



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



KONYA
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
KAMPÜS İÇİ ULAŞIMI İÇİN MONORAY
SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ
MUHAMMED İKBAL NORİSTANİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır
TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed İkbal NORİSTANİ tarafından hazırlanan “KONYA NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS İÇİ ULAŞIMI İÇİN MONORAY SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 02/11/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

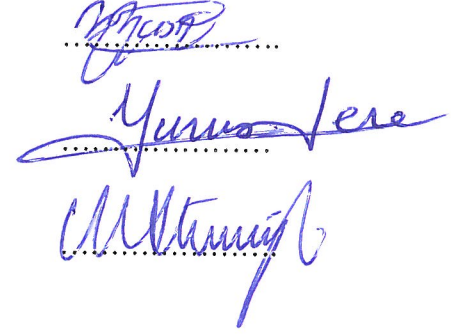
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yunus DERE

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alpaslan KÖROĞLU

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet AVCI
F.B.E. 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.



Muhammed İkbâl NORİSTANİ

Tarih: 02/11/2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS İÇİ ULAŞIMI İÇİN MONORAY SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Muhammed İkbâl NORİSTANİ

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi YUNUS DERE

2018, XVII+165 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Yunus DERE

Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alpaslan KÖROĞLU

Bu çalışmada Necmettin Erbakan Üniversitesi, Köyceğiz kampüsü ile yakında inşasına başlanılması planlanan Konya Metrosu terminali arasında ve kampüs içinde öğrenci, öğretim elemanı, personel ve ziyaretçilerin güvenli bir şekilde taşınabilmesi için monoray toplu taşıma sistemi önerilmiştir. Türkiye’de henüz herhangi bir örnek uygulaması olmayan ancak dünyanın çeşitli ülkelerinde uzun yıllardır kullanılmakta olan monoray veya diğer adıyla havaray sistemi, betonarme veya çelikten imal edilmiş ve yükseltilmiş tek bir kılavuz ray üzerinde hareket eden aracı bulunan toplu ulaşım sistemidir. Kampüs ile metro terminali arasında ring olarak çalışması planlanan ve bu çalışmada Köyceğiz monorayı olarak isimlendirilen sistem, diğer toplu taşıma sistemlerine kıyasla mevcut arazi koşullarına uygun, yeterli yolcu taşıma kapasitesi sahip, çok güvenli, yapım, bakım ve işletim maliyeti düşük bir sistemdir.

Bu çalışmada Köyceğiz monorayı için detaylı bir güzergah araştırması yapılarak, tasarım kriterlerine uygun alternatif güzergahlar geçirilmiş ve bunlardan en uygunu seçilmiştir. Güzergah üzerinde ihtiyaca uygun durak noktaları teşkil edilmiştir. Tayin edilen güzergâh üzerinde uygun yerlere taşıyıcı kolonlar ve bu kolonların üzerine taşıyıcı kılavuz betonarme kirişler yerleştirilmiş, her bir kolonun yüksekliği arazi kotuna göre hesaplanmış ve plan üzerinde gösterilmiştir. Monoray sistemi olarak, yaygın kullanımı, düşük sistem maliyeti, çevreye uyumluluğu gibi nedenlerden dolayı bindirme tipi monoray tercih edilmiştir. Kampüs içi taşınacak yolcu sayısı hesaplanmış ve gerekli araç kapasitesi belirlenmiştir. Bindirme tipi monoray hatlarına göre tasarlanmış monoray araçları karşılaştırmalı bir biçimde incelenmiş ve yüksek eğimlerde yeterli çekiş gücü ve yolcu kapasitesine sahip ve düşük maliyetli bir araç olan Hitachi Small araç tipinin kullanımına karar verilmiştir.

Monoray taşıyıcı sisteminin hızlı ve ekonomik bir şekilde inşaatı için betonarme prefabrik kolonlar, öngerme kirişler ve fore kazıklı temeller ile teşkil edilmesi uygun görülmüştür. Belirlenen güzergâh için tipik bir taşıyıcı çerçeve sistemine ait detaylı statik ve betonarme hesabı gerçekleştirilmiştir. Monoray sistemine etkileyen yükler hesaplandıktan sonra AASHTO standartlarına göre yük kombinasyonları oluşturulmuş ve sistemdeki iç kuvvetler hesaplanmıştır. Daha sonra en elverişsiz iç kuvvet değerlerine göre yapı elemanlarının boyutlandırılması aşamasına geçilmiştir. Prefabrik kolonun boyuna ve enine donatıları hesaplanmış, öngerme kiriş için çelik halat çapı ve sayısı belirlenerek diğer donatı hesapları da yapılmıştır. Ankastre kolonun mesnedi olan temel ve fore kazıkların boyutlandırılması yapıldıktan sonra donatıları hesaplanmıştır.

Tipik taşıyıcı sistem için hesaplanan boyutlar ve malzeme miktarları güzergahın bütününe genelleştirilmiş ve tüm monoray sistemi için imalat metrajları detaylı bir şekilde çıkarılmıştır. Yaklaşık inşaat maliyeti hesabı yapılırken resmi idarelerin ilgili iş kalemlerine ait güncel birim fiyatları kullanılmıştır. Monoray

aracı maliyeti ve sistemin bakım ve işletim maliyetleri de dikkate alınarak toplam sistem maliyeti yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Köyceğiz monorayı maliyeti mevcut diğer raylı sistem maliyetleri ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, önerilen monoray hattının kampüs içi ulaşım sorununun çözülmesinde her yönden uygulanabilir bir ulaşım sistemi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kampüs içi ulaşım, bindirme tipi monoray, prefabrik kolon, öngerme kiriş, fore kazıklı temel, metraj



ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF MONORAIL SYSTEMS FOR IN CAMPUS TRANSPORTATION OF KONYA NECMETTIN ERBAKAN UNIVERSITY

Muhammed İkbāl NORİSTANİ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTIN ERBAKAN UNIVERSITY**

**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVILENGINEERING**

Advisor: Dr. Yunus DERE

2018, XVII+165 Pages

Jury

Dr. Yunus DERE

Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

Dr. Mehmet Alpaslan KÖROĞLU

In this study, a monorail mass transportation system was proposed for the safe transportation of student, faculty, personnel and visitors between the Konya Subway terminal that is planned to be constructed in the near future and Koycegiz Campus of Necmettin Erbakan University. Monorail or the so called air-rail which does not yet have any example application in Turkey but have been used in countries around world for so many years, is a mass transportation system that has a vehicle travelling on a raised reinforced or steel guide rail. The monorail system, which will be called as Koycegiz monorail throughout this study, is planned to run as a ring between the subway terminal and the campus. Planned monorail system is suitable for the existing topography between the metro terminal and campus, is very safe, has enough passenger capacity, and has low construction, maintenance and management costs in comparison with the other mass transportation systems.

A detailed route search was carried out for the Koycegiz monorail, alternative routes complying with the design criteria were determined and the optimum of these routes was selected. Stations on the route were placed according to the needs. On the selected route, structural reinforced concrete columns and guide beams were placed on specified locations, the height of each column was calculated based on the ground elevations and they are shown on the plan. The straddle type monorail system was preferred due to its low system cost and compatibility with the environment. The number of passengers that will be carried within campus was calculated and the required vehicle capacity was determined. Monorail vehicles designed for straddle type systems are investigated comparatively and Hitachi Small vehicle is decided to be used due to its enough horse power for steep slopes, enough passenger capacity and low cost.

In order to construct the monorail system fast and economically, reinforced concrete precast columns, prestressed beams and bored pile foundations are to be used. For the determined route, statical and reinforced concrete calculations of a typical structural frame was carried out. After determining the loads acting on the monorail system, the load combinations are assembled based on AASHTO standard and the internal forces are calculated for each member. Considering the maximum internal forces and moments,

the dimensions of the structural members are determined. The amount of longitudinal and transversal reinforcement of the prefabricated columns are calculated. The number and diameter of the steel strands within the prestressed beam along with the other required reinforcement are obtained from calculations. The dimensions of the bored pile foundation which is the support for the fixed columns are decided and the required reinforcement within the foundation and the piles are specified.

The dimensions for the typical structural system and amount of material were generalized for the whole monorail system and bill of quantities for the construction was formed in detail. During the approximate cost calculations, the updated unit prices for the corresponding work items obtained from official departments are used. The total cost of the monorail system was calculated approximately considering the cost for the monorail vehicle as well as the cost of maintenance and management of the system. The cost of Koycegiz monorail was compared with the cost of the other railway systems. As a result, the proposed monorail system is a good solution for in campus transportation and is quite applicable in all aspects.

Keywords: In campus transportation, straddle type monorail, precast column, prestressed beam, bored pile foundation, bill of quantities



ÖNSÖZ

Tez konusunu belirlememde, konularla ilgili araştırma sürecimde ve çalışma motivasyonumu artırma hususunda ufkumu açan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yunus DERE'ye derin saygı, muhabbet ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olup benim üzerime adeta titreyen ve yorucu çalışma maratonu içerisinde bana her türlü desteği veren fedakâr aileme de şükranlarımı sunmayı bir borç kabul ediyorum. Ayrıca zorlu tez hazırlık sürecinde her türlü bilgi, yardım ve desteği veren Konya Büyükşehir Belediyesi'ndeki mesai arkadaşlarımda teşekkürlerimi sunuyorum.

Muhammed İkbâl NORİSTANİ
KONYA-2018



İÇİNDEKİLER

ÖZET	V
ABSTRACT.....	VII
ÖNSÖZ	IX
İÇİNDEKİLER	X
SİMGELER VE KISALTMALAR	XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIV
TABLOLAR DİZİNİ.....	XVII
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.2. Literatür Araştırması.....	4
2. TOPLU ULAŞIM KAVRAMI VE KENT İÇİ TOPLU ULAŞIM SİSTEMLERİ	7
2.1. Toplu Ulaşım Kavramı	7
2.2. Kent İçi Toplu Ulaşım	7
2.3. Raylı / Klavuzlu Toplu Taşıma Sistemleri	9
2.3.1. Metro.....	10
2.3.2. Tramvay	12
2.3.3. Hafif Raylı Sistemler	13
2.3.4. Monoray.....	15
3. MONORAY TOPLU ULAŞIM SİSTEMLERİ	16
3.1. Tarihçesi ve Gelişimi	16
3.1.1. İlk Monoraylar	16
3.1.2. Modern Monoraylar	20
3.2. Monoray Tipleri	26
3.2.1. Askı Tipi Monoray (Suspended).....	27
3.2.2. Bindirme Tipi Monoray (Straddle Type).....	28
3.3. Monoray Ana Bileşenleri.....	30
3.3.1. Klavuz Kiriş / Ray	30
3.3.2. Taşıyıcı Kolon.....	33
3.3.3. Makaslama İstasyonları	34
3.3.4. Kolon Altı Temel.....	36
3.3.5. Monoray Aracı / Vagonlu Yolcu Taşıtı	37
3.3.6. Duraklar / İstasyonlar.....	38
3.3.7. Elektromanyetik Bileşenler ve Güç Sistemleri.....	39
3.4. Sistem Üreticileri ve Teknolojileri	40
3.4.1. Hitachi.....	40
3.4.2. Bombardier	41

3.4.3. Malezya Monorayı	42
3.4.4. Maglev Monorayı	43
3.5. Dünya Üzerindeki Çeşitli Monoray Uygulamaları	45
3.5.1. Avrupa Kıtasından Örnekler	46
3.5.2. Asya Kıtasından Örnekler	48
3.5.3. Amerika Kıtasından Örnekler	51
3.6. Monoray ve Diğer Toplu Ulaşım Sistemlerinin Karşılaştırılması	52
3.6.1. Yükseltilmiş Yol Seviyesi ve Çevresel Kazanımlar	52
3.6.2. Yolcu Taşıma Kapasitesi	53
3.6.3. Güvenlik	53
3.6.4. İşletme, Yapım ve Bakım Maliyetleri	54
4. UYGUN MONORAY TİPİNİN VE GÜZERGÂHIN BELİRLENMESİ	57
4.1. Monoray Sistemi Tipi ve Aracının Belirlenmesi	57
4.1.1. Sistem Tipinin Seçimi	57
4.1.2. Monoray Aracının Seçilmesi	59
4.2. Köyceğiz Monorayı Güzergâhının Belirlenmesi	63
4.2.1. Güzergâh Belirleme Kriterleri	63
4.2.2. Güzergâh Çalışmaları	64
4.2.3. Güzergâhın Detaylı İncelenmesi	69
4.2.4. Seçilen Güzergâh Genel Görünümü ve Hat Bilgileri	72
5. MONORAY HATTININ YAPISAL ANALİZİ VE TASARIMI	75
5.1. Tipik Köprü Çerçevesinin Boyutlandırması	75
5.2. Monoray Taşıyıcı Sistemi Statik ve Betonarme Hesapları İçin Yönetmelik ve Esaslar	78
5.3. Monoray Taşıyıcı Sistemi Statik Analizi	78
5.3.1. Monoray Taşıyıcı Sistemine Etkiyen Yükler	78
5.3.1.1. Zati Yükler (D)	79
5.3.1.2. Hareketli Yükler (L)	79
5.3.1.3. Rüzgar Yükü (W)	83
5.3.1.4. Deprem Yükü (E)	84
5.3.1.5. Dinamik etkiler (I)	85
5.3.1.6. Boyuna doğrultuda etkiyen yükler (LF)	85
5.3.1.7. Merkezkaç kuvveti (CE)	86
5.3.1.8. Sıcaklık Etkisi (T)	86
5.3.2. Yük Kombinasyonları	86
5.3.3. SAP 2000 Programında Statik Analizinin Yapılması	88
5.4. Monoray Köprüsünün Betonarme Tasarımı	89
5.4.1. Öngermeli Kiriş Hesabı	89
5.4.1.1. Kesit Karakteristiklerinin Belirlenmesi	90
5.4.1.2. Kesit Gerilmelerinin Hesabı	90
5.4.1.3. Öngerme Sonrasında Mesnette Gerilme Kontrolü	91
5.4.1.4. Kiriş ÜstBölgesinde Donatı Hesabı	92
5.4.1.5. Kiriş Gövde Donatısı Hesabı	92
5.4.1.6. Kiriş Etriye Hesabı	92
5.4.1.7. Öngerme Kiriş Donatıları	93
5.4.2. Prefabrik Kolon Hesabı	94
5.4.2.1. Kolon Boyuna Donatı Hesabı	95

5.4.2.2. Kolon Etriye Hesabı.....	96
5.4.2.3. Kolonda Narinlik Etkisi	98
5.4.2.4. Kolon Donatıları	99
5.4.3. Kazıklı Tekil Temel Hesabı	99
5.4.3.1. Betonarme Kazıkların Hesabı	100
5.4.3.2. Kazık Başlığındaki Tekil Temel Hesabı	105
6. KÖYCEĞİZ MONORAYI YAKLAŞIK MALİYETİ	110
6.1. Monoray Köprüsü İnşaatının Metraj ve Maliyet Hesabı	112
6.1.1. Toplam Metrajın Çıkarılması.....	113
6.1.1.1. Beton Metrajı	113
6.1.1.2. Çelik Donatı ve Öngerme Halat Metrajı	114
6.1.1.3. Metraj Artırma Katsayısı	115
6.1.1.4. İmalat Kalemlerine Ait Metrajlar	116
6.1.2. Monoray Köprüsü Yaklaşık Maliyeti	118
6.1.2.1. Öngerme Kirişinin İş Sahasına Nakliye Birim Fiyatının Analizi	118
6.1.2.2. Monoray Metraj İcmali	119
6.1.2.3. Monoray Köprüsü Yaklaşık İnşaat Maliyeti.....	122
6.2. Diğer Kurulum Maliyetleri	123
6.2.1. Araç Maliyeti	123
6.2.2. İstasyonlar, Bakım Depoları ve Diğer Kurulum Kalemlerinin Maliyetleri	125
6.3. Toplam Kurulum Maliyeti	126
6.4. Çeşitli Raylı Toplu Taşıma Hatlarının Maliyetlerinin Karşılaştırılması	127
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER	129
KAYNAKLAR	132
EKLER	139
ÖZGEÇMİŞ	165

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

cm: santimetre
m: metre
km: kilometre
h: saat
s: saniye
t: ton

Kısaltmalar

ÇŞB: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
HRS: Hafif Raylı Sistemler
İTÜ: İstanbul Teknik Üniversitesi
KBB: Konya Büyükşehir Belediyesi
KGM: Karayolları Genel Müdürlüğü
MM: Malaysia Monorail
MSB: Milli Savunma Bakanlığı
NEÜ: Necmettin Erbakan Üniversitesi
ODTÜ: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
TBM: Tunnel Boring Machine
UBAK: Ulaştırma Bakanlığı
YHT: Yüksek Hızlı Tren

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Londra Metrosu'ndan bir görünüm (URL01, 2018).....	9
Şekil 2.2. İstanbul metrosuna ait görseller (URL02, 2018): (a) Haliç köprüsü üzeri (b) Metro istasyonu.....	11
Şekil 2.3. (a) İstanbul tramvayı (URL03, 2018) (b) Konya tramvayı (URL04, 2018).....	12
Şekil 2.4. Dünyadan HRS örnekleri: (a) Hong Kong (URL05, 2018) (b) Los Angeles (URL06, 2018).....	14
Şekil 2.5. Sydney monorayı (URL07, 2018)	15
Şekil 3.1. Henry Palmer monorayı (URL08, 2018).....	16
Şekil 3.2. Wuppertal Schwebebahn monorayı (Sol: URL09, 2018) (Sağ: URL10, 2018)...	17
Şekil 3.3. Alweg monorayı (URL11, 2018).....	18
Şekil 3.4. Skyway monorayı (Sol: URL12, 2018) (Sağ: URL13, 2018)	19
Şekil 3.5. Tokyo Ueno hayvanat bahçesi monorayı(URL14, 2018).....	19
Şekil 3.6. 1959 yılında hizmete giren ilk Disneyland monorayı (URL15, 2018).....	20
Şekil 3.7. Disneyland Alweg monorayı Mark VII (URL16, 2018)	21
Şekil 3.8. Turin Monorayı, (URL17, 2018)	22
Şekil 3.9. Seattle kent merkezi monorayından kesitler (URL18, 2018)	23
Şekil 3.10. Nihon / Lockheed monorayı (URL19, 2018)	23
Şekil 3.11. AMF monorayı: (a) Kesit görünüm (b) Fail-safe emniyet anahtarı (c) Genel görünüm (URL20, 2018)	24
Şekil 3.12. Haneda monorayı (a) Genel görünüm (URL21, 2018) (b) Durak kesiti (URL22, 2018).....	25
Şekil 3.13. Haneda monorayı güzergâh şeması (URL22, 2018)	25
Şekil 3.14. Monoray tipleri: (a) Bindirme (URL23, 2018) (b) Askı/Konsol (URL24, 2018) (c) Bindirme/Konsol (URL25, 2018)	26
Şekil 3.15. Askı tipi monoray sisteminin kesit görünüşü (Ay, 2016).....	28
Şekil 3.16. Bindirme (Straddle) monoray sistemi kesit görünüşü (Ay, 2016).....	29
Şekil 3.17. Mevcut monoray hatlarında kullanılmış kılavuz (kiriş) enkesitleri, (Kennedy, 2004)	30
Şekil 3.18. Bindirme tipi monoray kirişi kesiti (Brackett, B., L., 1982)	31
Şekil 3.19. Asimetrik askı tipi monoray kirişi kesiti(Brackett, B., L., 1982)	32
Şekil 3.20. Simetrik askı tipi monoray kirişi kesiti (Brackett, B., L., 1982)	32
Şekil 3.21.Yaygın monoray kolonu şekilleri: (a) T tipi (b) Ters J (c) I tipi (Brackett, B., L., 1982).....	33
Şekil 3.22. Y kolon sistemine sahip bir bindirmetipi monoray kesiti (Nehashi, 2001).....	35
Şekil 3.23. Monoray hattı makaslama kirişleri(Sol: URL26, 2018)(Sağ: URL27, 2018)	35
Şekil 3.24. Seattle monorayının temel kesiti (Andersen, 1962)	37
Şekil 3.25. Tokyo Haneda monorayıiç mekan ve raydaki görünümü (URL28, 2018).....	38
Şekil 3.26. Yapılan ilk Alweg tabanlı monoray olan Seattle monorayının durak platformu (URL29, 2018)	39
Şekil 3.27. Bombardier Innovia monorayı: (a) Raydaki görünüm (b) Vagon içi görünüm (URL30, 2018).....	41
Şekil 3.28. Malezya monorayı: (a) Monoray aracı (b) Kılavuz ray-yol geçişi (c) Araç içi görünüm (URL31, 2018)	42
Şekil 3.29. Maglev monorayı: (a) Kesit görünüm (b) Hareket mekanizması (Monorails Australia, 2015)	44
Şekil 3.30. Maglev ve Yüksek Hızlı Tren (YHT)'nin 300 km/h hızına ulaşma süreleri, (Monorails Australia, 2015).....	45

Şekil 3.31. Otoban, Yüksek Hızlı Tren (YHT) ve Monorayın zeminde kapladığı alanlar (Monorails Australia, 2015).....	45
Şekil 3.32. Wuppertal monorayı hat bilgileri	46
Şekil 3.33. Moskova monorayı hat Bilgileri.....	47
Şekil 3.34. Dortmund H-Bahn monorayı hat bilgileri	47
Şekil 3.35. Chester Zoo monorayı hat bilgileri.....	48
Şekil 3.36. Chongqing monorayı hat bilgileri.....	48
Şekil 3.37. Shanghai Maglev monorayı hat bilgileri	49
Şekil 3.38. Chiba City monorayı hat bilgileri	49
Şekil 3.39. Osaka monorayı hat bilgileri	50
Şekil 3.40. Daegu monorayı hat bilgileri	50
Şekil 3.41. Mumbai monorayı hat bilgileri.....	51
Şekil 3.42. Las Vegas monrayı hat bilgileri.....	51
Şekil 3.43. Sydney monorayı köprü geçişi (URL32, 2018).....	52
Şekil 3.44. Ulaşım sistemleri saatlik taşıma kapasiteleri (Timan, 2015).....	53
Şekil 3.45. Yavru fil Tuffi'nin atlama anı, (URL33, 2018).....	54
Şekil 4.1. Sistem tipi seçimi kriterleri ve aşamaları	58
Şekil 4.2. Çeşitli firmalar tarafından üretilen bindirme tipi monoray araçları (a) Okinawa monorayı Hitachi Large (URL34, 2018) (b) Hitachi Small (URL35, 2018) (c) Bombardier (URL36, 2018) (d) Malaysia KL (URL37, 2018)	59
Şekil 4.3. Hitachi Small boyutları (Kuwabara ve ark., 2001).....	62
Şekil 4.4. Güzergâh belirleme kriterleri (Çankaya, 2011).....	63
Şekil 4.5. HA1 Güzergâhı (max. %12 eğim).....	65
Şekil 4.6. HA2 Güzergâhı (max. %12 eğim).....	65
Şekil 4.7. HA3 Güzergâhı (max. %12 eğim).....	66
Şekil 4.8. NA1 Güzergâhı (max. %6 eğim).....	67
Şekil 4.9. NA2 Güzergâhı (max. %6 eğim).....	68
Şekil 4.10. NA1 güzergâhı yol geçişi	69
Şekil 4.11. Dortmund Teknik Üniversitesi H-Bahn monoray hattı, (URL38, 2018)	70
Şekil 4.12. NA2 güzergahında D0 ve D1 durakları arası bağlantı	70
Şekil 4.13. NA2 güzergahında D1 ve D3 durakları arasında kalan bölüm.....	71
Şekil 4.14. NA2 güzergahında hareketli makas kirişi detayı.....	72
Şekil 4.15. NA2 güzergahı detaylı görünümü	73
Şekil 5.1. Tipik monoray çerçeve sistemi	75
Şekil 5.2. Monoray yapı elemanlarının ön boyutları	77
Şekil 5.3. Dingillere dağıtıldıktan sonra yayılı yükler.....	80
Şekil 5.4. Reaksiyon kuvvetlerinin dingil yüküne dönüşümü	80
Şekil 5.5. Noktasal dingil yükleri ve kiriş üzerinde gösterilmesi	80
Şekil 5.6. Kiriş ve açıklık arasında kalıp etkiyen dingil yükleri.....	81
Şekil 5.7. Bileşke yük ve tesir noktası	81
Şekil 5.8. Monoray aracı 1. dingil konumuna göre tesir çizgisi diyagramı ve moment değerleri	82
Şekil 5.9. Monoray aracı 2. dingil konumuna göre tesir çizgisi diyagramı ve moment değerleri	82
Şekil 5.10. Statik hesabı yapılacak dingil konumu	83
Şekil 5.11. Genel bir köprü üzerine rüzgar yükü etkisi (LFRD Bridge Design, 2007)	83
Şekil 5.12. Rüzgâr yükünün yapı üzerine etkime şekli.....	84
Şekil 5.13. Analizi yapılacak sistemin en elverişsiz yük altında genel görünümü.....	89
Şekil 5.14. Betonarme kirişte öngerilmenin gerilme dağılımı üzerindeki etkisi (Miller, 2018).....	90

Şekil 5.15. Monoray kirişi kesiti ve öngerme çelik halatları yerleşim düzeni.....	90
Şekil 5.16. En elverişsiz yükleme için kesme kuvveti (V:ton)diyagramı.....	92
Şekil 5.17. Öngerilmeli kiriş kesitinde hesap sonucu çelik halat ve donatı düzeni.....	94
Şekil 5.18. Monoray sistemi kolon donatı detayı	99
Şekil 5.19. Temel üzerine etkileyen normal kuvvet ve moment değerleri	101
Şekil 5.20. Temel altı kazıkları yerleşim düzeni	102
Şekil 5.21. Hesaplanan temel donatısı (Plan görünüş) (Ölçeksiz).....	107
Şekil 5.22. Hesaplanan temel donatısı (A-A Kesiti) (Ölçeksiz).....	108
Şekil 5.23. Hesaplanan temel donatısı (B-B Kesiti) (Ölçeksiz)	109
Şekil 5.24. Hesaplanan temel altı kazık donatısı	109
Şekil 6.1. Maliyet kalemlerinin piramit şeklinde gösterimi (Memiş, 2016).....	112



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Toplu ulaşım sistemleri (Çalış, 2016)	8
Tablo 2.2. Raylı sistem bulunan illerdeki belediyelerden elde edilmiş güncel hat bilgileri. 10	
Tablo 2.3. Mega kentlerde bulunan metro hatlarına ait bilgiler, (Baştürk, 2014)	12
Tablo 2.4. Başlıca HRS güzergâh bilgileri, (Cirit, 2014; Çankaya, 2011)	14
Tablo 3.1. Askı (Suspended) tipi monorayların özellikleri, (Tümen, 2017; Çalış, 2016)	27
Tablo 3.2. Bindirme tipi monoraylar için genel sınıflandırma, (Tümen, 2017; Çankaya, 2011)	29
Tablo 3.3. Üç farklı monoray aracının özelliklerinin karşılaştırılması (Kennedy, 2004).....	43
Tablo 3.4. Monoray projeleri, üretici firmalar ve maliyetler (Tarighi, 2011), (UBAK, 2014)	55
Tablo 3.5. Metro ve monoray kilometre başı maliyetleri, (Cankaya, 2011; Kennedy, 2004)	56
Tablo 4.1. Monoray araçlarının karşılaştırılması, (Çalış, 2016; Kennedy, 2004)	60
Tablo 4.2. KBB otobüs seferleri ve hat bilgileri, (atus.konya.bel.tr, 2018; Cirit, 2014)	60
Tablo 4.3. Hitachi (Small) ve Bombardier aracının karşılaştırılması, (Hitachi, 2018; Bombardier, 2018)	62
Tablo 4.4. Güzergâh dizaynına ait teknik değerler, (RBML, 2012; Çalış, 2016).....	64
Tablo 5.1. Tasarım yüklerinin sınıflandırılması, (Çalış, 2016)	79
Tablo 5.2. Zemin etki katsayısı (Aktaş, 2010).....	85
Tablo 5.3. α ve β katsayıları ile yük kombinasyonlarının belirlenmesi (Aktaş, 2010).....	87
Tablo 5.4. Çeşitli yapı türleri için β_D ve β_E katsayıları(Aktaş, 2010)	87
Tablo 5.5. Servis yüklerine göre elde edilen kombinasyonlar.....	88
Tablo 5.6. Yük katsayıları kullanıldığında taşıma gücü hesabı için yük kombinasyonları.....	88
Tablo 5.7. Analiz sonucu en gayri müsait iç kuvvetleri veren yük kombinasyonları.....	88
Tablo 5.8. Kolon ve temel hesabı için kolonda meydana gelen maksimum uç tesirler.....	95
Tablo 6.1. Monoray sistemi kurulum maliyet giderleri	110
Tablo 6.2. Monoray yatırımı için öngörülen maliyet kalemleri (Tarighi, 2011)	110
Tablo 6.3. Sistemdeki yapı elemanlarının toplam sayıları (Bkz. Ek-2).....	113
Tablo 6.4. Kiriş, kolon, radye temel ve beton kazıkların metrajı	114
Tablo 6.5. Bir adet 6m yüksekliğinde kolon için donatı metrajı	114
Tablo 6.6. 30m'lik bir adet kirişin demir donatı ve çelik halat metrajı	114
Tablo 6.7. Bir adet 3,6 x 3,6m boyutundatekil temel için donatı metrajı	115
Tablo 6.8. Temele bağlanacak 4 adet 80cm uzunluktaki kazık için toplam donatı metrajı 115	
Tablo 6.9. Betonarme elemanlara uygulanan metraj artırma faktörleri.....	116
Tablo 6.10. Kiriş imalatında kullanılacak kalemler (Birim Fiyat Cetvellerinden)	116
Tablo 6.11. Kolon imalatında kullanılacak kalemler (Birim Fiyat Cetvellerinden).....	117
Tablo 6.12. Temel imalatında kullanılacak kalemler (Birim Fiyat Cetvellerinden).....	117
Tablo 6.13. Fore kazık imalatında kullanılacak kalemler (Birim Fiyat Cetvellerinden)....	118
Tablo 6.14. Öngerme kirişinin nakliye analizi (Birim Fiyat Cetvellerinden).....	119
Tablo 6.15. Yapının genel metraj icmalı (Pozlar 1-6)	120
Tablo 6.16. Yapının genel metraj icmalı (Pozlar 7-13)	121
Tablo 6.17. Köyceğiz monorayı köprüsü yaklaşık inşaat maliyeti (1 USD = 6 TL olarak alınmıştır, Ağustos-2018)	122

Tablo 6.18. Talebin maksimum olduğu saatte otobüslerle taşınması gereken maksimum yolcu sayısı, (NEÜ Köyceğiz Kampüsü, 2018)	124
Tablo 6.19. Monoray aracının saatte taşıyabileceği maksimum yolcu sayısı, (Hitachi, 2001)	124
Tablo 6.20. Sentosa monorayı baz alınarak hesaplanan monoray aracının maliyeti	125
Tablo 6.21. Çeşitli iş kalemlerinin yaklaşık maliyetleri (Kennedy, 2004), (Tarighi, 2011)	126
Tablo 6.22. Köyceğiz monoray hattı toplam kurulum maliyeti	126
Tablo 6.23. Kılavuzlu toplu taşıma sistemleri maliyetlerinin karşılaştırılması (Monorails.org, 2018), (Tarighi, 2011), (Kennedy, 2004), (Cirit, 2014)	127



1. GİRİŞ

Son yıllarda ekonomik, sosyal ve kültürel açıdan yakalamış olduğu ilerleme adımlarıyla, İç Anadolu Bölgesinin önemli şehirlerinden birisi olan Konya, kent nüfusunda görülen kayda değer artışla birlikte, toplu taşımaya talep ve ilginin belirgin bir şekilde yükseldiği illerden birisi haline gelmiştir. Yakın zaman dilimi içerisinde kurulan KTO Karatay Üniversitesi (kuruluş tarihi, 2010) ve Necmettin Erbakan Üniversitesi (N.E.Ü.) (kuruluş tarihi, 2010) ile beraber kent içerisinde ikamet eden üniversite öğrenci sayısında önemli bir artış yaşanmıştır. Meram ilçe sınırları içerisinde yerleşik olan, N.E.Ü. Köyceğiz Kampüsü'nün devam eden inşaatının bitmesiyle, bölgede toplu taşımaya duyulan ihtiyaç dramatik bir şekilde artış gösterecektir.

Konya şehrindeki genel nüfus artışı ve şehir merkezinden N.E.Ü.'nin merkez Meram ilçesindeki kampüslerine olan toplu taşıma ihtiyacının karşılanması amacıyla, Ulaştırma Bakanlığı tarafından Konya metrosu 1. etabı çalışması yürütülmektedir. Metro projesinde hattın ilk durağının Köyceğiz kampüsü'nün sınırında bulunan mevcut geçici fakülte binaları yakınına konumlandırılması planlanmaktadır. Geçici fakülte binaları, devam eden kampüs inşaatı kotundan oldukça düşük kotta ve uzak bir mesafede bulunmaktadır. Kampüs inşaatının tamamlanmasının ardından, sadece geçici fakülte binalarındaki öğrenciler değil, N.E.Ü'ye ait olan ve Konya'nın muhtelif bölgelerinde hali hazırda hizmet veren eğitim tesislerinde öğrenim gören öğrencilerin büyük bir bölümü Köyceğiz Kampüsüne taşınacaktır. Metro durağı ile kampüs düzlemi arasındaki kuş uçuşu yatay uzaklık yaklaşık 1 km'ye, düşey kot farkı ise 100 m'ye kadar ulaşmaktadır. Belirtilen uzaklıkların öğrencilerin metro durağından kampüse ulaşımını zorlaştıracağı açıktır. Buna çözüm olarak, kampüs ile metro durağı arasında ring biçiminde çalışacak pratik bir ulaşım bağlantı hattının yapılması gerekli hale gelmiştir. Bu ulaşım bağlantı hattının monoray (diğer adıyla havaray) toplu taşıma sistemi şeklinde düzenlenmesi fikri ilk olarak bu tez kapsamında ortaya atılmış ve önerilen sistemin uygunluğu ve uygulanabilirliği çeşitli açılardan bu tez çalışmasında incelenecektir.

Bir monoray sisteminin planlanması aşamasında dikkate alınması gereken kriterler, aşağıdaki gibi maddeler halinde ifadeedilebilir (Tarighi, 2011):

- Sistemin uzunluğu (özellikle hattın inşası süresince ortaya çıkacak yapısal malzeme miktarının artışı ya da azalışı ve inşaat sonrası kullanımda ortaya çıkacak işletme maliyetlerinin değışimi)
- Topoğrafya (uyulması gereken maksimum eğim kriteri için gerekli ilave sanat yapılarının ortaya çıkması)
- Konum (İnşaat ekipmanları ve inşaat sırasında oluşabilecek trafik problemlerinin giderilmesi)
- Kamu hizmetleri – tesisleri (yeraltı ve yerüstü tesislerin konumları ve yaşanabilecek çakışmalarda ortaya çıkabilecek ek maliyetler)
- Arsa (satın alma ya da kamulaştırma)
- Yolcu kapasitesinin belirlenmesi (araç sayısı ve boyutu)
- İdeal zaman aralıklarına ulaşmak ve güvenli seyahat için gerekli olan hız limitlerinin belirlenmesi
- Durak sayısı (Talep edilen kapasite, ek inşaat maliyetleri)
- İnşaat sırasında gerek duyulan özel yapılar (köprü, tünel ve ek yaya geçidi gibi yapılar)
- Monoray kolonlarının üzerine oturacağı zemin durumu ve gerekirse zemin iyileştirme yapıma durumu
- Çevresel etkileşimin sınırlandırılması (inşaat süresince ya da inşaat sonrasında)

Monoray sistemler, diğer raylı sistemlerin aksine, eğimli arazilerde ve dar yollarda dahi kolaylıkla uygulanabilmelerinden dolayı, özellikle kent içi ulaşımda, diğer raylı sistemlere göre ön plana çıkmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

N.E.Ü. Köyceğiz Kampüsü ile yakında inşasına başlanılması planlanan Konya Metrosu 1. etabının ilk durağı arasında öğrenci, öğretim elemanı ve diğer kampüs çalışanları yanında ziyaretçilerin de taşınabilmesi için bir bağlantı hattı yapılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyacı karşılamak için, çeşitli raylı, halatlı veya lastikli toplu taşıma sistemlerinin inşaatı düşünülebilir.

Ülkemizde řu ana kadar yapılan benzer çalışmaların aksine, bu çalışmada monoray güzergâhının belirlenmesi ve monoray sistemin tasarımı ve analizi hakkında, sadece genel bilgiler vermek ya da tek bir açıdan detaylı incelemek yerine, monoray sisteminin

yerinde uygulanmasına yönelik gerekli tüm hesap ve analizlerinin detaylı bir şekilde yapılması ve böylece sistemin uygunluğu ve uygulanabilirliği konusunda daha gerçekçi veriler elde edilmesi hedeflenmiştir. N.E.Ü. Köyceğiz kampüsü içi ulaşım ihtiyacını karşılamak için önerilen ve yine bu çalışmada Köyceğiz monorayı olarak isimlendirilen monoray toplu taşıma sistemi birçok açıdan detaylı bir şekilde incelenecektir.

Çalışmanın 2.Bölümü'nde, toplu taşıma kavramı ve kent içi ulaşım yöntemleri, yurtiçi ve yurtdışından çeşitli toplu taşıma uygulamaları ile ilgili bilgiler verilerek ele alınmıştır.

Monoray toplu taşıma sisteminin tanıtıldığı 3. Bölüm'de, sırasıyla monoray sisteminin geçmişi, mevcut uygulama tipleri, sistem bileşenleri ve monoray üreticileriyle ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Böylece, hem diğer toplu taşıma sistemlerine nazaran daha az bilinen monoray tanıtılmış, hem de güzergâh belirlenmesi, statik ve betonarme hesapları ve yaklaşık sistem maliyet analizi için gerekli temel veriler ortaya konulmuştur. Yapılması planlanan monoray hattına referans olması açısından dünyanın çeşitli şehirlerinde yer alan monoray uygulamaları ve bunlara ait hat bilgileri verilmiştir. Monoray sistemi, genel hatlarıyla diğer toplu taşıma sistemleriyle karşılaştırılmış ve monorayın tercih edilme nedenlerine değinilmiştir.

Monoray ve bileşenleriyle ilgili detaylı genel bilgilerin verilmesinden sonra, 4. Bölüm'de kampüs içi güzergâh araştırmasına geçilmiştir. Uygun güzergâhın belirlenebilmesi için uyulması gereken kriterler hakkındaki bilgiler, daha önce yapılmış bazı akademik yayınlardan, Hitachi ve Bombardier gibi sistem üreticilerinin sağladığı kaynaklardan ve özellikle de Japonya raylı sistemleri için hazırlanmış olan teknik standartlardan (Technical Regulatory Standards on Japanese Railways, 2012) faydalanılarak elde edilmiştir. Öncelikle, güzergâh belirleme kriterleri, kampüs sahasının topoğrafik özellikleri ve mevcut yolcu kapasitesi verileri göz önüne alınarak, uygun monoray sistemi tipi ve araç boyutları belirlenmiştir. Mevcut kriterlerin sahaya uygulanabilmesi için, N.E.Ü. Yapı İşleri Daire Başkanlığı'ndan, devam eden kampüs inşaatına ait hal hazır planı temin edilmiştir. Güzergâh araştırması ve alternatif güzergâhlar bu hal hazır planı ve sahada devam eden inşaatlar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Güzergâh çalışmasında dikkate alınması gereken maksimum eğim ve yatay kurb çapı gibi önemli iki kritere uyularak çeşitli alternatif güzergâhlar ortaya konulmuş ve bunların içinden en uygun olan güzergâha karar verilmiştir. Belirlenen

güzergâh hattının kampüs planında ne şekilde konumlanacağına, yapım zorluklarına ve mevcut plan aksları ile olan ilişkilerine değinilmiştir.

Monoray sistem tipinin belirlenmesi ve nihai güzergâh hattına karar verilmesinden sonra, 5. Bölüm'de monoray aracının üzerinde hareket edeceği yapısal bileşenlerin statik ve betonarme analizlerine geçilmiştir. Monoray betonarme köprüsünün tasarımı sırasında, ülkemizde konuyla ilgili bir teknik şartnameye rastlanılmadığı için köprü tasarımına yönelik AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) standardı, Eurocode standardı ve diğer birtakım yayınlarından faydalanılmıştır. Özellikle de yapıya etkiyecek yükler ve yük kombinasyonlarının hesabında bu yönetmeliklerde geçen kriterler esas alınmıştır. Köprüye etkiyen yükler belirlendikten sonra, güzergâh üzerinden seçilen tipik bir çerçeve bölgesine ait statik analiz SAP 2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Belirlenen en elverişsiz yükleme kombinasyonuna göre yapının betonarme tasarımına geçilmiştir. Tasarım sırasında, yurtiçindeki köprü elemanları üreticilerinin de uygulamaları göz önüne alınmış ve betonarme binalarla ilgili kullanılan yönetmeliklerden de faydalanılmıştır.

