ortaya konulmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmayla disiplinler arası çalışma gerektiren TKV'lerin taşınmasının, yapay zekâ tabanlı modeller (Bulanık Mantık gibi) kullanılarak risk analizlerinin çok kısa bir sürede dinamik çözümlerle yapılabildiği gösterilmiştir. Tasarım ve planlama aşamalarında üretilen çözümün diğer çözümlerle karşılaştırılması, avantaj ve dezavantajlarını grafikler üzerinden gösterilerek mühendislere yardımcı olacağı öngörülmektedir. Girilen birçok verinin tek bir mekanizmada değerlendirilip gözlemlenebilmesi analizin pratikliğini göstermekte ve taşıma projelerinin tasarım ve uygulama aşamalarında kolaylaştırıcı etki yapacağı düşünülmektedir.

Bulanık modelden elde edilen verilerle türbenin mevcut durumunda kullanılan yöntemler grafiksel olarak değerlendirilmiş ve risk analizi bağlamında karşılaştırmalar yapılmıştır. Her bir bulanık çıktıya ait elde edilen sonuçların mevcut durum ile karşılaştırılma sonuçları Çizelge 7.1'de detaylı olarak özetlenmiştir.

Bulanık Mantık ile tarihi yapıların bütüncül taşınması, problemlerin çözülmesine ilişkin kararları desteklemek için etkili bir yaklaşım olduğu sonucuna varılmıştır. Belirlenen girdilerin her biri kendi içlerinde ayrıca bir bulanık mantık analizine sokulursa sonuçların doğruluğunun artacağı düşünülmektedir. Üretilen bu model tarihi yapıların bütüncül olarak taşınmasında yeni bir yol haritası tanımlamaktadır. Çalışmanın sonuçları TKV'lerin taşınmasının geoteknik mühendisliği bağlamında irdelenmesinde yeni çalışmalara temel oluşturacağı düşünülmektedir.

Çizelge 7.1. Zeynel Bey Türbesi'ne ait Bulanık Mantık Model Çıktılarının Mevcut ile Karşılaştırılması

Çıktı Kodu	Çıktı Adı	Mevcut Uygulanan Durum	Matlab Çıktı Değeri (0-1)	B.M. Çıktı Değerinin Karşılığı Olan Üyelik Fonksiyonu	Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyon Tanımı	SONUÇ / KARŞILAŞTIRMA
T1	Burulma, Sehim, Çatlak, Eğim, İvme Ölçer	Anlık Veri İletimi	0.4633	Mekanik	Anlık verilerin iletilmediği ve bazı ölçüm (gauge) cihazlarının eksik olması	Mevcut zeminin taşıma gücü azaldıkça yapısal cihazların kullanılma ihtiyacı artmaktadır. Mekanik sistemler kullanılması durumunda zeminin taşıma gücünün arttırılması gerekmektedir. Yapının restore edilmiş olması ve yapı geometrisinin simetrik olması kullanılan yapısal izleme cihazlarının gerekliliğini azaltmıştır.
T2	Deneme Taşıması	Var	0.5372	Var	Deneme taşımasının kendi ağırlığından fazla bir sistemle test edildiği durum	Yol zemininin taşıma gücünün artması deneme taşıması gerekliliğini azaltmaktadır.
T3	Taşıma Aracı Özellikleri	SPMT	0.4122	Treyler	SPMT araçlarına nazaran daha az özelliğe sahip mekanik araçlar	Toplam bulanık değerin Treyler sonucunu vermesine karşılık strüktür cinsinin yığma kagir olması yapının gelişmiş SPMT araçlarıyla taşınmasını zorunlu kılmaktadır.
O1	Kesim İşlemi	Yarı Manuel	0.5011	Yarı Manuel	Disk ile yarı-mekanik kesim	Bulanık model, mevcutta kullanılan kesim işlemiyle aynı sonucu vermiştir. Ancak mevcut temelin ampatmanlı oluşu kesim işleminin disk ile yapılmasını riskli kılmaktadır.
O2	Kaldırma Yöntemi	Tam Dinamik	0.5245	Yarı Dinamik	Kapalı döngü sisteminin kullanılmadığı uygulamalar	Bulanık modelden elde edilen verilerle, yapı geometrisinin simetrik olmasından dolayı kaldırma sisteminin yarı dinamik olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.
O3	Uygulanan Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklar	Çelik ve betonarme konsol	0.5104	Çelik ve betonarme konsol	Konsol olarak çalıştırılma durumlarında ve yapının silindirik geometrisinden kaynaklı ekstrem durumlarda bu sistemler uygulanabilir.	Bulanık model ile mevcut durum sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Ayrıca taşıma yolunun kısalması destek kiriş sisteminin güvenliğinde olumlu etki yaptığı söylenebilir. Ancak mevcut zeminin taşıma gücünün zayıf olması kullanılacak destek kiriş sisteminin betonarme olmasını gerekli kılabilir.

O4	Sismik İzolatör	Yüksek Sönümlü İzolatör (FPS)	0.5407	Yüksek Sönümlü İzolatör (FPS)	FPS tip izolatör yeniden merkezlenme özelliğine sahiptir. Ancak bu modele etkiyen taban kesme kuvveti LRB'ye göre daha fazladır	Bulanık model ile mevcutta uygulanan sismik izolatör aynı bulunmuştur. Yapı periyodu ile zemin periyodu farkının artması izolatör kullanımını gerekliliğini ortadan kaldırabilir.

TKV'lerin kurtarılması veya yok olmasını engellemek adına gerçekleştirilen strüktürel bütüncül taşınma çalışmalarında genelde karşılaşılan zorluklar veya durumlar şu şekilde sıralanabilir:

- TKV'nin, tarih olarak daha eski döneme ait kültür varlığı kalıntıları üzerine yapılmış olması durumu,
- Kültür varlığının, temel seviyesine yakın konumda olabilen ve taşınacak kültür varlığından daha önemli sanatsal veya teknik değere sahip özelliklere sahip olması,
- TKV'nin taşıma yolu üzerindeki coğrafi ve fiziksel engeller ile varlığına temel seviyesine temas eden altyapının bulunması ihtimali (elektrik, su kanalizasyon hatları, köprü vs.),
- TKV'nin çevresindeki alanın taşıma işlemine elvermeyecek kadar dar olması.
- TKV'nin temelinin farklı derinliklerde bulunması,
- TKV'nin kayalık zemin üzerinde, derine inmeyen engel olan bir temel yapı üzerine inşa edilmiş olması,
- TKV'nin -kubbe üst örtüsünden dolayı vb.- yeterince esnek olmaması durumu,
- TKV'nin düzenli olmayan plan kurgusu, farklı yükseklikteki kütlelerden oluşması vb. tasarım farklılıkları gibi durumlar,
- TKV'nin zayıf konstrüksiyonu nedeniyle strüktürel hassasiyetinin bulunması,
- TKV'nin üzerindeki süsleme unsurları ve özgün yapısı nedeniyle yüksek sanatsal değere sahip olması vb.

EKLER

EK-1 Şekiller Tablosu Listesi

Şekil 1.1. Önerilen bulanık modelin taşıma uygulaması sürecindeki konumu..... 4
Şekil 3.1. Boole ve bulanık mantıktaki değerler aralığı (a)İki değişkenli; (b) Çok değişkenli (Korumaz, 2015) 14
Şekil 3.2. Bulanık uzman sistem modeli (Nilashi vd, 2011) 15
Şekil 3.3. İki girişli, iki kurallı Mamdani bulanık çıkarım sistemi (Cook, 2007)..... 16
Şekil 3.4. Kütle merkezini kullanarak durulaştırma (Bayri, 2018)..... 16
Şekil 4.1. Türkiye'de korunması gereken taşınmaz kültür varlıklarının 2020 yılı istatistiği (URL-5)..... 18
Şekil 4.2. Türkiye'de inşa edilen ilk tarihi betonarme yapılar..... 20
Şekil 4.3. Türkiye'de inşa edilip raylı sistemlerle taşınan tarihi bir ahşap yapı, Yürüyen Köşk (1929) (Özer ve İnel, 2021)..... 21
Şekil 4.4. Hasankeyf - Süleyman Han Camii minaresinin numaralandırılarak sökümü (solda) ve yeniden inşa edileceği Arkeopark alanında istiflenmesi (sağda) (URL-7).... 23
Şekil 4.5. Pertek-Tunceli Sungur Bey Cami, Numaralandırılarak sökümü yapılıp yeni yerinde montajı tamamlanan duvar kaplamaları (URL-8)..... 23
Şekil 4.6. Moloz duvarın bloklara ayrılarak vinçler yardımıyla taşınması, Kadıköy-Söğütlüçeşme otopark inşaatı (URL-9) 24
Şekil 4.7. Mısır'daki Ebu Simbel Tapınağı taşıma işlemi (1971) (URL-6) 25
Şekil 4.8. Hasankeyf Orta Kapı; üç parça halinde taşınan yığma yapının, çelik kafes detayı ve uygulaması (Demirtaş, 2016) (URL-10) 26
Şekil 4.9. Karot makinası ve halatlı (telli) kesme makinası uygulama aşaması (Zhao vd., 2012) 27
Şekil 4.10. Marmaray Üsküdar şantiyesi disk kesme makinası yardımıyla anıt kalıntısının kesilerek parçalara ayırma işlemi (URL-9) 27
Şekil 4.11. Yapı taşıma aşamaları (Su ve Wang, 2006) 28
Şekil 4.12. Artuklu Hamam'ının temeline entegre edilen betonarme temel-kiriş sistemi ve krikoların yerleşim planı (Demirtaş, 2016)..... 28
Şekil 4.13. Krikoların projelendirilmesi (Yılmaz vd., 2017)..... 29
Şekil 4.14. Zeynel Bey Türbesi'nin, dikey olarak kaldırılması için yerleştirilmiş hidrolik kriko sistemi (Yılmaz vd., 2017) 30