Köyceğiz monorayı yaklaşık maliyetinin hesaplandığı 6. Bölüm'de, tipik bir köprü çerçevesine ait betonarme tasarımı sonucu ortaya çıkan öngermeli kiriş, kolon ve temel boyutları ve donatılara ait sonuçlar kullanılarak metrajlar ve yaklaşık maliyet analizi yapılmıştır. Daha sonra, inşaat ve kurulum maliyetleri detaylandırılmış ve diğer raylı sistemler ile seçilen monoray sistemi karşılaştırılmıştır.

Sonuç bölümünde ise genel bir değerlendirilme yapılarak, yapılan tasarım ve analizlerin de gözönünde bulundurulması ile, önerilen Köyceğiz monorayının kampüs içi ulaşım için ne derece uygun olduğu ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Çalışmaya ışık tutacak bilgi ve verilere ulaşmak için üniversite kütüphanelerinde, YÖK ulusal tez merkezinde ve internet ortamında kaynak araştırması yapılmıştır. Ülkemizde monoraylara dair az sayıda akademik çalışma yapılmıştır. Bu nedenle, Almanya, ABD, Malezya ve Japonya gibi hali hazırda monoray ulaşım sistemlerini kullanan ülkelerde bulunan çeşitli kurum ve kuruluşlarla irtibata geçilmiş ve bazı üretici firmalara ait broşür ve kitapçıklar da temin edilerek incelenmiştir. Almanya'da bulunan Dortmund Teknik Üniversitesi Monoray hattı yerine gidip incelenerek, hat hakkında çeşitli bilgiler

ve veriler elde edilmiştir. Bu bölümde gerek yurtdışında gerekse ülkemizde yayınlanmış çalışmalara değinilecektir.

Dünya üzerinde artış gösteren nüfus, kentleşme hızı ve bireysel araç sayısı büyükşehirlerdeki şehir içi ulaşımı önemli derecede zorlaştırmakta ve aksaklara sebep olmaktadır. Artan bireysel araç sayısı ve kent içi yoğun yapılaşma, beraberinde alternatif toplu ulaşım yöntemlerinin değerlendirilmesini gündeme getirmiştir.

Baştürk (2014), çalışmasında toplu ulaşım sistemlerini her ferde açık, belirli bir ücret karşılığı, belli güzergâhta, sınırlı bir zaman dilimi içerisinde, belirli durakları takip eden, diğer araçlarla birlikte ya da bağımsız bir güzergâhta işletilen sistemler olarak tanımlamıştır. Kent içi ulaşım sistemi tercih edilirken belki de en kritik hususların başında, mevcut talebi karşılayan bir sistem seçiminin yanında, gelecekteki talebi de karşılayabilecek sistemlerin tercih edilmesi gerekmektedir (Çalış, 2016).

Sürdürülebilir kent içi ulaşım politikalarının kavramsal çerçevesini ele alan Cirit (2014) ise, toplu ulaşım sistemlerinin, yaşanabilir ve sürdürülebilir kent içi ulaşım politikalarının vazgeçilmez unsuru olduğunu vurgulamıştır. Kentlerin durumunu ve ulaşım verilerini değerlendiren Cirit (2014), yolcu talebinin değişkenliği ve güzergâh uzunluklarına göre toplu taşıma sistem seçimi analizi yapmıştır.

Çankaya (2011), bir alternatif ulaşım aracı olarak monoray sistemini, Kocaeli kentinin toplu ulaşımı açısından incelemiş, uygulanabilir bir güzergâh araştırması yapmış, belirli güzergâhlar için kapasite hesapları gerçekleştirmiş, kuruluş ve işletme maliyetleri açısından monorayların durumunu ele almış ve Kocaeli kentinde monoray toplu ulaşım sisteminin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Monorayın, maliyet açısından metrodan ekonomik olması, güvenli ve hızlı yolculuk sunması, büyükşehirlerin en büyük sorunlarından olan trafik problemine, mevcut yol akslarını kullanmadığı için ek yük getirmediği gibi; trafik yükünü hafifletmesi, taşıma kapasitesinin neredeyse metroya yakın olması, konforlu olması, turizmi geliştirmesi ve kent estetiğini güzelleştirmesi gibi nedenlerden dolayı tercih edilen bir ulaşım sistemi olduğunu belirtmiştir.

Adıyaman için bir monoray çalışması ortaya koyan Tümen (2017), monoray sistemleri için literatür araştırması yapmış ve monorayların genel özelliklerinden bahsettikten sonra Türkiye’de yapılması planlanan monoray hatlarıyla ilgili bilgiler vermiştir. Son olarak, Adıyaman ilinde monoray için uygun güzergâh taraması yapmıştır.

Çalışmasında, güzergâh seçilirken talep görülen bölgenin seçimine ilave olarak, teknik anlamda en uygun ve kısa olan yolun birleştirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Şehrin beklenen büyümesi ve nüfus artışını karşılayacak şekilde bir güzergâh seçiminin önemine değinmiştir. Dik yamaçlar, kesişen kavşaklar ve her türlü trafiğe (araç-yaya) engel olabilecek bölgelerden kaçınılması gerektiğinden bahsetmiştir.

Monoray hakkında ülkemizde yayınlanmış en eski çalışmalardan birisini gerçekleştirmiş olan Gökbulut (2003), yeni bir ulaşım çeşidi olarak monorayı ODTÜ kampüs ulaşımı için incelemiştir. Ulaşım tiplerinin gelişiminin, şehirlerin ve uygarlıkların dönüşümü üzerindeki etkisi üzerinden yola çıkarak; mekan, hız ve zaman gibi üç mühim kriteri baz alan, ideal bir ulaşım tipi araştırmasına gitmiştir. Çalışmasının asıl hedefi, monoray toplu taşıma sisteminin hem yükseltilmiş olmasıyla kampüs içi ulaşımını rahatlatacağını, hem de monoray araçlarının uygun hızlarda ve kısa süreli seyahat imkanı sunduğunu ifade etmektedir.

Monoray sistemlerini ve Türkiye'deki yatırım süreçlerini inceleyen Memiş (2016), ülkemizde yavaş yavaş ilgi çekmeye başlayan monoray sistemlerini, uzun süredir tercih edilmekte olan metro, hafif metro, hafif raylı sistem ve tramvay gibi kent içi raylı sistemlerle kıyaslayarak monorayın avantajlarını ve dezavantajlarını ortaya koymuştur. Özellikle İstanbul'da yapılması planlanan monoray sistemine ilişkin süreçleri incelemiş ve yerel yönetimlerin bu sisteme ilişkin yaklaşımlarını ortaya koymaya çalışmıştır.

Andersen (1962), Seattle Monoray hattının temel özelliklerini ve yapım aşamalarını genel hatlarıyla incelemiştir. Çalışmasında, istisnai durumlar hariç keson temel (ayak temel) yapısının tercih edildiğine değinmiş ve açılan geniş temel çukurunun içerisine sahada temel kalıpları hazırlandıktan ve donatılar yerleştirildikten sonra yerinde dökme beton ile imalatın tamamlandığından bahsetmiştir.

Brackett (1982), çalışmasında dönemin en modern monoray sistemlerinin karakteristik özelliklerini, kapasite durumunu ve toplu taşıma için fonksiyonel özelliklerini ele almıştır. Monoray sistemlerini diğer geleneksel raylı sistemlerle karşılaştırmış ve bunun yanında, monorayın uygunluğu ve uygulanabilirliğini Texas bölgesindeki yerleşim yerleri için araştırmıştır.

2. TOPLU ULAŞIM KAVRAMI VE KENT İÇİ TOPLU ULAŞIM SİSTEMLERİ

2.1. Toplu Ulaşım Kavramı

İnsanlık tarihinin en önemli dönüm noktalarından birisi, hiç şüphesiz dünya üzerinde dağınık bir halde yaşayan küçük toplulukların özellikle ulaşım, tarım ve su kaynakları açısından elverişli bölgeleri tespit ederek yerleşik hayata geçmeleridir. Yerleşik hayata geçen toplumların ise en büyük temel uğraşlarından birisi ulaşım olmuştur.

Dünya üzerinde binlerce yıldır yerleşik hayata geçmiş pek çok ulus olmasına rağmen, geride bıraktığımız hiçbir dönemde, bu son yüzyıldaki kadar sosyal, siyasi, kültürel ve iktisadi açılardan dramatik bir değişim meydana gelmemiştir. Bilimsel gelişme, buluşlar ve sanayi devrimini takiben, ardarda yaşanan hızlı gelişmeler, dünyayı adeta küçük bir köye çevirmiştir. Toplu ulaşımın vasıtaları, dünyanın her bir noktasına ulaşımı mümkün kılar hale gelmiştir. Baştürk (2014), toplu ulaşım sistemlerinin; her ferde açık, belirli bir ücret karşılığı, belli güzergâhta, sınırlı bir zaman dilimi içerisinde, belirli durakları takip eden, diğer araçlarla birlikte ya da bağımsız bir güzergâhta işletilen gelişmiş ve iç içe geçmiş ulaşım sistemleri olduğunu belirtmiştir.

2.2. Kent İçi Toplu Ulaşım

Günümüzde, hızla gelişen sanayileşme süreci, iktisadi kaygılar ve teknolojik gelişmelerle birlikte, ülke nüfuslarının şehir merkezlerinde daha çok toplandığı gözlemlenmektedir. Sanayileşme sürecini tamamlamış ve tamamlamakta olan ülkelerin, özellikle büyük şehirlerinin kontrolsüz bir biçimde göçe maruz kalmasının yanında, kırsal kesimde yaşayan insanların yaşam koşulları açısından daha elverişli gördükleri kentlere adeta akın etmeleri, nüfusun belirli kent merkezlerinde hızla yükselmesine neden olmuştur. Bununla birlikte, dünyanın birçok yerinde Tokyo, New York, Delhi, Londra, Paris ve İstanbul gibi milyonlarca insanın birlikte yaşadığı mega kentler meydana gelmiştir. Bu toplu yaşama olgusunun tesiriyle pek çok çözülmesi gereken problem ortaya çıkmıştır. Bu problemlerin başında şehir sakinlerinin ulaşım probleminin giderilmesi olduğu bilinen bir gerçektir. Belirgin biçimde artış gösteren insan nüfusu ve artan araç sayısı, şehir trafiğini kesintiye uğratan başlıca iki etkidir. Hava-gürültü kirliliği, trafik sıkışıklığı, güvenlik ve yaşam konforu gibi sorunların baş göstermesiyle birlikte insanların daha hızlı, güvenli, ucuz ve konforlu ulaşımalarının sağlanabileceği toplu ulaşım sistemleri gündeme gelmiştir.

Özellikle büyükşehir diye tabir edilen kent merkezlerinin kompleks bir biçimde konut, sanayi, alışveriş, eğitim ve eğlence bölgelerinden meydana gelmesi ve gelir düzeylerindeki farklılıkların da etkisiyle toplu ulaşım talebinin her geçen gün daha da arttığı dikkat çekicidir (Yorulmaz, 2016). Buna mukabil, toplu ulaşımın avantajlarından dolayı Paris gibi bazı kentlerde özel otomobile sahip olma oranının aile içerisinde yüzde 50 gibi bir değer üzerinde olmasına rağmen, şehiriçi ulaşımının neredeyse yüzde 70'i, şehir metrosu başta olmak üzere, toplu ulaşım ile sağlanmaktadır (Turan, 1998).

Toplu ulaşımı üç ana moda ayıran Çalış (2016) ise bu modları Tablo 2.1'deki gibi sınıflandırmıştır.

Tablo 2.1.Toplu ulaşım sistemleri (Çalış, 2016)

ULAŞIM TİPİ				
	CADDE ULAŞIMI	YARI HIZLI ULAŞIM	HIZLI ULAŞIM	ÖZEL AMAÇLI TOPLU ULAŞIM
ULAŞIM ARAÇLARI	Ring & Düzenli Otobüs	Hızlı Otobüs Taşımacılığı	Otomatik klavuzlu hızlı ulaşım	Teleferik
	Ekspres Otobüs & Tramvay	AGT ring servisi	Hafif raylı hızlı ulaşım	Dişli demiryolu
	Trolleybüs	Dolmuş	Lastik tekerlekli hızlı ulaşım	Füniküler
	Tramvay		Monoray Raylı hızlı ulaşım	Hava tramvayı
	Cadde tramvayı		Metro Raylı hızlı ulaşım	Arabalı vapur
	Otobüs taşımacılığı		Bölgesel demiryolu	Deniz otobüsü

Dünya üzerinde kentleşmenin en hızlı olduğu ülkelerden birisi de Türkiye'dir. Çarpık yapılaşmayla beraber, kentlerin maruz kaldığı sayısız problemler, toplu ulaşım sistemlerinin kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Dünya üzerinde toplu ulaşımını belirli seviyede oturtmuş olan Tokyo, New York, Paris ve Londra gibi mega kentlerde, daha yaşanabilir ve sürdürülebilir kent içi ulaşım sistemlerinin hali hazırda kullanıldığı bilinen bir gerçektir. Böylece, kent içinde araç trafiğinin azaldığı, hava-ses kirliliğinin düştüğü, ulaşım sürelerinin kısaldığı ve seyahat konforunun arttığı gözlenmektedir.

Günümüzde kent içi toplu ulaşım sistemleri lastik tekerlekli araçlar, deniz taşıtları (deniz otobüsleri, feribotlar vs..) ve raylı (kılavuzlanmış) türler şeklinde ifade edilebilir. Bunlar arasında en sık kullanılanlar lastik tekerlekli araçlar ve raylı ulaşım sistemleridir. Ülkemiz hala toplu ulaşım ihtiyacının çoğunu minibüs ve otobüs gibi lastik tekerlekli karayolu taşıtları vasıtasıyla karşılamaktadır. Halen şehirlerimizin büyük bir kısmında raylı herhangi bir toplu ulaşım sistemi mevcut değildir.

2.3. Raylı / Kılavuzlu Toplu Taşıma Sistemleri

Sabit bir kılavuz üzerinde hareket ederek önceden belirlenmiş bir güzergâhı takip eden raylı toplu taşıma sistemleri, başlıca metro, tramvay, hafif raylı sistemler ve monoray olarak sıralanabilir. Son yıllarda gözlenen kalkınma hamleleriyle birlikte, pek çok şehirde raylı sistemlere ilginin arttığı gözlemlenmiştir.

Dünya üzerindeki ilk yeraltı raylı toplu taşıma sistemi olan Londra metrosu (Şekil 2.1), 1890 yılında elektrik enerjisi ile işletilmeye başlamıştır. Bu tarihten itibaren enerjisini kömürden alan metroların oluşturduğu kirliliğin önüne geçilmiştir. Metrolarda aydınlatma sorununun giderilmesiyle beraber, metroların kullanımı ciddi oranda artmıştır. Londra metrosuyla başlayan bu gelişme, metronun günümüzde artık büyük kentlerin vazgeçilmez bir ulaşım seçeneği olduğu bilinen bir gerçektir (İTO, 2004).



Şekil 2.1. Londra Metrosu'ndan bir görünüm (URL01, 2018)

Tablo 2.2'de Türkiye'deki illere ait belediyelerden elde edilmiş güncel hat bilgileri verilmiştir. 2000'li yılların başında şehir içi raylı sistem çalışmalarının odak merkezi olan İstanbul ve Ankara'ya ilave olarak günümüzde İzmir, Bursa, Adana, Eskişehir, Kayseri, Gaziantep, Samsun, Konya, Antalya ve Adapazarı şehirlerinde de raylı sistem bulunmaktadır. Türkiye'deki toplam şehiriçi raylı sistem hat uzunluğu 500km'ye, yaklaşmıştır. İstanbul Ulaşım, 119km hat uzunluğu ve 632 aracıyla Türkiye'nin en

büyük ulaşım operatörü konumundadır (Uysal, 2017). İstanbul’da monoray hariç her çeşit raylı toplu ulaşım sistemi bulunmaktadır ve raylı sistemlere ilave olarak da funiküler ve teleferik gibi ulaşım sistemi çeşitleri bulunmaktadır. Türkiye’de 81 il bulunduğu gözününe alındığında, raylı sistem barındıran kent sayısının azlığı görülmekte ve bu durum, raylı sistemler alanında daha pek çok yatırıma ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Mevcut raylı sistemler içerisinde, uygulanması diğerlerine göre daha hızlı ve az maliyetli olan tramvay sistemlerinin daha çok tercih edildiği dikkat çekmektedir.

Tablo 2.2. Raylı sistem bulunan illerdeki belediyelerden elde edilmiş güncel hat bilgileri

Şehir	Raylı Sistem Tipi	Hat Uzunluğu (km)	Taşınan Yolcu (gün)	Hizmete Giriş Zamanı
İstanbul-1	Metro	74,59	472.914 (maks)	2000
İstanbul-2	Hafif Raylı Sistem	26,10	414.869	1989
İstanbul-3	Tramvay	34,60	432.181 (maks)	1992
Ankara	Metro	55,83	135.660	1997
İzmir	Metro	20,00	350.000 (maks)	2000
Adana	Metro	13,50	-	2009
Bursa	Hafif Raylı Sistem	27,80	250.000 (maks)	2009
Antalya	Tramvay	23,00	-	1999
Gaziantep	Tramvay	21,00	65.000 (ort)	2011
Konya	Tramvay	28,00	110.000 (ort)	1992
Kayseri	Tramvay	34,50	-	2009
Samsun	Tramvay	15,70	90.000 (maks)	2010
Eskişehir	Tramvay	45,00	100.000 (maks)	2004
Adapazarı	Hafif Raylı Sistem	10,00	10.000 (ort)	2013

2.3.1. Metro

Çoklu vagon dizisi halinde saatte kesit yönde 45.000 yolcu kapasitesi üzerinde taşıma yapan, karayolu ve diğer toplu taşıma araçlarıyla neredeyse hiç kesişmeden seyahat imkanı sunan, başlı başına bir kentsel raylı toplu taşıma sistemidir (Murteza, 2010). Diğer ulaşım sistemlerine kıyasla yolcu taşıma kapasitesi en yüksek olanı metro sistemidir. Dünyadaki büyük şehirlere bakıldığında, yüksek maliyetlerine rağmen metronun ulaşım problemine çözüm olarak görülen öncelikli sistem olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 2.2). Metro olarak bildiğimiz bu raylı sistem, İngiltere’de “Underground”, Almanya’da “S-Bahn”, Fransa’da “Metro”, ABD’de “Subway”, Rusya’da “Metropolitan” gibi isimlerle meşhur olmuştur (Baştürk, 2014).



(a)



(b)

Şekil 2.2. İstanbul metrosuna ait görseller (URL02, 2018): **(a)** Haliç köprüsü üzeri **(b)** Metro istasyonu

Vuchic (2007), metroların yüksek yolcu kapasitelerinin olmasında etkili olan faktörleri sıralarken, araçların yolcu kapasitelerinin ve işletme sıklığı (ardışık iki tren arası geçen süre) kriterlerinin belirleyici olduğuna değinmiştir. Kendine ait bir sinyalizasyonu ve tamamen bağımsız hatları olan metroların yapılış şekli genellikle yüzeydeki trafik yüklerini hafifletmek maksadıyla derin tünel yöntemleriyle, yer altında profesyonel TBM kazıcılar kullanılarak inşa edilirler. Arazinin durumuna göre bazen aç kapa tünel veya delme yöntemleriyle inşa edilen metrolar bazen de yüzeye yakın yerlerde hemzemin geçit veya zemin şartlarının uygun olduğu yerlerde viyadük üzerinden götürülmek suretiyle inşa edilebilirler (Baştürk, 2014). İnşa edilmiş ve inşa süreci devam eden metro hatları birlikte düşünüldüğünde, dünya üzerinde toplu ulaşım denilince akla ilk gelen ulaşım vasıtalarından birisinin metro olduğu, ayrıca yüksek maliyetleri ve oluşturduğu iş imkanlarıyla ülkelerin ekonomilerinde canlanmaya vesile olduğu gözlenmektedir. Dünya üzerindeki mega kentlerde yapılan, kent içi toplu ulaşım açısından hayati önem taşıyan belli başlı metroların genel bilgileri Tablo 2.3'te belirtilmiştir.

Tablo 2.3. Mega kentlerde bulunan metro hatlarına ait bilgiler, (Baştürk, 2014)

Mega Kent	Şehir Nüfusu (milyon)	İşletmeye Açılış Tarihi	Hat Uzunluğu (km/adet)	İstasyon Sayısı (adet)	Günlük Ortalama Yolcu Miktarı (kişi)
Tokyo, Jp.	35,7	1927	304,50 / 13	290	8.700.000
New York, ABD	20,0	1904	368 / 27	468	5.500.000
Londra, İng.	8,57	1863	408 / 11	273	3.210.000
Barcelona, İsp.	4,92	1924	119 / 11	163	1.070.000
Berlin, Alm.	3,41	1902	147,4 / 10	195	1.380.000
Chicago	9,10	1892	166 / 8	152	3.660.000
Delhi, Hind.	15,9	2002	198 / 7	154	8.390.000
Guangzhou, Çin	11,0	1999	256 / 9	166	5.000.000
Hamburg, Alm.	1,76	1912	104,7 / 4	99	545.000
Hong Kong, Çin	7,21	1979	175 / 10	95	3.960.000
Moskova, Rus.	10,5	1935	325,5 / 12	194	6.550.000
Paris, Fr.	11,0	1900	219,9 / 16	383	4.180.000

2.3.2. Tramvay

Tramvay, genellikle karayolu–kaldırım–refüj aksı üzerinde, kendine tahsis edilen bağımsız bir hattan ya da eğer yol aks genişliği yetersiz ise araçlarla aynı şerit üzerinden (İstanbul Sirkeci, Konya Mevlana tramvay hattında olduğu gibi) de gitme özelliğine sahip olan (Şekil 2.3), yol ve trafik durumuna bağlı olarak bir sürücü tarafından kumanda edilen, sinyalizasyon sistemi karayollarıyla bütünleşik çalışan, elektrik enerjisini katanerden (demiryolu taşıtlarına elektrik enerjisi sağlamak amacıyla kullanılan hatların genel adı) alan, yolcuların daha rahat inip binebilmesi için zemine yakın olarak tasarlanan, diğer raylı sistemlere kıyasla yolcu taşıma kapasitesi düşük olan raylı sistemlerdir (Baştürk, 2014).



(a)



(b)

Şekil 2.3. (a) İstanbul tramvayı (URL03, 2018) (b) Konya tramvayı (URL04, 2018)

Tramvaylara, mevcut güzergâhlarından dolayı karayolu trafik düzenine uymak zorunda oldukları için, karayolu araçlarıyla ortak kullanılan geçitler ve kavşaklarda geçiş üstünlüğü verilerek, ulaşım sürelerinin kısaltılması amaçlanmaktadır. (Armstrong and Wright 1986).

Özelde ülkemize, genelde ise dünyaya bakıldığında en sık kullanılan kent içi raylı toplu ulaşım vasıtasının tramvay olduğu görülecektir. Özellikle son 15 senede ülkemizde pek çok büyükşehir, metro ve hafif raylı sistemlere göre maliyet açısından avantajlı olan tramvayı ciddi bir alternatif olarak görmüştür. Gaziantep, Antalya, Adapazarı ve Samsun gibi şehirlerde yakın zamanda tramvay hatları inşa edilmiştir. Konya’da ise mevcut S.Ü. Kampüs – Alaeddin hattına ilave olarak, bu hata bağlanmış yeni bir hat olarak Mevlana – Adliye hattı kullanıma sunulmuştur.

Fiziksel özellikleri bakımından ele alınacak olursa tramvaylar, ortalama 2-3 araç dizisinden, her aracı 4 – 6 aksa sahip olacak şekilde birleştirilmiş, uzunlukları 14 – 21m arasında değişebilen, 100 – 180 yolcu taşıma kapasitesine sahip, araçla daha çok yolcu taşınabilmesi için oturan yolcu sayısı yüzde 20 – 40 arası sınırlandırılan vasıtalarlardır. Tramvaylar trafik ile iç içe işletilmekte oldukları için ve duraklar arası mesafeleri oldukça kısa olduğundan, diğer raylı sistemlere göre hızları çok daha düşük olup özellikle trafiğin yoğun olduğu bölgelerde hızları 15 – 30 km/h gibi değerlere düşebilmektedir (Grava, 2002).

2.3.3. Hafif Raylı Sistemler

Hafif raylı sistem (HRS) denilince aklımıza daha çok hafif metro gelse de, Köllük (2005), hafif raylı sistemlerin, tramvayların modernleştirilmiş hali olduğunu ifade etmiştir. Günümüzde hafif raylı sistem kavramı yerine, hafif metro kavramı daha çok kullanılsa da, hafif raylı sistemin bir çok özelliğinin metrodan çok tramvaya benzediği söylenebilir. Şekil 2.4’te dünyadan HRS örnekleri gösterilmiştir. HRS tabiri ilk defa 1970’li yıllarda Avrupa’da mevcut tramvayların geliştirilmesinin akabinde ortaya çıkmıştır. Yolcu taşıma kapasiteleri, tramvaydan fazla ancak metrodan azdır. Daha çok kendilerine tahsis edilmiş özel hatlarda (karayolunun yanı, köprü üzerinde, karayolunun hemen altı) işletilmekle beraber araç trafiğiyle beraber hemzemin olarak da işletilebilmektedirler (UNITAR, 2010).



(a)



(b)

Şekil 2.4. Dünyadan HRS örnekleri: (a) Hong Kong (URL05, 2018) (b) Los Angeles (URL06, 2018)

Hafif raylı sistemler, genellikle 2 – 7 adet körüğe sahip ve 4 – 10 adet aksa sahip diziler halinde işletilmektedirler. Ortalama 250 yolcu taşıma kapasitesine sahip bu taşıtların uzunluğu 18 – 42 metre arasında değişmektedir. Ulaşabilecekleri maksimum hız 70 – 80 km/h iken işletme hızları ise 18 – 40 km/h civarında seyrederek. Araçların zeminden yükseklikleri 20cm ile 100cm arasında değişiklik göstermektedir (Vuchic, 2007). Saatteki maksimum yolcu taşıma kapasiteleri 35.000 yolcu/yön olarak belirtilmiştir. Enerji temini katener (konvansiyonel sistem), rijit katener veya 3. Ray diye tabir edilen alttan besleme sistemleri aracılığıyla karşılanabilmektedir. Çalışma akımı aralığı 750 VDC ile 1500 VDC arasındadır (Toprak ve Aktürk, 2001). Dünya üzerindeki bazı meşhur hafif raylı sistemler ve genel bilgileri Tablo 2.4’te belirtilmiştir.

Tablo 2.4. Başlıca HRS güzergâh bilgileri, (Cirit, 2014; Çankaya, 2011)

Bulunduğu Lokasyon	Güzergâh Uzunluğu (km)	Bir Günde Taşınan Yolcu Sayısı	Hizmete Giriş Yılı	Durak Sayısı
Hong Kong, Çin	36,2	473.000	1988	68
Baltimore, ABD	48,3	23.691	1992	33
Los Angeles, ABD	169	362.135	1990	93
Amsterdam*, Hollanda	9,6	181.000	1977	19
Bergen, Norveç	18.2	31.000	2010	25
Guadalajara Jalisco, Meksika	24	240.000	1989	29

*Metro ile bütünleşik sistem.

2.3.4. Monoray

Son yıllarda toplu taşıma vasıtaları arasında adını duymaya başladığımız monoray sistemleri, dünyanın birçok şehrinde önemli bir ulaşım sistemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Monoraylar, yolcu veya yük taşıma maksatlı olarak kullanılan, tek rayüzerinde hareket eden toplu ulaşım vasıtalarıdır ki bu özellikleri ilediğler raylı sistemlerden ayırlırlar. Monoray araçlarının rayları çelik veya betonarme kiriş şeklinde tasarlanabilmektedir. Şekil 2.5'te bir çelik kutu kesitli kılavuz kiriş üzerinde ve lastik tekerlekler vasıtasıyla taşınan ve yönlendirilen dünyaca ünlü Sydney monorayı görülmektedir. Çoğu durumda yer seviyesinden yükseltilmiş bir şekilde inşa edilen monoraylar, yer seviyesinde, yer seviyesinin altında ya da metrolar gibi tünellerde de inşa edilebilir. Monoray vagonları ya üzerinde hareket ettikleri kılavuz raya asılı bir biçimde bağlı olarak tasarlanırlar, ya da hat kirişine oturtulmuş olan ray üstünde ve alttan da desteklenerek hareket ederler (The Monorail Society, 2016).



Şekil 2.5. Sydney monorayı (URL07, 2018)

Monoraylar, tramvay ve hafif raylı sistemlerin aksine, tamamen araç ve yaya trafiğinden ayrılmış bir şekilde, bağımsız bir sinyalizasyon sistemine ve düşük duraklama sürelerine sahiptir. Ayrıca, ulaşım konforu ve güvenliği üst seviyede olan bir ulaşım imkânı sunmaktadır. Günlük yolcu taşıma kapasitesi kriteri baz alındığında, monorayın hafif raylı sistemlerle hemen hemen aynı kapasiteye sahip olabileceği görülecektir. Yatırım maliyeti açısından bakılırsa, birim uzunluk başına maliyetinin hafif raylı sisteme çok yakın bir değere sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Yolcu güvenliği açısından ise, monorayların açık ara en güvenli toplu ulaşım aracı olduğu tespit edilmiştir (Cankaya, 2011).

3. MONORAY TOPLU ULAŞIM SİSTEMLERİ

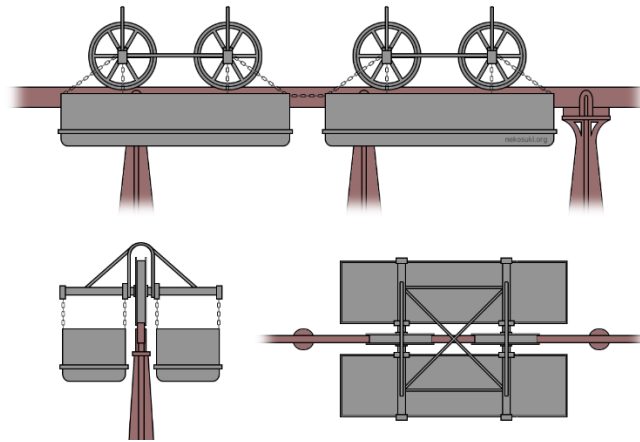
Toplumun ulaşım ihtiyacını karşılamak ve hafif yükleri taşımak amacıyla tasarlanmış olan monoray, kelime anlamı olarak “mono” (tek) ve “ray” kelimelerinin birleşiminden meydana gelmektedir. Bir başka deyişle monoray, tek bir ray tarafından, bir güzergâh boyunca, bir kiriş üzerinde yükseltilmiş olarak, yönlendirilen, dengelenen, ve desteklenen bir ulaşım sistemidir (Svensson, 2007).

Pek çok monoray türü olmakla beraber monorayların en yaygın gözlenen ortak özelliği, hiç şüphesiz, vagonları taşıyan tek ray – kiriş – kanal yapısıdır. Monoray vagonları, bazen metro vagonları ile dahi karşılaştırılabilecek kadar büyük olabilirken, bazen de küçük kabinler olarak teşkil edilmektedir. Monoray tasarımlarında gözlenen temel fark, yolcu kompartımanının yukarıdan bir kirişe asılı olma durumu ya da tek bir kiriş üzerinde desteklenmiş olma durumudur (Grava, 2004).

3.1. Tarihçesi ve Gelişimi

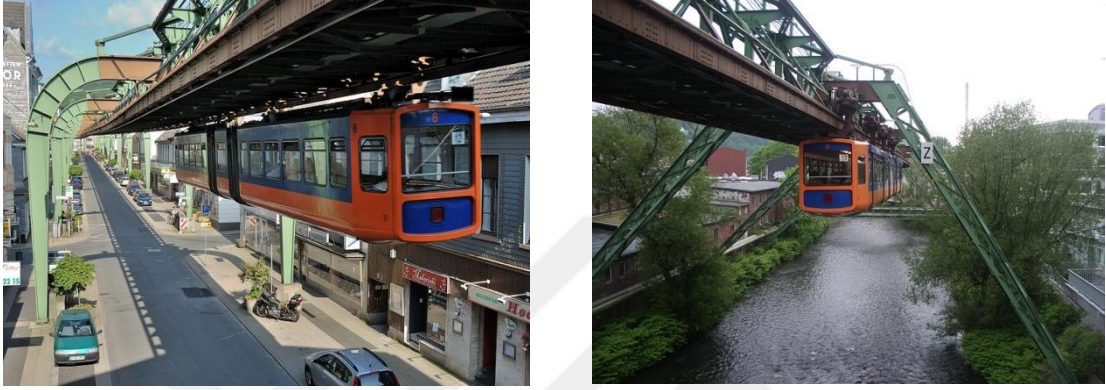
3.1.1. İlk Monoraylar

Bilinen ilk monoray 19. Yüzyılın başlarında İngiliz Henry Palmer tarafından 1821 yılında tasarlanmıştır (Botzow, 1960). Aslında tuğla taşıma amacıyla Haziran 1825 yılında inşa edilen bu monoray, daha sonra insan taşıyarak ilk toplu taşıma monorayı olma ünvanını elde etmiştir. Bu monorayın bir diğer dikkat çekici özelliği ise, itiş gücünün motor yerine atlar tarafından sağlanmasıdır (Şekil 3.1) (The Monorail Society, 2016).



Şekil 3.1. Henry Palmer monorayı (URL08, 2018)

Toplu ulaşım amaçlı olarak hala kullanılmaya devam eden Wuppertal (1876) Monorayı (Şekil 3.2), özellikle üzerinde durulması gereken bir monoraydır. Bu monorayın yapıldığı zaman aralığı içerisinde General Roy Stone (1876), Sonoma (1876), Bradford (1878), Meigs (1886) ve Enos Electric Railway (1886) isimleriyle meşhur olmuş birçok monoray denemeleri yapılmış olmasına rağmen, hiçbirisi Wuppertal gibi düzenli olarak toplu ulaşım amaçlı kullanılamamıştır.



Şekil 3.2. Wuppertal Schwebebahn monorayı (Sol: URL09, 2018) (Sağ: URL10, 2018)

Bugün halen kullanılmakta olan ve tarihi özellikteki Wuppertal Schwebebahn Monorayı 1901 yılında işletmeye açılmıştır. Bu monorayın inşaatı, Wilhelm Feldmann kontrolünde 1898'de başlamıştır. Alman imparatoru Wilhelm II, 1900 yılında bir deneme turuna katılmıştır. Hattın 1901 yılında devreye girmesini müteakip önce Kluse - Hayvanat Bahçesi istasyonu hattı açılmıştır. Son olarak ise Haziran 1903 yılında Oberbarmen'deki Doğu Terminus hattı hizmete açılmıştır (Atzenroth, 2017). Bu monoray hattı, Wupper nehri civarında yaklaşık 100 senedir hizmet verdiği için çeşitli modernizasyonlar ve tadilatlar geçirmiştir. Halen işletmede olan Wuppertal hattı 13 km uzunluğunda olup, günde 80.000 yolcu taşımaktadır (Çankaya, 2011). Askıda olan sistemi taşıyan çerçeve ve diğer sistem bileşenleri, 486 sütun ve köprü segmentinden oluşmaktadır. Toplam araç uzunluğu 24 metredir ve 4 kapıya sahiptir. Bir vagonu yaklaşık 100 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Monoray aracının ulaşabileceği maksimum hız 60km/h ve ortalama hızı ise 27km/h civarındadır (Atzenroth, 2017). Servis ömrü boyunca tek ölümcül kaza 1999 yılında meydana gelmiştir. Raylarda bakım yapan işçiler yapılan tadilatın sonrasında rayda bir metal pençeyi takılı unutmuş, bu nedenle monoray treni sefer sırasında raydan çıkarak nehre uçmuş ve olay neticesinde

beş kişi hayatını kaybetmiş; kalan yolcular ise yaralı olarak kurtarılmıştır (Atzenroth, 2016).

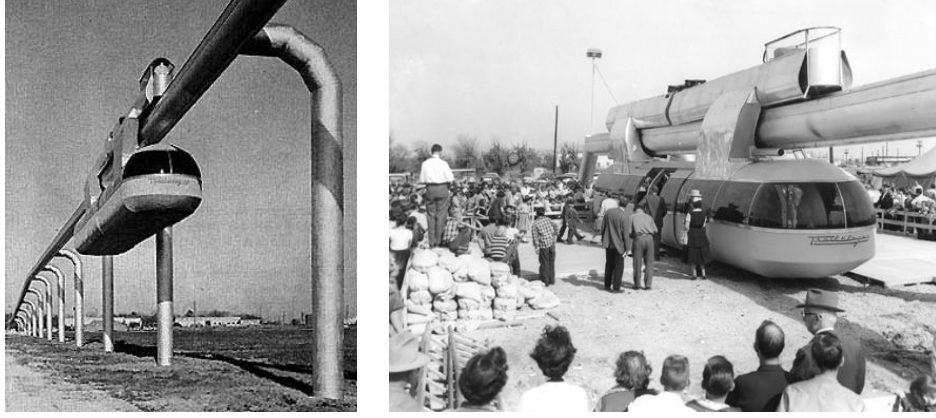
Wuppertal tecrübesinden sonra da pek çok monoray denemesi yapılmıştır. Sırasıyla 1903 yılında Louis Brennan, 1911'de William H. Boyes, 1914'de Cenova, 1924'de The Magnezium ve 1929'da Bennie Rayplane monoray denemeleri yaygın bir kullanım ağına ulaşamamıştır (The Monorail Society, 2016).

Daha ileriki dönemlerde yaygın olarak kullanılacak olan ve destekli monorayların atalarından birisi olarak kabul edilen Alweg Monorayının (yani, patenti Alweg tarafından alınmış bindirme tipi monoray) ilk prototipi, 1952 yılında Almanya'nın Fuhlingen şehrinde sergilenmiştir (Şekil 3.3). 160 km/h gibi şaşırtıcı derecede yüksek hızlara keskin virajlı pistte sorunsuz bir şekilde ulaşabilmesine rağmen, modern Alweg'lerin çıkışına kadar test aşamasında kalmıştır (The Monorail Society, 2016).



Şekil 3.3. Alweg monorayı (URL11, 2018)

Zamanının ötesinde bir tasarıma sahip olan Skyway monorayı 1956 yılında Texas'ta 8 ay boyunca test edildikten sonra parkur sökülüştür (Şekil 3.4). 310 beygir gücünde Packard otomobil motoruna sahip olan, yüksek hızlara ulaşabilen ve yaklaşık 100.000 dolara mal edilen monoray hattının ileride Houston kentinin trafik sorununa çare olacağı düşünülmüş, fakat toplu taşıma amaçlı kullanılamamıştır (Gonzales, 2008).



Şekil 3.4. Skyway monorayı (Sol: URL12, 2018) (Sağ: URL13, 2018)

Wuppertal monoray hattından ilham alınarak inşa edilen ilk Japon monoray hattı olan Ueno Hayvanat Bahçesi monorayı (Şekil 3.5), 300m hat uzunluğu ile oldukça kısadır ve sadece iki duraktan ibarettir. Günümüzde kullanılan monoray hatları ve yapılan yeni hatlarla birlikte Japonya, monoray sistemini ulaşım amaçlı kullanan öncü ülkelerden birisi haline gelmiştir (The Monorail Society, 2016).



Şekil 3.5. Tokyo Ueno hayvanat bahçesi monorayı (URL14, 2018)

1957 yılına gelindiğinde, önceki denemelerden elde edilen deneyim ile ortaya başarılı bir Alweg Monorayı konmuştur. Yapılan Alweg tabanlı sistem, ileride Walt Disney'in kurmayı planladığı Disneyland parkı içerisinde ziyaretçilerin taşınması için önemli bir fırsat haline gelmiştir. Alweg monorayları, günümüzde SAFEGE (Fransız ortaklığı **Société Anonyme Française d' Etude de Gestion et d' Entreprises**) altyapısını kullanan monoraylar ile birlikte, en sık kullanılan monoray tipidir (The Monorail Society, 2016). SAFEGE monorayı, Fransız köprü kurucusu Lucien Chandenson, Benni Rayplane tarafından test edilen monoray hattını geliştirmeye karar vermesi ve bunun yanında,

lastik tekerlekli Paris Metro Route 11 hattından da esinlenerek ortaya yeni bir monoray formu koymasıyla oluşmuştur. SAFEGE, askı tipi monoraylar için aldığı patent nedeniyle ismini bu tip monoray sistemine vermiştir. Nihai tasarım, vagon taşıma takımlarının, klasik raylı sistemlerindeki durumun aksine, trenin üzerinde duran çelik ya da betonarme kiriş içerisinde gizlenmesiyle kötü hava koşullarından ve zemindeki diğer zarar verici etmenlerden korunduğu askı tipi monoray olmuştur. Test aracı, Paris'in güneyinde yer alan Chaleauneuf'da uzun müddet hizmet vermiştir. Şaşırtıcı bir şekilde, bu sistem Fransızlar tarafından toplu taşıma amaçlı kullanılmamış olmasına rağmen, Japonlar daha sonra 2 başarılı SAFEGE hattı inşa etmeyi başarmıştır (The Monorail Society, 2016).

3.1.2. Modern Monoraylar

Modern monorayların ilki olarak varsayabileceğimiz, ABD'nin California eyaletinin Anaheim şehrinde bulunan Disneyland parkı içinde ziyaretçilerinin rahat hareket edebilmesi ve aynı zamanda parktaki görsel şöleni izleyebilmeleri için tasarlanan monoray hattıdır ve 1959 yılından beri park ziyaretçilerine hizmet vermeye devam etmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. 1959 yılında hizmete giren ilk Disneyland monorayı (URL15, 2018)

Aslında Walt Disney monorayı, geleceğin toplu taşıma aracı olarak görüldüğü için tasarlanmıştı. Hat ilk yapıldığında 3.7 km uzunluğunda ve 2 duraktan ibaretti (The Monorail Society, 2016). Bu monoray, 14 Haziran 1959 tarihinde, Disneyland'da

bulunan Tomorrowland içerisinde bir gezi cazibe merkezi oluşturulabilmesi için hizmete girmiştir. Daha sonraları monoray hattı, Disneyland Expansion, Matterhorn Bobsleds, Submarine Voyage, Autopia ve Motor Boats kısımlarına genişletilmiştir. Mark I isimli trenler (Kırmızı ve Mavi) her biri üç vagona oluşmaktadır. Eklenen yeni Mark II vagonları ve yeni Sarı trenle birlikte, monoray hattı gerçek bir toplu taşıma sistemi haline almıştır. Monoray hattı, parkın dışında 2.5 mil uzatılmış ve Disneyland Hotel Station isminde yeni bir platform inşa edilmiştir. 1968 (1987'ye kadar) yılına gelindiğinde Mark III trenleriyle birlikte mevcut platformlar daha da uzatılmıştır. Daha sonraki süreçlerde zamanla ziyaretçi popülasyonu, park sahasının genişlemesi ve araçların yıpranmasından dolayı sırasıyla; Mark IV (1971-1989), Mark V (1989-2008), Mark VI (1989-) ve Mark VII (2008-) (Şekil 3.7) trenleri hizmete girmiştir (Disneypix, 2017). Tasarlanan monoray hattı ile, Disneyland'de doğal bir yolculuğun yanı sıra, ileride yapılacak monoray çalışmalarına bir prototip olması da hedeflenmişti (Glover, 2013).



Şekil 3.7. Disneyland Alweg monorayı Mark VII (URL16, 2018)

İtalya'da 1961 yılında kurulan Expo fuar alanına ziyaretçilerin taşınabilmesi amacıyla Turin monorayı inşa edilmiştir (Şekil 3.8). Bir müddet sonra, hat uzunluğu 1.2km'ye çıkan monoray hattı, ziyaretçiler için önemli bir cazibe merkezi haline gelmiştir. Üç adet vagona oluşan yaklaşık 38 ton ağırlığındaki tren 90 km/h hızına ulaşabilmiştir. Expo süresince yaklaşık 500.000 yolcuya hizmet vermiştir. Fuar süresi dolduktan sonra monoray hattı başlangıçta 12km'ye kadar uzatılmış ve toplu taşıma amacıyla 1963 yılına kadar kullanılmıştır (Bureau Int., 1961).



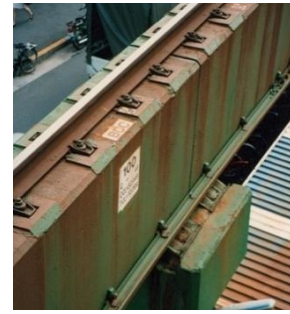
Şekil 3.8. Turin Monorayı, (URL17, 2018)

Seattle kent merkezine yapılan monorayın (Şekil 3.9) asıl yapım amacı Seattle Dünya Fuarı (Seattle World Fair) alanı ile şehir merkezindeki tesisler arasındaki bağlantıyı sağlamaktır. Dünya Sergisi başlamadan iki ay önce 1962 yılında halkın kullanımına açılmıştır. Trenler fuarın açık olduğu 6 ay süresince 8 milyon yolcu taşımış ve bu sürede elde edilen 3,5 milyon dolar gelire yatırım maliyetini çıkarmıştır (Seattle Center Monorail, 2016). Seattle merkez monoray hattı yaklaşık 1.3km uzunluğundadır. Çift yönlü sistem üzerinde iki tren ve her bir trenin üzerinde hareket ettikleri bir kılavuz raydan oluşmaktadır. Sistem kirişlerini 68 adet “Y” formundaki kolon desteklemektedir. Her iki kolon arasında bulunan tipik öngerilmeli kirişlerin uzunluğu 21m’dir. Monoray trenleri, her bir kiriş üzerinde temas rayları vasıtasıyla trenlere gönderilen 700 volt DC elektrik ile çalışır. Karbon ayakta kalıcıları, elektriği tahrik sistemine aktarmak için bakır başlıklı demiryoluyla temasa geçer ve bu da DC motorlara akım sağlar. Günümüzde bu hat, yılda yaklaşık 2 milyon yolcu taşımaktadır. Monoray Seattle kentinde düzenlenen önemli festivaller ve spor organizasyonları için kilit öneme sahip bir taşıma vasıtası haline gelmiştir. ABD’deki halen kullanımda olan en önemli monoray hatlarından birisidir (Seattle Center Monorail, 2016).



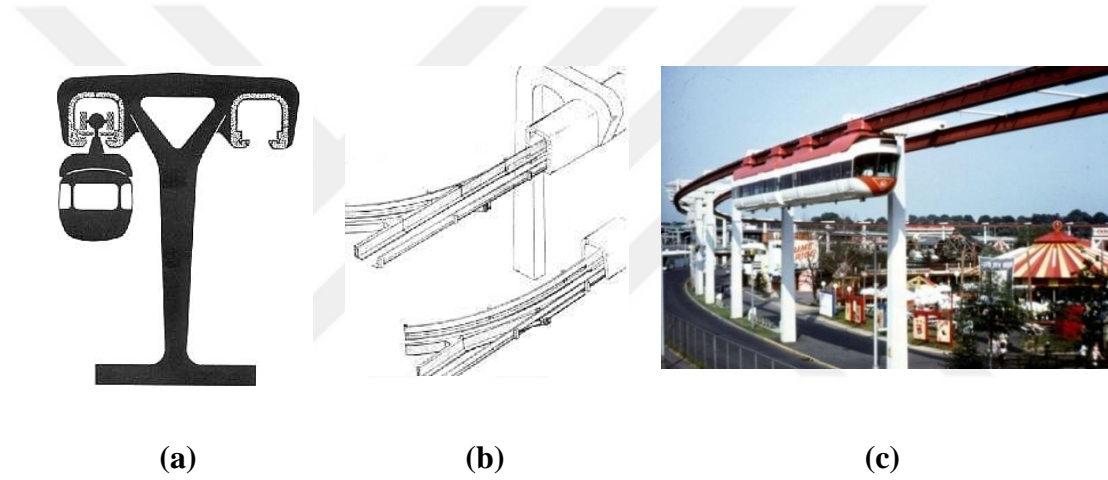
Şekil 3.9. Seattle kent merkezi monorayından kesitler (URL18, 2018)

ABD’de tasarlanmış olan Nihon / Lockheed Monorayı’nın (Şekil 3.10) testi Japonya’nın Gifu kentinde yapılmıştır. Aslında Seattle ve Tokyo kentlerinde Lockheed tipi monoray kullanılması beklenirken, Alweg tipi monoray tercih edilmiştir. Lockheed tasarımını Alweg’ten ayıran önemli özellikleri rayların ve tekerlerin çelikten imal edilmesidir Lockheed 1, 2 ve 3 numaralı hatları Japonya’da inşa edilmişlerdir ancak bugün hizmet vermemektedirler (The Monorail Society, 2016). Tek kiriş ve hat üzerinde hareket eden Lockheed tipi monoray 1966-1974 yılları arasında hizmet vermiştir. Japonya’nın Himenji kentinde inşa edilen monorayın azami hızı 50 km/h olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.10. Nihon / Lockheed monorayı (URL19, 2018)

Daha önce SAFEGE tipi monoray üretme lisansına sahip olan AMF (American Machine & Foundry şirketi), kendi tasarımını tanıtmak için 1964 - 1965 yılları arasında gerçekleşen New York Dünya Fuarı etkinliğini fırsat bilmiştir. Fuar için istenilen monoray hattının kurulmasını gerçekleştiren firma 2 yıl boyunca sistemi işletmiştir. Çift hatlı olan sistem fuar alanının etrafında dolaşmıştır (Şekil 3.11). (The Monorail Society, 2016). Çift vagondan oluşan trenin uzunluğu 90 ft, hattın zeminden yüksekliği ise 40 ft'tir. Fuar süresi boyunca hizmet veren araç, günlük kullanımda 90 mph hızla hizmet vermiştir. Monoray'ın askıda üzerinde hareket ettiği kutu tipi kirişin en önemli avantajları arasında havayı dışarıda tutması, kesintisiz ulaşım olanak sağlaması ve hat geçişlerinde kullanılan "fail-safe (tedbirli) method" ile arıza tespitlerinin yapılarak yol güvenliğini artırması sayılabilir (Nywf64, 2016).

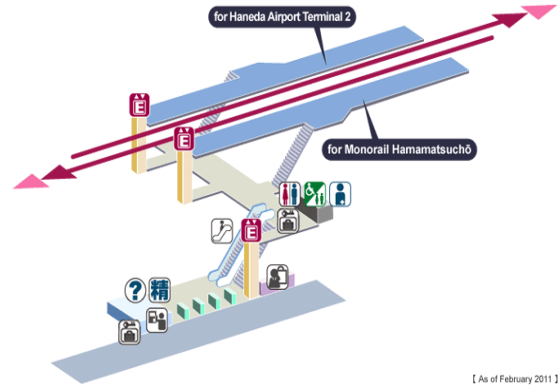


Şekil 3.11. AMF monorayı: (a) Kesit görünüm (b) Fail-safe emniyet anahtarı (c) Genel görünüm (URL20, 2018)

Modern çağın ilk transit monorayı olarak kabul edilen Tokyo/Haneda hattı 164 Yaz Olimpiyatları açılışından hemen önce, Hitachi firması tarafından hizmete açılmıştır (Şekil 3.12). Güzergâh ilk etapta sadece Hamamatsuchō tren istasyonu ile Haneda Havaalanı (Şekil 3.13) arasında hizmet vermiştir (Tetsudo, 2008). Mevcut genişlemelerle birlikte toplam 11 durak olarak taşıma yapılmaktadır. Ayrıca, hizmet vermeye başladığı tarihten itibaren taşıdığı yolcu sayısı 2007 yılı itibariyle 1,5 milyar'a ulaşmıştır (Kyodo News, 2007). Hattın en dikkat çeken özelliklerinden birisi de Alweg tasarımına sahip olması ve hatlar arası yön değiştirme anahtarlarını birlikte kullanan ilk büyük sistem olmasıdır. Sistem toplu taşıma amaçlı olarak halen kullanılmaktadır (The Monorail Society, 2016).



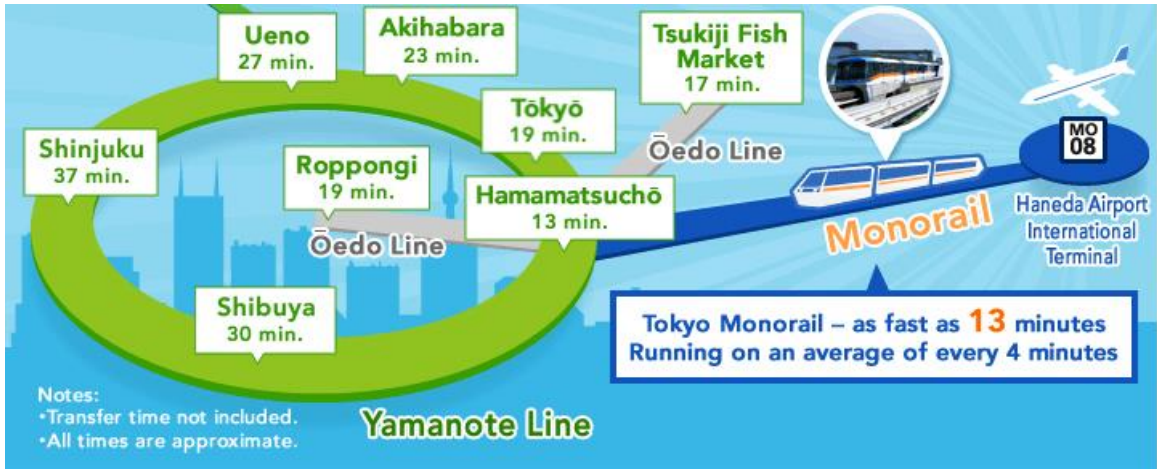
(a)



(b)

[As of February 2011]

Şekil 3.12. Haneda monorayı (a) Genel görünüm (URL21, 2018) (b) Durak kesiti (URL22, 2018)



Şekil 3.13. Haneda monorayı güzergâh şeması (URL22, 2018)

Modern monoray sistemlerinin kullanımının 1960'lı yıllarda ivme kazanmasıyla birlikte, bir toplu taşıma sistemi olarak kullanılmasının önü açılmıştır. Bu tarihe kadar daha çok panayır, fuar ve çeşitli eğlence etkinlikleri için tasarlanan monoraylar Seattle (1962), Tokyo Haneda (1962) ve Walt Disney World Monorail System (1971) hatlarının yapılmasıyla toplu ulaşım amaçlı olarak da kullanılmaya başlanmıştır.

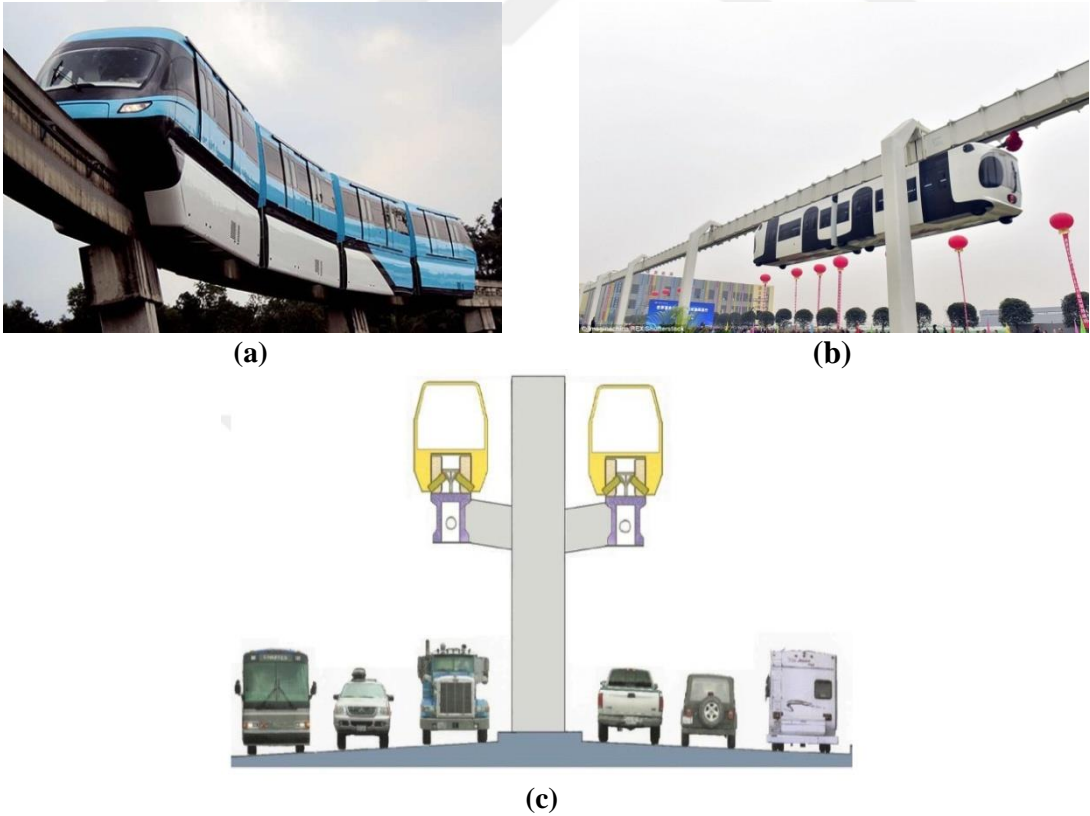
Özellikle Japonya'da daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan monoraylar 2000'li yılların başından itibaren dünyanın pek çok ülkesinde kullanılır hale gelmiştir ve pek çok ülkede de yeni monoray projeleri tasarlanmaktadır. Japonya'da son yıllarda yapılmış Kitakyushu, Chiba, Osaka, Tama, Tokyo-Haneda, Shonan, Naha-Okinawa sistemlerine ilaveten yeni monoray projelerinin de tasarım aşamasında olduğu bilinmektedir. Malezya'nın başkenti olan Kuala Lumpur şehrinde inşa edilen monoray hattı (2003) şehir merkezinde trafik yoğunluğunun rahatlatılmasında önemli bir rol

üstlenmiştir. Ayrıca gidiş – dönüş olarak tasarlanan en uzun monoray hatlarından birisidir.

Amerika, Avustralya ve Avrupa’da pek çok mevcut monoray hattı bulunmaktadır. Asya kıtasında Singapur, G. Kore, Çin, Tayland, Dubai, İran ve Hindistan gibi ülkelerde çok sayıda ve çeşitli kapasitelerde monoraylı toplu taşıma sistemleri görev yaparken, yeni hatlar ve mevcut hatların genişletilmesi çalışmaları da devam etmektedir.

3.2. Monoray Tipleri

Akademik çalışmalarda ve bazı diğer kaynaklarda monoray sistemleri ile ilgili çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Bu sınıflandırmalarda bazı farklılıklar ve çeşitlilikler görülmektedir. Ancak, hepsinde görülen temel farklılıklar arasındamonoray aracı tipi, aracın hareketini ve yönlenmesini sağladığı kılavuz kiriş (ray) ve taşıyıcı sistemin çerçevesi yer almaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde monoray tiplerini “askı tipi” ve “bindirme tipi” olarak iki ana sınıfa ayırabiliriz. Bu iki temel sınıf içinde taşıyıcı sistem kolonları konsol olarak tasarlanabilmektedir. Bu durumda, bu monoray tipleri bazen konsol monoray tipi olarak da anılmaktadırlar (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Monoray tipleri: (a) Bindirme (URL23, 2018) (b) Askı/Konsol (URL24, 2018) (c) Bindirme / Konsol (URL25, 2018)

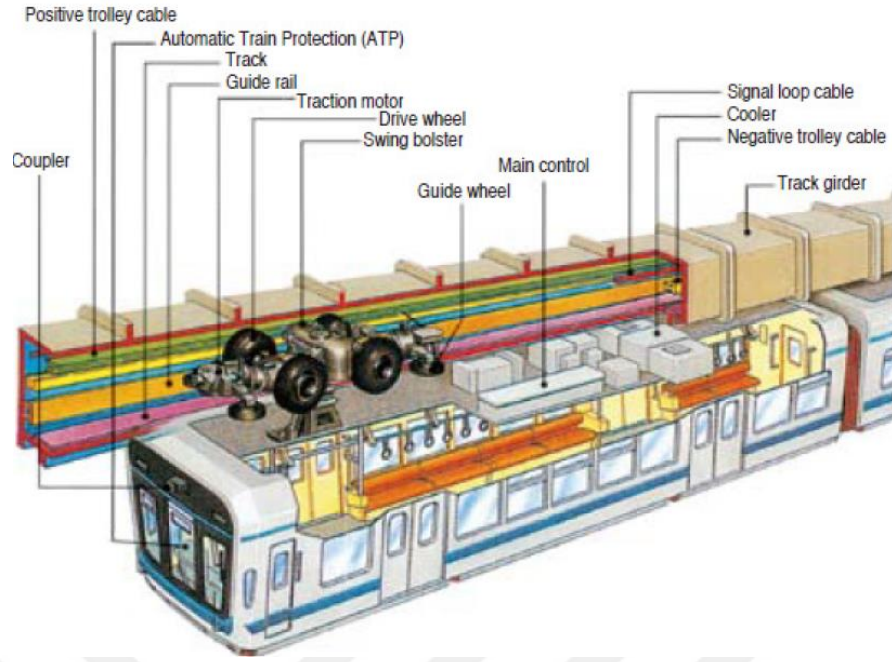
3.2.1. Askı Tipi Monoray (Suspended)

Halen toplu taşıma amaçlı kullanılmaya devam eden Wuppertal, geliştirme ve test süreçlerinden sonra dünya üzerinde pek çok monoray hat yapımında kullanılmış olan SAFEGE, Almanya'nın Dortmund kentinin Teknik Üniversitesi içerisinde kampüs içi ulaşım amacıyla kullanılan H-Bahn sistemleri bilinen meşhur askı tipi monoray hatlarından. Askı tipi monoraylar, toplu taşıma amaçlı kullanılmaları bakımından bindirme tipi araçlara göre daha uzun süredir hizmet vermektedirler. Tümen (2017), askı tipi monoraylarda aracın kendisine üstten asılarak hareket ettiği kirişi tarif ederken, boş ters 'U' şeklinde ve çelikten imal edilmiş olduğunu ifade etmiştir. Buna ilave olarak, aracın kauçuktan yapılmış taşıyıcı ve kılavuz tekerleklerden meydana gelen bojilerinin bu çelik kirişin içerisinde asılı kaldığını ve böylece hareketin sağlandığını belirtmiştir. Askı tipi monorayların bazı genel özellikleri Tablo 3.1'deki gibi verilmiştir.

Tablo 3.1. Askı (Suspended) tipi monorayların özellikleri, (Tümen, 2017; Çalış, 2016)

Aracın		Motor, Teker ve Kiriş				
Genişlik (m)	Uzunluk (m)	Yükseklik (m)	Boş Ağırlık (t)	Azami Kapasite (yolcu)	Elektronik donanımlar	Malzemesi
2,5 – 3,5	16 – 19	3 – 3,9	25-30	160 – 200	Aracın üzerinde	Çelik

Bojilerin çelik kutu kirişin içerisinde yer alması sayesinde aracın hareket takımlarının aşırı sıcak veya kar, don gibi hava koşullarında dahi taşıtın güvenli bir şekilde ilerlemesine katkıda bulunduğu görülmektedir (Çalış, 2016). Şekil 3.15'de bir askı tipi monorayın kesit görünüşü verilmiştir. Aracın yüksek hızlara çıkarken sürüş güvenliğini ve istikarını koruyabilmesini sağlayan pnömatik yaylara sahip sarkaç tipi süspansiyon sistemi barındırması aynı zamanda yolcuların konforunu artıran diğer bir etkidir (Tümen, 2017). Motoru harekete geçirecek elektrik kiriş boyunca devam eden üçüncü bir ray tarafından sağlanmaktadır. Lastik tekerlerin arıza yapma ihtimaline karşılık yedek çelik tekerler devreye girerek yolculuğun devamlılığı sağlanır (Kennedy, 2004).

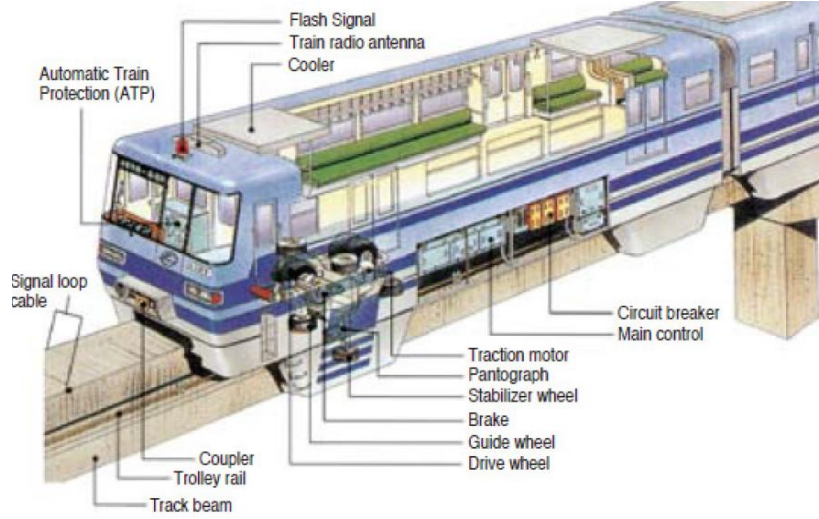


Şekil 3.15. Askı tipi monoray sisteminin kesit görünüşü (Ay, 2016)

3.2.2. Bindirme Tipi Monoray (Straddle Type)

Dünya üzerindeki güncel uygulamalara göz atıldığı zaman Alweg tasarımını referans alarak geliştirilen monoray sistemlerinin en yaygın kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir. Özellikle sistem maliyeti ve çevreye uyumluluk açısından bindirme tipi araçlar adeta bir adım öne geçmektedir. Vagonlar dar kesitli bir beton veya çelik hat yolu üzerinde hareket ve yönlenmelerini sağlarlar (Şekil 3.16). Üzerine oturduğu kirişe adeta kenetlenen monoray vagonlarının kılavuzlandığı denge tekerleri sayesinde raydan çıkması neredeyse imkânsızdır (Çalış, 2016). Taşıyıcı lastik tekerler hat yolu kirişi üzerinde konumlanır ve kılavuz tekerler kirişin iki yanına basmaktadır. Araçlarda kullanılan, çalışma prensipleri aynı olmakla beraber, teker konumları farklılık gösterebilmektedir (Obermayer, Proje, 2009).

Bindirme tipi monoray sistemleri arasında, kullandığı kılavuz kiriş ve taşıyıcı sistemin benzerliğinden ötürü, Maglev monorayı ve konsol taşıyıcı sistemli monoraylar da girmektedir. Maglev sistemlerinin ayırt edici en önemli iki özelliği aracın manyetik enerjiyle çalışması (enerji tasarruflu sistem) ve maksimum hızının diğer monoray tiplerine kıyasla çok daha yüksek olmasıdır. Yapılan deneylerde hızlarının 550 km/h gibi rekor seviyelere ulaştığı gözlenmiştir (Kennedy, 2004).



Şekil 3.16. Bindirme (Straddle) monoray sistemi kesit görünüşü (Ay, 2016)

Kolonlar üzerinde yükseltilmiş biçimde konumlanabilmelerinin avantajını kullanan monoraylar, diğer birçok toplu taşıma tipinden farklı olarak hiçbir şekilde şehir içerisindeki diğer ulaşım aksları ile çakışmazlar ve bu akslarda trafik sıkışıklığına neden olacak şekilde bir tıkanıklığa neden olmazlar (Çalış, 2016). Genellikle yükseltilmiş viyadük şeklinde inşa edilmelerine karşın, arazi koşullarına göre hemzemin veya yer altı istasyon yapısına da uygun olarak inşa edilebilirler.

Monoray araçları özellikle boyutlarına ya da diğer bir deyişle vagon sayısı & boyu gibi kriterlere göre aşağıdaki Tablo 3.2’de verildiği gibi üç şekilde sınıflandırılabilir.

Tablo 3.2. Bindirme tipi monoraylar için genel sınıflandırma, (Tümen, 2017; Çankaya, 2011)

Monoray büyüklüğü	Kapasite (yolcu)	Tam kapasite (yolcu)	2-4-8 Vagonlu Araç uzunluğu (m)	Araç genişliği (m)	Kiriş yüzeyinden araç yüksekliği (m)	Minimum kurp yarıçapı (m)
Küçük	100-184	184-248	22-38	2,5-2,7	2,2-3,8	28-60
Orta	370-400	650-680	40-45	2,5-2,9	2,2-3,8	60-100
Büyük	430-460	750-780	60-71	2,5-3,0	2,4-3,8	100

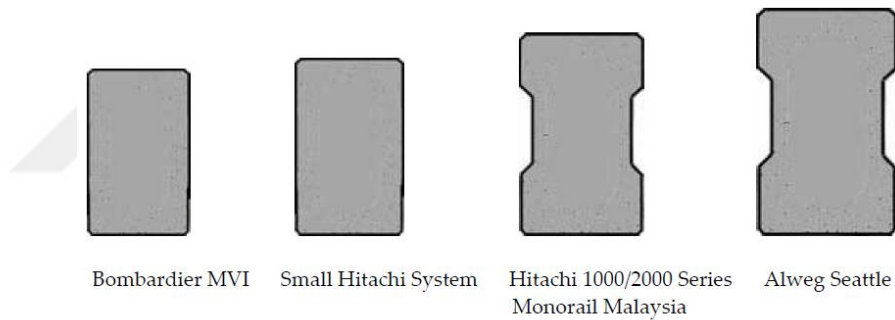
Tablo 3.2’de verilen aralıklar, araçların ölçeklenebilir olmasından ötürü değişkenlik göstermektedir. Bu bilgiye ilave olarak, büyük monoray üreticilerinin kendilerine has tasarımları da eklendiğinde ortaya birçok monoray aracı modifikasyonu çıkmaktadır.

3.3. Monoray Ana Bileşenleri

Monoray sistemlerini oluşturan ana bileşenler arasında yapısal taşıyıcı elemanlar (taşıyıcı kolonlar, temeller ve kılavuz kirişler) , monoray aracı (vagonlu yolcu taşıtı) diğer ismiyle “rolling stock” , hat durakları (istasyonlar) ve elektromanyetik birimler yer almaktadır.

3.3.1. Kılavuz Kiriş / Ray

Monoray sisteminin yapısal olarak en önemli unsuru, üzerinde hareket ettiği ve yönlendiği kılavuz yol ya da diğer bir deyişle hat kirişidir. Dünya üzerinde en yaygın olarak kullanılan monoray türü bindirme(straddle) tipi olandır. Bindirme tipi monorayın hat kirişleri genellikle prefabrik olarak imal edilmiş betonarme kirişlerin bir araya getirilmesinden meydana gelirken, bazen çelik kirişlerin kullanılmasıyla da imal edilebilir (Kennedy, 2004).Şekil 3.17’de mevcut monoray hatlarında kullanılmış kiriş kesitleri gösterilmiştir.

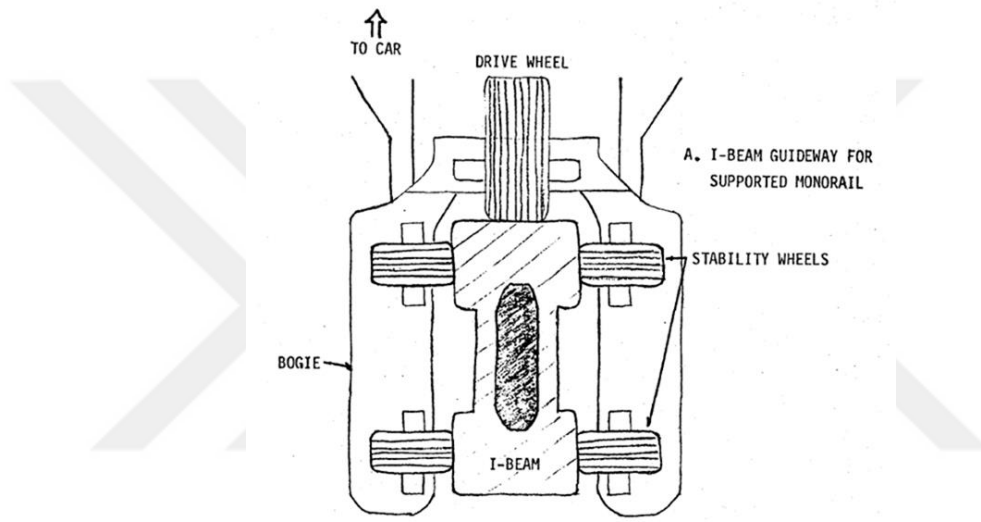


Şekil 3.17. Mevcut monoray hatlarında kullanılmış kılavuz (kiriş) enkesitleri, (Kennedy, 2004)

Her monoray kirişi statik olarak bir köprü kirişi gibi davranış göstermektedir. Bu kirişin monoray vagonunun zati yükü, vagon içerisindeki hareketli yükler, rüzgâr yükleri ve fren yükleri altında boyutlandırılmaları gereklidir. En önemli kriterlerden biriside monoray aracının hareketi için imal edilecek bu kiriş, adeta el ile eldiven gibi birbirine uyumlu olmalıdır. Aracın yol tutuşu ve sarsıntısız bir seyahat açısından bu uyum önem arz etmektedir. Daha geniş bir araç kullanılabilmesi için kiriş boyutlarının araca göre genişletilmesi gerekir. Bu durum ise yolcu taşıma kapasitesi açısından avantajlı olsa bile görünüm açısından estetik olmamaktadır (Kennedy, 2004).

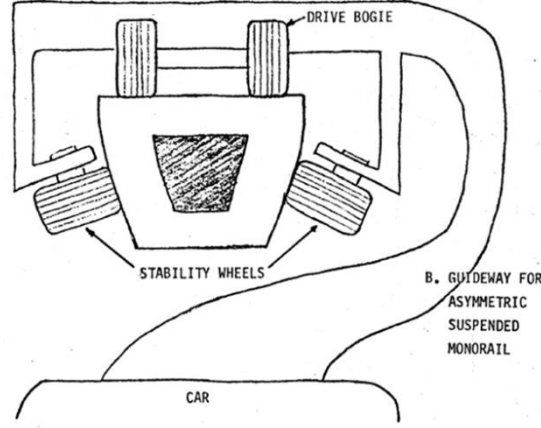
Her monoray tipi için çeşitli kesitlerde ve özelliklerde kiriş tasarımları geliştirilmiştir. Daha önce de ifade edildiği gibi en sık tercih edilen monoray tipi olan bindirmeli

monoray konfigürasyonları için, Şekil 3.18.'de görüldüğü gibi, ön gerilmeli betonarme I-profil tipi kiriş kullanılmaktadır. Bu tip kiriş kullanılmasıyla, yük tekeri (drive wheel) kirişin üst yüzeyi boyunca vagon dizisinin hareketini sağlarken, kılavuz ve amortisör tekerleri (stability wheels) de kirişin yatay yüzeyi boyunca vagonların dengesini sağlar. Alweg sistemlerde kullanılan kirişler genellikle 30m boyunda, 0,90m genişliğinde ve 1,50m derinliğinde tasarlanmaktadır. Düz veyakurp yarıçapının yüksek olduğu güzergâhlarda öngerilmeli prefabrik kirişler kullanılırken, düşük kurp yarıçapları durumundan standart betonarme kirişler tercih edilmektedir (Brackett, Biswas, Lucy, 1982).



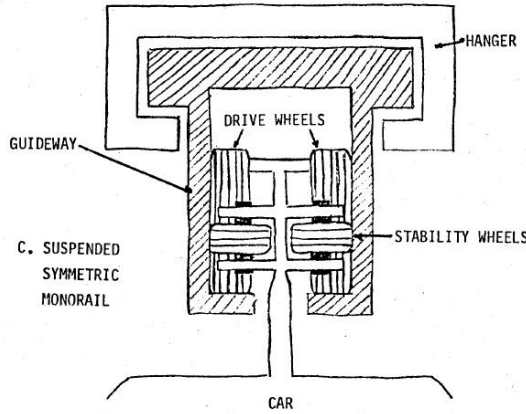
Şekil 3.18. Bindirme tipi monoray kirişi kesiti (Brackett, B., L., 1982)

Askı tipi olan monoraylar asimetric olarak tasarlandiklarinda genellikle çelik kirişe asılmak suretiyle hareket ve yatay dengelerini sağlarken, simetric olarak tasarlandiklari zaman çelik veya betonarme olarak imal edilebilirler (Şekil 3.19). Modern asimetric monoray sistemlerinde bulunan üçgen ya da düzgün yamuk kesitli çelik ray, yük ve kılavuz tekerlerin hareketini ve aracın yönlenmesini sağlamaktadır. Simetric askı tipi monorayların kiriş kesiti, kutu şeklinde olup hareketi sağlayan iç aksamı dış etkilerden koruyacak şekilde tasarlanmıştır (Brackett, B., L., 1982).



Şekil 3.19. Asimetrik askı tipi monoray kirişi kesiti (Brackett, B., L., 1982)

Dışardan ana iskeleye bağlanan bu kutu kirişe ilaveten, kutu kirişin içerisinde geçmeli bir şekilde bulunan ve araç dingillerinin kendisine bağlı olduğu öngerilmeli betondan ya da çelik profilden imal edilmiş bir alt kutu profil daha bulunmaktadır (Şekil 3.20). Kutu kirişi, dingil takımının içerisine sığabileceği ve rahat bir şekilde aracın hareketini ve dengesini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır (Brackett, B., L., 1982).



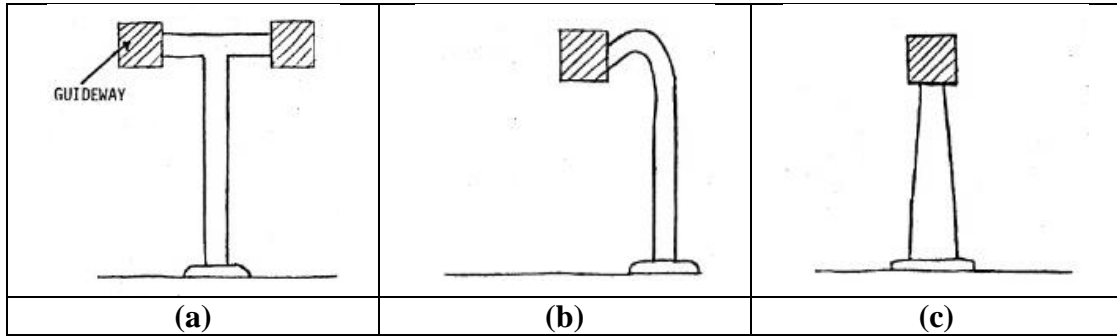
Şekil 3.20. Simetrikaskı tipi monoray kirişi kesiti (Brackett, B., L., 1982)

Bir monoray kılavuz kirişi tasarlanırken çözülmesi gereken en önemli problemlerden biri, sert kurpların nasıl teşkil edileceği ve bu iş için gerekli kirişlerin yapım sürecidir. Keskin virajlarda rüzgar yükleri ve merkezkaç kuvvetlerinin kombinasyonu kirişlerde burulma momenti etkisi ortaya çıkarmaktadır. Böylece, burulma momenti öngerilmeli beton konstrüksiyonun kiriş kesitinde burulma gerilmeleri üretmektedir (Andersen, 1962).

3.3.2. Taşıyıcı Kolon

Monoray hattını meydana getiren ana elemanlardan bir diğeri de kolonlardır. Kılavuz yol güzergâhı belirlenirken, yerine göre kimi zaman tünel ya da zemin seviyesinde tasarlanabilme imkanına rağmen, yolcu taşımacılığının havadan yapılması temel amaç olduğu için istisnai durumlar hariç kolon–kiriş tasarımı tercih edilmektedir. Genellikle monoray hattında kiriş boyutlarıyla kolon boyutlarının ters orantılı olduğunu söylemek mümkündür. Daha uzun kiriş açıklıkları seyrek ama daha geniş kesitli kolonlar gerektirirken, kısa kirişler daha sık ve ince kesitli kolonlar kullanılarak hattın teşkili mümkün olabilmektedir. Hat planlanırken mimari kaygılar da göz önüne alınarak kolon ile kiriş arasında bir altın oran yakalamak önemlidir. Seattle monorayının tasarımcıları iyi bir dizayn ve estetik algı oluşturabilmek için bu oranın, her bir kiriş açıklığını 36,5m, kolon çapını 0,91m ve kolon yüksekliğini 9,14m olacak şekilde tasarlamakla sağlanabileceğini savunmuşlardır (Kennedy, 2004).

Dünya üzerindeki monoray uygulamaları incelendiğinde T-formunda, ters-J formunda ve tek-kolon formunda kolon kesit şekillerinin ön plana çıktığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.21). Eğer iki yönlü trafik akışı isteniyorsa T-formunda tasarlanacak kolonların ekonomik bir şekilde iki hat kirişini de taşıması sağlanacaktır. Ters J ve tek-kolon formları ise daha çok tek hattı taşıma üzere tasarlanmaktadır (Brackett, B., L., 1982).



Şekil 3.21. Yaygın monoray kolonu şekilleri: (a) T (b) Ters J (c) I (Brackett, B., L., 1982).