Şekil 4.15. Burulma ölçer cihazı (URL-11) 30
Şekil 4.16. Yeşilköy tren istasyonu taşınmasında, çelik kafes sistemin uygulanması, İstanbul (URL-9) 31
Şekil 4.17. Tarihi Oerlikon Binasının çelik raylarda pistonlar yardımıyla itilmesi, 2012 (URL-12) 31
Şekil 4.18. İmam Abdullah Zaviyesinin, SPMT aracıyla bütüncül olarak taşınması - Hasankeyf,2018 (URL-14) 32
Şekil 4.19. SPMT (Self Propolled Modular Transporter), Kendinden tahrikli modüler taşıyıcı ve detayı (URL-13) 33
Şekil 4.20. İmam Abdullah Zaviyesi'nin taşındıktan sonraki durumu, Hasankeyf, 2018 (URL-15) 33
Şekil 4.21. Artuklu Hamamı ve İmam Abdullah Zaviyesi Taşıma Yolu Projesi (Demirtaş, 2016) 34
Şekil 4.22. Mevcut yerinde su altında korunması önerisi (Yılmaz vd., 2017) 35
Şekil 4.23. Mevcut yerinde kabuğun içinde korunma önerisi (Yılmaz vd., 2017) 35
Şekil 4.24. Parçalara ayırarak taşınması önerisi (Yılmaz vd., 2017) 35
Şekil 4.25. Bütüncül olarak taşınma önerisi (Yılmaz vd., 2017) 35
Şekil 4.26. Taşınma işleminin planlama, tasarım ve uygulama aşamaları 37
Şekil 5.1. Raylı sistemlerle taşıma yöntemleri 39
Şekil 5.2. SMPT aracının teknik özelliklerini anlatan kesitler: a) Yükün aktarılması, b) Engeller karşısındaki süspansiyon özelliği, c) Yol eğimini ayarlayabilme, d) Birleşme ve manevra kabiliyeti (URL-18) 39
Şekil 5.3. Hasankeyf'te baraj sularından etkilenecek kültür varlıklarının konumları (Demirtaş, 2016) 40
Şekil 5.4. Hasankeyf yeni yerleşim alanı tasarımları (Demirtaş, 2016) 40
Şekil 5.5. Zeynel Bey Türbesi 2008 ve 2010 yıllarındaki görünümü (Yılmaz vd., 2017) 42
Şekil 5.6. Kaldırma platformu için karot ile delik açma aşamaları ve H çelik profillerin yerleştirilmesi (Yılmaz vd., 2017) 42
Şekil 5.7. Kaldırma platformu imalat ve ardgerme uygulaması (Yılmaz vd., 2017) 43
Şekil 5.8. Zeynel Bey Türbesi'nin taşıma yolu projesi (Yılmaz vd., 2017) 44
Şekil 5.9. Bütüncül taşımanın projelendirilmesi (Yılmaz vd., 2017) 44
Şekil 5.10. Zeynel Bey Türbesi'nin kaldırılma ve SPMT araçlarına yüklenme proje detayı (Yılmaz vd., 2017) 45

Şekil 5.11. Zeynel Bey Türbesi'nin kaldırılması ve SPMT araçlarına yüklenmesi (URL-14) 45
Şekil 5.12. Artuklu Hamamı taşınma, yeni yerine yerleştirilme ve SPMT araçlarının ayrılması aşamaları (URL-14) 46
Şekil 5.13. İmam Abdullah Zaviyesi'nin taşınma, yeni konumuna yerleştirme ve taşıma sonrası durumu (URL-14) 47
Şekil 5.14. Eyyübi Camii taşıyıcı duvarlara destek kirişlerinin monte edilmesi ve yol boyunca karşılaşılan problemlere üretilen çözümler (URL-14) 48
Şekil 5.15. Orta Kapı'nın vinç yardımıyla SPMT araçlarına yüklenmesi (URL-14) 49
Şekil 5.16. Harriet F. Rees Malikânesi özgün konumu ve taşınma aşamaları (URL-15) 49
Şekil 5.17. Emmaus Kilisesi strüktürel bütüncül taşınma çalışmaları (Mammoet, 2007) 50
Şekil 5.18. Emmaus Kilisesi taşınma projesi (Koitzsch, vd. 2008) 51
Şekil 5.19. Meryem Ana Kilisesi'nin raylı sistemle taşınması,1974, Most, Çekya (URL-16) 52
Şekil 5.20. Cape Hatteras Deniz Feneri'nin raylı sistemlerle taşınması (Witcher, 2018) 53
Şekil 5.21. Oerlikon tren istasyonunun raylı sistemlerle taşınması (URL-2) 53
Şekil 5.22. Zhengguanghe binasının taşınma aşamaları ve kullanılan hidrolik sistemler (URL-1) 54
Şekil 5.23. Hankou Yiyong itfaiye dernek binasının raylı sistemlerle taşınması (URL-3) 54
Şekil 5.24. Lagena ilkokulunun yürütme yöntemi ile taşınması (URL-17) 55
Şekil 5.25. Xiamen Otobüs Terminalinin yeni geliştirilmiş hidrolik sistemle taşınması (URL-4) 55
Şekil 5.26. Tipik bir raylı taşıma sistemi (Yue vd. 2017) 57
Şekil 5.27. Mevcut temel kotunun kazı sonrasında yeni ilave edilecek destek sistemini karşılar yükseklikte olma durumunu anlatan çizim detayı (Demirtaş, 2016) 58
Şekil 5.28. Zeynel Bey Türbesi kaldırma platformu uygulama detayı – Hasankeyf, Batman (Yılmaz vd., 2017) 59
Şekil 5.29. Mevcut kolonun destek kirişine bağlantısı için açılan kesme yarıkları (Guo vd., 2013) 59
Şekil 5.30. Destek kirişlerine uygulanan artgerme kabloları (Guo vd., 2013) 61