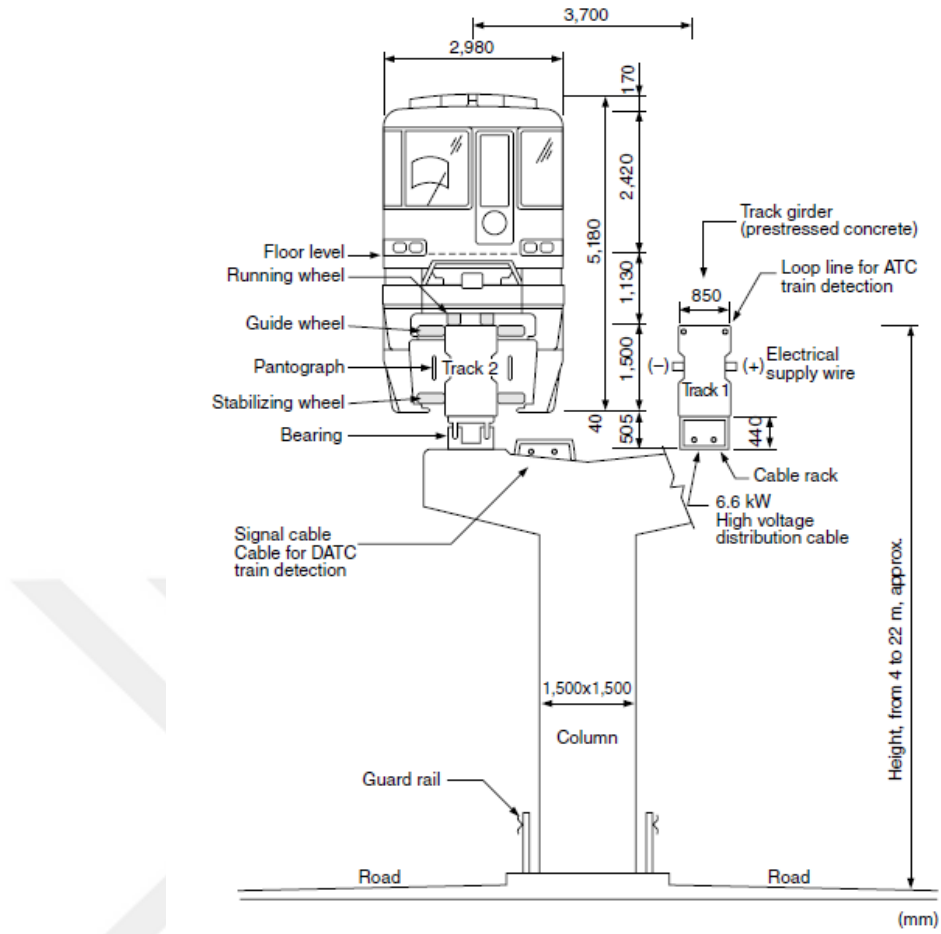
Asma köprülerde kullanılan kablo destekli kiriş sisteminin monoray hatlarında da kullanılabilmesi için bazı araştırmalar devam etmektedir. Bu yaklaşım, yapılaşma oranının düşük olduğu banilyö bölgelerinde daha uygundur. Bu sayede 90m'ye kadar kiriş açıklıklarının elde edilmesi mümkün olacaktır (Brackett, B., L., 1982).

Muhtemelen, kolonların yerleştirilme şekli kılavuz ray tipinin tercih edilmesinde en önemli etkidir. Yoğun yapılaşmanın ve çeşitli ulaşım hatlarının bulunduğu karmaşık bir kentsel ortamda, yapısal sınırlamalar kolonların yerleştirilmesini güçleştirmekte ve ciddi anlamda kısıtlamaktadır. Dikkat edilmesi gereken en önemli kural, kolonların caddelerin kesiştiği yerlere inşa edilmemesidir. Bu sadece yol üzerinde araçların kullandığı alanı genişletmekle kalmaz hem de araç görüş mesafesine de katkıda bulunmaktadır. Ayrıca sokak – cadde bağlantıları, garaj – sokak bağlantıları ya da işletmelerin yükleme – boşaltma bölgelerinden de kolonların yerleştirilmeden hattın geçirilmesine dikkat edilmelidir. Çoğu zaman kamu hizmetlerinin sağlandığı bölgeler, kaçınılması gereken alanlardır. Bir başka belirleyici faktör de komşu mimari yapının yapılacak monoray hattıyla entegrasyonudur. Çoğu kentsel tasarımcı ve bina sahipleri yapılacak monoray hattının estetik entegrasyonuna karşı çok hassastır. Tüm bu kriterler dikkate alındığında, giriş uzunluklarından, kolon boyutlarının tasarımsal çeşitliliği ve kentle uyumunun pek çok yapısal, çevresel ve sosyal etkene bağlı olduğu görülecektir (Brackett, B., L., 1982).

Şekil 3.22’de Y kolon sistemine sahip bir bindirme tipi monoray kesiti gösterilmektedir. Monoray kılavuz raylarının altında araç trafiği varsa önerilen minimum kolon yüksekliği 5 metredir. Bununla beraber, kılavuzun görsel etkisini azaltmak için 10 ile 12 metre arasında daha yüksek kolonların kullanılması yönünde bir eğilim vardır. Bu yaklaşımın monoray yolcularına daha iyi bir manzara sağlamak gibi bir katkısı da vardır (Kennedy, 2004).

3.3.3. Makaslama İstasyonları

Monoray ulaşım sistemlerinin işletme tekniği ve yapısal elemanlarından ötürü, diğer raylı sistemlerden farklı olmakla birlikte, makaslama sistemine de ihtiyaç duyulabilmektedir. Özellikle Japonya’da bulunan birçok monoray hattında sıklıkla kullanılan makaslama sistemleri sayesinde tek hatlı güzergâhlar dahi çiftyönde olarak kullanılabilir (Şekil 3.23).



Şekil 3.22. Y kolon sistemine sahip bir bindirnetipi monoray kesiti (Nehashi, 2001)



Şekil 3.23. Monoray hattı makaslama kirişleri (Sol: URL26, 2018) (Sağ: URL27, 2018)

Özellikle Japonya’da kullanılan Shonan askı tipi monoray hattında makaslar kullanılarak, tek hattın çift yönlü olarak kullanılabilmesi sağlanmıştır. Disneyland monoray hattı döngüsel olarak çalışmasına rağmen bakım merkezlerine giriş-çıkış ve park durumları için makaslama sistemleri bulunmaktadır. Geleneksel makaslama sistemlerinin yanında özelleştirilmiş çözümlerde gözlenmektedir. Las Vegas’ta bulunan monoray hattında tek yönlü, çapraz ve eksen dönüşlü (pivot) tipi makasların kullanıldığı bilinmektedir. Monoraylarda makaslama elemanı olarak betonarme ya da çelik kirişler kullanıldığı için (Şekil 3.23), demiryollarında kullanılan makaslama elemanlarına göre hat değiştirme süreleri oldukça artmaktadır. Hat değiştirme süresi demiryolu makaslarında 0,6 saniye iken monoray makaslarında 15 saniyeyi bulmaktadır (Obermayer Proje, 2009).

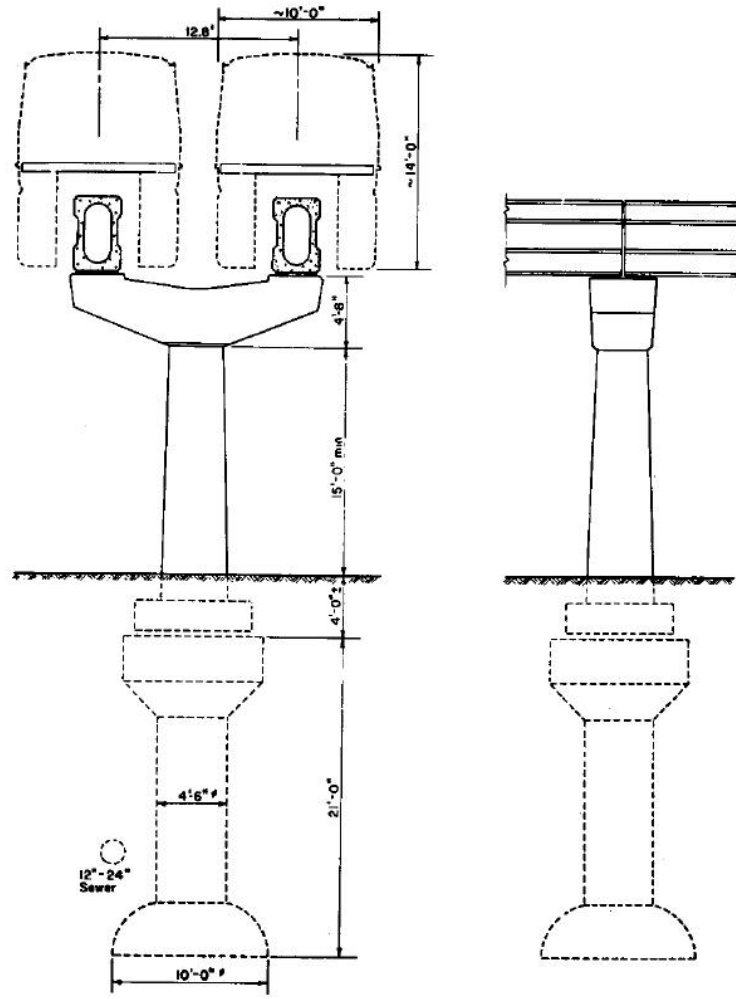
3.3.4. Kolon Altı Temel

Monoray hattının temel yapı bileşenlerinden biriside hiç şüphesiz temelidir. Elbette, seçilen kirişin, araç tipi ve ağırlığının, kolon boyutlarının ve monoray tipinin, temel tasarımını doğrudan etkilediği malumdur. Yüklerin (Kiriş zati, araç, rüzgar, deprem vs.) doğru bir şekilde zemine aktarılabilmesi için kullanılacak temel tipi ve boyutlarının doğru seçilmesi son derece önemlidir.

Andersen (1962), Seattle Monoray hattının temel özelliklerini ve yapım aşamalarını genel hatlarıyla incelemiştir. Çalışmasında, istisnai durumlar hariç keson temel (ayak temel) yapısının tercih edildiğine değinmiş ve açılan geniş temel çukurunun içerisine sahada temel kalıpları hazırlandıktan ve donatılar yerleştirildikten sonra yerinde dökme beton ile imalatın tamamlandığından bahsetmiştir. Temelin üzerine oturacak olan kolonun boyutlarının 1,2 metresi zemine gömülü olacak şekilde 7,2m yüksekliğinde olduğunu belirtmiştir (Şekil 3.24). Temel hazırlanırken sırasıyla aşağıda belirtilen aşamalara göre inşaat sürecinin geliştiğini aktarmıştır:

- Temel inşaatının ilk aşamasında 3m genişliğinde ve uzunluğunda kare bir kesit şeklinde bir temel çukuru kazılır.
- Temel derinliği 2,1m’ye ulaşıncaya kadar kazı işlemi devam eder. Temel kazı sahası geçici koruma amaçlı prefabrik kerestelerle kapatılır.
- 1,37m genişliğinde olan ve cadde seviyesinden 7,5 metre derinliğinde sondaj çukurları açılır.

- Zemin taşıma koşullarına göre temelin alt ve üst pabuç boyutları 2,4 ile 3,0 m çapları arasında boyutlandırılır.
- Komşu kanalizasyon hattının yakınlığı (şekilde görüldüğü üzere) ve diğer mimari kısıtlamalar sebebiyle radye temel ya da tekil temel yerine şekilde belirtilen boyutlarda temel kesiti kullanılır. Bu kısıtlamaların giderilmesiyle kazı derinliği artırılarak derinliği fazla ama daha az alanı işgal edecek bir temel tasarlanılarak yer altı tesisleriyle yaşanabilecek bir çakışmanın önüne geçilir.



Şekil 3.24. Seattle monorayının temel kesiti (Andersen, 1962)

3.3.5. Monoray Aracı / Vagonlu Yolcu Taşıtı

Monoray hattının tipine göre değişiklik gösteren araçları birbirinden ayıran temel fark, aracın kılavuz raya göre nasıl konumlandırıldığıdır. Standart raylı sistemlerdeki taşıt ile monoray taşıtı arasındaki en belirgin farklardan birisi, her monoray vagonunda aracın bireysel hareketini sağlayan bir ünitenin bulunmasıdır. Her vagona bireysel itiş gücü bulunduğu için özel bir lokomotif mevcut değildir. Ancak sürücülü monorayların en ön

vagonunda şoför kabini yer almaktadır. Bazen de tamamen otomasyonlu şoförsüz olarak da tasarlanabilmektedirler. Aracın boyutları, ağırlığı, ihtiyaç duyulan araç performansı ve yolcu taşıma kapasitesi kullanılan sistem tipine göre çeşitlilik arz etmektedir (Brackett, B., L., 1982). Şekil 3.25'te Tokyo Haneda monorayı aracına ait iç mekan görünüşü ve dışarıdan görünüm sunulmuştur.



Şekil 3.25. Tokyo Haneda monorayı iç mekanı ve raydaki görünümü (URL28, 2018)

Vagon başı yolcu kapasitesi Disneyworld'de kullanılan Alweg tipinde 40'dan az olup, diğer monoray tiplerine göre yaklaşık 1m yükseltilmiş olan Japonya Haneda'da uygulanan Hitachi monorayı 229 yolcuya kadar taşıyabilmektedir. Maksimum 229 yolcu kapasitesi, her yolcu için yalnızca bir metrekare sağlayan kaza sınırlaması nedeniyle uç değer olarak belirtilmiştir. Tahrik üniteleri genellikle 600V ile çalışmaktadır (şu anda 750Vda kullanılmaktadır) ve doğru akım (DC) motorları 96 km/h'e kadar hıza sahip araçları itme kapasitesine sahipken ortalama çalışma hızları 72 km/h civarındadır (Brackett, B., L., 1982).

Birbirine akuple edilmiş vagonlar yerine mafsallı vagonlar kullanılarak bir araya getirilmiş monoray araçlarının kullanılmasıyla, tekerler üzerindeki yükün azaltılması ve klasik raylı sistemlere göre daha dar dönüş açılarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Kapasite ihtiyacının çok olduğu zaman dilimlerinde vagon dizileri birbirine akuple edilerek kapasite ihtiyacı giderilebilir. Kılavuz rayın tek ve dar yapılabilmesi araçların kapladığı alanın dar olabilmesine yarar sağlarken, yolcu taşıma kapasitesi ve yolcu dolaşım randımanından fedakarlığı da beraberinde getirmiştir (Obermayer Proje, 2009).

3.3.6. Duraklar / İstasyonlar

Monoray sistemleri yapıları gereği yükseltilmiş oldukları için duraklarında zeminden yukarıda tasarlanması kaçınılmaz olmaktadır. Bazı durumlarda, Disneyworld otelinde

olduğu gibi, duraklar hattın daha aşağı kot seviyesinde teşkil edilebilir. İstasyon tasarımı, hat sayısına ve istenilen yolcu indirme-bindirme noktalarına göre çeşitlilik arz eder. Çift yönlü hat durumunda yolcu indirme-bindirme platformunun orta bölgedeki aracın arasında kalacak şekilde çözümlenmesi genelde daha uygundur. Bazen çift yönlü hatlarda güzergâha dokunulmadan, güzergâh etrafında gidiş-dönüş için sağlı sollu iki ilave platformlu durak tasarımına da rastlanabilmektedir. Tek yönlü hatlarda ise platform çevresel faktörlere de bağlı olarak her iki yönde de teşkil edilebilir (Şekil 3.26). Yapılacak platform; asgari olarak iniş-biniş gerçekleştiren yolcu trafiğini kaldıracak hacimde, biniş platformu aracın boyutlarına uygun, taşıma kapasitesi ihtiyacı karşılayacak nitelikte ve olumsuz hava koşullarından yolcuları muhafaza edecek şekilde olması gereklidir (Brackett, B., L., 1982).



Şekil 3.26. Yapılan ilk Alweg tabanlı monoray olan Seattle monorayının durak platform (URL29, 2018)

Monoray duraklarını meydana getiren belli başlı öğeler; trenin boyuyla orantılı durak platformları, duraklara yolcuların iniş-çıkış yapacakları uygun koridorlar (yaya merdivenleri, kayar merdiven, engelli asansörleri, dikey taşıma yolları gibi), çatı konstrüksiyonu ve çatı kaplaması gibi kısımlardan oluşmaktadır. Zemin durumunun uygun olduğu yerlerde kazıklı temel kullanılmaktadır. Ayak yükseklikleri arttıkça eğilme momenti de paralel olarak artacağı için özellikle deprem bölgelerinde ayak temellerinin boyutlandırılması son derece önemlidir (Cankaya, 2011).

3.3.7. Elektromanyetik Bileşenler ve Güç Sistemleri

Hafif raylı sistemler gibi monoraylara da bütünleşik elektrik motorları güç verir. Bindirme monoraylarda hareket için gerekli olan elektrik telleri kılavuz ray boyunca ve rayın yan taraflarına asılı biçimde araca güç sağlamaktadır. Monorayın etek kısmında bulunan pabuç, tellerden elde edilen elektrik akımını toplamaktadır (Ay, 2016).

En önemli elektromanyetik bileşenleri arasında komutakontrol merkeziyle her bir aracın iletişimini sağlayan cihaz ve ekipmanlar, hattın makaslama, sinyalizasyon ve aydınlatma ekipmanları ile elektronik gişe sistemleri sayılabilir. Maglev tipi yüksek hızlı monoraylar diğer akranlarına nazaran daha kompleks bir elektromanyetik mekanizmaya sahiptir (Cankaya, 2011).

3.4. Sistem Üreticileri ve Teknolojileri

Modern monoray sistemlerinin yaygınlaşmasında hiç şüphesiz Alweg ve SAFEGEtabanlı sistemleri baz alan araçların geliştirilmesi önemli bir rol oynamıştır. Hali hazırda, monoray ulaşım sistemi üreten firmalar arasında Hitachi, Bombardier, Futrex System, OTG High Road ve Malezya Monorail bulunmaktadır. Bunlar arasında en büyük pazar payına sahip olanları Hitachi ve Bombardier firmalarıdır (Cankaya, 2011).

3.4.1. Hitachi

Hitachi firması bindirme (straddle) tipi monoray üretmek için Alweg'ten telif haklarını satın almıştır. Her ne kadar ilk araçlarda Alweg standartlarına sıkı sıkıya bağlı kalsalar da modern taşıtlarda birçok modifikasyonlar yapılmıştır. Haneda monorayından (1964) başlamak üzere yapılan en radikal değişiklik tren boylarının 10m'den 14m'ye uzatılması olmuştur. Ekleddikleri yönlendirilebilir dingil takımı sayesinde daha geniş araçların dönüş çapı sabit tutularak yönlendirmeleri mümkün olmuştur. Haneda tecrübesinden sonra 1000 serisi monoray (Large) 1980 yılında Osaka'da kullanılmıştır (Kennedy, 2004).

Günümüzde Hitachi Small, Hitachi Standard ve Hitachi Large (1000 serisi) olmak üzere üç sınıf araç üretilmektedir. Vagon kapasitesi (4 yolcu/m²) 64 – 120 yolcu aralığında tespit edilmiştir. 6 vagon ve 2dk sefer sıklığıyla çalışan mevcut monoray sistemlerinin kapasitesi tek yönde 49.080 yolcunun (pphpd) seyahatini kaldırabilecek durumdadır. Güncel veriler dikkate alındığında diğer raylı sistemlerle toplu taşıma konusunda monorayların boy ölçüşebilecek bir konuma geldiği görülmektedir. Acil durumlarda yolcular Hitachi'nin geçiş tasarımı sayesinde bir monoraydan diğerine kolaylıkla aktarılabilir. Bombardier M-VI ile Hitachi (Small) iki akslı vagonlar olup her vagon toplamda 12 adet (2*2 yük tekeri + 2*2 yönlendirme tekeri + 2*2 amortisör tekeri) tekerleğe sahiptir (Cankaya, 2011).

3.4.2. Bombardier

Özellikle görsel tasarımıyla dikkat çeken Bombardier MVI, daha çok Disneyworld'da halen işletmede olan modelleriyle akıllarda kalmıştır. Yük tekerlerinin yolcu kompartmanlarının arasında bulunması ile daha düşük profilli ve kılavuz raya daha iyi kenetlenen araçlar elde edilebilmiştir. Diğer Alweg tasarımlarından daha düşük profilli olmasına rağmen uzunluğu neredeyse aynıdır ancak yolcu taşıma kapasitesi bakımından Hitachi ve Malezya Monorayı'nın gerisindedir. Estetik açıdan hoş ve futuristik tasarımına ilave olarak yolcu kapasitesinin artırılmasıyla beraber, ileride pazarda etkili araçlarının görülmesi beklenmektedir. Araç özellikle sadece sürücü kabininin sığabileceği düşük profilli burun kısmıyla diğer monoraylardan farklılaşmaktadır. Disneyworld'da işletmeye alınan ilk prototiplerin aksine yolcuların aracın burun kısmında seyahat imkânı bulunmamaktadır (Kennedy, 2004).

En sık kullanılan Bombarider aracı model olarak Mark-VI'dır. Toplam 8 vagon dizisinden oluşan araçlar, metre kareye 4 yolcu taşıyabilirken, 1.5dk'lık sefer aralığı ve 80 km/h hızla ulaşabilmektedir. Bu verilere göre saatte (pphpd) 15.500 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Güncel Bombardier uygulamalarından olan Las Vegas Monorayı'nın (7 istasyon ve 6.5km) km başına maliyeti 55.000.000 USD olduğu bilinmektedir (Cankaya, 2011). Şekil 3.27'de Innovia modelinin dışarıdan ve içeriden görünümü verilmiştir.



(a)

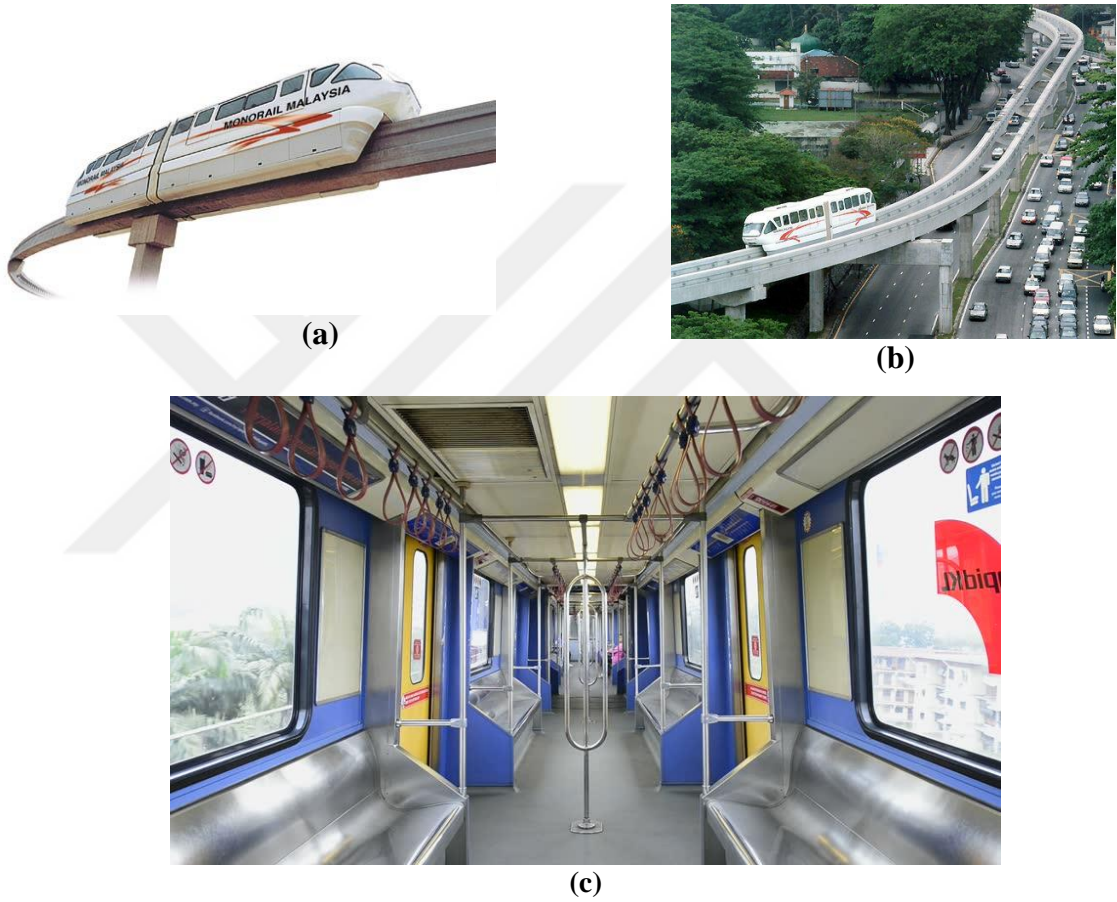


(b)

Şekil 3.27. Bombardier Innovia monorayı: (a) Raydaki görünüm (b) Vagon içi görünüm (URL30, 2018)

3.4.3. Malezya Monorayı

İlk aşamada Hitachi tarafından üretilen araçlar daha sonra yerli imkanlar kullanılarak Malezya Monorayı ismiyle daha ucuza mal edilmiştir. MM (SCOMI) tasarımı Hitachi'nin yüksek kapasitesiyle, Bombardier'in estetik görüntüsünü adeta bir kombinasyonu gibidir (Şekil 3.28). 4 vagonlu MM'in uzunluğu yine 4 vagonlu olan Bombardier'den daha kısa olmasına rağmen %40 daha fazla yolcu taşıma kapasitesine sahiptir (Cankaya, 2011).



Şekil 3.28. Malezya monorayı: (a) Monoray aracı (b) Kılavuz ray-yol geçişi (c) Araç içi görünüm(URL31, 2018)

Şu anda toplamda 8.6 km uzunluğunda olan Kuala Lumpur Monoray hattı, kentin diğer raylı sistemleriyle tam bir entegrasyon içerisinde çalışmaktadır. Hattın üzerinde seyrettiği cadde iş merkezlerinin yoğun bulunduğu semtlere uğramaktadır. Her biri iki vagonlu (hat yoğunluğuna göre 4 ile 6 vagona kadar araç sayısı artırılabilir) oluşan 12 set aracın hizmet verdiği hattın maksimum hızı 80 km/h iken aracın ivmelenmesi $1,1 \text{ m/s}^2$ dir (Mohamad, 2003).

Tablo 3.3’deki değerlere göz atıldığı zaman Hitachi’nin Alweg tasarımının yolcu taşıma kapasitesi ile ön plana çıkmaktadır. Ayrıca kapladığı genişliğin (2,98m) diğer araçlarla hemen hemen aynı olması önemli bir avantaj olarak göze çarpmaktadır. Yolcu kompartmanı diğer tasarımlara göre 1m daha fazla yükseltildiği için, kapasitede ciddi bir artış gözlenmiştir. Yolcu iniş – binişleri açısından ve görsel estetik açısından en cezbedici aracın Bombardier M6 olduğu bilinmektedir.

Tablo 3.3. Üç farklı monoray aracının özelliklerinin karşılaştırılması (Kennedy, 2004)

Özellikler	Hitachi Large (Series 1000)	Monorail Malaysia	Bombardier M6
Vagon/Araç	En az 2	2,4,6,8,10,12	En az 3
Vagon Uzunluğu (m)	14	10,4 uç; 8,6 ara	11,8 uç; 9,2 ara
Genişlik (m)	2,98 m	3,0 m	2,64 m
Yükseklik (m)	5,2 m	4,3 m	3,4 m
Ara Geçişli	Evet	Evet	Hayır
Kapı/Kenar/Vagon	2 Kayar Kapı	2 “Tapa” Kapı	1 “Tapa” Kapı
Kapı Genişliği(m)	1,1	1,25	1,626
Boji Yerleşimi	Orta Koridor Altı	Orta Koltuklar Altı	Vagon Sonları
Vagonda Dingil Sayısı	4	2	2
Maksimum Dingil Yüğü(t)	10 ~ 11	10	10
Vagon Ağırlığı(t)	11	~10	
Süspansiyon	Hava	Hava	Hava
Voltaj	1500 VDC	750 veya 1500 VDC	750 VDC
4 Vagonlu Araçta Motor Sayısı	16 adet 75 kW AC (VVVF)	-	4 adet 110 kW AC
Maksimum Tasarım / İşletme Hızı(km/h)	90/80	90/80	85/75
İvmelenme (m/s ²)	-	1,1	1,0
Tipik 4 vagonlu katar için;Normal kapasite – 4kişi/m ² varsayımıyla - (Oturan/Ayakta) (yolcu)	415 (177/238)	316 (96/220)	224(84/140)

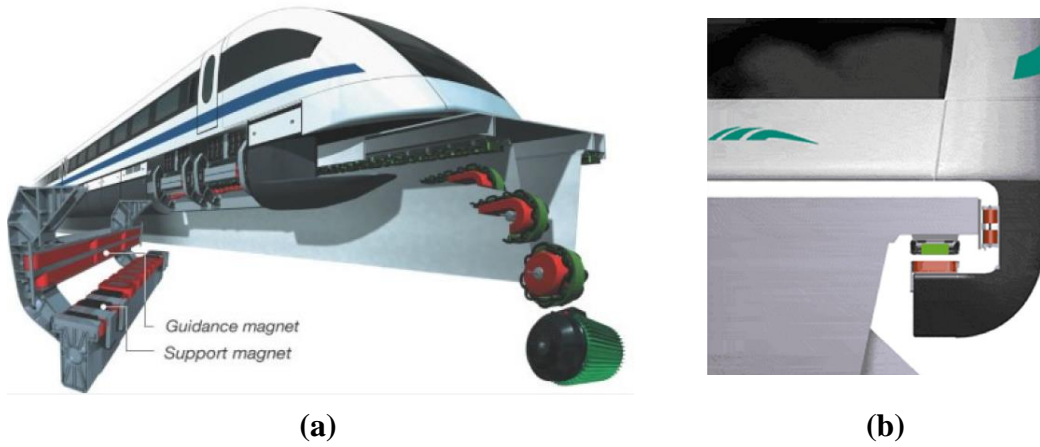
3.4.4. Maglev Monorayı

Daha çok şehirlerarası toplu taşıma amaçlı düşünülen Maglev sistemleri, diğerlerine göre gelişmeye en açık olan monoray çözümü olmasının yanında, üzerinde geliştirilmiş pek çok yeni tasarım bulunmaktadır. Hareket mekanizması olarak tekerlek yerine mıknatısları kullanan Maglev sistemlerinin gücünü sağlayan elektrik motoru kılavuz

rayın kendisi olup, hat boyunca lineer motor içerisinde çözülmektedir. Doğrusal motor, Maglev trenini hat boyunca 500 km/h gibi yüksek hızlara ulaştırabilecek itme gücünü sağlayabilmektedir. Araçla kılavuz ray arasında herhangi bir temas olmadığı için sürtünme kuvveti de bulunmamaktadır. Böyle devasa hızlara ulaşan aracın içerisinde meydana gelen manyetik alan, saç kurutma makinesinin yol açtığı manyetik alanın sadece onda biri kadardır. Ana şebekeyeden gelen herhangi bir güç kaynağı olmaksızın yaklaşık bir saat kadar kendi aküleriyle hareket edebilmektedir. Ne üst tellerden kaynaklanan bir kıvılcım riski ne de tekerlek gürültüsü Maglev için söz konusu değildir (Monorails Australia, 2015).

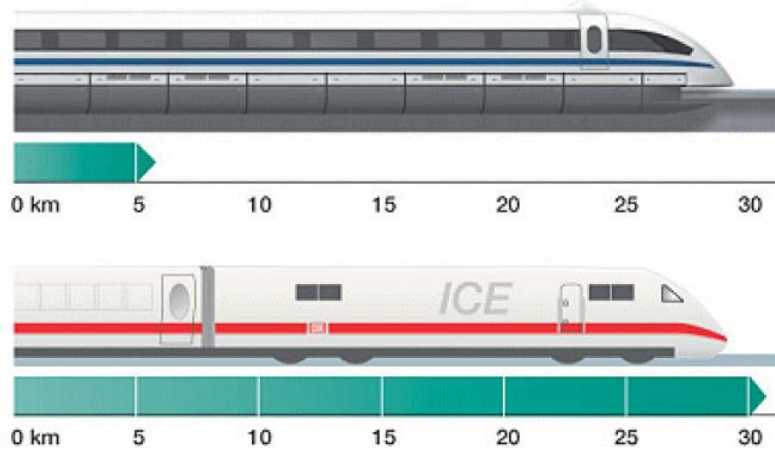
Çin'in Shanghai şehrinde uygulanan Transrapid Maglev sisteminin diğer raylı sistemlere ve monoray uygulamalarına kıyasla gelişmiş ve özelleştirilmiş bazı fonksiyonları şöyle sayılabilir:

- Diğer monoray çözümlerinin aksine daha geniş bir iç mekân sunan Maglev sistemlerinde koridor dâhil 3x3 koltuk düzenine kadar oturan yolcu taşınabilmektedir.
- Ice-3 hızlı tren sistemine kıyasla Transrapid Maglev çözümleri ortalama %25 daha az enerji tüketimine sahip olmakla birlikte 400 km/h hıza ulaşabilmektedir.
- Raylı sistem tasarımları arasında en az CO₂ salınımı ile çevre dostu olarak bilinmektedir.
- Ulaşabildiği büyük hızlara rağmen oluşturduğu düşük manyetik alan tesiriyle herhangi bir yan etki oluşturmamaktadır (Şekil 3.29).



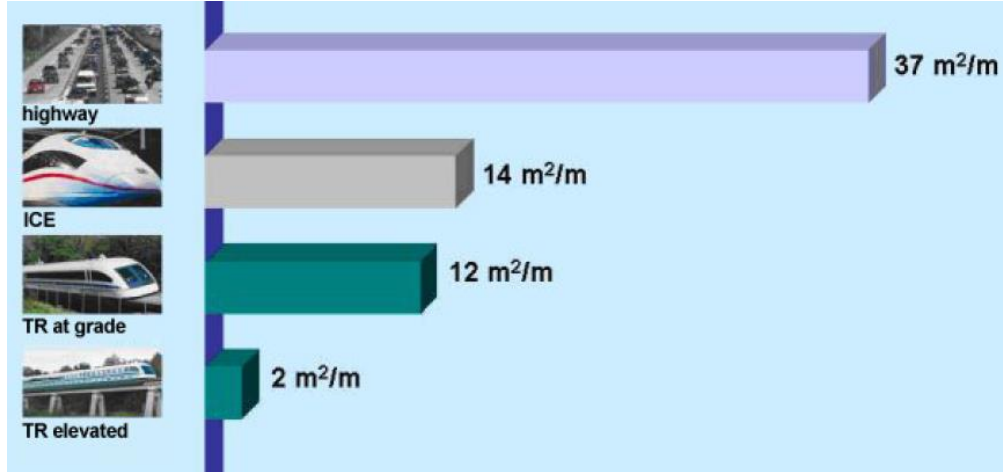
Şekil 3.29. Maglev monorayı: (a) Kesit görünüm (b) Hareket mekanizması (Monorails Australia, 2015)

- Hızlanma bakımından raylı sistemler arasında açık ara en hızlı araçlardan birisidir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Maglev ve Yüksek Hızlı Tren (YHT)'nin 300 km/h hızına ulaşma süreleri, (Monorails Australia, 2015)

- Zeminde toplu ulaşım sistemlerinin kapladığı alanlar kıyas edildiği zaman aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere 37m genişliğinde bir alanı işgal eden otobana, 14m'lik bir genişliği işgal eden bir hızlı tren sistemine kıyasla, yükseltilmiş Maglev sistemi sadece 2m'lik bir alanı kullanmaktadır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Otoban, Yüksek Hızlı Tren (YHT) ve Monorayın zeminde kapladığı alanlar (Monorails Australia, 2015)

3.5. Dünya Üzerindeki Çeşitli Monoray Uygulamaları

Gelişmekte olan ülkeler arasında sayılan Hindistan, Brezilya, Malezya ve Tayland gibi ülkelerde de kullanılmaya başlanan monoray sistemleri, artık Tramvay ve Metro toplu

taşıma sistemlerine ciddi bir alternatif olarak görülmeye başlanmıştır. Bunun yanında, Güney Kore, Meksika ve İran ise son yıllarda hazırlamış oldukları monoray projeleriyle ön plana çıkmaktadırlar. Türkiye’de İstanbul ilinde “Havaray”olarak anılan monoray projesinin ön fizibilite çalışmaları tamamlanmıştır. Yapılacak olan monoray hattı için uygun görülen güzergâh Sefaköy – Halkalı - Başakşehir olarak belirtilmiştir. Dünya üzerinde pek çok ülkede monoray sistemlerine rastlamak mümkündür. Şekil 3.32-3.42 arasında dünya üzerindeki belli başlı monoray sistemleri genel hatlarıyla gösterilmiştir.

3.5.1. Avrupa Kıtasından Örnekler

Şekil 3.32’de Almanya’nın Wuppertal şehrinde yer alan Wuppertal monorayı, Şekil 3.33’de Rusya’nın Moskova şehrinde bulunan Moskova monorayı, Şekil 3.34’de Almanya’nın Dortmund şehrinde bulunan, H-Bahn / Dortmund monorayı, Şekil 3.35’de İngiltere’nin Chester şehrinde bulunan Chester Zoo monorayı gösterilmiştir.

Wuppertal Monorayı Açılış Tarihi: 1901

Konum: Wuppertal, Almanya

Günlük taşınan yolcu miktarı: 82.000/gün

Hat Uzunluğu: 13.3 km İstasyon Sayısı:20

İşletmede olan dünyanın en eski askı tipi monorayıdır. Saatte 56 km/sa hıza ulaşabilmektedir. Hat çift yönlü olarak hizmet vermektedir. 2.5 dk aralıklarla çalışan araçlar saatte 3500 yolcuyla taşıma yapmaktadırlar.

Kaynak: monorails.org

Şekil 3.32. Wuppertal monorayı hat bilgileri



Şekil 3.33. Moskova monorayı hat Bilgileri



Şekil 3.34. Dortmund H-Bahnmonorayı hat bilgileri



Şekil 3.35. Chester Zoo monorayı hat bilgileri

3.5.2. Asya Kıtasından Örnekler

Şekil 3.36'da Çin'in Chongqing şehrinde yer alan Chongqing monorayı, Şekil 3.37'de Çin'in Shanghai şehrinde yer alan Shanghai monorayı, Şekil 3.38'de Japonya'nın Chiba şehrinde yer alan Chiba City monorayı, Şekil 3.39'da Japonya'nın Osaka şehrinde yer alan Osaka monorayı, Şekil 3.40'da Güney Kore'nin Daegu şehrinde yer alan Daegu monorayı, Şekil 3.41'de Hindistan'ın Mumbai şehrinde yer alan Mumbai monorayı gösterilmiştir.



Şekil 3.36. Chongqing monorayı hat bilgileri



Şekil 3.37. Shanghai Maglev monorayı hat bilgileri



Şekil 3.38. Chiba City monorayı hat bilgileri

Osaka Monorayı

Açılış Tarihi: 1990

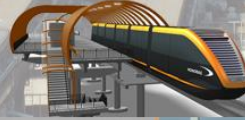
Konum: Osaka, Japonya



Günlük taşınan yolcu miktarı: 100.000+/gün



Hat Uzunluğu: 28 km



İstasyon Sayısı:18

Kemer tipi güzergah şekliyle kent içinde bulunan raylı sistemler arasında bir bağlantıyı sağlama amacıyla inşa edilen Osaka monoray hattının toplam uzunluğunun 50 km olması planlanmaktadır. Ulaşabileceği azami sürat 75 km/s olan hattın 1995 yılındaki şiddetli Kobe depremini hasarsız bir şekilde atlamaıyla ön plana çıkmıştır.



Kaynak: monorails.org

Şekil 3.39. Osaka monorayı hat bilgileri

Daegu Monorayı

Açılış Tarihi: 2015

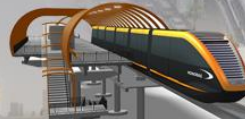
Konum: Daegu, Güney Kore



Günlük taşınan yolcu miktarı: 50.000/gün



Hat Uzunluğu: 24 km



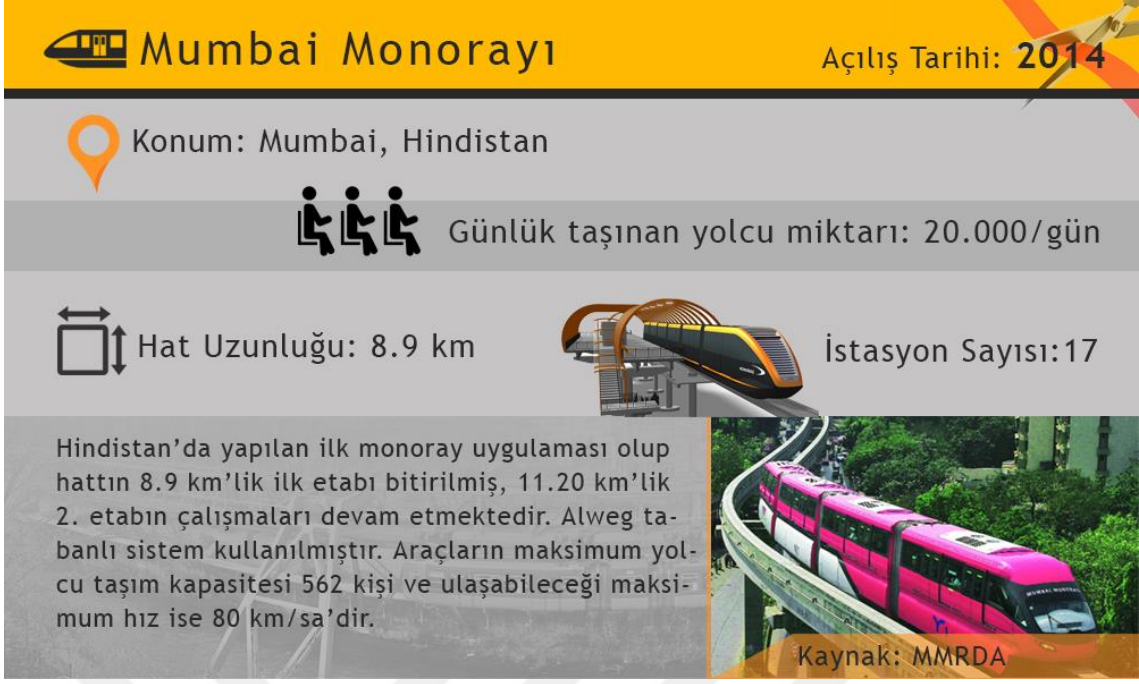
İstasyon Sayısı:30

Yapılmış en güncel monoray sistemlerinden biridir. 2008 yılında 333 milyon dolar karşılığında Hitachi firması Güney Kore'nin 4. büyük kenti olan Daegu kentine inşa edilen hat, şehrin g.doğu ve k.batı'sını birbirine bağlamaktadır. Görsel açıdan en etkileyici monoray hatlarından birisidir.