Şekil 5.31. Dört taraftan sarılı destek bağlantısı (Yue vd., 2017)..... 62
Şekil 5.32. Destek kiriş sistemi (Underpinning) a) Donatı dizilimi; b) Silindir dizilim düzenleri (Daolin, 2018)..... 62
Şekil 5.33. Çatlak analiz deney detayı ve yerinde gösterimi (Yue vd., 2017)..... 63
Şekil 5.34. Çatlak analiz deneyi için hazırlanmış destek kiriş sitemi (Yue vd., 2017) .. 63
Şekil 5.35. Çatlak analiz deneyi ve tasarım modelinin karşılaştırılması (Yue vd. 2017)64
Şekil 5.36. Yığma yapı duvarının destek kiriş sistemi için şematik grafik (W. Lu ve Wang, 2016)..... 64
Şekil 5.37. Örnek bir taşıma projesinin orijinal, taşınma rotası ve yeni temel projesi (Guo vd., 2013)..... 65
Şekil 5.38. Destek kirişlerinin altındaki raylı sistem detayı (tekli ve ikili ray) (Guo vd., 2013)..... 65
Şekil 5.39. Mevcut temel altındaki ankraj kazıkları: a) Kazık presleme sırasında; b) Kazık presleme bittikten sonra (Guo vd., 2013)..... 66
Şekil 5.40. Rayların analitik yük modellemesi; (a): geçiş bölümü ve yeni temel (b): orijinal temel..... 67
Şekil 5.41. Elektrikli zincirli testerenin betonarme kolonu kesme işlemi (solda) (Zhao vd., 2012), Hasankeyf Zeynelbey Türbesi taş yığma temelinin disk ile kesilmesi (sağda) (Kendir, 2020)..... 67
Şekil 5.42. Geleneksel kaldırma yöntemi ile yapıyı kaldırma (Cushman, 2018)..... 68
Şekil 5.43. Çelik destekli kaldırma sistem detayı: (a) Profil (b) A kesiti (c) Bir kaldırmadan sonra (d) B kesiti (e) Profildeki B kesiti (f) Sahada uygulanması (Guo vd., 2012)..... 70
Şekil 5.44. Kaldırma ve itme özelliğine sahip hidrolik sistem (URL-4)..... 71
Şekil 5.45. (a) Hidrolik sistemin pompa istasyonu (b) Bilgisayar kontrol sistem paneli (Zhao vd., 2012)..... 72
Şekil 5.46. a) Yapının taşınma rotasında yapmış olduğu temel deplasmanı b) Taşınma sırasındaki deplasman grafiği (Jia vd. 2011)..... 75
Şekil 5.47. Zeynel Bey Türbesi taşınma güzergahının beton bloklar ile test edilmesi.. 76
Şekil 5.48. Emmaus Kilisesi'nin taşınması sırasında karşılaştığı engellerin vinç ile kaldırılması (Koitzsch, vd. 2008)..... 76
Şekil 5.49. Emmaus Kilisesi'nin taşınma rotasında bulunan menfez ve toprak kayması olabilecek noktalar ve üretilen çözümler (Koitzsch, vd. 2008)..... 77