Kaynak: monorails.org

Şekil 3.40. Daegu monorayı hat bilgileri



Şekil 3.41. Mumbai monorayı hat bilgileri

3.5.3. Amerika Kıtasından Örnekler

Şekil 3.42'de Amerika Birleşik Devletleri'nin Las Vegas şehrinde yer alan Las Vegas monorayı gösterilmiştir.



Şekil 3.42. Las Vegas monorayı hat bilgileri

3.6. Monoray ve Diğer Toplu Ulaşım Sistemlerinin Karşılaştırılması

Dünya üzerinde birçok ülkede işletmeye açılmış ve hala projesi devam eden monoray sistemlerinin, diğer raylı toplu taşıma sistemleri yerine tercih edilmesinde etkili birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajların aşağıda başlıklar halinde sıralanmıştır.

3.6.1. Yükseltilmiş Yol Seviyesi ve Çevresel Kazanımlar

Monoray sistemleri diğer raylı sistemlerden farklı olarak sadece özelleştirilmiş ve yükseltilmiş güzergâhlarda kullanılabilirler (Şekil 3.43). Bu açıdan bakıldığında monoray hızlı ve kesintisiz bir ulaşım sistemi olarak tanımlanır. Yükseltilmiş olduğu için şehri, tramvay ya da HRS'nin aksine, birbiriyle ulaşım açısından bağlantısı kısıtlı bölümlere ayırmamakta, bunun aksine diğer vasıtaların ve hatta yayaların şehir içerisindeki ulaşımını rahatlatmaktadır. Genellikle yükseltilmiş olmalarına rağmen, Chongqing (Çin) monorayında olduğu gibi nadiren (sadece 1. etabın ilk kısmı) yer seviyesinin altında çalışmakta ve adeta hafif metro gibi hizmet vermektedir. Yükseltilmiş olmasıyla araç trafiğinin rahatlatılması ve diğer toplu taşıma araçlarıyla olması muhtemel çakışmaların önüne geçilmesi sağlanmış olur (Kennedy, 2004).

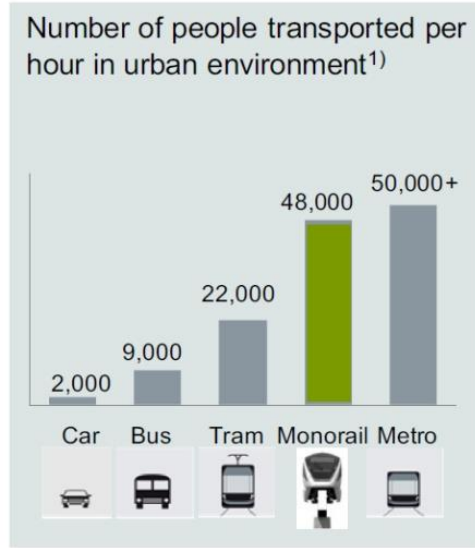


Şekil 3.43. Sydney monorayı köprü geçişi (URL32, 2018)

Monoraylar yapıldıkları şehirlerde çevre kirliliğine neden olmayan ve uygun tasarımlar ile uygulandıklarında şehre vizyon katan monorayların, şehrin görsel estetiğine hatta Sydney Monorayı'nda olduğu gibi şehrin turizmine gözle görülür katkı sağladığı bilinen bir gerçektir. Ayrıca, şehir estetiği kriteri de göz önüne alındığında, halkın ilgisini üzerine çekme ve yatırımcılardan destek alınması konusunda da önü açıktır (Ay, 2016).

3.6.2. Yolcu Taşıma Kapasitesi

Monoraylar, diğer raylı toplu taşıma araçlarından hacimsel olarak daha küçük ölçekli görünmesine rağmen, özellikle sefer sıklığı avantajıyla da birlikte ciddi bir yolcu taşıma kapasitesine ulaşılabilmektedir (Şekil 3.44).



Şekil 3.44. Ulaşım sistemleri saatlik taşıma kapasiteleri (Timan, 2015)

Şekil 3.44'den de anlaşılacağı üzere monoray yolcu taşıma kapasitesi bakımından, metro sistemlerine yakın değerler elde etmektedir. Araç iç hacminin yeni tasarımlarla yolcular açısından daha elverişli hale getirilmesiyle birlikte, özellikle Hitachi ve Malezya Monorayı'nda olduğu gibi, günlük kapasitede dikkate değer bir artış gözlenmiştir. Metrodan sonra, en çok yolcunun taşınabileceği toplu taşıma sistemi haline gelmiştir.

3.6.3. Güvenlik

Tüm toplu taşıma sistemleri arasında hangi çeşit kaza tipi (ölümcül, yaralanmalı, az hasarlı) göz önüne alınırsa alınsın, en güvenli ulaşım aracının monoray olduğu bir gerçektir. İşletmedeki hatlarla ilgili kayıtlar göz önüne alındığında bir iki istisnai durum hariç şu ana kadar ciddi bir kaza kayıt altına alınmamıştır. Bu istisnai durumlardan birisi, 1950 yılında Wuppertal Monorayı içerisine tanıtım amaçlı alınan Tuffi isimli yavru sirk filinin panik yaparak camı kırıp monoraydan aşağı atlamasıyla oluşan kazadır (Şekil3.45). Kaza neticesinde yaralanan bazı yolcular vardır (Web Archive, 2017) (Ay, 2016).



Şekil 3.45. Yavru fil Tuffi'nin atlama anı, (URL33, 2018)

Günümüzde bir toplu ulaşım aracı olarak kullanılan uçak, en güvenilir araç olarak kabul edilmektedir. Ancak, monoray ulaşım sisteminin, uçak kazalarının yüksek ölüm oranı dikkate alındığında, en güvenli toplu taşıma aracı olduğu varsayılabilir.

3.6.4. İşletme, Yapım ve Bakım Maliyetleri

Özellikle beton kılavuz raylar, standartlara uygun olarak inşa edildikten sonra neredeyse hiç bakım gerektirmemektedir. Lastik tekerlekler ise yaklaşık 160.000 km boyunca sorunsuz kullanılabilir. Monoray vagonları benzeri raylı sistem taşıtlarına nazaran 30 ya da daha fazla sene kullanım ömrüne sahiptir. Bir otobüsün tavsiye edilen kullanım ömrünün 10 sene olduğu düşünüldüğünde, monoray araçlarının yüksek kullanım ömrüne sahip oldukları açıktır (Kennedy, 2004).

Tarighi (2011), çeşitli monoray üretici firmaları tarafından yapılmış monoray sistemlerinin yaklaşık maliyetlerini karşılaştırmış ve ortalama bir maliyet değeri elde etmiştir (Tablo 3.4). Burada belirtilen maliyetlerin çok değişkenlik göstermelerinin nedeni, monoray hattında kullanılan araç tipi-boyutu-kapasitesi, taşıyıcı sistem tipi, inşaat teknolojisi, durak sayısı ve durak inşa maliyetleri, elektrik-elektronik sistemler gibi birçok kriterin maliyeti etkilemesidir. Ulaştırma Bakanlığı tarafından 2014 yılında hazırlanan Monoray Sistemlerini İnceleme Raporunda, maliyetlerdeki farklılıklarla ilgili yapılan değerlendirmelerde Las Vegas Monorayı ile Kuala Lumpur monorayı kıyaslanmıştır. Las Vegas Monorayı'nın tam otomasyonlu olması, 4 vagonlu olması,

istasyonların lüks olması gibi maliyeti artırıcı unsurların bulunması ve bunların Kuala Lumpur Monorayı'ndan farklılık göstermesinden dolayı kilometre başına maliyette Las Vegas Monorayı'nın daha pahalı olduğunun görüleceği ifade edilmiştir. Tablo 3.4'te görüldüğü gibi, belli güzergâhlarda kilometre başına yapım maliyetleri incelendiğinde 10 milyon USD'den 73 milyon USD'ye kadar değişen çok farklı kilometre maliyetleri mevcuttur. Özellikle, yapılan istasyon, statik birim ve araç maliyetlerinin bu farklılıkta ciddi bir etken olduğu görülmektedir.

Tablo 3.4. Monoray projeleri, üretici firmalar ve maliyetler (Tarighi, 2011), (UBAK, 2014)

Üretici Firma	Gerçekleştirilen Proje	Yıl	Toplam Maliyet (Milyon USD/km)	Hat Yolu Maliyeti (Milyon USD/km)
Hitachi	Okinawa Monorail	2003	27,00	
Hitachi	Palm Jumeriah Monorail	2006	73,40	
Hitachi	Kitakyushu	1985	62,00	
Hitachi	Tokyo-Haneda Monorail	1964	15,00	
Rowin/Urbanaut	Rowin, Korea	2008	10,30	
Scomi	Mumbai Monorail	2008	27,25	
Malaysia Monorail	Kuala Lumpur Monorail	2003	36,00	
Bombardier	Miami Metromover	1986-94	90,90	27,70
Projeye özel Alweg Sistem	Seattle Monorail	2004	55,60	17,00
Bombardier MVI	Las Vegas Monorail	2004	68,10	20,80
Bombardier	Vanvouver Sky Train	1986-94	51,70	15,80
ORTALAMA			47,02	20,33

Tablo 3.5'de metro ve monoray hatları maliyet bakımından karşılaştırılmaktadır. Monoray taşıma kapasitesi metronun kapasitesine çok yakın olmasına rağmen, monoray maliyeti, metro maliyetinin yarısından daha az olduğu anlaşılmaktadır. Cankaya (2011), monoray maliyetinin, hafif raylı sistem maliyetinin ise biraz üzerinde olduğunu belirtmiştir.

Tablo 3.5. Metro ve monoray kilometre başı maliyetleri, (Cankaya, 2011; Kennedy, 2004)

Konum	Raylı Sistem Tipi	Hat Uzunluğu(km)	Maliyet (Milyon USD /km)
Hitachi Okinawa <i>Japonya</i>	Monoray	12,9	27,00
Kuala Lumpur <i>Malezya</i>	Monoray	8,6	36,00
Dubai Metrail <i>BAE</i>	Monoray	18	20,00
Helsinki West Metro <i>Finlandiya</i>	Metro	13,5	66,00
Mexico City <i>Meksika</i>	Metro	26,4	90,00
Vancouver <i>ABD</i>	Metro	11	103,00
Seoul Sin- Bundang <i>Güney Kore</i>	Metro	18	87,00

Monorayların uzun bakım aralıkları bakım ve işletme maliyetinin azalmasında etkindir. Tasarım aşamasında öngörülen tedbirler, otomasyonlu sistem (şoförsüz kullanımda mevcut) ve kullanılan uzun ömürlü ekipmanlar sayesinde bir taraftan monoray sisteminin çalışma ömrü artırılırken öte yandan optimum bakım maliyetleri elde edilebilmektedir (Timan, 2015).

4. UYGUN MONORAY TİPİNİN VE GÜZERGÂHIN BELİRLENMESİ

Dünya üzerindeki çeşitli monoray uygulamaları incelendiğinde, Tokyo, Shanghai ve Seul gibi metropollerin karmaşık altyapılarına rağmen, yükseltilmiş inşaat avantajı sayesinde, monoray hatlarının tasarlanan güzergâhlarda kolaylıkla inşa edilebildikleri görülmüştür.

Konya Selçuk Üniversitesi kampüs ulaşımı Konya tramvay hattı ile entegre bir şekildedir. Tramvay hattı kampüs içinde belirli fakülteler ve tesisler önünden geçirilmiş ve belirli sayıda duraklar yerleştirilmiştir. Tramvay üniversite kampüsü içinde ring yaptıktan sonra şehir merkezine doğru hareket etmektedir. Benzer şekilde, bu çalışmada ele alınan Köyceğiz monorayı için, planlanan Konya Metrosu son durağı ile N.E.Ü. Köyceğiz kampüsü arası bir ring hattı öngörülmektedir. Bu bölümde Köyceğiz kampüsü içindeki fakültelere (Mühendislik, Mimarlık, Güzel Sanatlar, Sosyal ve Beşeri Bilimler, Uzay ve Havacılık gibi) ulaşımı sağlayacak ve mevcut arazi koşulları göz önünde bulundurularak uygun bir güzergâh belirlenecektir.

4.1. Monoray Sistemi Tipi ve Aracının Belirlenmesi

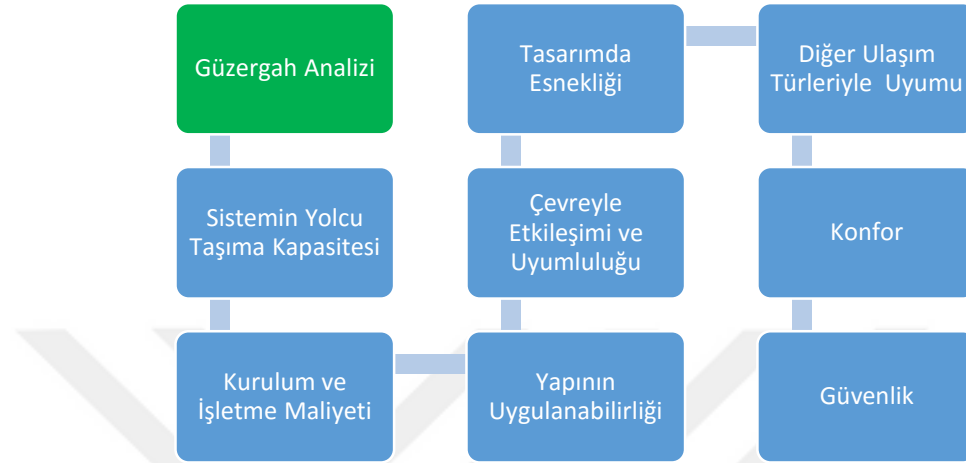
4.1.1. Sistem Tipinin Seçimi

Bölüm 3.2’de mevcut monoray ulaşım sistemleri uygulamalarına ait monoray tipleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. En yaygın kullanılan monoray sistemlerinin Askı (Suspended) ve Bindirme (Straddle) tiplerinde imal edildikleri bilinmektedir. Yaygın kullanılan bu tiplere ilave olarak, hareket enerjisinin manyetik alandan sağlandığı Maglev Tipi ve tam otomasyonlu sürücüsüz (TOM) monoraylardan da bahsedilebilir. Maliyetlerinin çok yüksek olması ve işletme zorluğu nedeniyle sistem seçiminin değerlendirilmesi yapılırken Maglev ve TOM’lar bir alternatif olarak dikkate alınmayacaktır.

Monoray sistemi ve aracı seçilirken, öncelikle talep edilen yolcu kapasitesinin karşılanması kriteri değerlendirilir. Daha sonra, seçilecek monoray tipinin belirlenen güzergâha teknik açıdan uygun olup olmadığı çeşitli kriterler (minimum kurb yarıçapı, platform yüksekliği - genişliği, maksimum eğim vb.) göz önüne alınarak değerlendirilir. İnşaa edilecek sistem maliyetinin minimize edilmesi gerekmektedir. Bir diğer önemli kriter ise yapılacak sistemin çevreyle uyumlu olmasıdır. Monoray hattının inşası sırasında güzergâh üzerindeki diğer alt ve üst yapı elemanlarıyla çakışmanın

asgari seviyede olması hedeflenir. Böylece inşaat sırasında gerekebilecek yıkımlardan doğabilecek ilave masrafların minimize edilmesi sağlanmış olur.

Bu çalışmada Köyceğiz monorayı için, Şekil 4.1’de belirtilen kriterler esas alınarak Bindirme (Straddle) Tipi Monoray sisteminin kullanılması uygun görülmüştür.



Şekil 4.1. Sistem tipi seçimi kriterleri ve aşamaları

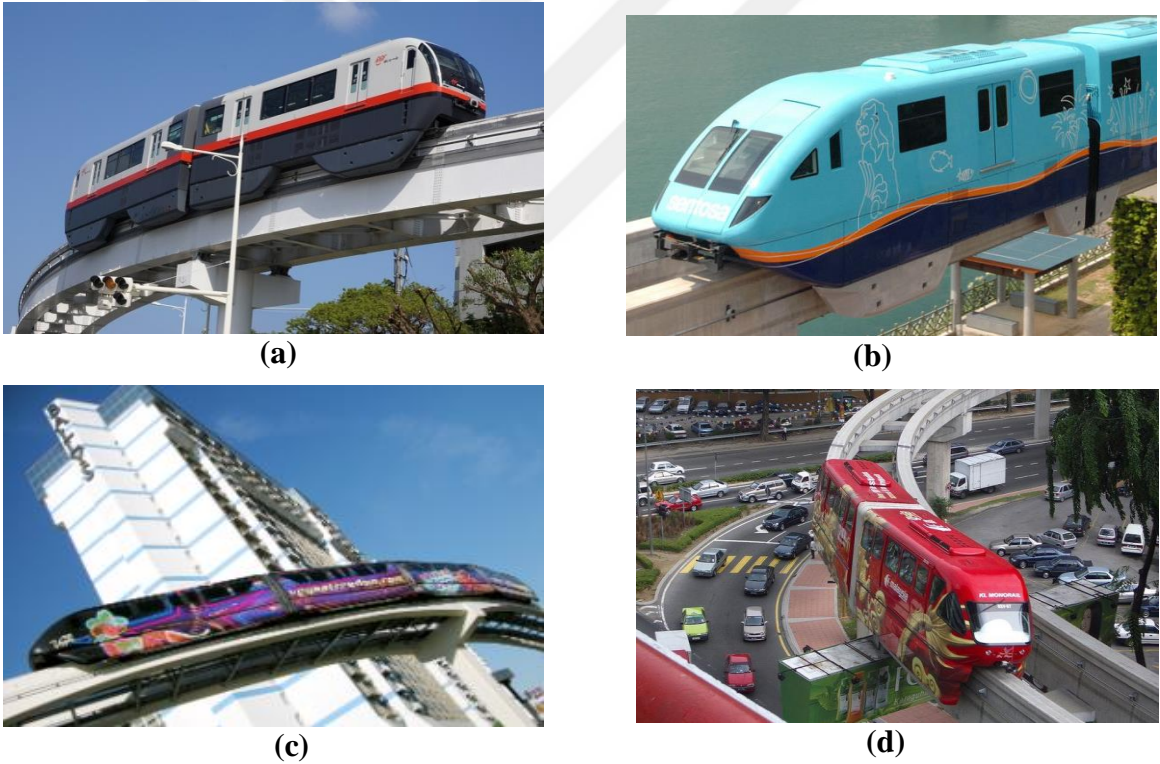
Özellikle monoray hattının geçirileceği bölgenin başlangıç bölümündeki yüksek kot farkından dolayı eğimin düzeyde %6 gibi yüksek bir değere çıkması söz konusu olmuştur. Bindirme tipi, mevcut yüksek eğim değerleri göz önüne alındığında, yapısal tasarımı gereği en uygun olan monoray türüdür. Bilindiği gibi, şu ana kadar inşa edilmiş monoray sistemlerinin neredeyse tamamına yakını bindirme tipi olarak imal edilmiştir. Bunlar arasında Mumbai (Hindistan), Tokyo (Japonya), Moskova (Rusya), Las Vegas (ABD), Seattle (ABD), Daegu (Güney Kore), Osaka (Japonya) ve Chongqing (Çin) gibi büyükşehirlerde inşa edilen monoraylar sayılabilir. Bu tür monorayların taşıyıcı sistemleriköprü ve viyadük yapılarına benzemektedir.

Bindirme (Straddle) Tipi’nde Monoray Vagonları (Rolling Stock) kirişin üzerinde hareket ettiği için, kirişlerin daha az yükseklikte imal edilebilme kolaylığı vardır. Böylece diğer toplu taşıma araçlarının kirişlerin altından geçmesinin zorunlu olduğu güzergâhlarda kolon yükseklikleri askı tipi monoraylara göre daha düşük yapılabilir. Monoray hattının kimi yerlerde 2m’ye kadar düşürülebilmesi ve mevcut kolon sayısı dikkate alındığında maliyet açısından avantajlı bir konumda bulunmaktadır. Buna ek olarak askı tipi monoraylar, hattın minimum dönüş yarı çapının daha büyük olması, aracın askıda hareket etmesinden dolayı daha büyük düşeyyüklerle maruz kalması gibi dezavantajlara sahiptir. Dahası, bindirme tipi monoraylar prefabrik üretime daha

elverişlidir ve yapının imalat süresi bu şekilde asgari seviyeye indirilebilmektedir. Sistemin bakım ve onarımı askı tipi monoraylara göre daha az maliyetli ve kolaydır. Monoray sistemleri genel itibariyle en güvenli ulaşım araçları olarak kayıtlara geçmiştir. Kayıtlara geçen az sayıda ölümlü/yaralanmalı kazaların çoğu askı tipi monoraylarda gözlenmiştir (Bkz. Bölüm 3.6.3). Sonuç olarak, bu çalışmada ele alınan güzergâh için en uygun monoray tipinin Bindirme (Straddle) tipi olduğuna karar verilmiştir.

4.1.2. Monoray Aracının Seçilmesi

Oldukça dik bir arazide inşa edilmesi planlanan monoray hattının sistem tipinin belirlenmesinin ardından bir diğer mühim konu da kullanılacak aracın tipi ve genel özellikleridir. Özellikle yatay ve düşey kurplar ve hattın bazı noktalarında görülen %6 düşey eğim değeri uygun aracın seçilmesini daha da önemli kılmaktadır. Şekil 4.2’de farklı firmalar tarafından üretilmiş bindirme tipi monoray araçları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çeşitli firmalar tarafından üretilen bindirme tipi monoray araçları (a) Okinawa monorayı Hitachi Large (URL34, 2018) (b) Hitachi Small (URL35, 2018) (c) Bombardier (URL36, 2018) (d) Malaysia KL (URL37, 2018)

Monoray araçları ile ilgili genel bilgiler Bölüm 3.3.5’te verilmiştir. Çalış (2016) ve Kennedy (2004), monoray sistemlerinde vagon dizisi olarak kullanılan ve en çok tercih edilen firmalarca üretilmiş araçların özelliklerini birbiriyle kıyaslamıştır. Tablo 4.1.’de

bilinen monoray araç üreticilerine ait araçların bazı genel özellikleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Monoray araçlarının karşılaştırılması, (Çalış, 2016; Kennedy, 2004)

Monoray Tipi	Firmalar						
	Bombardier	Hitachi Small - Large	Urbanaut	OTG	Futrex	Mitsubishi	Monorail Malaysia
Saatlik Yolcu Kapasitesi	49.600	30.000	26.000	46.080	38.400		
Maks. Hız(km/h)	80	75	100	112	128	75	80
Ortalama Hız(km/h)	50	40	48	50	35		
Vagon Ölçeklemesi	2-8	2-4	2-7	2-8	2-8	2-8	2-12
Minimum Dönüş Yarıçapı (m)	46	40 – 70	38	40	28	90	46
Maks. Eğim	%6	%6	%12	%12	%12	%12	%6
Tepe Genişliği (m)	5,1	4,5–5,15					5,1
Kiriş Genişliği(m)	0.66	0.7 – 0.85					
Maks. Dingil Yüğü(t)	8 – 10	8 – 11					10

Monoray aracı ve vagon sayısı, hesaplanan kapasiteye uygun olarak seçilmelidir. Bu nedenle burada yolcu kapasitesi hesabı yapılacaktır. Kapasite hesabında, N.E.Ü. Köyceğiz kampüsünde bulunan geçici hizmet binalarına şehir merkezinden ulaşım verileri dikkate alınmıştır. Eğitime devam eden öğrencilerin temeltoplu ulaşım araçları Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından hizmet veren otobüsler ve ticari dolmuşlardır. Bu araçlardan dolmuşların kapasitesi çok sınırlı olduğundan, kapasite hesabı yapılırken sadece otobüsler gözönünde bulundurulmuştur. Tablo 4.2.'de hizmet veren otobüs seferlerinin numaraları, isimleri, zaman aralıkları ve maksimum yolcu taşıma kapasiteleri listelenmiştir.

Tablo 4.2. KBB otobüs seferleri ve hat bilgileri, (atus.konya.bel.tr, 2018; Cirit, 2014)

Sefer No/Adı	Araç tipi	Sefer sıklığı	Kapasite	Son kapasite
1 Hocafakih - Tıp Fakültesi - Anasultan	Körüklü	4 sefer/saat	150	180
98 Yazır Meram Tıp	Solo	5 sefer/gün	85	100

Eldeki veriler değerlendirildiğinde maksimum talebin özellikle öğrencilerin sabah üniversiteye gidiş ve akşam eve dönüş saatlerinde yaşanacağı görülmektedir. İki farklı otobüs seferine ait güzergâh ve durakları her ne kadar farklı da olsa, kapasite hesabı yapılırken iki otobüs seferinin de aynı anda kampüs girişinde yolcu indirdiği varsayılacaktır. Kapasite hesabı için aşağıdaki eşitlikten faydalanılacaktır.

$K_{max} = \text{Maksimum Kapasite}$

$S_1 = 180$ (1 numaralı sefer son kapasite)

$S_2 = 100$ (98 numaralı sefer son kapasite)

$K_{max} = S_1 + S_2 = 180 + 100 = 280$ yolcu

Buna göre hesaplanan maksimum anlık kapasite 280 yolcudur. Dünyada en yaygın tercih edilen monoray araç üreticilerinden ikisi Hitachi ve Bombardier firmalarıdır. Bu üreticilerin araçlarından birisinin tercih edilmesi uygun görülmüştür. Bu tercihin en önemli sebeplerinden birisi, diğer monoray araç üreticilerinin araçlarının bazı özelliklerine (boyutlar, maliyet ve yapısal detaylar vb.) ait yeterli bilgiye ulaşamamış olmasıdır. Bu nedenle, Hitachi ve Bombardier firmalarınca üretilen araçlardaki araçların karşılaştırılması mümkün olamamıştır.

Monoray üreticileri ile irtibata geçilmeye çalışılmış ancak araç maliyetleri hakkında bilgi elde edilememiştir. Bu nedenle önceden yapılmış akademik çalışmalarda veriler esas alınarak araçların yaklaşık maliyeti belirlenmeye çalışılmıştır. Memiş (2016), çalışmasında genel maliyetlerin içerisinde araç maliyetinin %25'e tekabül ettiğini belirtmiştir. Araç üreticisi, vagon sayısı, kullanılan malzeme çeşidi ve sipariş edilen araç sayısı gibi pek çok kritere göre araç maliyetleri değişmektedir. Firmaların belirttiği bazı verilere dayanarak bir vagonun yaklaşık maliyeti belirlenmeye çalışılmıştır.

Bombardier MVI aracının kullanıldığı Las Vegas Monorayı'nın toplam maliyeti firmanın resmi internet sitesinde belirtildiği üzere \$136 milyon dolardır. İnşa edilen hat üzerinde 9 adet her biri 4 vagonlu olan araçlar kullanılmıştır. Hitachi firmasının Small tip aracının kullanıldığı Sentosa Monorayı'nın toplam maliyeti firmanın resmi sitesinde belirtildiğine göre 78 milyon SGD'dir. Sözleşmenin imzalandığı 2002 senesinde yaklaşık olarak 1 USD = 1,8 SGD dir. USD cinsinden maliyet 43 milyondur. Hat üzerinde 7 adet 2 vagonlu araç kullanılmıştır. Buna göre,

$$M_{hitachi} = \frac{43000000}{7 \times 2} \times 0,25 = 767.850,00 \text{ USD}$$

$$M_{bombardier} = \frac{136000000}{9 \times 4} \times 0,25 = 944.444,00\text{USD}$$

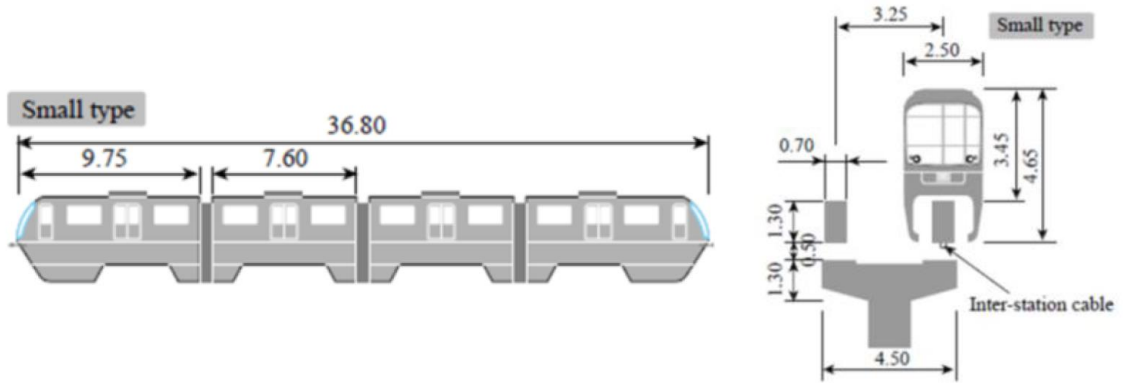
Vagon başına hesaplanan maliyetler kıyaslandığında, Hitachi araçlarının yaklaşık %20 daha ucuz olduğu görülür. Tablo 4.3.'de Hitachi ve Bombardier firmalarına ait araçların kapasite ve maliyet verileri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.3. Hitachi (Small) ve Bombardier aracının karşılaştırılması, (Hitachi, 2018; Bombardier, 2018)

Araç Üreticisi	Araç Modeli	Vagon Sayısı / Boyu	Kapasite	Maks. Kapasite	VagonMaliyeti (USD)
Hitachi	Small (Küçük)	4 / 38m	315	406	767.800,00
Bombardier	MVI	4 / 42m	300	376	944.400,00

Köyceğiz monoray için hangi aracın uygun olduğuna karar verilirken dikkate alınan en önemli iki kriter olarak kapasite ve araç maliyeti olarak seçilmiştir. Hitachi Small tipi monoray aracı en çok 406 yolcu kapasitesine ulaşabilirken, Bombardier MVI modeli 376 yolcu taşıyabilmektedir. Maliyet bakımından da, Bombardier MVI modeli Hitachi Small aracına göre yaklaşık %23 daha pahalıdır. Her iki kritere de bakıldığı zaman, Hitachi Small (Şekil 4.3) tipi monoray aracının tercihi daha uygundur. Bu araca ait bazı temel özellikler şöyle sıralanabilir:

- Toplam araç uzunluğu: 38m (7 adet vagon, herbir vagon uzunluğu 4.5m – yüksekliği 2.5m)
- Gereken elektrik voltajı: 750 VDC



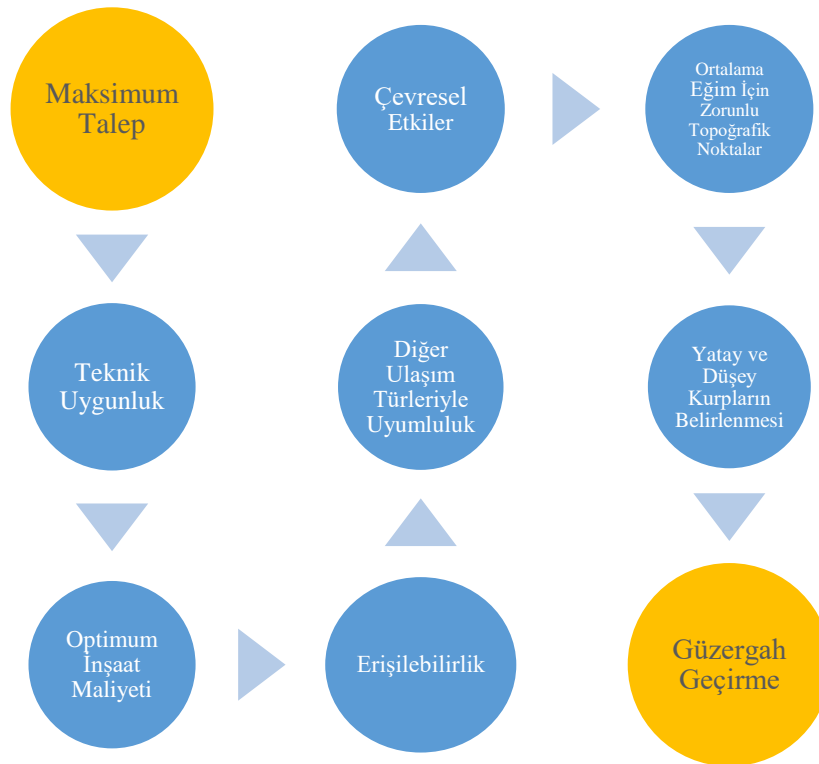
Şekil 4.3. Hitachi Small boyutları (Kuwabara ve ark., 2001)

4.2. Köyceğiz Monorayı Güzergâhının Belirlenmesi

Monoray hattı için güzergâh çalışması yapılacak kısım, yapılması planlanan Metro hattının son durağı ile çalışmaları devam eden kampüs inşaatı1. etabını içine alan bölgedir. Yapımı devam eden kampüs inşaatının engebeli arazi koşulları göz önüne alındığında, detaylı ve ölçekli bir arazi planı üzerinde çalışma yapılması gerekmektedir. Mevcut derslikler planına ilave olarak, halen devam eden 1. Etap ve inşa edilmesi planlanan 2. Etapın tamamını içeren uygulama planı üzerinde güzergâh alternatifleri belirlenecektir. Bu çalışmada hal hazır planı üzerindeki arazi kot değerleri baz alınmıştır, ancak devam eden inşaatlar tamamlandığında mevcut arazi kotları gerçekleştirilen zaruri kazı – dolgu işlerinden dolayı değişecek ve hatta güzergâh için daha elverişli hale gelecektir.

4.2.1. Güzergâh Belirleme Kriterleri

Japonya raylı sistemleri için verilen teknik standartlar (TRSJR, 2012), yapılan güzergâh çalışması için temel kaynak olarak dikkate alınmış ve bu standart içerisinde verilen teknik kriterler ve kısıtlamalara uyulmuştur. Ayrıca, güzergâh çalışması sırasında göz önünde bulundurulması gereken hususlar konusunda literatürdeki akademik çalışmalardan ve çeşitli firmalara ait dökümanlardan faydalanılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Güzergâh belirleme kriterleri (Çankaya, 2011)

Tümen (2017), çalışmasında özellikle ulaştırma projelerinde güzergâh ve istasyon noktası belirlemenin proje sürecinde aşılması gereken en temel konularından biri olduğuna değinmiştir. Güzergâh belirlenirken dikkat edilecek başlıca problemin, en çok talep gören bölgenin seçimi ile teknik anlamda en uygun (arazi koşulları bakımından) ve en kısa güzergâhın belirlenmesi olduğunu vurgulamıştır. Bunun yanında, ileriye dönük ihtiyaçları karşılayabilecek kapasitede bir güzergâh tayininin önemine değinmekle beraber mümkün olduğunca dik yamaçlardan, kesişen kavşaklardan ve mevcut trafiğe engel akslardan kaçınılması gerektiğini belirtmiştir.

Köyceğiz monoray güzergâhı için kullanılacak sınırlamalar Tablo 4.4.'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 4.4. Güzergâh dizaynına ait teknik değerler, (RBML, 2012; Çalış, 2016)

Monoray Tipi	Bindirme-kiriş
Araç	Hitachi Small
Vagon Boyutu	Küçük
Dolu Araç Ağırlığı	72 ton
Minimum Eğri Yarıçapı	Ana Ray Hattı Üzerinde R=30-60 m İstasyon R=0 m
Yatay Eğriler Arasındaki Minimum Uzaklık	30 m
Hat Eğimi	Hat üzerinde (İstasyonlar hariç) %6 - %12
Minimum Düşey Kurp Yarıçapı	1000 m
Platform Uzunluğu	42 m

4.2.2. Güzergâh Çalışmaları

Kampüs inşaatı devam ettiği için, güzergâh belirlenirken hal hazır planı üzerindeki yol, bina ve çevre düzenlemesi yerleşimleri yanında 5 metre aralıklı eşyükselti eğrileri kotlarından faydalanılmıştır. Mevcut planda halen devam eden kampüs inşaatları sırasında yapılmakta olan kazı ve dolgu işlemleri sonrasında oluşacak kot düzeltmeleri bulunmadığından, geçirilecek güzergâh üzerindeki kolon yüksekliklerinin ve eğimlerin yeniden düzenlenmesine gerek duyulacaktır. Ön güzergâh çalışmasında, kampüs metro durağı ile ring yapacak şekilde tasarlanan Köyceğiz monorayı hattının tahmini güzergâhı için üç farklı alternatif ortaya konulmuştur.

Monoray aracı seçilmeden önce ön güzergâh çalışmasına başlandığından, güzergâhı kısa tutmak ve maliyeti azaltmak için maksimum eğim değeri olarak %12 esas alınarak üç adet alternatif güzergâh (HA1,HA2 ve HA3) belirlenmiştir(Şekil 4.5-4.7).