Şekil 5.50. Bütünleşik hareket sistem profili (itme ve çekmenin bir arada uygulandığı sistem) (Guo vd., 2013) 78
Şekil 5.51. Bütünleşik hareket sisteminin uygulanması (Guo vd., 2013)..... 78
Şekil 5.52. Senkronik itme kontrol sistemi: (A) Bilgisayar; (B) Yer değiştirme göstergesi; (C) Sensör kablosu; (D) Basınç sensörü; (E) Kontrol veriyolu (Control bus); (F) Yağ pompası; (G) Hidrolik kriko; (H) Servo valf (Guo vd., 2012)..... 80
Şekil 5.53. Kolon ve duvarların yeni temelle bağlantısı: (a) kolon bağlantısı (b) duvar bağlantısı (Guo vd., 2013) 81
Şekil 5.54. Zeynel Bey Türbesi'nin yeni temelinde; a) Su yalıtımı uygulaması, b) Sismik izolasyon uygulaması, c) Rijit betonarme temelin yapılması, d) Temel uygulamasının son hali 82
Şekil 5.55. Kurşun çekirdekli lamine kauçuk (LRB) ve sürtünmeli sarkaç (FPS) izolatör yatak kısımları ve çevrim modelleri (TBDY-2018) 82
Şekil 5.56. Hasankeyf Orta Kapı'nın bütüncül olarak taşınmasında 15º, 30º ve 45º'lik açılarda dikey yükler altında oluşan çekme ve basınç gerilmeleri (Yazgan 2020) 84
Şekil 5.57. Mekânsal güçlendirme kafes sistemi (Guo vd., 2012) 85
Şekil 6.1. Bulanık mantık modelinin işleyiş mekanizması..... 86
Şekil 6.2. Bulanık mantık aşamaları (Murtazaoğlu, 2013)..... 87
Şekil 6.3. Girdi ve çıktıların genel görünümü ve operatör modüllerinin belirlenmesi... 88
Şekil 6.4. Bütüncül taşıma; Sabit Girdiler: Yapısal ve Çevresel Faktörler, ... 89
Şekil 6.5. Burulma, Sehim, Çatlak, Eğim, İvme Ölçer çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T1) 92
Şekil 6.6. Deneme Taşıması çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T2)..... 92
Şekil 6.7. Taşıma Aracı Özellikleri çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T3)..... 92
Şekil 6.8. Kesim İşlemi çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O1)..... 94
Şekil 6.9. Kaldırma Yöntemi çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O2) 94
Şekil 6.10. Uygulanan Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklar çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O3)..... 95
Şekil 6.11. Sismik İzolatör çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O4)..... 95
Şekil 6.12. Mevcut Temel Kotu girdisi üyelik fonksiyon grafiği (F1)..... 97
Şekil 6.13. Yapı Ağırlık Merkezinin Rijitlik Merkezine Olan Uzaklığı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (F2)..... 97
Şekil 6.14. Bina Yatay/Dikey Uzunluk Oranı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (F3)..... 97
Şekil 6.15. Birim Alana Gelen Ağırlık girdisi üyelik fonksiyon grafiği (F4) 98

Şekil 6.16. Yapı Geometrisi girdisi üyelik fonksiyon grafiği (F5) 98
Şekil 6.17. Geçirdiği Restorasyon Çalışmaları girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S1) .. 100
Şekil 6.18. TKV'nin Yaşı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S2) 100
Şekil 6.19. Strüktür Cinsi girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S3) 101
Şekil 6.20. Korunma Durumu girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S4) 101
Şekil 6.21. Yapı Periyodu-Yeni Zemin Periyodu Farkı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S5) 101
Şekil 6.22. Mevcut Zemin Taşıma Gücü girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S6) 101
Şekil 6.23. Taşıma ve Kaldırma Sırasında Çatlaklarda İzin Verilen Hareket Sınırı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (S7) 102
Şekil 6.24. Yol Eğimi girdisi üyelik fonksiyon grafiği (C1) 103
Şekil 6.25. Yol Genişliği girdisi üyelik fonksiyon grafiği (C2) 104
Şekil 6.26. Taşıma Mesafesi girdisi üyelik fonksiyon grafiği (C3) 104
Şekil 6.27. Yoldaki Engeller girdisi üyelik fonksiyon grafiği (C4) 104
Şekil 6.28. Tekerlekli Sistemlerle Taşımada Dönme Açısı girdisi üyelik fonksiyon grafiği (C5) 104
Şekil 6.29. Fuzzy Logic Toolbox arayüzünde kuralların tanıtılması 105
Şekil 6.30. Fuzzy Logic Toolbox arayüzünde tanımlanan kuralların şematik gösterimi (durulaştırma) 105
Şekil 6.31. Bulanık mantık modelindeki girdi ve çıktıların kurallarda kullanılma miktarları 107
Şekil 6.32. Bulanık Mantık Modelinin Matlab Simulink arayüzünde görselleştirilmesi 110
Şekil 6.33. Burulma, Sehim, Çatlak, Eğim, İvme Ölçer çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T1) 112
Şekil 6.34. Zeynel Bey Türbesi'nin Burulma, Sehim, Çatlak, Eğim, İvme Ölçer (T1) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi 112
Şekil 6.35. Deneme Taşıması çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T2) 113
Şekil 6.36. Zeynel Bey Türbesi'nin Deneme Taşıması (T2) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi 113
Şekil 6.37. Taşıma Aracı Özellikleri çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (T3) 114
Şekil 6.38. Zeynel Bey Türbesi'nin Taşıma Aracı Özellikleri (T3) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi 115

Şekil 6.39. Zeynel Bey Türbesi'nin Taşıma Aracı Özellikleri (T3) çıktısına Yapı Geometrisi (F5) ve Tekerlekli Sistemlerle Taşımada Dönme Açısı (C5) girdi parametrelerinin etkisini gösteren 3 eksenli grafik 116
Şekil 6.40. Kesim İşlemi çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O1) 117
Şekil 6.41. Zeynel Bey Türbesi'nin Kesim İşlemi (O1) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi 117
Şekil 6.42. Zeynel Bey Türbesi'nin Kesim İşlemi(O1) çıktısına Mevcut Temel kotu (F1) ve Yapı Geometrisi (F5) girdi parametrelerinin etkisini gösteren 3 eksenli grafik 118
Şekil 6.43. Kaldırma Yöntemi çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O2) 119
Şekil 6.44. Zeynel Bey Türbesi'nin Kaldırma Yöntemi (O2) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi 119
Şekil 6.45. Uygulanan Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklar çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O3) 120
Şekil 6.46. Zeynel Bey Türbesi'nin Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklar (O3) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi 120
Şekil 6.47. Zeynel Bey Türbesi'nin Destek Kiriş Sistemi ve Kazıklar (O3) çıktısına Mevcut Zemin Taşıma Gücü (S6) ve Mevcut Temel Kotu (F1) girdi parametrelerinin etkisini gösteren 3 eksenli grafik 121
Şekil 6.48. Sismik İzolatör çıktısı üyelik fonksiyon grafiği (O4) 122
Şekil 6.49. Zeynel Bey Türbesi'nin Sismik İzolatör (O4) çıktısına girdi parametrelerinin etkisi 122