Şekil 4.5. HA1 Güzergâhı (max. %12 eğim)

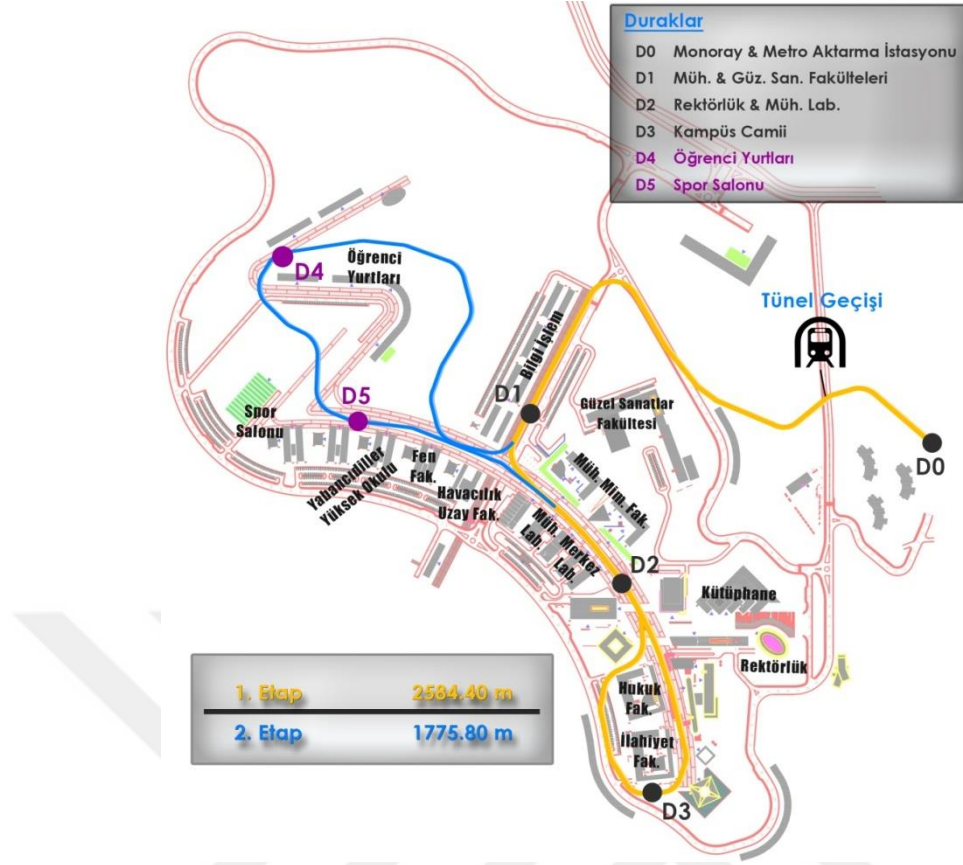


Şekil 4.6. HA2 Güzergâhı (max. %12 eğim)



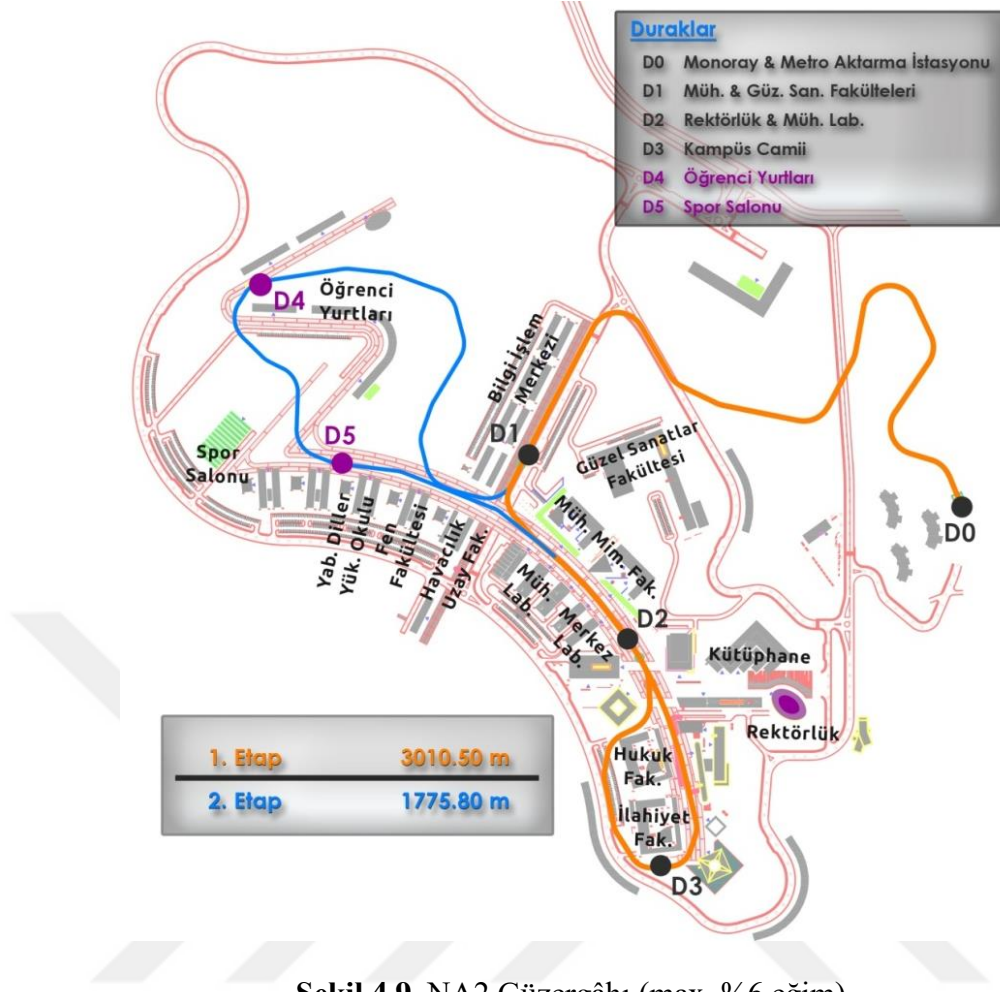
Şekil 4.7. HA3 Güzergâhı (max. %12 eğim)

Bu eğim değeri literatürde monoray hatları için verilen maksimum değerdir. Ancak Hitachi, Bombardier ve Mitsubishi firmaları tarafından yayınlanan dökümanlarda %6 eğim değerinin aşılması tavsiye edilmediği için, %6 maksimum eğim değerine göre güzergâh çalışmaları tekrarlanmıştır. Düşük maksimum eğimli güzergâh çalışması sırasında zorlu arazi koşulları, hat maliyeti, durak noktalarının belirlenmesindeki zorluklar ve tasarım sınır/kriterleri tekrar değerlendirilmiş ve iki yeni alternatif güzergâh (NA1 ve NA2) belirlenmiştir. Bu güzergahlardan NA1 Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



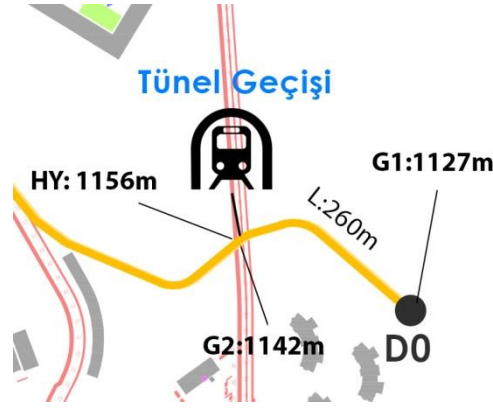
Şekil 4.8. NA1 Güzergâhı (max. %6 eğim)

Bu güzergâhlar iki ana bölgeye ayrılmıştır. Bunlardan 1. Etap, kampüsün aktif olarak inşaatı devam eden bölümüdür. 2. Etap ise daha kampüsün henüz ihale edilmemiş, ileride hizmete açılması planlanan bölümüdür. Kampüste öğrencilerin ihtiyacına ve yoğunluğa göre belirlenen yerlere monoray durakları teşkil edilmesi planlanmıştır. Bu nedenle en az durak sayısı ile en çok fakülte & hizmet binasının faydalanması amaçlanmıştır. NA2 güzergâhı ise Şekil 4.9'da kampüs planı üzerinde gösterilmiştir. NA1 ve NA2 güzergâhları için belirlenen duraklardan D0, D1, D2 ve D3 durakları 1. Etap bölgesinde, D4 ve D5 durakları ise 2. Etap bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. NA2 Güzergâhı (max. %6 eğim)

NA1 güzergâhında düşey eğim değerleri HA güzergâhlarına göre oldukça düşürülmüştür. Belirli kesimlerde arazi kotuyla çakışma yaşamamak için tavsiye edilen minimum eğim değerinin aşılması zorunlu olmuştur. Bunun yanında dik yamaçların bulunduğu ilk kısımda hat uzunluğu elden geldiğince kısa tutulmak istenmiştir. D0 durağından (Metro Monoray Transfer Durağı) itibaren %6 eğimle yeterince irtifa kazanılamadığı için monoray hattının, kampüs karayolunun altında kalması kaçınılmazdır. Bu nedenle karayolu kesişiminde bir altgeçit inşa ederek monoray hattının geçişi sağlanabilecektir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. NA1 güzergâhı yol geçişi

İki etap halinde düzenlenen NA1 ve NA2 güzergâhlarında ikinci etap benzer şekilde planlanmıştır. Yakın gelecekte kampüsün 2. Etap inşaatlarına başlanmayacağı öngörülerek, bu çalışmada 1. Etap üzerinde yoğunlaşmıştır.

NA1 güzergâhı, NA2 güzergâhından 426 metre daha kısadır. NA2 güzergâhında NA1 güzergâhındaki durumun aksine, herhangi bir karayolu altgeçit tüneli bulunmamaktadır. NA1 güzergâhında, D0 durağından 260m ilerde maksimum %6 eğimle G2 noktasına, yani karayolu ile kesişilen noktaya ulaşılmaktadır (Şekil 4.10). G2 noktasının kotu karayolu kotunun yaklaşık 14 m altındadır. Kampüs içi yolların henüz son şeklini almadığı göz önüne alınacak olursa yapılacak altgeçidin maliyetinin kestirilmesi oldukça güçtür. Bu nedenle, NA2 güzergâhı her ne kadar rölatif olarak biraz daha uzun bir güzergâh olsa da kesin güzergâh olarak seçilmesi uygun görülmüştür.

4.2.3. Güzergâhın Detaylı İncelenmesi

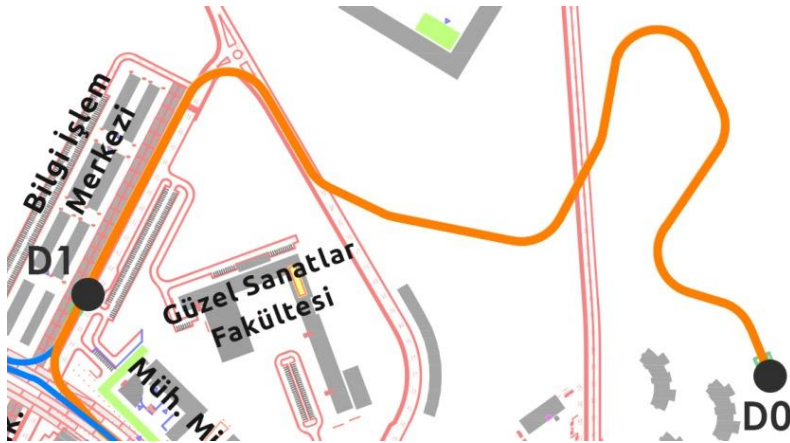
Daha önce belirtiltiği gibi, bu çalışmada seçilen güzergâhın sadece 1. Etapı için güzergâh detaylandırması yapılacaktır. Yaklaşık olarak 3 km uzunluğundaki 1. etabı D0-D1 durakları arası ve D1-D3 durakları arası olmak üzere iki ana kısımda incelemek mümkündür.

Monoray hattının kesiştiği akslar, kiriş / kolon yükseklikleri ve ring olarak çalışması bakımından, Köyceğiz monorayı ile Dortmund Teknik Üniversitesi Kampüs içinde hizmet veren H-Bahn monorayı (Şekil 4.11) benzerlikler taşımaktadır. Ancak Köyceğiz monoray sistem tipi, aracı ve istasyon boyutları H-Bahn monorayının tipi ve boyutlarından farklıdır.



Şekil 4.11. Dortmund Teknik Üniversitesi H-Bahn monoray hattı, (URL38, 2018)

Kot farkının kısa mesafede hızlı bir biçimde artış gösterdiği D0 “Metro-Monoray Transfer Duracağı” ile D1 “Mühendislik ve Güzel Sanatlar Fakültesi Duracağı” arası (Şekil 4.12), maksimum düşey eğim için %6 değerine, aracın mevcut yapılar ile ilişkisi dikkate alınarak uygun yükseklikten geçilmesi sınırına ve yatay karp yarıçapı için minimum 50m kriterine uyulmuştur. Yol aksına ulaştıktan sonra, yol genişliğinin elverdiği yerlerde hatrefüjden götürülmüş, plandaki yürüyüş aksları ya da park alanlarına ulaşıldığında ise hat bu yapıların üstünden geçirilmiştir.



Şekil 4.12. NA2 güzergahında D0 ve D1 durakları arası bağlantı

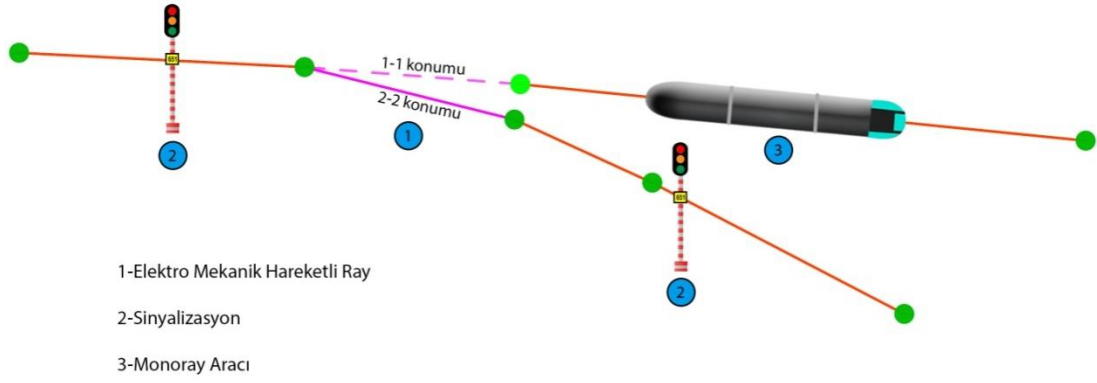
D1-D3durakları arası (Şekil 4.13) arazi eğimindeki değişimin çok az olmasından dolayı, monoray hattı arazi kotuna paralel olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu bölgede kolon yükseklikleri 5–9 m aralığında seyretmiştir.



Şekil 4.13. NA2 güzergahında D1 ve D3 durakları arasında kalan bölüm

Güzergâh üzerinde minimum dönüş yarıçapının sınır değere yakın olduğu ya da bu değere ulaştığı bölgelerde hat güvenliği ve aracın devrilmeye karşı emniyeti için, monoray aracı ortalama tasarım hızının %25 azaltılması uygun olacaktır.

Üzerinde durulması gereken bir diğer önemli konu ise D2 durağının hemen sonrasında planlanan hat makasıdır. D2-D3 durakları arası teşkil edilecek ring hattının tek doğrultuda harekete elvermesi ve ring hattındaki hareket tamamlandıktan sonra tekrar ring dışındaki klavuz kirişe dönülmesi gerektiği için bir hat makası imalatına gerek vardır. Şekil (4.14)'de planlanan hareketli hat makası detayı mevcuttur.

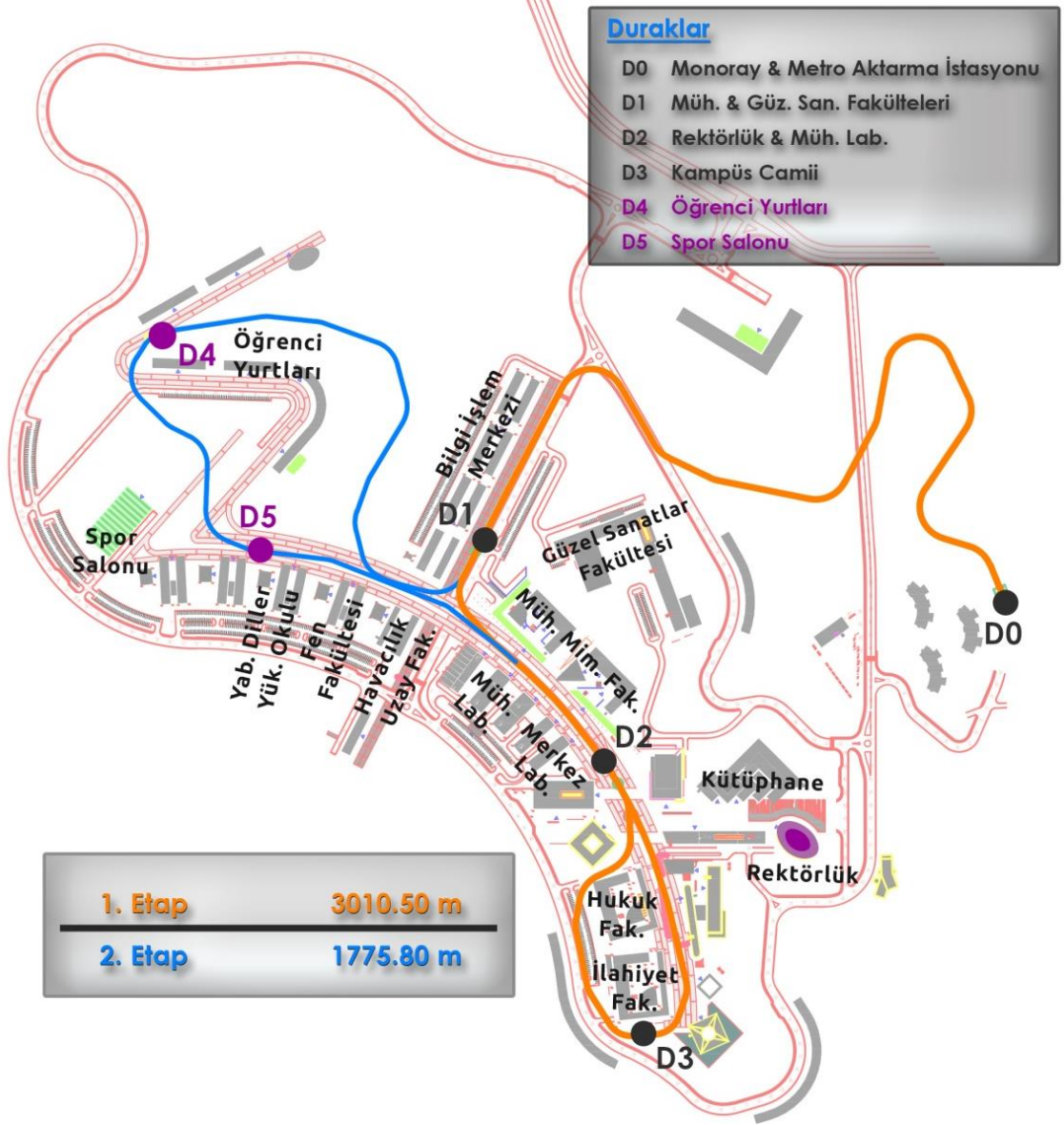


Şekil 4.14. NA2 güzergahında hareketli makas kirişi detayı

Bindirme tipi monoray sistemlerinde, makas kirişleri genellikle çelikten imal edilir. Çelik makas kirişleri hattın birleşeceği ringin ucundaki iki kiriş ile bağlantıyı sağlayabilmek için uygun şekilde biçim alırlar. Bu nedenle de çok parçalı bir kiriş sistemine sahiptirler. Monoray aracımakas noktasına geldiğinde,çelik makas kirişleri hareketlerini tamamlayıncaya dekyaklaşık 15 saniye geçmektedir ve bu süre boyunca monoray aracının uygun bir sinyalizasyon sistemi kullanımı ile bekletilmesi gereklidir (Kennedy, 2004).

4.2.4. Seçilen Güzergâh Genel Görünümü ve Hat Bilgileri

Köyceğiz kampüsünün üzerine inşa edildiği arazi koşulları dikkate alındığında, belirlenen kriterlere göre bir güzergâh tayin etmek için üzerinde çalışılan hatlardan en elverişli olan NA2 güzergâhı seçilmiştir. Güzergah planına ait genel detaylar Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. NA2 güzergâhı detaylı görünümü

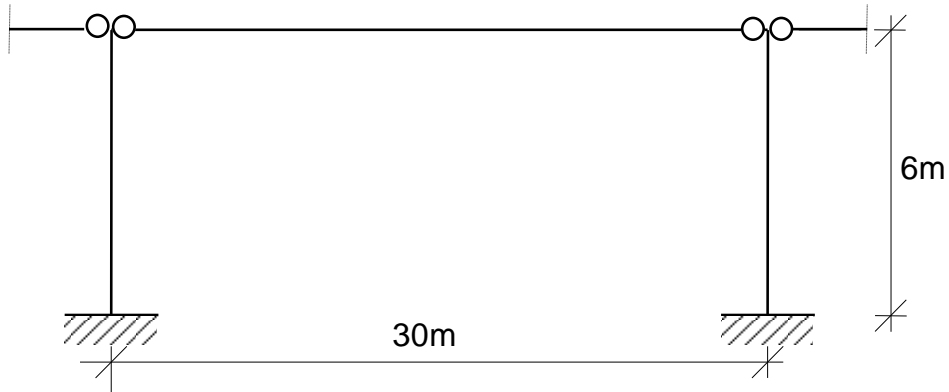
Bu güzergâh üzerinde bazı noktalar arası kot farkının yüksek olmasından ötürü, belli yerlerde noktalar arası geçişler monoray hattı tasarlanırken sınır eğim değeri olan %6'ya kadar çıkarılmıştır. Arazi kotunun hızlı değiştiği bölgeler, müsaade edilen maksimum eğim değeri ile geçilirken, arazi koşullarının uygun olduğu yerlerde eğim %0'a kadar düşürülmüştür. Kısa vadede tamamlanması planlanan 1. etap güzergâhının genel özellikleri aşağıda belirtildiği gibidir. Güzergâhın daha detaylı açılımı için bu çalışmanın "EKLER" kısmında bulunan EK-1'e ve kolon ve kiriş aplikasyon planı için EK-2'ye bakılması gerekmektedir.

Güzergâha ait bazı genel bilgiler aşağıda belirtildiği gibidir.

- Bindirme Kiriş Tipi
- Hattın Toplam Uzunluğu: 3010,50 m
- Tek Yön – Ring Bağlantı Hattı
- Toplam Durak Sayısı (D₀ – D₃): 4 adet
- Maksimum Eğim (S): %6
- Minimum Yatay Kurb Yarıçapı: 40m
- Minimum Düşey Eğri Yarıçapı: 1000m
- Seçilen Kiriş Uzunluğu Aralığı: 15m – 30m
- Kolon Yüksekliği Aralığı: 4m – 30m
- Kolon (S) Sayısı: 140 Adet.
- Kiriş (K) Sayısı: 139 Adet.
- Araç tipi ve boyutu: Hitachi Small (Sentosa Monorayında kullanılan vagon)
- Platform Uzunluğu: 42m

5. MONORAY HATTININ YAPISAL ANALİZİ VE TASARIMI

Köyceğiz monorayı tek bir kılavuz kirişinin yaklaşık 15 -30 metre aralıklarla teşkil edilecek tekil kolonlar üzerine oturtulması şeklinde planlanmıştır. Kolon lokasyonları, dolayısı ile kiriş açıklıkları, arazi topoğrafyası, karayolu ve yaya aksları ile muhtemel çakışmalar ve yatay kurb koşulları da gözetilerek belirlenmiştir (Ek 2). Bu tez çalışması kapsamında Köyceğiz monoray hattının tamamına ait kolon ve kirişlerin analizi ve boyutlandırılması yapılmayacaktır. Bunun yerine, güzergâh üzerinde kiriş ve kolonlardan oluşan tipik bir çerçeve (Şekil 5.1) ele alınarak bu çerçeveye ait detaylı analiz ve hesaplar yapılacaktır. Gerekliğinde sistemin diğer kısımlarına ait hesaplar benzer şekilde yürütülebilecektir. Ayrıca monoray sisteminin toplam maliyet hesabı da analizi yapılan taşıyıcı sistemden yola çıkılarak genelleştirilecektir. Taşıyıcı sistemde kolon ve kirişler prefabrik yapı elemanları olarak tasarlanacaktır. Kolonlar zemine ankastre olarak bağlı kabul edilmiştir. Kirişler ise kolonlara moment aktarmayan mafsallı birleşimli olarak bağlanacaktır. Ankastre bağlantının sağlanabilmesi için temel zemine kazıklarla bağlanmıştır. Kolon prefabrik olarak düşünüldüğü için temel üzerine prefabrik kolon soketi planlanacaktır. Kirişlerin açıklığının çok yüksek olması, basit kiriş olarak çalışacak olması ve üzerindeki yük değerlerinin de büyük olmasından dolayı kirişlerin öngerilmeli kiriş olarak imal edilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir.



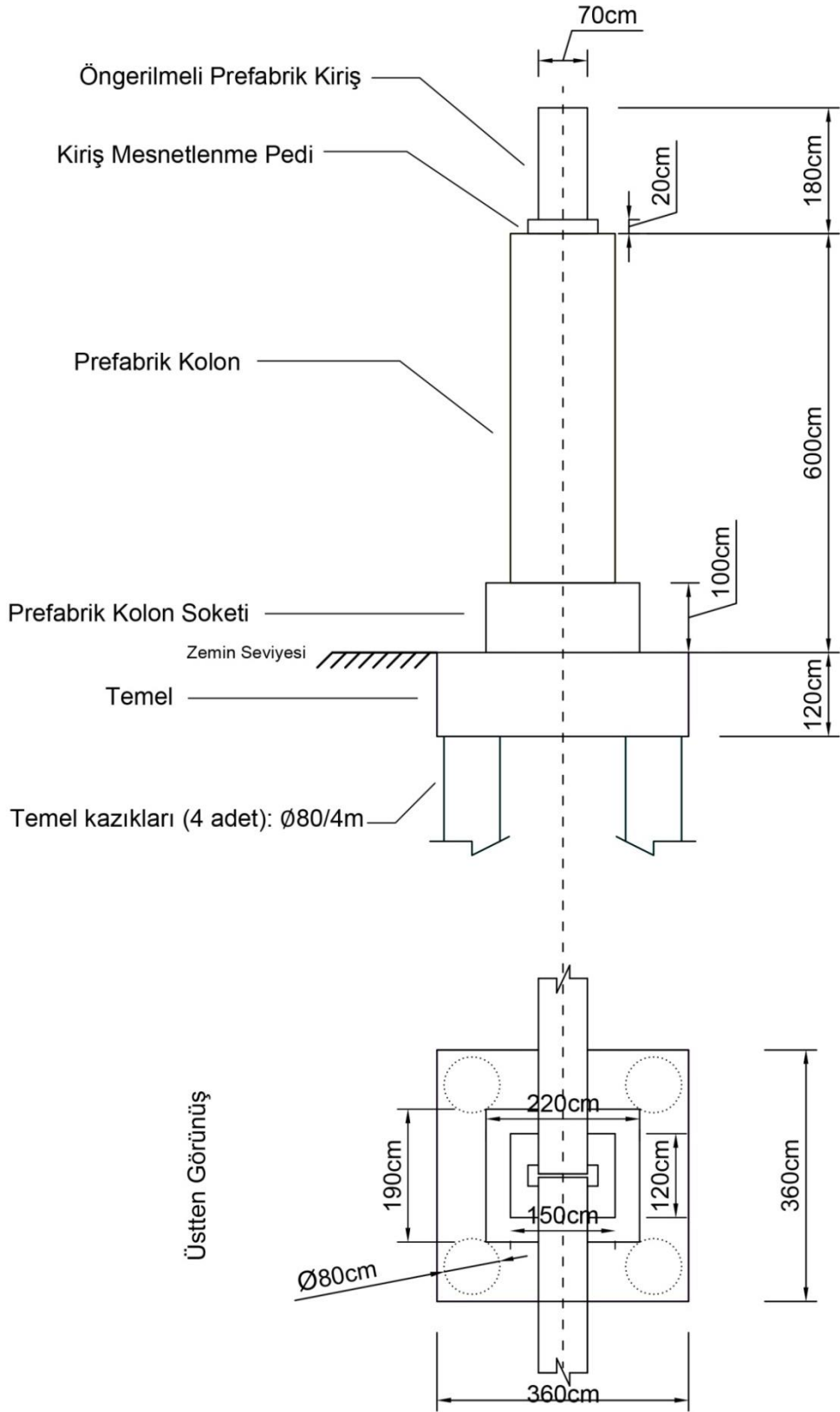
Şekil 5.1. Tipik monoray çerçeve sistemi

5.1. Tipik Köprü Çerçevesinin Boyutlandırması

Köyceğiz monorayında tipik bir köprü çerçevesine (Şekil 5.1) ait taşıyıcı sistemin boyutlandırılması sırasında daha önce işletmede olan benzer monoray uygulamalarından yararlanılmıştır. Dördüncü bölümde belirtildiği gibi, monoray aracı olarak Hitachi firmasının daha önce Singapur Sentosa Monoray hattında da kullanmış olduğu, “Hitachi

Small”ın 4 vagonlu versiyonunun kullanılmasına karar verilmiştir. Çift doğrultuda hizmet veren Sentosa monorayına ait literatürde mevcut bulunan geometrik detaylar Şekil 4.3.’ te verilmiştir. Köyceğiz monoray hattı ring olarak tek yönde çalışacak şekilde tasarlandığından, Şekil4.3.’te verilen kesit detaylarında değişiklikler yapılarak Köyceğiz hattı da benzer şekilde tasarlanmıştır. Taşıyıcı sistemin boyutlarının belirlenmesi sırasında mevcut uygulamalar gözönünde bulundurulmuş ve bir ön boyutlandırma yapılmıştır. Ön boyutlandırılması yapılmış taşıyıcı sistem, yönetmeliklerde verilen yüklemeler altında bir analize tabi tutulmuş ve boyutlarda gerekli değişiklikler yapılarak son boyutlar belirlenmiştir. Tipik taşıyıcı sisteme ait kolon, kiriş ve temel geometrisiile ölçüleri Şekil 5.2.’de verilmiştir.





Şekil 5.2. Monoray yapı elemanlarının ön boyutları

5.2. Monoray Taşıyıcı Sistemi Statik ve Betonarme Hesapları İçin Yönetmelik ve Esaslar

Literatürde mevcut araştırmalar ve uygulanmış monoray sistemleri incelendiğinde, monoray taşıyıcı sisteminin hesabı ve tasarımı için betonarme köprülerin tasarım ve hesabında kullanılan genel esaslara ve yönetmeliklere uyulmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Ancak, Köyceğiz monorayı, karayolları ya da hafif raylı sistemlerin aksine, köprü üstyapısı önerilmeli kirişlerden teşkil edilmiştir. Monoray köprüsü üzerinde ne bir yol tabliyesi ne de çelik raylar mevcuttur. Bu nedenle sadece mevcut köprü tasarımı ile ilgili yönetmelikler yeterli olmayacaktır. Taşıyıcı sisteme etkiyen yükler ve yük kombinasyonlarının belirlenmesinde, ayrıca betonarme elemanların hesap ve tasarımı sırasında TS498 (1997), TS3233 (1979), TS500 (2000), TRSJR(2012) ve AASHTO (2002) yönetmelikleri kullanılmıştır. Monoray sistemine etkiyen yüklerin belirlenmesi sırasında bahsi geçen yönetmelikler yanında çeşitli yayınlardan faydalanılmıştır.

5.3. Monoray Taşıyıcı Sistemi Statik Analizi

Geometrisi ve mesnetlenme biçimi Şekil 5.2'deki gibi seçilen sistem için uygun malzeme ve yükler belirlenerek statik analizler gerçekleştirilecektir. Monoray sistemi bindirme (straddle) tipinde planlandığı için monoray köprüsünü oluşturacak yapı elemanlarının, dünya üzerindeki birçok monoray uygulamasında olduğu gibi, betonarme olarak imal edilmesine karar verilmiştir. Yapıda kullanılacak beton malzemesi Türkiye'de prefabrik köprü elemanları için çoğunlukla kullanılan C40/50 sınıfında seçilmiştir. Donatı çeliği ise malzemesi ise çelik sınıfı S420 seçilmiştir. Monoray taşıyıcı sistemi zati yükü ve muhtemel hareketli yüklere maruz bırakılacaktır. Yükler ve yükleme kombinasyonları belirlendikten sonra taşıyıcı sistem SAP 2000 programı yardımıyla analiz edilecektir.

5.3.1. Monoray Taşıyıcı Sistemine Etkiyen Yükler

Genel olarak bir monoray hattını taşıyan çerçeveye etkiyen statik ve dinamik yükler Tablo 5.1'deki gibi sınıflandırmıştır. Burada belirtilen yük sınıflarından ele alınan çerçeveye uygun olanları dikkate alınmıştır.

Tablo 5.1. Tasarım yüklerinin sınıflandırılması, (Çalış, 2016)

TASARIM YÜKLERİ	Ölü Yük	Taşıyıcı sistemin (betonarme & çelik konstrüksiyon) ve durak yapılarının tasarımına göre farklılık gösterebilir. Belirlenen ön boyutlandırma kriterlerine göre hesaplanır.
	Hareketli Yük	Monoray vagonlarının tam kapasite dolu iken elde edilen tasarım yükü ve bu yükün çerçeve üzerinde oluşturacağı en elverişsiz yükleme durumu gözetilerek etkilmesiyle elde edilir. Yerlerin dizaynı için 5,0 kN/m ² Ana kirişlerin dizaynı için 3,5 kN/m ² Yük değerleri alınmalıdır.
	Etki Yükü	Hareketli yükler etki yükleride göz önüne alınarak belirlenir. Etki katsayıları belirlenirken, köprü dizaynı için mevcut Japon standartları, AASHTO ve Eurcode gibi yönetmeliklerdeki formüllerden faydalanılabilir.
	Yanal Vagon Yükü	Tek eksenli konsantre hareketli yük, yanal vagon yükü için kullanılır. Bu yük değeri, hareketli yüzeyin yüksekliği, kirişin eksenine yatay ve dik olacak bir biçimde uygulanmalıdır.
	Sismik Etki	Deprem bölgesi ve zemin durumları gözetilerek sisteme etkililmelidir.
	Merkezkaç Kuvveti	Hattın yatay kurb içeren kavisli kısımlarında ağırlık merkezine yatay eksen ve kılavuz çizgiye dik olacak şekilde etkililmelidir.
	Çarpışma Yükü	Herhangi bir çarpışma ve kaza riskleri de gözetilerek özellikle herhangi bir kaza durumunda ortaya çıkabilecek hasarları minimize etmek için dikkate alınmalıdır.

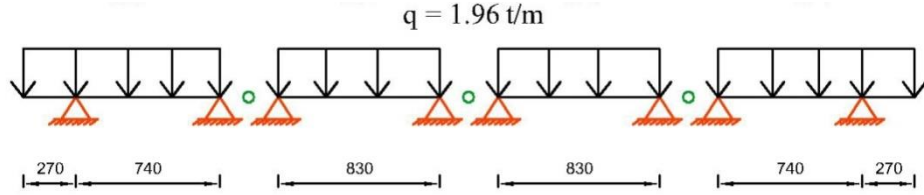
5.3.1.1. Zati Yükler (D)

Analizde kiriş ve kolon elemanların zati ağırlığı hesaba katılmıştır. Betonarme için birim hacim ağırlığı 2,4 ton/m³ olarak alınmıştır.

5.3.1.2. Hareketli Yükler (L)

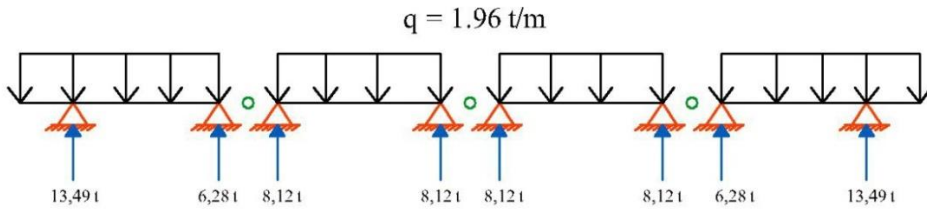
Daha önceki bölümde bulunan Şekil 4.3'te gösterilen monoray aracının kendi ağırlığı ve tam kapasite yolcu ile doluyken aracın toplam yükü 72 ton'dur (Çankaya, 2011). Aracın toplam katar uzunluğu 36.80 m'dir. Buna göre araç yayılı yükü 1,96 t/m olarak hesaplanmıştır. Ancak ele alınan monoray sistemi tek şerit olarak çalışacağı için herhangi bir yük azaltma katsayısı uygulamasına gidilmemiştir (Aktaş, 2010). Şekil 4.3'te ölçüleri verilen monoray aracının monoray köprüsüne yük aktardığı aks/dingil

noktaları şekilden yaklaşık olarak tespit edilmiştir. Vagonlar arası mesafenin düşüklüğü dikkate alınarak, vagon birleşim noktaları komşuluğundaki dingiller tek bir dingil olarak dikkate alınmıştır. Buna göre araç dingil mesafeleri ve araç yayılı yükü Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

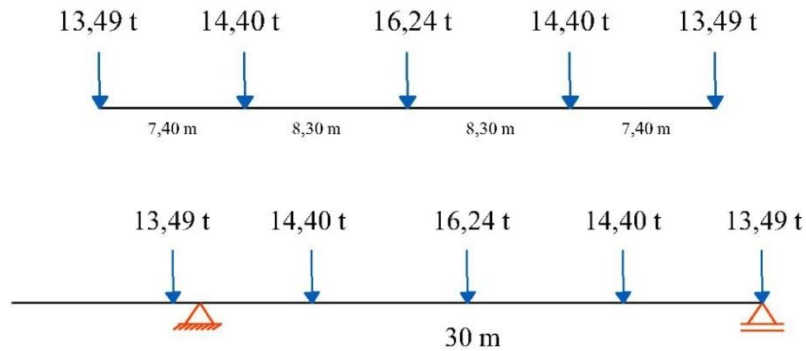


Şekil 5.3. Dingillere dağıtıldıktan sonra yayılı yükler

Vagonlar arası körüklü bağlantı noktaları mafsallı birleşim olarak düşünüldüğünden dingil yükleri önce her vagon için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Vagon dingil reaksiyonları (Şekil 5.4) da aynı şekilde ayrı ayrı hesaplandıktan sonra birleşim yerlerindeki reaksiyon kuvvetleri süperpoze edilerek monoray kirişine tekil yükler şeklinde yüklenmiştir (Şekil 5.5).



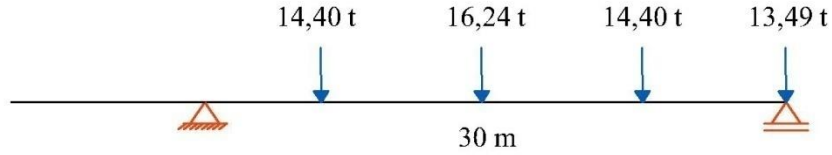
Şekil 5.4. Reaksiyon kuvvetlerinin dingil yüküne dönüşümü



Şekil 5.5. Noktasal dingil yükleri ve kiriş üzerinde gösterilmesi

Hareketli araç yüklerinden kaynaklanan maksimum iç kuvvetlerin (moment ve kesme kuvveti) hesaplanabilmesi için en elverişsiz yükleme durumunun belirlenmesi gereklidir (AASHTO-LFRD, 2007). Birden fazla şeritli köprü sistemlerde şeritlerin tamamının

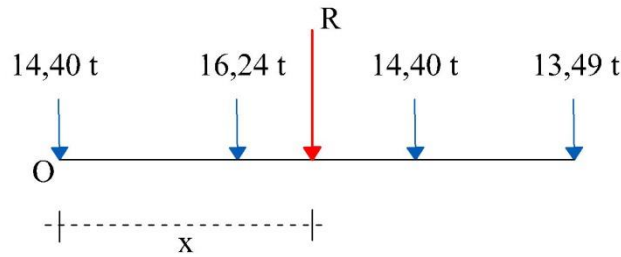
aynı anda dolu olması ihtimali düşük olduğundan hareketli yük azaltma katsayısı uygulanmaktadır. Toplam dingiller arası mesafe 31,40 m ve analiz yapılacak kiriş açıklığı olan 30 m den büyük olduğundan, trenin uç dingil yüklerinden birisi komşumonoray kirişinin üzerine etkiyecektir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Kiriş ve açıklık arasında kalıp etkileyen dingil yükleri

Maksimum iç kuvvetlerin hesabında, dingil yükleri belirlendikten sonra dingil yüklerinin bileşkesi ve tesir noktası belirlenir (Denklem (5.1)).

Bileşke yükü tesir noktasının belirlenmesi (Şekil 5.7) aşağıdaki hesaplara göre belirlenir.



Şekil 5.7. Bileşke yük ve tesir noktası

$$R = \sum F_i \quad \text{ve} \quad \chi_o = \frac{\sum(F_i \times x_i)}{R}$$

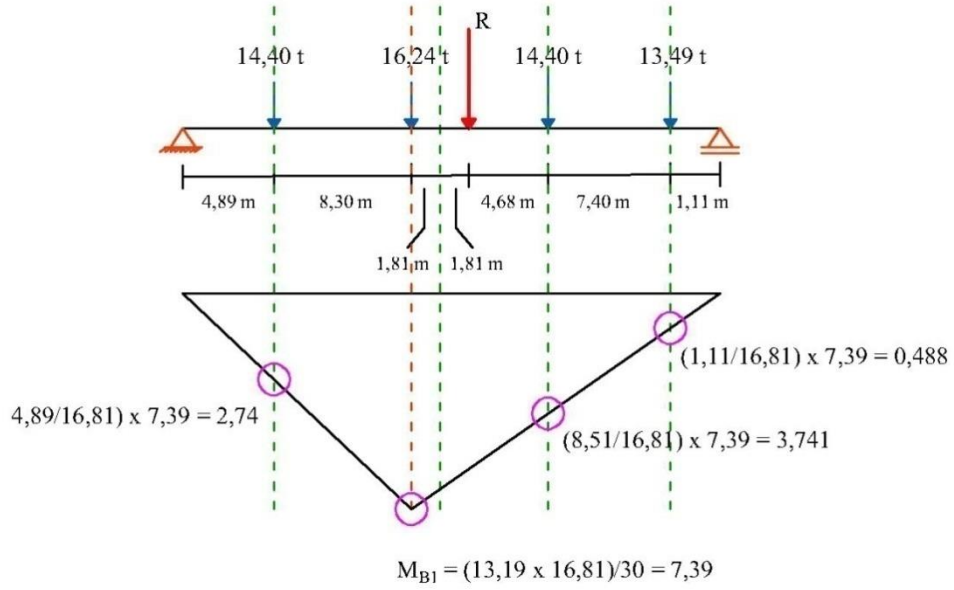
$$\chi_o = \frac{16,24 \times 8,3 + 16,6 \times 14,40 + 24 \times 13,49}{14,40 + 16,24 + 14,40 + 13,49} \quad (5.1)$$

$$\chi = 11,92 \text{ m}$$

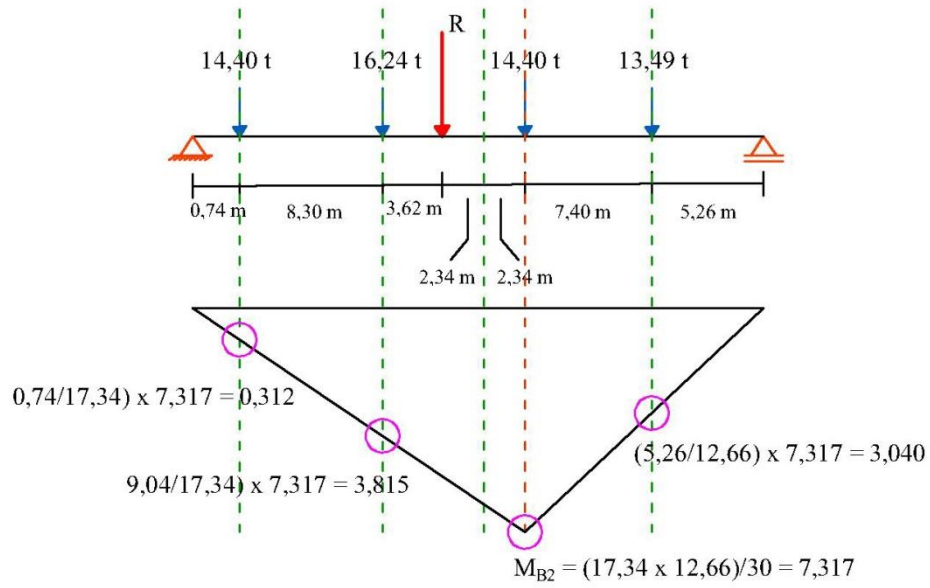
Cismin ağırlık merkezi O noktası referans alınarak;

$\chi = 11,92 \text{ m}$ olarak bulunur.

Monoray kirişine etkiyecek maksimum moment değerinin tespiti için iki ayrı dingil durumu incelenmiştir (Şekil 5.8 ve 5.9).



Şekil 5.8. Monoray aracı 1. dingil konumuna göre tesir çizgisi diyagramı ve moment değerleri



Şekil 5.9. Monoray aracı 2. dingil konumuna göre tesir çizgisi diyagramı ve moment değerleri

Bu dingil konumları için ayrı ayrı tesir çizgisi diyagramları çizilmiş ve buna göre maksimum moment değerleri hesaplanmıştır (Denklem (5.2) ve (5.3)).

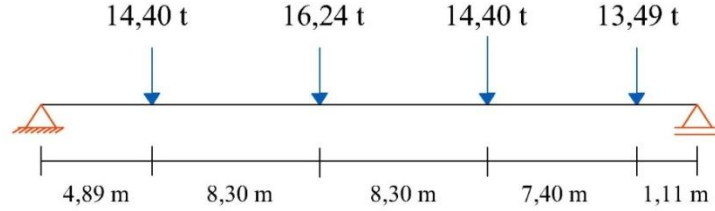
$$M_{max1} = (14,40 \times 2,74) + (16,24 \times 7,39) + (14,40 \times 3,741) + (13,49 \times 0,488)$$

$$M_{max1} = 39,456 + 120,014 + 53,87 + 6,583 = 219,923 \text{ tm} \quad (5.2)$$

$$M_{max2} = (14,40 \times 0,312) + (16,24 \times 3,815) + (14,40 \times 7,317) + (13,49 \times 3,040)$$

$$M_{max2} = 4,493 + 61,956 + 105,367 + 41,009 = 212,825 \text{ tm} \quad (5.3)$$

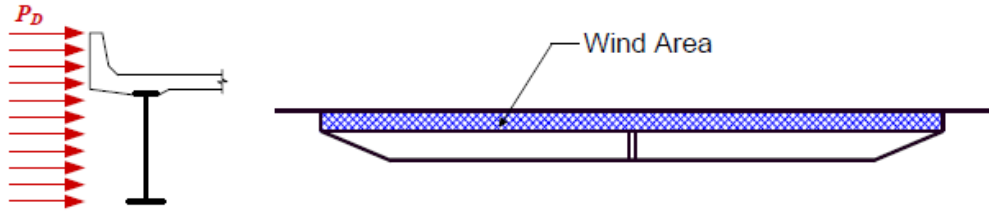
$M_{\max 1} > M_{\max 2}$ olduğu için sistem için en elverişsiz yükleme birinci durumda (Şekil 5.8) meydana gelmektedir. Sonuç itibariyle sistemin hareketli yük hesabında kullanılacak yükler ve konumları Şekil 5.10’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Statik hesabı yapılacak dingil konumu

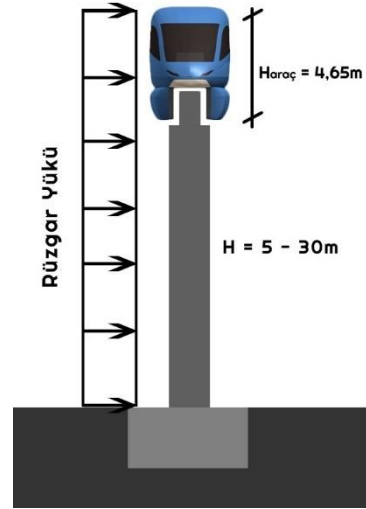
5.3.1.3. Rüzgar Yüğü (W)

Monorayın inşa edileceği konumda rüzgarın şiddeti, taşıyıcı sistemdeki kolonların yüksekliği ve kiriş açıklıkları dikkate alındığında rüzgar etkisinin dikkate alınması gereken önemli yüklerden olduğu söylenebilir (Şekil 5.11). Bu nedenle, monoray taşıyıcı sistemine ve aracına tesir eden rüzgar yükünün hesabı gerekmektedir.



Şekil 5.11. Genel bir köprü üzerine rüzgar yükü etkisi (LFRD Bridge Design, 2007)

Uzun açıklıklı köprüler ve yüksek salınımlara maruz olan asma köprüler hariç, rüzgar yükünün yatay, köprü eksenine ve köprü eksenine dik doğrultularda etkidiği göz önüne alınarak, sabit şiddetli statik yük varsayımı ile hesap yapılır (Şekil 5.12) (AASHTO-LFRD, 2007).



Şekil 5.12. Rüzgâr yükünün yapı üzerine etkime şekli

Sisteme etkiyen rüzgar basıncı hesaplanırken, yapının en az $V_B = 160$ km/h değerinde bir rüzgar hızına maruz kaldığı kabul edilir. Yapıya etkiyen rüzgar yüklerinden en olumsuz kombinasyonu hesaplamak için, rüzgar esmesi muhtemel yönlerden, yapıya dik ve doğrusal bir yayılı yük olarak etki ettirilir (AASHTO-LFRD, 2007).

Çalışmadaki tipik monoray çerçevesinde kolon yüksekliği 6m olduğundan ve bu değer AASHTO standartlarında verilen 9m'lik sınır değerinden düşük olduğundan altında kaldığından, rüzgar hızı $V_w = 160$ km/h olarak kabul edilecektir (AASHTO 3.15.1.2).

AASHTO 3.15.2'de W (Wind load on structure) yükü hesabında, kirişler için $50\text{psf} = 2.39$ kN/m² kiriş eksenine dik yönde, $12\text{psf} = 0.57$ kN/m² kiriş eksenine paralel yönde rüzgar yükü alınmıştır. Kolonlara ise kolon eksenine dik yönde $40\text{psf} = 1.92$ kN/m² rüzgar yükü alınacaktır. WL (Wind load live load) yükü hesabında ise, araç için 100 lb/ft = 1.46 kN/m doğrusal yük kiriş yüzeyinden 6 ft = 1.8 m yukarıdan ve kiriş eksenine dik yönde uygulanmış, ayrıca 40 lb/ft = 0.58 kN/m doğrusal yük kiriş eksenine paralel yönde yüklenmiştir. Monoray taşıyıcı sisteminde kirişin kolon üzerine dönmesine izin verilecek şekilde yerleştirilmiş olmasından dolayı, 1.8 m yukarıdan kirişe uygulanan yük herhangi bir burulma momenti oluşturmayacaktır.

5.3.1.4. Deprem Yüğü (E)

Köyceğiz monorayı, Konya İli, Merkez Meram İlçesin'de ve deprem haritasına göre 4. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Tasarıma esas alınacak yerel ivme katsayısı deprem bölgesi haritasından $A_0 = 0,10$ olarak belirlenmiştir. Zemin sınıfını belirlemek

için herhangi bir çalışma yapılmadığından en elverişsiz zemin sınıfı Z4 kullanılacaktır. Zeminin deprem yükleri altındaki davranışını belirleyen ve zemin şartlarının köprü davranışına etkisini yansıtacak olan zemin etki katsayısı S, Tablo 5.2. de verilmiştir (Aktaş, 2010). Buna göre tablodan $S = 2.0$ olarak alınır. Spektrum karakteristik periyotları ise $T_A: 0,20$, $T_B: 0,90$ olarak belirlenmiştir. Spektral ivme katsayısı (C_{sm}), zemin profil tipine ve etkin yer ivmesine bağlı olarak Denklem (5.4) de verildiği gibi hesaplanmaktadır. Denklemdeki T_m m'inci moddaki periyodu temsil etmektedir.

Tablo 5.2. Zemin etki katsayısı (Aktaş, 2010)

Zemin Profil Tipi	S
I	1.0
II	1.2
III	1.5
IV	2.0

$$C_{sm} = \frac{1,2 \times A_0 \times S}{T_m^{2/3}} \leq 2,5 \times A_0 \quad (5.4)$$

Deprem etkisi belirlenen parametreler yardımıyla ve response spektrum analizi yaparak hesaplanacaktır.

5.3.1.5. Dinamik etkiler (I)

Köprüden geçen monoray aracının dinamik etkisini hesaba katılarak standart dingil yüklerinden elde edilen iç kuvvetler, dinamik etki katsayısı ile çarpılırlar. AASHTO 3.8.2.1'de dinamik etki katsayısı Denklem (5.5) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$I = 1 + (15 / (L + 37)) \quad (5.5)$$

Kiriş açıklığı 30m için I katsayısı 1,22 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, AASHTO'da verilen minimum I değeri 1,30 değerinin altında olduğu için, yük kombinasyonlarının hesabında kullanılacak olan I değeri için 1,30 alınacaktır.

5.3.1.6. Boyuna doğrultuda etkiyen yükler (LF)

AASHTO'ya göre köprü üzerindeki tüm şeritlerin aynı yönde hareket ettiği farz edilmelidir. Böylelikle, düşey hareketli yükün (araç yükünün) %5' i yatay olarak, yol yüzeyinden 1.80 m. yükseklikte köprüye uygulanır. Uygulanan bu yük köprü girişinde eğilme momentine sebep olacaktır.

5.3.1.7. Merkezkaç kuvveti (CE)

AASHTO 3.10'a göre kurbu bulunan köprülerde, hareketli yükün geçişinden doğan merkezkaç kuvvetinin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Merkezkaç kuvveti Denklem (5.6) da belirtilen formül ile hesaplanabilir.

$$C = 0,00117 \times S^2 \times D = \frac{0,79 \times S^2}{R} \quad (5.6)$$

Bu ifadede C hareketli yükün yüzdesi olarak merkezkaç kuvvetini, S m/h olarak proje hızını, D kurb açısını, R ise m olarak kurb yarıçapını göstermektedir. Aktaş (2010), Merkezkaç kuvveti yol yüzeyinden 1.80m yükseklikte uygulandığını ifade etmiştir.

5.3.1.8. Sıcaklık Etkisi (T)

Üniform sıcaklık değişikliklerine maruz kalma sonucu ortaya çıkan gerilmeler ve deformasyonlar, yapılacak statik analizde hesaba katılmalıdır. Sistemin sıcaklığındaki artış ve azalışlar, yapım sırasında kabul edilen bir sıcaklık derecesine ve bulunduğu bölgeye göre belirlenecektir (Aktaş, 2010). Konya ilinin iklimsel şartları göz önünde bulundurularak, sıcaklık etkisi AASHTO 3.16'ya göre +35°F ve -45°F değerleri için hesap edilecektir.

5.3.2. Yük Kombinasyonları

AASHTO 3.22.1'e göre karayolu köprülerinin maruz kalabileceği yükler ve yük kombinasyonları aşağıdaki ifade ile tanımlanır. Yapının her bileşeni bu kuvvetlerin özel bölge ve tiplere uygulanabilecek kombinasyonlara dayanacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

$$\begin{aligned} Grup(N) = \gamma [& \beta_D D + \beta_L (L + I) + \beta_C CF + \beta_E E + \beta_B B + \beta_S SF + \beta_W W + \beta_{WL} WL + \\ & \beta_L LF + \beta_R (R + S + T) + \beta_{EQ} EQ + \beta_{ICE} ICE] \end{aligned} \quad (5.7)$$

Denklem (5.7) de belirtilen AASHTO 3.22.1'deki parametreler yerine konulursa Tablo 5.3 elde edilir. Tablo 5.4'te ise Tablo 5.3'de geçen β_D ve β_E katsayıları çeşitli yapı türleri için verilmiştir.

Tablo 5.3. α ve β katsayıları ile yük kombinasyonlarının belirlenmesi (Aktaş, 2010)

Kol. No	1	2	3	3A	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
GRUP	γ	β Faktörü													%
		D	(L+I) _n	(L+I) _p	CF	E	B	SF	W	WL	LF	RST	EQ	ICE	
I	1.30	β_D	1.67	0	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	0
IA	1.30	β_D	2.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IB	1.30	β_D	0	1	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1.30	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	1.30	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	0	0	0	0
4	1.30	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	1	0	0	0
5	1.25	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	1	0	0	0
6	1.25	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	1	1	0	0
7	1.30	β_D	0	0	0	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	0
8	1.30	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	1
9	1.20	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	0	0	0	1
10	1.30	1	1.67	0	0	β_E	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(L+I)_n: Dinamik etkili hareketli yük durumunda AASHTO standardına göre H veya HS yüklemelerinde
(L+I)_p: Dinamik etkili aşırı hareketli yük durumu bölgenin şartlarına göre tespit edilir

Tablo 5.4. Çeşitli yapı türleri için β_D ve β_E katsayıları (Aktaş, 2010)

- β_D : 1.00 Eğilme ve çekme tahkiki yapılan elemanlarda
- β_D : 1.00 Maksimum aksenal kolon yükü ve minimum moment durumunda
- β_D : 0.75 Minimum aksenal yük ve maksimum moment veya maksimum dışmerkezlilik durumunda
- β_E : 1.00 Düşey ve yatay yüklere maruz bütün yapı elemanlarında
- β_E : 1.00 Düşey toprak basıncı durumunda
- β_E : 0.50 Yatay basınç etkisi durumunda pozitif momentin kontrol edildiği çubuk elemanlarda
- β_E : 1.15 Rijit menfezler harici rijit çubuk elemanlarda
- β_E : 1.30 Yatay etkiye maruz istinat duvarlarında
- β_E : 1.00 Elastik menfezlerde
- β_E : 1.50 Rijit menfezlerde

AASHTO standardında, köprüye etkiyen yüklerin meydana getireceği elverişsiz durumları hesaplamak için Tablo 5.5 ve 5.6'te verilen kombinasyon durumları SAP

2000 programına girilmiş ve yapılan analiz sonucuen elverişsiz iç kuvvet değerlerini verenyük kombinasyonları Tablo 5.7'daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 5.5. Servis yüklerine göre elde edilen kombinasyonlar

1,0 DL + 1,0 LL	COMB1
1,0 DL + 1,0 W	COMB2
1,0 DL + 1,0 LL + 0,3 W + 1,0 WL + 1,0 LF	COMB3
1,0 DL + 1,0 LL + 1,0 T	COMB4
1,0 DL + 1,0 W + 1,0 T	COMB5
1,0 DL + 1,0 LL + 0,3 W + 1,0 WL + 1,0 LF + 1,0 T	COMB6
1,0 DL + 1,0 EQX + 0,3 EQY	COMB7
1,0 DL + 0,3 EQX + 1,0 EQY	COMB8

Tablo 5.6. Yük katsayıları kullanıldığındaki taşıma gücü hesabı için yük kombinasyonları

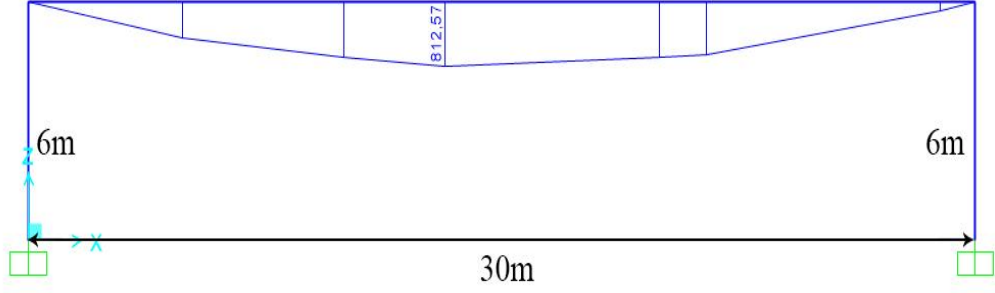
1.3 (1,0 DL + 1.67 LL)	COMB9
1.3 (1,0 DL + 1,0 W)	COMB10
1.3 (1,0 DL + 1,0 LL + 0,3 W + 1,0 WL + 1,0 LF)	COMB11
1.3 (1,0 DL + 1,0 LL + 1,0 T)	COMB12
1.25 (1,0 DL + 1,0 W + 1,0 T)	COMB13
1.25 (1,0 DL + 1,0 LL + 0,3 W + 1,0 WL + 1,0 LF + 1,0 T)	COMB14

Tablo 5.7. Analiz sonucu en gayri müsait iç kuvvetleri veren yük kombinasyonları

1.3 (1,0 DL + 1.67 LL)	COMB9
1.3 (1,0 DL + 1,0 LL + 1,0 T)	COMB12
1.25 (1,0 DL + 1,0 LL + 0,3 W + 1,0 WL + 1,0 LF + 1,0 T)	COMB14

5.3.3. SAP 2000 Programında Statik Analizinin Yapılması

Şekil 5.1'de gösterilen tipik monoray çerçevesi, Şekil 5.2'de gösterilen kolon (120cm x 150cm) ve kiriş (70cm x 160cm) kesit ölçüleri kullanılarak Bölüm 5.3.1'de verilen yüklere ve Bölüm 5.3.2'de verilen yük kombinasyonlarına göre analiz edilmiştir. Şekil 5.13'de çerçeve üzerinde maksimum eğilme tesiri görülmektedir.



Şekil 5.13. Analizi yapılacak sistemin en elverişsiz yük altında genel görünümü

Kirişte Meydana Gelen Maksimum İç Kuvvetler;

$$M_{max} = 812 \text{ tm}$$

$$V_d = 116 \text{ t}$$

Kolonda Meydana Gelen Maksimum İç Kuvvetler;

$$M_{max-x} = 212 \text{ tm}$$

$$M_{max-y} = 184 \text{ tm}$$

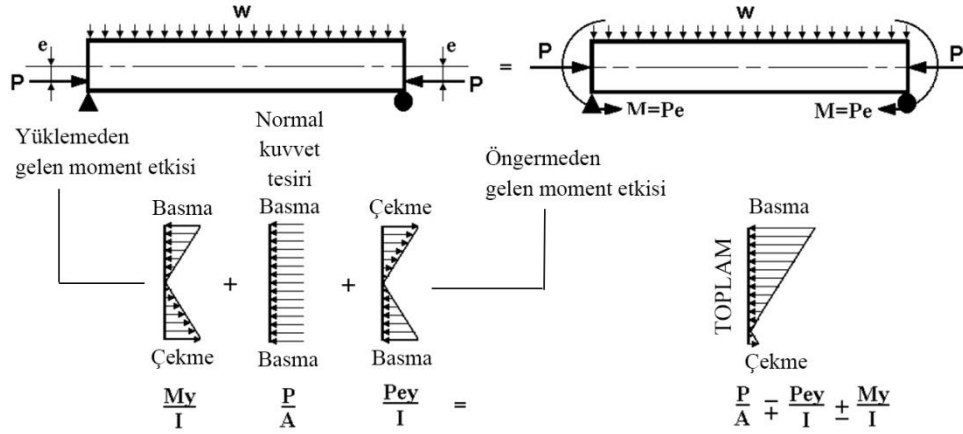
$$V_t = 35,34 \text{ t}$$

5.4. Monoray Köprüsünün Betonarme Tasarımı

Monoray köprü yapısını meydana getiren temel yapı elemanları kiriş, kolon ve temeldendir. Kiriş elemanlar öngerme prefabrik, kolonlar ise prefabrik elemanlar şeklinde tasarlanmıştır. Kolon temelleri kazıklarla destekli tekil temel olarak planlanmıştır. Bu yapı elemanlarının boyutlandırılmasında, TS 3233 “Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” ve TS 500 standartları esas alınmıştır. Bunların yanında, daha önce benzer konuda yapılmış akademik yayınlardan ve çeşitli öğretim üyelerinin hazırlamış olduğu betonarme ders notlarından da istifade edilmiştir.

5.4.1. Öngermeli Kiriş Hesabı

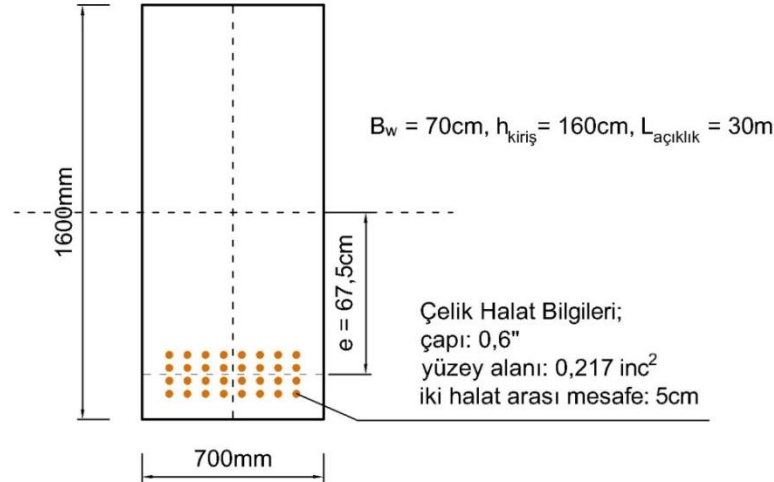
Öngermeli kiriş sistemler, kiriş içerisine eksantirik olarak yerleştirilen öngerme halatlarının gerilmesi ile, kiriş tarafsız eksenine göre negatif moment (kiriş üstünde çekme, altında basınç) oluşturarak, kirişin servis yükleri altında normal kirişlere göre çok daha fazla eğilme momenti taşıyabilmesini sağlayan sistemlerdir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Betonarme kirişte öngerilmenin gerilme dağılımı üzerindeki etkisi (Miller, 2018)

5.4.1.1. Kesit Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Şekil 5.15'te monoray kirişi kesiti ve öngerme çelik halatları yerleşim düzeni gösterilmektedir. Öngerme çelik halat çapı olarak 0,6" seçilmiştir. Çeşitli halat çapı ve sırada halat düzenleri denenmiş ve sonunda kirişe etkiyen momenti güvenli bir şekilde taşıyacak Şekil 5.15'te gösterilen halat düzenine ulaşılmıştır.



Şekil 5.15. Monoray kirişi kesiti ve öngerme çelik halatları yerleşim düzeni

Kiriş kesiti ölçüleri: $b = 70\text{cm}$, $h = 160\text{cm}$

$d' = 5\text{cm}$ (paspayı)

$e = 67,5\text{ cm}$ (halatların ağırlık merkezinin kesitin orta noktasına olan uzaklığı)

0,6" 1 adet kablo en kesit alanı $= 0,217\text{ in}^2 = 0,217 \times 6,462 = 1,402254\text{ cm}^2$

5.4.1.2. Kesit Gerilmelerinin Hesabı

Betonarme kirişe etkiyen kesit gerilmeleri hesaplanırken, öngerme halatının oluşturduğu çekme gerilmelerinin etkisi de TS 3233 standartlarında belirtildiği gibi göz önüne

alınmıştır. Halatların oluşturacağı çekme gerilmelerini dengelemek için basınç donatısı ilave edilmiştir.

En büyük açıklık momenti: $M_d = 812 \text{ tm}$

$$M_{g+q} = \frac{M_d}{1,5} = 541 \text{ tm}$$

$f_{pk} = 270000 \text{ psi} = 18892 \text{ kg/cm}^2$ (halat için minimum çekme mukavemeti)

Kabloda ilk öngerme = $0,75 \times f_{pk} = 0,75 \times 18982 \text{ kg/cm}^2 = 14236,5 \text{ kg/cm}^2$

İlk öngerme kuvveti = $14236,5 \times 1,40 = 19931,1 \text{ kg} = 19,93 \text{ t}$

İlk öngerme gerilmesinden % 15 kayıpla servis sırasında öngerme gerilmesi;

$$0,60 \times f_{pk} = 0,6 \times 18982 = 11389,20 \text{ kg/cm}^2$$

Kayıplardan sonra kalan öngerme yükü (Servis Yüğü);

$$P = (0,60 \times f_{pk}) \times 1,40 \times \text{halat sayısı} = 11389,20 \text{ kg/cm}^2$$

Tahmini öngerme halatı sayısı: 4 sıra halinde 8 adet 0,6" (toplam 32 adet)

$$P = (0,60 \times 18982) \times 1,40 \times 32 = 510236 \text{ kg} = 510,24 \text{ t}$$

$$\Delta M = M_{(g+q)} - P \times e = 541 \times 100 - 510,24 \times 67,5 = 19658,8 \text{ tcm}$$

$$G_b = \left(-\frac{P}{A} \right) \pm (\Delta M \times y) / I$$

y: Kesit tarafsız ekseninden olan uzaklık = 80 cm (üst ve alt yüzeyler için)

I: Kesit atalet momenti ve A: Kesit alanı

$$G_{b(\text{üst,alt})} = \left(-\frac{510236}{70 \times 160} \right) \pm (19658 \times 1000 \times 80) / \left(\frac{1}{12} \times 70 \times 160^3 \right)$$

$$G_{b(\text{üst,alt})} = -45,56 \pm 65,82$$

$$G_{b(\text{üst})} = -45,56 - 65,82 = -111,38 \leq -160 \text{ kg/cm}^2 (= -0,40 \times 400)$$

$$G_{b(\text{alt})} = -45,56 + 65,82 = 20,26 \leq 32 \text{ kg/cm}^2 (= 1,6 \times \sqrt{400})$$

4 sıra halinde 8 halat (toplam 32) ilk germe kuvveti 19,50 t/halat olarak çekilecektir.

5.4.1.3. Öngerme Sonrasında Mesnette Gerilme Kontrolü

$$M_{(g+q)} = 0$$

$$G_{b(\text{üst,alt})} = \left(-\frac{510236}{70 \times 160} \right) \pm (510236 \times 67,50 \times 80) / \left(\frac{1}{12} \times 70 \times 160^3 \right)$$

$$G_{b(\text{üst,alt})} = -45,56 \pm 115,32$$

$$G_{b(\text{üst})} = 69,76 > 32 \text{ kg/cm}^2$$

$$G_{b(\text{alt})} = -160,88 < -180 \text{ kg/cm}^2$$

5.4.1.4. Kiriş Üst Bölgesinde Donatı Hesabı

$$G_{b(\text{üst,alt})} = \left(-\frac{P_{\max}}{A} \right) \pm (P_{\max} \times e) \times b/I$$

$$32 = (-8,93 \times 10^{-5} \times P_{\max}) + (2,26 \times 10^{-4} \times P_{\max})$$

$$32 = 1,367 \times 10^{-4} \times P_{\max}$$

$$P_{\max} = 234,089 \text{ t}$$

$$M_{\text{fark}} = (P_{\text{ef}} - P_{\max}) \times e = (510,24 - 234,09) \times 0,675 = 186,40 \text{ tm}$$

$$A_s = \frac{M_{\text{fark}}}{f_{yd} \times j \times d} = \frac{18640}{3,60 \times 0,991 \times 155} = 33,71 \text{ cm}^2$$

Kesit üstüne konulacak A_s donatısı, tek sıra halinde yerleştirilemediği için, çift sıra halinde düzenlenmiştir. Üstten birinci sıraya 7Ø18 ikinci sıraya ise 6Ø18 donatı yerleştirilecektir (Şekil 5.17).

5.4.1.5. Kiriş Gövde Donatısı Hesabı

Gövde donatısı hesabı için verilen Denklem (5.8)'te, minimum ρ' gövde donatısı oranı 0,001 olarak alınmıştır. Böylece;

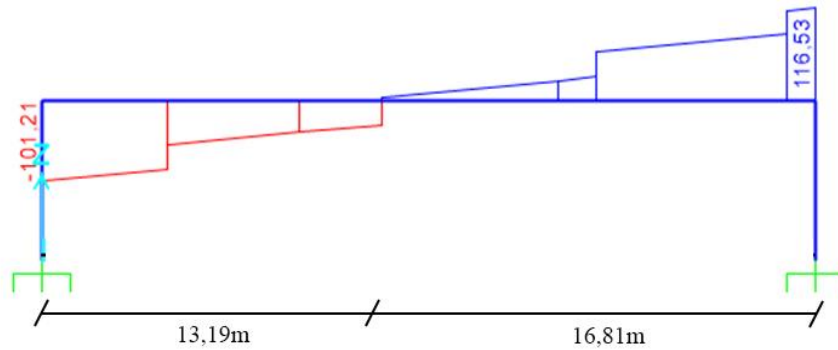
$$\rho' = \frac{A'_s}{b_w d} \quad (5.8)$$

$$A'_s \geq 0,001 \times 700 \times 1550 = 1085 \text{ mm}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Buna göre, seçilen gövde donatısı 4Ø20 olarak çift sıra olarak teşkil edilecektir.

5.4.1.6. Kiriş Etriye Hesabı

En elverişsiz durumda oluşan kesme kuvveti diyagramı Şekil 5.16. da gösterilmiştir. Kolon yüzünden faydalı yükseklik (d) kadar olan mesafe içerisinde tekil yük olduğu için V_d kolon yüzünde hesaplanacaktır. (TS 500)



Şekil 5.16. En elverişsiz yükleme için kesme kuvveti (V:ton)diyagramı

$$\frac{V_d}{116,53} = \frac{16,31}{16,81}$$

$$V_d = 113,06 \text{ t}$$

$$Max V_d = 0,22 \times f_{cd} \times A_c$$

$$Max V_d = 0,22 \times 26,67 \times 700 \times 1550 = 636,6 \text{ t}$$

636,6 t > V_d kesit yeterlidir.

$$V_{cr} = 0,65 \times 1,48 \times 700 \times 1550 = 104,38 \text{ t}$$

104,38 t < V_d minimum etriye yetmez, hesap yapılacak.

$$\frac{A_s}{s} = \frac{V_d}{f_{ywd} \times d}$$

Kiriş genişliği 40 cm'den büyük olduğu için Ø10 çapında 2 adet çift kollu etriye kullanılırsa;

$$A_{sw} = 4 \times 79 = 316 \text{ mm}^2$$

$$\frac{316}{s} = \frac{113,06 \times 10^4}{365,22 \times 1550}$$

s = 158 mm olarak hesaplanır. Sıklaştırma bölgesinde ise s = 75 mm olarak alınacaktır.

Açıklıkta Ø10/15 kullanılırken, sıklaştırma bölgesinde Ø10/7 tercih edilecektir.

Kontrol;

$$\rho_w = \frac{308}{700 \times 150} = 0,0029$$

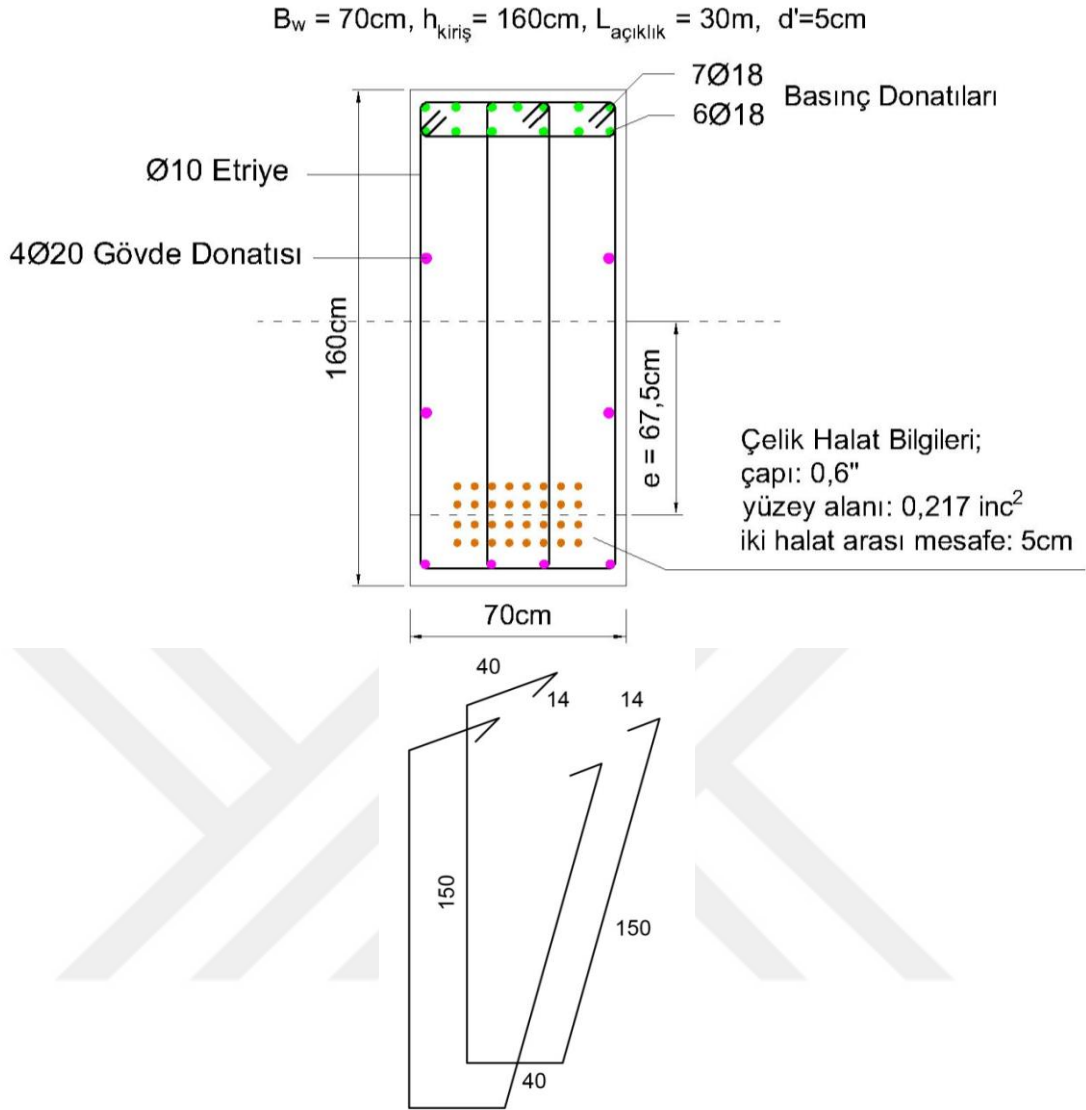
$$\rho_{min} = 0,3 \frac{1,48}{365,22} = 0,0012$$

(5.9)

Böylece $\rho_w > \rho_{min}$ ve $s < h/2$, 150mm < 350mm şartları sağlanmış olur.

5.4.1.7. Öngerme Kiriş Donatıları

Öngerme kiriş için yapılan hesaplar sonucu elde edilen çelik halatlar ve yerleşim düzeni, basınç donatıları, gövde donatıları, montaj donatıları ve etriyeler Şekil 5.17'de çizilerek verilmiştir.



Şekil 5.17. Öngermeli kiriş kesitinde hesap sonucu çelik halat ve donatı düzeni

5.4.2. Prefabrik Kolon Hesabı

Betonarme hesabınageçmeden öncelikle kolonda oluşan maksimum iç kuvvet tesirlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tablo 5.7.'de monoray taşıyıcı sisteminde en elverişsiz kolon iç kuvvetleri ve momentlerinin hangi kombinasyonlarda meydana geldiği verilmiştir. Tablo 5.8.'de isesonuç olarak kolon uçlarında elde edilen normal kuvvet ve moment değerleri verilmiştir. Buna göre maksimum moment değerleri COMB14 kombinasyonundan, normal kuvvet değeri ise COMB9 kombinasyonundan elde edilmiştir. Kolon alt ucunda meydana gelen maksimum kesme kuvveti değeri ise $V_t = 35,34\text{ t}$ olarak bulunmuştur.

Tablo 5.8. Kolon ve temel hesabı için kolonda meydana gelen maksimum uç tesirler

		COMB9	COMB12	COMB14
ÜST UÇ	N _d (t)	116,53	87,97	84,58
	M _{xd} (tm)	0	0	0
	M _{yd} (tm)	0	0	0
ALT UÇ	N _d (t)	136,4	107,84	103,7
	M _{xd} (tm)	0	209,31	-212,04
	M _{yd} (tm)	0	0	184,29

Kolonun enkesit ölçüleri, h =150cm ve b = 120cm olarak belirlenmiştir. Betonarme hesapları TS 500'e göre yürütülmüştür.

Öncelikle kolon enkesit boyutlarının normal kuvvete göre uygun olup olmadığının kontrolü yapılmalıdır.

$$A_c \geq \frac{N_{dmax}}{0,5 \times f_{ck}} \rightarrow 1500 \times 1200 \geq \frac{1364000}{0,5 \times 40} = 1800000mm^2$$
$$1800000mm^2 \geq 68200mm^2 \text{ (uygundur)}$$

5.4.2.1. Kolon Boyuna Donatı Hesabı

Çift doğrultuda eğilmeye maruz kolon için boyuna donatı hesabında Topçu (2018)'deki abaklar kullanılmıştır.

$$n = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}}$$
$$n = \frac{1360,4 \times 10^3}{1500 \times 1200 \times 26,67} = 0,028$$
$$m_x = \frac{100 \times M_{xd}}{b \times h^2 \times f_{cd}}$$
$$m_x = \frac{100 \times 2120,04 \times 10^6}{1200 \times 1500^2 \times 26,67} = 2,94$$
$$m_y = \frac{100 \times M_{yd}}{b^2 \times h \times f_{cd}}$$
$$m_y = \frac{100 \times 1840,29 \times 10^6}{1200^2 \times 1500 \times 26,67} = 3,19$$

w₁ = 8, w₂ = 0büyük olan değer donatı hesabında kullanılacaktır. Böylece elde edilen w değeri formülde yerine konulacak olursa;

$$A_{st} = \frac{w}{100} \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \times b \times h$$

$$A_{st} = \frac{8}{100} \times \frac{26,67}{365,22} \times 1200 \times 1500 = 10515,52 \text{mm}^2$$

Her bir köşeye 1Ø22(380mm²)

$$10515 - (4 \times 380) = 8995 \text{mm}^2$$

$$8995/4 = 2661 \text{mm}^2$$

Seçilen donatı; 7Ø22 (2661 mm²her kenarın köşeleri arasında)

$$\rho_{min} = 0,01, \rho_{max} = 0,04$$

$$\rho = 4 \times (380 + 2661)/(1200 \times 1500) = 0,00675$$

$\rho < \rho_{min}$ olduğu için minimum donatı kullanılır.

$$A_{smin} = (1200 \times 1500) \times 0,01$$

$$A_{smin} = (1200 \times 1500) \times 0,01 = 18000 \text{mm}^2$$

Her bir köşeye 1Ø28(616 mm²)

$$18000 - (4 \times 616) = 15536 \text{mm}^2$$

$$15536/4 = 3884 \text{mm}^2$$

Seçilen donatı; 7Ø28 (4310 mm²her kenarın köşeleri arasında)

Kolon filiz boyları aşağıdaki eşitliğe göre belirlenir. Genel durumda bulunan kenetlenme boyu 1,4 ile çarpılmaktadır (TS500, 2000).

Ø28, C40 ve S420 için hesap:

$$l_b = 0,12 \times \frac{f_{yd}}{f_{cta}} \times \phi \geq 20 \times \phi$$

$$l_b = 0,12 \times \frac{365,22}{1,48} \times 28 \geq 20 \times 28$$

$$l_b = 830 \text{mm} \geq 560 \text{mm}$$

$$l_{bson} = 830 \text{mm} \times 1,4 = 1,16 \text{m} \cong 1,20 \text{m}$$

5.4.2.2. Kolon Etriye Hesabı

Kolon orta noktasında (Sezer, 2006);

$$V_d = 353,40 \text{ kN}$$

$$V_{cr} = 0,65 \times 1,48 \times 1200 \times 1500 = 1731,6 \text{ kN}$$

$V_{cr} > V_d$ Olduğundan dolayı, kolon boyutları da göz önüne alınarak minimum etriye kullanılması yeterlidir.

$$h_k = 150 - 2 \times 5 = 140 \text{ cm}$$

$$b_k = 120 - 2 \times 5 = 110 \text{ cm}$$

$S_0 \leq \frac{b_{min}}{2}$, $S_0 \leq \frac{110}{2}$ ve böylece $S_0 \leq 55 \text{ cm}$ olmalıdır. Ayrıca maksimum etriye aralığı Deprem yönetmeliğinde (DBYBHY 2007) max S_0 değeri 20cm ile sınırlandırıldığından, 19cm olarak alınmıştır.

Minimum etriye çapının maksimum donatı çapının yarısından az olması imalat aşamasından sonra yapıda istenmeyen bazı durumlara yol açacağından önerilmemektedir (Doğan, 2015). Bu sebepten ötürü donatı çapı $\emptyset 14$ ($\emptyset 28/2$) seçilmiş ve donatı aralığı ise 19cm olarak belirtilmiştir.