EK-2 Çizelge Listesi

Çizelge 6.1. Raylı sistemlerle taşımada bulanık mantık modeli çıktı tanımları 90
Çizelge 6.2. Raylı sistemlerle taşımada bulanık mantık modeli çıktılarının üyelik fonksiyon ve tanımlamaları 90
Çizelge 6.3. Tekerlekli sistemlerle taşıma bulanık mantık modeli çıktı tanımları 91
Çizelge 6.4. Tekerlekli sistemlerle taşıma bulanık mantık modeli çıktı üyelik fonksiyonları 91
Çizelge 6.5. Ortak özelliklerin bulanık mantık modeli çıktı tanımlamaları 93
Çizelge 6.6. Ortak özelliklerin bulanık mantık modeli çıktı üyelik fonksiyonları 94
Çizelge 6.7. Yapısal forma ait girdi tanımları 96
Çizelge 6.8. Yapısal forma ait girdi üyelik fonksiyonları..... 96
Çizelge 6.9. Yapı strüktürü ve korunma durumu girdi tanımları..... 99
Çizelge 6.10. Yapı strüktürü ve korunma durumu girdi üyelik fonksiyonları..... 99
Çizelge 6.11. Yol özelliklerinin girdi tanımları 102
Çizelge 6.12. Yol özelliklerinin girdi üyelik fonksiyonları 103
Çizelge 6.13. Bulanık mantık modeline işlenen kural tanımları ve matlab versiyonları 106
Çizelge 6.14. Zeynel Bey Türbesinin Bulanık Mantık Model Girdileri 108
Çizelge 7.1. Zeynel Bey Türbesi'ne ait Bulanık Mantık Model Çıktılarının Mevcut ile Karşılaştırılması 124

EK-3 Bulanık Modelde Kullanılan Kuralların Veri Kümesi (Dataset) Değerleri

Rule	Input (0~1) (17 adet) (Antecedent)																	Output (0~1) (7 adet) (Consequent)							Weight (0 ~1)	1 = AND 2 = OR
	F1	F2	F3	F4	F5	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	C1	C2	C3	C4	C5	T1	T2	T3	O1	O2	O3	O4		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	3	3	3	3	4	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	1
3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	2	1	1
4	3	4	4	4	2	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	3	3	3	3	4	1	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	2
7	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	2	1	2
8	3	4	4	4	2	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
13	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	1	1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	1	1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	1	1
17	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	3	0	3	1	1
18	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	0	3	3	0	1	1
19	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1
20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	1	1
21	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	1	1
22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	0	1	1
23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1
24	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	1
25	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	1
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	3	0	1	1
27	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-3	0	3	0	0	0	0	1	1

KAYNAKLAR

Ahunbay, 2019, Milli Park Servisi (National Park Services, NPS).

Ahunbay, Z., 2014, *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon*. İstanbul: Yem Yayınları.

Alioğlu, F., 2013, *Restorasyon ve Koruma İlkeleri/Koruma Kavramları ve Koruma Süreci*. Anadolu Üniversitesi.

Bayri, G., 2018, Zeminlerin Basit üyelik fonksiyonlar ve bulanık kurallar üretim tekniği (SMRGT) ile sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi. Bitlis Eren Üniversitesi.

Bisson, R., 1971, Moving apparatus for buildings and other loads. (US3599808A).

Brand, T. and Werner, J., 1997, Relocating the Kaisersaal. *Structural Engineering International* 7(4): 262-63.

Cook, P., 2007, Fuzzy Inference Systems COS 436: Human-Computer Interface Technology.

Curtis, J. O., 1979, *Moving historic buildings*. US Department of the Interior, Heritage Conservation and Recreation Service, Technical Preservation Services Division.

Cushman, T., 2018, Lifting Slab-On-Grade Homes. *JLC Online*. https://www.jlconline.com/how-to/foundations/lifting-slab-on-grade-homes_o.

Çavuş, M., 2011, Tarihi yapılarda üst örtülerin çelik malzeme ile sağlamlaştırılmasının sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi. Doktora Tezi.

Daolin, S., 2018, Experimental Study on Bearing Capacity of Underpinning Joints under the Influence of the Different Roller Arrangement. *3rd International Conference on Materials Science, Machinery and Energy Engineering, Msmee*, , 223-27.

Demirtaş, N., 2016, *Artuklu Hamamı, taşıma koruma ve onarım proje raporu*. DSİ,İstanbul.

DSİ, 2017, *Orta Kapı'nın Koruma/Taşıma/Yerinde Sergileme Sunumu ile Restorasyonu Özel Teknik Şartnamesi*. Ankara: Kültür ve Turizm Bakanlığı.

Erjun, W. and Aiqun, L., 2008, Technical Code for Building Monolithic Moving Engineering of China. 3, International Association for Bridge and Structural Engineering, 514-15.

Etusivu, 2015, *Ympäristöministeriö*. https://ym.fi/etusivu.

Guo, T. et al., 2012, Integral Lifting and Seismic Isolation Retrofit of Great Hall of Nanjing Museum. *Journal of Performance of Constructed Facilities* 26(5): 558-66.

Guo, T. Li, A. Wei, L. and Gu, Y., 2013, Horizontal Translocation of a High-Rise Building: Case Study. *Journal of Performance of Constructed Facilities* 27(3): 235-43.

ICOMOS Türkiye Mimari Mirası Koruma Bildirgesi, 2013,

Iliadis, L. S., 2005, A Decision Support System Applying an Integrated Fuzzy Model For Long-Term Forest Fire Risk Estimation. *Environmental Modelling & Software* 20(5): 613-21.

Jia, Q. Meng, X. and Zhang, X., 2011, Numerical Analysis of Foundation Settlement for a Fifteen-Story Moving Building. *Advanced Materials Research* 163-167: 3694-3700.

Kara, H. G., 2009, Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi.

Kendir, H., 2020, Mimari restorasyonda taşıma yönteminin irdelenmesi (İstanbul örneği). Yüksek Lisans Tezi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi.

Kılıç Demircan, R. Özdemir, A. Öztürk Kardoğan, P. ve Pinarlik, M., 2016, Tarihi Yapıların Sürdürülebilirliği Kapsamında Taşıma Yöntemlerinin Irdelenmesi.

Koitzsch, Y. Bennewitz, T. and Wenzel, U., 2008, Geotechnical challenges when transporting the Emmaus Church from Heuersdorf to Borna.

Kołakowski, T., 2015, Translocation of Historic Monuments as an Economic Project. *Ad Alta: Journal of Interdisciplinary Research* 5(2): 31-35.

Korumaz, S. A. G., 2015, Kültürel miras yönetiminde karar destek sistemlerinin kullanımına yönelik bir model önerisi. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi.

Lo, A., 2017, Should China Move Its Historic Monuments? *CNN*. https://www.cnn.com/style/article/china-moving-monuments/index.html.

Lu, W. and Wang, Y., 2016, Performance-Based Design Method For Key Techniques in Construction Management of Buildings Translocation Project in China. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research* 5(2): 108-12.

Lu, X. L. Lu, W. S. and Zhang, X., 2010, New Resolution for Historic Building Conservation by Building Moving Technology. *Advanced Materials Research* 133-134: 19-25.

Mamdani, E. H. and Assilian, S., 1975, An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Man-Machine Studies* 7(1): 1-13.

Mammoet, 2007, *Project Emmaus | Mammoet | Civil construction*. https://www.mammoet.com/cases/Emmaus/.

Murtazaoğlu, S., 2013, Karbon esaslı lifli polimerler (CFRP) ile güçlendirilmiş betonarme kolonlarda sargılı beton basınç dayanımının bulanık mantık yaklaşımı ile tahmini. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi.

National Flood Proofing Committee, 1990, Raising and Moving the Slab-on-Grade House with Slab Attached.

Negnevitsky, M., 2011, Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems Third Edition. *Centre for Renewable Power Energy Systems*: 471.

Nilashi, M. et al., 2011, An Application Expert System for Evaluating Effective Factors on Trust in B2C Websites. *Engineering* 3(11): 1063.

Özer, E. ve İnel, M., 2021, Sismik izolatörlerin betonarme konut binasının performansı üzerindeki etkileri: The effect of seismic isolation on performance of a residence building. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences* 27(3): 304-12.

Özyurt, G., 2010, Fuzzy Vulnerability Assessment Model of Coastal Areas to Sea Level Rise.

Peltola, X., 2008, Moving Historic Buildings: A Study of What Makes Good Preservation Practices When Dealing with Historically Significant Buildings and Structures.

Ren-liang, S. Xiao-nan, Z. Man, L. and Hong-yu, Z., 2016, The Complex Monolithic Movement for the Brick-Wooden Building in Deformation Analysis and Reinforcement. *The Open Civil Engineering Journal* 10(1).

Resmi Gazete, 1983, 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu. *Sayı* 18113(21): 7.

Shang, D. F. Wang, T. C. Qiang, W. M. and Miao, L. Q., 2017, Study on the Law of Cement-Soil Mixing Pile Composite Foundation Settlement in Ancient Tower Translocation Project. *Key Engineering Materials* 730: 463-72.

Song, Y. et al., 2018, Translocation of Three Historical Buildings in Renovation of the Porcelain Tower of Nanjing. *Journal of Performance of Constructed Facilities* 32(1): 04017125.

Sömen, A. D. Ateş, S. S. ve Durmuş, F., 2015, Tarihi Çamçavuş Demir Köprüsü'nün Taşınması. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*: 1-3.

Su, M.-H. and Wang, H.-J., 2006, A Study of Techniques for Moving Traditional Buildings and Their Role regarding the Historic Preservation Movement in Taiwan.

Şen, Z., 2004, *Mühendislikte bulanık (fuzzy) mantık ile modelleme prensipleri*. Su Vakfı.

Şen, Z., 2001, Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. *Bilge Kültür Sanat, İstanbul*.

Şener, İ. N., 2004, Tarihi Yığma Anıtların Başka Bir Yere Taşınması Üzerine Bir Yöntem ve Bu Yöntemin Yapısal Analizi: Hasankeyf'de Örnek Bir Uygulama. Middle East Technical University.

TBDY-2018, 2018, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Ankara, Türkiye.

Telem, D. Shapira, A. and Goren, Y. D., 2006, Moving a Reinforced-Concrete Building: Case Study. *Journal of Construction Engineering and Management | Vol 132, No 2*.

URL-1, *Mail Online*. https://www.dailymail.co.uk/news/article-2510674/Who-says-moving-home-stressful-Chinese-authorities-successfully-entire-12-000-ton-storey-building-just-38-metres.html.

URL-2, *BBC News*. https://www.bbc.com/news/av/world-europe-18168278.

URL-3, *Getty Images*. https://www.gettyimages.co.uk/detail/news-photo/workers-make-the-monolithic-hankou-yiyong-fire-association-news-photo/525376818.

URL-4, *naijauto.com*. https://naijauto.com/market-news/chinese-relocate-bus-terminal-5406.

URL-5, https://kvmgm.ktb.gov.tr/TR-44798/turkiye-geneli-korunmasi-gerekli-tasinmaz-kultur-varlig-.html.

URL-6, https://www.erepublik.com/en/article/2504151.

URL-7, *Arkeolojik Haber*. //www.arkeolojikhaber.com/.

URL-8, http://tunceli.ktb.gov.tr.

URL-9, http://somuninsaat.com.tr/.

URL-10, https://bolge16.dsi.gov.tr/.

URL-11, *artyapiproje*. https://www.artyapiproje.com.

URL-12, https://www.maschinenmarkt.ch/.

URL-13, https://www.suprotrailer.com/products_show_340.html.

URL-14, https://www.aa.com.tr/.

URL-15, https://www.thorntontomasetti.com/project/harriet-f-rees-house-relocation.

URL-16, *Atlas Obscura*. https://www.atlasobscura.com.

URL-17, *CNN*. https://www.cnn.com/style/article/shanghai-relocate-building-preservation-intl-hnk-scli/index.html.

URL-18, https://www.mammoet.com/.

Verstichele, V., 2020, Building Structure Relocation.

Witcher, T. R., 2018, Preserved for the Future: Cape Hatteras Lighthouse. *Civil Engineering Magazine Archive* 88(1): 42-45.

Xu, J. Chen, Y. Guo, T. and Di, Z., 2014, Protection of Historic Buildings through Structural Translocation during Construction of Deep Foundation Pit. *2014 7th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, , 964-67.

Yazgan, İ. O., 2020, Tarihi Yapıların Bütüncül veya Parçalı Taşınmasında Strüktürel Performanslarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi.

Yılmaz, M. ve Sevgi, S., 2020, Hasankeyf Er Rızk Camisi Koruma ve Kurtarma (Taşıma) Uygulama Çalışmaları. *Akademik Sanat* 5(10): 19-40.

Yılmaz, M. Sevgi, S. ve Çetin, M., 2017, Hasankeyf Zeynel Bey Türbesinin Koruma ve Kurtarma (Taşıma) Projesi. *The Conservation and Salvage (Relocation) Project Of Zeynel Bey Tomb in Hasankeyf*.

Yılmaz, M. Sevgi, S. Koparan, C. ve Çetin, O., 2021, Hasankeyf Orta Kapı'nın Korunması ve Taşınmasına Yönelik Uygulamalar. *Lycus Dergisi* (3): 93-104.

Yue, Q. Ren, X. and Zhang, X., 2017, Mechanical properties of underpinning joints in structural moving: Experiments and numerical modeling. *The Structural Design of Tall and Special Buildings* 26(14): e1379.

Yurttaş, H., 1996, Hasankeyf Zeynel Bey Türbesi. *Güzel Sanatlar Enstitüsü Dergisi* (3).

Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy sets. *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems*, Advances in Fuzzy Systems, World Scientific, 394-432.

Zhang, H. Y. and Pan, R. S., 2015, Techniques of Building Monolithic Moving That Avoiding Building Rubbish. *Applied Mechanics and Materials* 737: 603-7.

Zhang, R. et al., 2019, Structural Monitoring and Safety Assessment during Translocation of Mahavira Hall of Jade Buddha Temple. *Sustainability* 11(19): 5477.

Zhao, Y. Wang, J. F. and Pang, M., 2012, Integral Lifting Project of the Qifeng Bridge. *Journal of Performance of Constructed Facilities* 26(3): 353-61.

Zimmermann, H. J., 2011, *Fuzzy set theory and its applications*. Springer Science & Business Media.