Ondörtlük donatı için maksimum etriye kolu/çiroz aralığı hesabı;

$$a_i = \emptyset_{etriye} \times 25 = 1,4 \times 25 = 35 \text{ cm}$$

x yönü

$\emptyset 14/19$ etriye + 4 $\emptyset 14$ çiroz

y yönü

$\emptyset 14/19$ etriye + 3 $\emptyset 14$ çiroz

ve 1 $\emptyset 14$ için $A_0 = 1,54 \text{ cm}^2$

$V_d \leq V_r$ olmalı

$$A_{sh} = 2 \times 1,54 + 4 \times 1,54 = 9,24 \text{ cm}^2$$

$$V_r = \frac{A_{sh}}{s} \times f_{ywd} \times d = \frac{9,24}{19} \times 3,650 \times 140 = 248,50 \text{ ton} = 2485 \text{ kN}$$

$$V_d \leq V_r$$

$353,4 \leq 2485$ uygun

Sarılma bölgesinde;

1)

$$\frac{A_{sh}}{s} \geq 0,30 \times h_k \times \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \times \frac{f_{ck}}{f_{ywk}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,30 \times 140 \times \left(\frac{150 \times 120}{140 \times 110} - 1 \right) \times \frac{40}{420} = 0,68$$

2)

$$\frac{A_{sh}}{s} \geq 0,075 \times h_k \times \frac{f_{ck}}{f_{ywk}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,075 \times 140 \times \frac{40}{420} = 1$$

$\frac{A_{sh}}{s} = 1$ değeri daha büyük olduğundan ötürü hesapta bu değer kullanılır.

$$\emptyset 14/19 \text{ etriye} + 3\emptyset 14 \text{ çiroz için } A_{sh} = 2 \times 1,54 + 4 \times 1,54 = 9,24 \text{ cm}^2$$

$$\frac{9,24}{s} = 1, s = 9,24 \text{ cm}$$

Sıklaştırma bölgesinde seçilen $s = 9 \text{ cm}$

$$5 \text{ cm} < s < \frac{b_{min}}{3}$$

$$5 \text{ cm} < s < \frac{120}{3}$$

$$5 \text{ cm} < s < 40 \text{ cm}$$

$s = 9 \text{ cm}$ uygun

Son durumda etriye seçimi;

$\emptyset 14/19$ etriye + $4\emptyset 10$ çiroz

$\emptyset 14/19$ etriye + $3\emptyset 10$ çiroz

Sarılma bölgesinde: $\emptyset 14/9$

Orta bölgede: $\emptyset 14/19$

Açıklıkta $\emptyset 14/19$ kullanılırken, sıklaştırma bölgesinde $\emptyset 14/9$ tercih edilecektir.

Toplam kolon boyu $L_n = 6 \text{ m}$ olduğu için sıklaştırma boyu olan L_c değeri aşağıdaki eşitliklerden büyük olan değere göre belirlenmiştir.

$$L_{c1} = b_{max}, L_{c2} = L_n / 6$$

$$L_{c1} = 150 \text{ cm}, L_{c2} = 6000 / 6$$

L_c değeri $1,5 \text{ m}$ olarak belirlenmiştir.

5.4.2.3. Kolonda Narinlik Etkisi

TS 500 7.6.2.3. madde de belirtilen eşitliğin (Denklem (5.10)) sağlanması durumunda narinlik etkisi ihmal edilir.

$$\left(\frac{l_k}{i}\right) \leq 34 - 12 \times (M_1/M_2) \leq 40 \quad (5.10)$$

$$\left(\frac{6}{1,2 * 0,3}\right) \leq 34 - 12 \times (184/212) \leq 40$$

$16,67 \leq 22,87$ narinlik etkisi ihmal edilir.

$$q_u = 2,61 \times 12$$

$$q_u = 31,32 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{zem} = \frac{31,32}{3} = 10,44 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Güvenlik katsayısı=3 alınmıştır)}$$

Bu bilgilere ilave olarak yapılan etütler neticesinde zemin sınıfı B grubu ve yatak katsayısı (K_s) 5000 t/m^3 olarak belirlenmiştir. Zemin profili kireçtaşı ve sıkı kumdan ibaret olduğu için içsel sürtünme açısı (ϕ) 35° olarak belirlenmiştir (DSİTB, 2010). Sıkı kumun birim hacim ağırlığı olarak ise $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ değeri alınmıştır.

Prefabrik kolonun oturacağı temel öncelikle tekil temel olarak planlanmış ve hesaplar buna göre gerçekleştirilmiştir, ancak aşağıda gösterildiği gibi, hesaplar sonucu zemin emniyet gerilme tahkikleri sağlanamamıştır ($\sigma_2 = -40,51 \frac{\text{t}}{\text{m}^2} < 0$).

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y}$$

$$\sigma = \frac{136,4}{12,96} \pm \frac{212}{7,78} \pm \frac{185}{7,78}$$

$$\sigma = 10,52 \pm 27,25 \pm 23,78$$

$$\sigma_1 = 61,55 \text{ t/m}^2 > 0$$

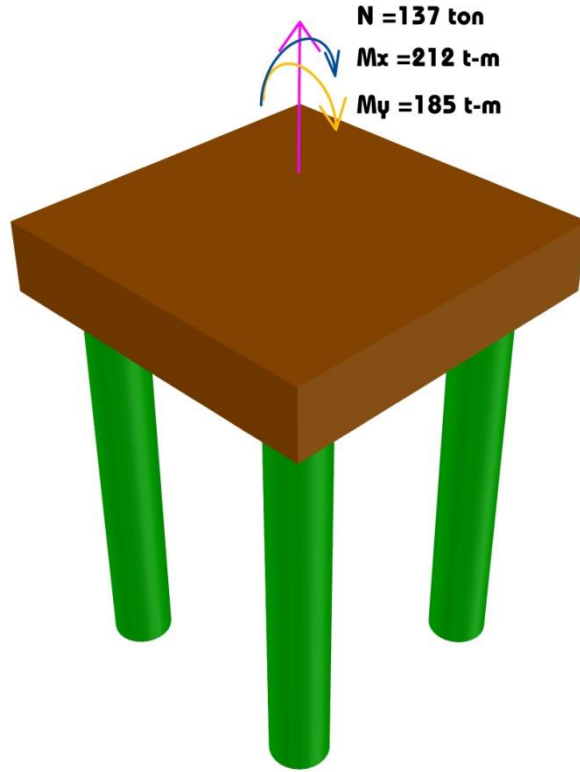
$$\sigma_2 = -40,51 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{zem} = 102,75 \text{ t/m}^2$$

Bunun nedeni ankastre olarak düşünülen kolon altındaki yüksek moment tesirleridir. Bu nedenle tekil temel altına sürtünme kazıkları konulması uygun görülmüştür. Temel tabanındaki zeminin taşıma gücü aktarılan yükleri yüzeysel temellerle karşılamaya yetmiyorsa derin temeller tercih edilir. Derin temellerde taşıma gücü bileşenleri, yan yüzeylerdeki sürtünme ve taban alanındaki taşıma gücünden oluşur.

5.4.3.1. Betonarme Kazıkların Hesabı

Taşıyıcı sistem analizinden elde edilen normal kuvvet ve moment değerleri (Şekil 5.19) güvenlik katsayıları ile artırılmış en elverişsiz yükleme durumlarından elde edildiği için yapılacak kazıklı temel tasarımında kullanılacak güvenlik katsayısının 1,5 olarak alınması yeterli görülmüştür. Öncelikle elde edilen yüklere göre bir kazığın taşıması gereken yük miktarı belirlenmelidir. Artırılmış temel yükleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.19. Temel üzerine etkiyen normal kuvvet ve moment değerleri

$$N_0 = 1,5 \times N$$

$$N_0 = 1,5 \times 137 = 206 \text{ ton}$$

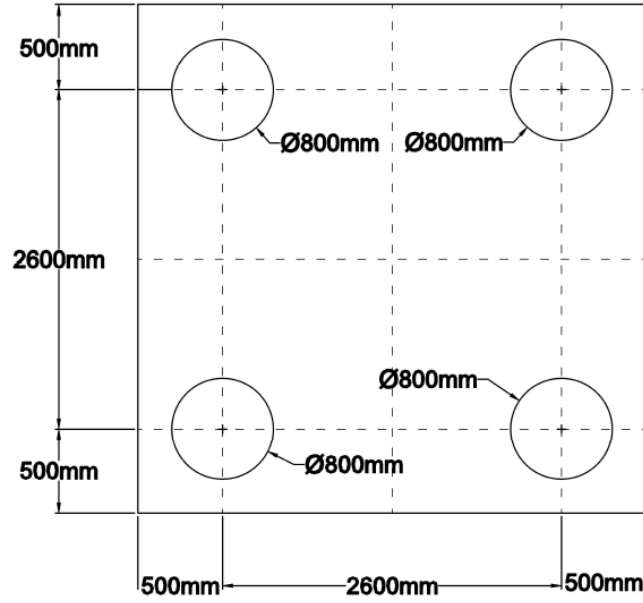
$$M_{x0} = 1,5 \times M_x$$

$$M_{x0} = 1,5 \times 212 = 318 \text{ tm}$$

$$M_{y0} = 1,5 \times M_y$$

$$M_{y0} = 1,5 \times 185 = 278 \text{ tm}$$

Eldeki verilere göre, uç çapı 80cm ve derinliği 4,0m olan 4adet sürtünme kazığının teşkili uygun görülmüştür (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. Temel altı kazıkları yerleşim düzeni

Kazık taşıma gücü hesabına geçmeden önce, momentleri karşılayacak minimum kazık kuvvetinin hesaplanması gerekmektedir. Bir kazığın yüzey sürtünmesi ile taşıması gereken minimum yük;

$$P_s = \frac{M_x}{n \times y_i} \mp \frac{M_y}{n \times x_i}$$

$$P_s = \frac{318}{4 \times 1,3} \mp \frac{278}{4 \times 1,3}$$

$$P_s = 61,15 + 53,5 = 114,65 \text{ ton}$$

Bir kazığa gelen toplam yükün hesaplanması;

$$P_i = \frac{N_0}{n} \mp \frac{M_x}{n \times y_i} \mp \frac{M_y}{n \times x_i}$$

$$P_i = \frac{206}{4} \mp \frac{318}{4 \times 1,3} \mp \frac{278}{4 \times 1,3}$$

$$P_1 = 166,11 \text{ ton (tek kazık tarafından taşınması gereken toplam yük)}$$

Bir kazığın geçmeden önce taşıyabileceği maksimum yük, kazık taşıma gücü (Q_F) ve kazık ağırlığı (W) ile ifade edilirse bir kazığın kırılma olmadan taşıyabileceği yük $Q_F + W$ olur.

Bu yük, kazık ucunun taşıyabileceği maksimum yük (Q_b) ile kazık çevresinin sürtünme ve adhezyon (iki farklı maddenin molekülleri arasındaki çekim kuvveti) ile taşıyabileceği yük Q_s 'nin toplamına eşittir ($Q_F + W = Q_b + Q_s$).

Kazık ucunun taşıyabileceği maksimum yük (Q_b), kazık uç alanı ile bu alanın taşıma gücünün çarpımı ile elde edilir: $Q_b = A \times q_b$. Benzer şekilde kazığın sürtünme ile taşıyabileceği yük $Q_s = A_s \times q_s$ denklemi ile hesaplanabilir. Kazıkların nihai taşıma gücü; $Q_F = A \times q_s + A_s \times f_s - W$ şeklinde elde edilir.

Kazıkların uç mukavemet hesaplamasında müsaade edilen taşıma gücü değerleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

$$Q_b = q_b \times A_b = N_q \times \sigma'_{v0} \times A_b$$

$N_q =$ Taşıma gücü faktörü (Berezantsev'in taşıma kapasitesi diyagramından elde edilir.)

$$\sigma'_{v0} = \text{Kazık uç seviyesindeki jeolojik efektif yük}$$

$$A_b = \text{Kazık ucu nominal planı}$$

$$N_q \cong 80$$

$$\sigma'_{v0} = \gamma \times L = 20 \times 4,0 = 80 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_b = q_b \times A_b = 80 \times 80 \times (\pi \times 0,4^2) = 3215 \text{ kN}$$

Kazıkların yüzey boyunca sürtünme kuvvetinin etkileyeceği alanları ile elde edilen sonuç çarpılarak Q_s sürtünme muavemeti hesaplanır.

$$Q_s = A_s \times q_s = A_s \times \beta \times \sqrt{\frac{P_a \times q_u}{2}} \text{ (KULHAWY ve PHOON, 1993)}$$

$\beta = 1 \sim 3$, güvenli tarafta kalmak amacıyla 1 alınmıştır.

$$P_a = \text{Sürtünme yüzeyi boyunca ortalama yatay basınç}$$

$$q_u = 31,32 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = \text{Kazık gövdesi yüzey alanı}$$

$$A_s = \pi \times 0,80 \times 4,00 = 10,048 \text{ m}^2$$

$$P_a = K_a \times \gamma \times L = 0,275 \times 20 \times 4,00 = 22,00 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = A_s \times q_s = 10,048 \times 1 \times \sqrt{\frac{22,00 \times 3132}{2}} = 1865 \text{ kN}$$

Zeminde oluşan çekme gerilmelerinin emniyetle taşınabilmesi için kazıkların sürtünme mukavemeti taşıma kapasitesinin momentlerden kaynaklanan kuvvetin üzerinde olması gerekmektedir.

$$Q_s \geq P_s$$

$$Q_s = 1865,00 \text{ kN} > 1146,5 \text{ kN}$$

Moment etkilerinden oluşan çekme gerilmeleri emniyetli bir şekilde sürtünme kazıklarıyla taşınabilmektedir.

$$W = K_{ad} \times A_b \times \gamma_{\text{beton}} = 4 \times \pi \times 0,4^2 \times 20 = 40,2 \text{ kN}$$

Kazık net taşıma gücünün belirlenmesinde, başlangıçta daha önce artırılmış yük değerleri 1,5 katsayısı ile tekrar güvenli tarafta kalınması için artırıldığından dolayı ilave bir güvenlik katsayısına ihtiyaç görülmemiştir.

$$Q_F = Q_s + Q_b - W = 1865,00 + 3215,00 - 40,2 = 5039,8 \text{ kN}$$

$$Q_F \geq P_1, \quad 5039,8 \text{ kN} > 1661,1 \text{ kN}$$

Buna göre, kazıkların taşıma kapasitesi yeterlidir.

Grafit Mühendislik tarafından kampüs sahasında yapılacak fakülte inşaatları için hazırlanan zemin etüt raporunda bölgede yapılan sondaj çalışmaları sonucu temel zemininin kaya biriminden oluşmasından ötürü temel ve kazık imalatlarında herhangi bir oturma riski bulunmadığı söylenebilir.

Kazık betonarme hesabında, dairesel kolonlara uygulanan şartlara göre çözümleme yapılması uygun görülmüştür (Das, 1999).Taşıyıcı sistemin analizi sonucu kolondan gelen maksimum kesme kuvveti değeri $V_t = 35,34$ ton olarak hesaplanmıştır.

$$A_{smin} = 0,01 \times \frac{\pi \times 800^2}{4} = 5024 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 18\emptyset 20 (5652 \text{ mm}^2)$$

Kazık başına gelen kesme kuvveti;

$$V_d = \frac{353,4}{4} = 88,35 \text{ kN}$$

$$V_{cr} = 0,65 \times 1,48 \times \frac{\pi \times 800^2}{4} = 483 \text{ kN} > 88,35 \text{ kN}$$

Kazıklar için konstrüktif olarak belirlenen minimum etriye ($\emptyset 10$) kullanılır ve uçlardan itibaren kazık çapının üç katı kadar olan mesafe sarılma bölgesi olarak tasarlanır (Toğrol ve Tan, 2009).

Sarılma bölgesinde: $\emptyset 10/75$ (fret donatı)

Orta bölgede: $\emptyset 10/200$ (fret donatı)

5.4.3.2. Kazık Başlığındaki Tekil Temel Hesabı

Kolondan temele aktarılan uç momentler:

$$M_x = 212 \text{ tm}$$

$$M_y = 185 \text{ tm}$$

Kazık temel başlığının boyutları daha önceki bölümde 3,6m x 3,6m olarak belirlenmiştir. Başlık kalınlığı ise 1,2m olarak seçilmiştir. Kazık başlığının eğilme hesabı iki doğrultuda yapılmalıdır. Pas payı olarak 5cm yeterli görülmüştür. Kazıklardan aktarılan eksenel kuvvetlerin, kolon ucundaki momentin yönüne bağlı olarak, kimi zaman basınç, kimi zaman ise çekme olması göz önüne alındığında, temel için hesaplanacak olan donatının hem temel altına hem de temel üstüne aynı donatının konulması uygun görülmüştür.

x doğrultusu için eğilme hesabı (Topçu, 2018):

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 1150 \text{ mm}$$

$$M_x = 212 \text{ tm}$$

$$K = \frac{10 \times M_d}{b_w \times d^2}$$

$$K = \frac{10 \times 2,12 \times 10^9}{1000 \times 1150^2} = 16,03$$

$$\omega = 45$$

$$\rho = \frac{\omega}{10^4}$$

$$\rho = \frac{45}{10^4} = 0,0045 > \rho_{min} = 0,0032$$

$$A_s = \rho \times b_w \times d$$

$$A_s = 0,0045 \times 1000 \times 1150 = 5175 \text{ mm}^2$$

Seçilen 12Ø24 (5429 mm²) (temel altına ve üstüne)

y doğrultusu için eğilme hesabı (Topçu, 2018):

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 1150 \text{ mm}$$

$$M_x = 185 \text{ tm}$$

$$K = \frac{10 \times M_d}{b_w \times d^2}$$

$$K = \frac{10 \times 1,85 \times 10^9}{1000 \times 1150^2} = 13,98$$

$$\omega = 40$$

$$\rho = \frac{\omega}{10^4}$$

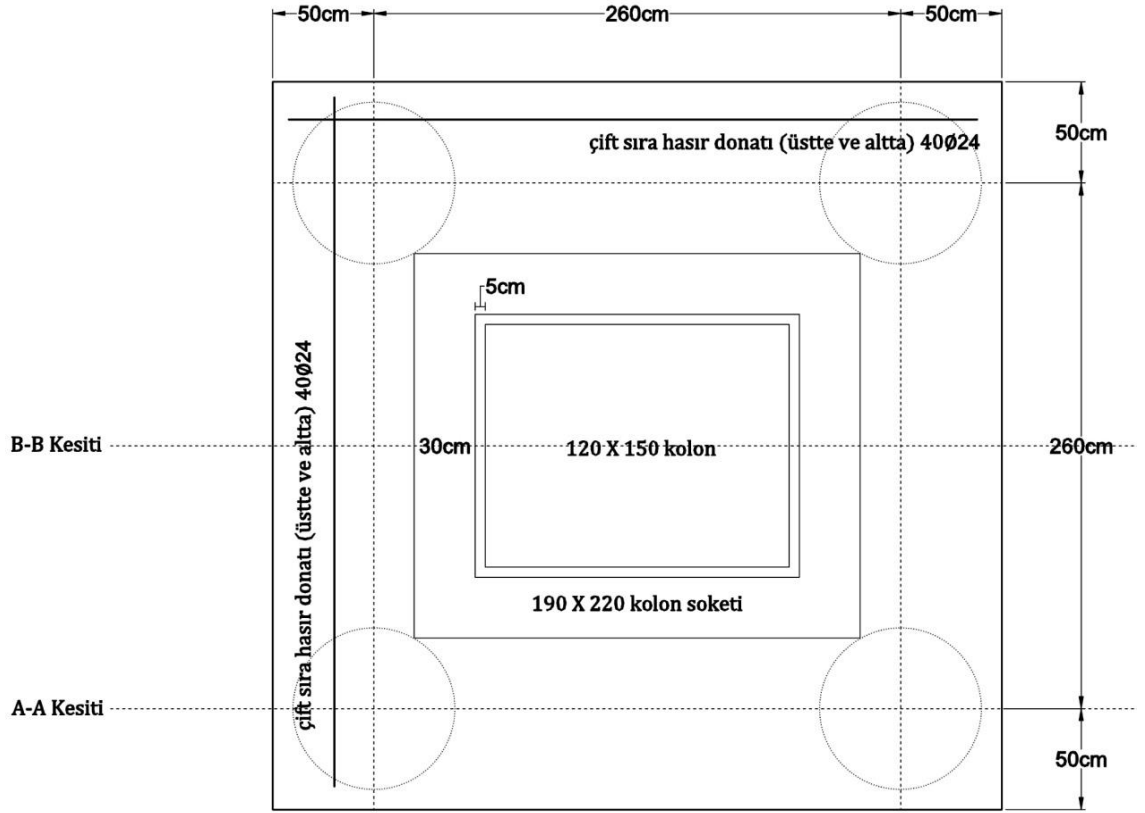
$$\rho = \frac{40}{10^4} = 0,0040 > \rho_{min} = 0,0032$$

$$A_s = \rho \times b_w \times d$$

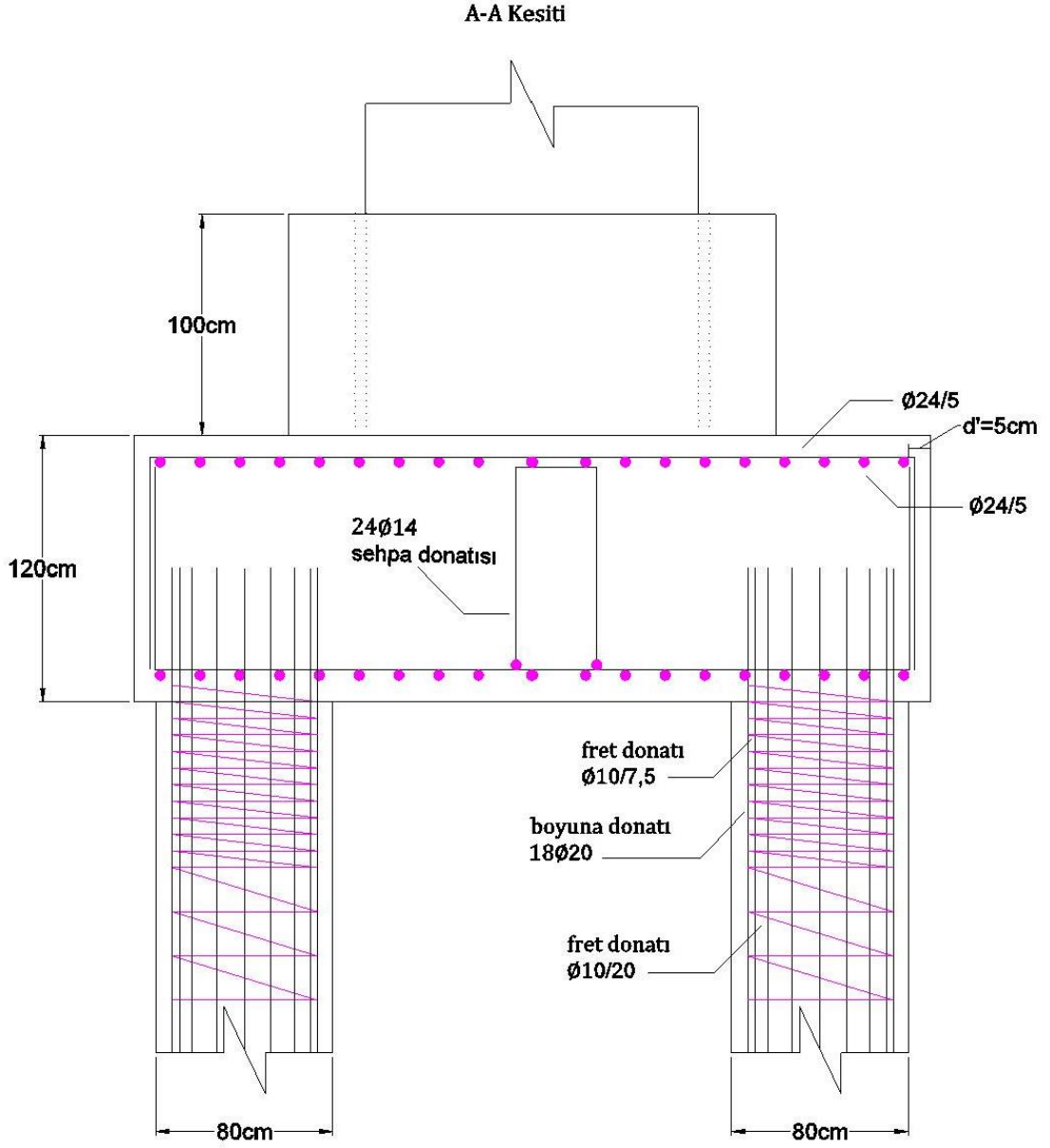
$$A_s = 0,0040 \times 1000 \times 1150 = 4600mm^2$$

Seçilen 11Ø24 (4976 mm²)(temel altına ve üstüne)

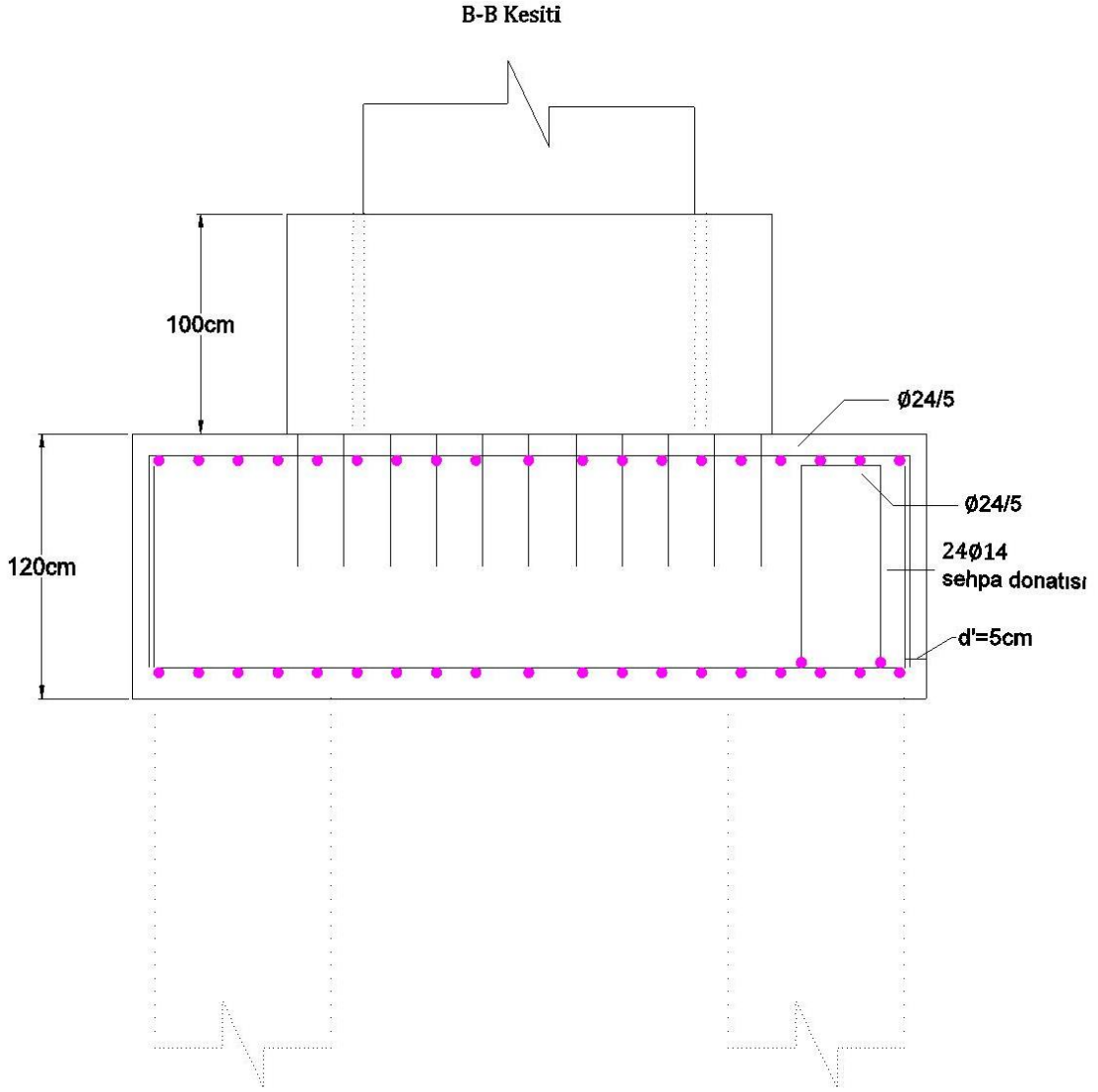
Hesaplanan temel (kazık başlığı) donatıları Şekil 5.21’de detaylı olarak gösterilmiştir. Bu şekil üzerinde belirtilen A-A kesiti (kazıkları kesen kesit) Şekil 5.22’de ve B-B kesiti (kolonu kesen kesit) Şekil 5.23’te gösterilmiştir. Kazık için hesaplanmış boyuna ve enine donatı düzeni ise Şekil 5.24’te verilmiştir. Bu çalışma kapsamında detaylı hesapları yapılmayan kolon soketi B-B kesiti üzerinde görsel olarak gösterilmiştir. Kesin proje aşamasında kolon-temel birleşiminin sıhhati ve kolonların devrilme emniyetlerinin sağlanabilmesi için mutlaka kolon soketinin detaylı analizlerinin yapılması gerekmektedir.



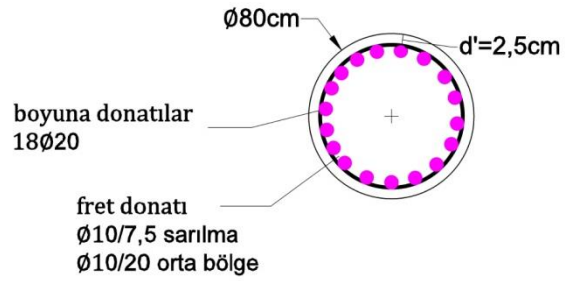
Şekil 5.21. Hesaplanan temel donatısı (Plan görünüş) (Ölçeksiz)



Şekil 5.22. Hesaplanan temel donatısı (A-A Kesiti) (Ölçeksiz)



Şekil 5.23. Hesaplanan temel donatısı (B-B Kesiti) (Ölçeksiz)



Şekil 5.24. Hesaplanan temel altı kazık donatısı

6. KÖYCEĞİZ MONORAYI YAKLAŞIK MALİYETİ

Bu tez çalışması kapsamında, Köyceğiz monorayının belirlenen NA2 güzergâhında inşaatının ve kurulumunun gerçekleştirilebilmesi için toplam maliyetinin hesabı gereklidir. Bu amaçla, ilk olarak betonarme olarak planlanan köprü elemanlarının detaylı metrajlarının çıkarılması gerekmektedir. Ayrıca monoray araçlarının sayısı ve maliyeti belirlenmelidir. İstasyon/durak, araç bakım merkezleri, sinyalizasyon, kontrol merkezi ve diğer ana maliyet bileşenlerinin hesap edilmesiyle yaklaşık kurulum maliyeti ortaya çıkarılacaktır. Monoray sistemi kurulum maliyet gider kalemleri ve bu kalemlere dair açıklamalar Tablo 6.1’de, genel hatlarıyla maliyet kalemleri ve yatırım maliyetleri ise Tablo 6.2’ de verilmiştir.

Tablo 6.1. Monoray sistemi kurulum maliyet giderleri

İnşaat maliyeti	Prefabrik kiriş ve kolon imalatı, Radye temel yapılması, Fore kazık imalatı, Duraklar, Bakım İstasyonu, Sinyalizasyon, Elektromanyetik elemanlar, Makas kirişlerinin kontrol mekanizmaları
Araç satın alma	Hitachi Small Monoray Aracı
İşletme, bakım ve onarım maliyetleri	Personel istihdamı, Hattın çalışması için gereken enerji, Hatta arızaların giderilmesi, Araçların düzenli bakımlarının yapılması, mühendislik hizmetleri

Tablo 6.2. Monoray yatırımı için öngörülen maliyet kalemleri (Tarighi, 2011)

Monoray Yatırım Kalemleri	Yaklaşık Maliyet (milyon USD/km)
Altyapı: İnşaat İşleri, Yol Açma ve Malzemesi, Montaj, Raylar	24,0
Monoray Araçları ve İstasyonlar	7,0
Elektronik Sistemler, Otomasyonlar	7,0
Arsa Satın Alma ya da Kamulaştırma Maliyetleri	-
Mühendislik Hizmetleri	3,0
Proje ve İnşaat Yönetimi	1,0
Duraklar, Park Yapıları, Bakım Tesisleri, Trafik Kontrol Mekanizmaları	2,2
Güvenlik, İletişim Sistemlerinin Kurulumu	1,3
Tünel, Köprü, Üst Geçit Yeniden İnşaatı, Kentsel Yapılar	1,0
TOPLAM YATIRIM MALİYETİ	46,5

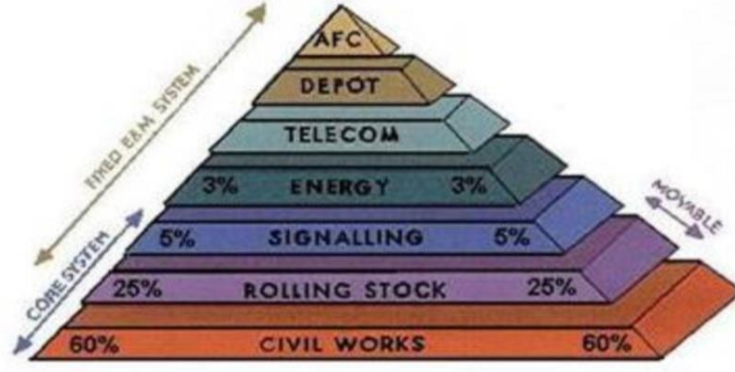
Toplu taşıma sistemlerinin kurulum maliyetleri hesap edilirken, maliyet hesaplarına etki eden faktörlerin çeşitliliğinden dolayı kesin yapım maliyetinin tespiti oldukça güçtür. Özellikle yaklaşık bir maliyet çalışması yaptıktan sonra, projenin uygulama aşamasında maliyeti artırıcı öngörülemez durumlar meydana gelebilir. Karayolu ve

raylı sistem hatları gibi diğer ulaşım aksları ile yaşanabilecek muhtemel çakışmalar ve kamulaştırma gerektiren durumların ortaya çıkması öngörülemeyen durumlara misal verilebilir. Diğer toplu taşıma sistemlerine kıyasla monoray sistemlerinin yükseltilmiş olması, güzergâh üzerindeki mevcut akslarla çakışma ya da kamulaştırma maliyetlerinin asgari seviyeye indirgenmesine imkan tanır.

Bu çalışmada hesaplanacak maliyetlerin benzer sistem maliyetleri ile karşılaştırılabilmesi amacıyla kilometre başına maliyet genelleştirilmesi yapmak zordur. Çünkü, giderler sistemden sisteme ve iş sahasından iş sahasına göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin; Hitachi Large tip monoray aracının kullanıldığı Tokyo Haneda Monorayı ile Hitachi Small tip monoray aracının kullanıldığı Singapur Sentosa Monoray hatlarının araçları aynı firma tarafından sağlandığı halde bu iki hattın maliyetlerini birebir karşılaştırmak oldukça zordur. Herşeyden önce araçların boyutları, vagon sayıları ve çektikleri enerji farklıdır. Araç boyutlarının farklı olması, istasyon boyutlarının, hatta sistemin taşıyıcı eleman boyutlarının farklılaşmasına neden olabilmektedir. Genel maliyet analizi yapılırken, karşılaştırılacak sistemlerin ortak özelliklerinin maksimum düzeyde olması gerekmektedir.

Bu çalışmada yapılan analizler sonucu ortaya çıkan taşıyıcı sistem elemanlarına ait maliyetler, resmi kurumların güncel birim fiyatları baz alınarak hazırlanmıştır. Diğer maliyet kalemlerine ait birim fiyatlar mevcut bulunmadığından, maliyet hesabı benzer akademik çalışmalar ve üretici firmaların resmi sayfalarında beyan ettiği maliyet değerlerine dayanarak tahmini olarak yapılacaktır.

Öncelikle taşıyıcı elemanların inşaatı sırasında kullanılacak malzeme ve elemanların (beton, demir, çelik halat ve fore kazık gibi..) genel metrajı çıkarılacaktır. Bu metraj hesabına, malzemelerin/elemanların inşaatı/imalatı sırasında kullanılacak bazı kalemlerin (kazı, dolgu, vinç temini, nakliye, prefabrik eleman üretimi, öngerme çeliğinin hazırlanması gibi..) bedellerin de eklenmesiyle, yaklaşık bir inşaat maliyetinin ortaya çıkarılması hedeflenmektedir. Şekil 6.1’de monoray aracının yatırım kalemleri ve bunların toplam maliyete göre yüzdeleri gösterilmiştir (Memiş, 2016).



Şekil 6.1. Maliyet kalemlerinin piramit şeklinde gösterimi (Memiş, 2016).

Yatırım maliyetinin önemli bir bölümünün, taşıyıcı eleman ve durakların inşası için ödenen bedeller ile araç satın alma bedelinden oluştuğu görülmektedir (Şekil 6.1.). Bu iki kalem tüm maliyetlerin %85'ine tekabül etmektedir.

6.1. Monoray Köprüsü İnşaatının Metraj ve Maliyet Hesabı

Analizi ve tasarımı yapılan tipik monoray taşıyıcı sistemine ait veriler yanında,daha önce inşaatı yapılmış monoray sistemlerinden elde edilen veriler kullanılarak taşıyıcı sistem inşaat maliyeti çıkarılacaktır.Tipik monoray taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların boyutları aşağıda belirtilmiştir.

- ✓ Kirişler: $0,70\text{m} \times 1,60\text{m} = 1,12\text{m}^2$, $L = 30\text{m}$
- ✓ Kolonlar: $1,20\text{m} \times 1,50\text{m} = 1,8\text{m}^2$, $H = 6\text{m}$
- ✓ Temel (Kazık başlığı) boyutları: $3,6\text{m} \times 3,6\text{m} = 12,96\text{m}^2$ $H = 1,20\text{m}$
- ✓ Fore kazıklar: 4 adet $\varnothing 80\text{cm}$

Güzergâh üzerinde hesabı yapılan tipik taşıyıcı sisteme/çerçeveye benzer 139 adet çerçeve mevcuttur. Bu çerçeveler kiriş açıklıkları ve kolon yükseklikleri bakımından kimi zaman önemli derecede farklılıklar göstermektedirler. Metrajı yapılacak olan tipik çerçevenin kiriş açıklığı güzergâhtaki diğer tüm kirişlerin açıklıklarından daha büyüktür. Tipik çerçevenin 6m kolon yüksekliği en çok rastlanan yükseklikler arasında olmasına rağmen, sınırlı sayıda 15m'den daha fazla kolon yükseklikleri de mevcuttur. Hat üzerinde 100'den fazla kiriş ve kolon bulunduğu ve bu tez çalışmasının kapsamı düşünüldüğünde her çerçevenin ayrı ayrı hesabının yapılması olanaksızdır. Sistemin gerçeğe yakın maliyeti belirlenirken, hat üzerindeki eğim, yatay kurb ve diğer tesislerle olan etkileşimlere göre,tipik çerçevede kullanılan kolon ve kiriş boyutlarının, hesabı yapılmamış diğer çerçeveler için genelleştirilmeleri sırasında, kesit boyutları ve

donatılarının kimi zaman daha azalacağı, kimi zaman da artacağı göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada yaklaşık maliyet hesabı yapılacağı için, tipik çerçevenin maliyet hesabı genelleştirilecektir. Bu sırada, kesit boyutları ve donatılarının bazı özel durumlarda artabileceği öngörülerek metraj artırma faktörleri kullanılacaktır.

6.1.1. Toplam Metrajın Çıkarılması

Yapının toplam metrajı; tipik monoray çerçevesinde yeralan kolon, kiriş, temel ve fore kazıklar için ayrı ayrı hesaplanacak hacim, ağırlık ya da alan metraj değerlerinin bu elemanların toplam sayısı ile çarpılmasıyla elde edilir. Tablo 6.3. de belirtilen eleman sayıları, kolon-kiriş aplikasyon planından alınmıştır (EK-2).

Tablo 6.3. Sistemdeki yapı elemanlarının toplam sayıları (Bkz. Ek-2)

Kiriş Sayısı ($K_0, K_1 \dots K_{137}, K_{138}$)	139 Adet
Yapıdaki Kirişlerin Boyları	59 Adet 30m'lik kiriş, 80 Adet 15m'lik kiriş
Kolon Sayısı ($S_0, S_1 \dots S_{138}, S_{139}$)	140 Adet
Yapıdaki Kolonların Boyları	Arazi topoğrafyasına göre değişken (1m – 30m arası)
Radye Temel Sayısı	140 Adet
Forekazık Sayısı	560 Adet

Kolon boyutları güzegah boyunca değişken olduğu için ve kolon boylarına göre kullanılacak donatı miktarları değişkenlik göstereceği için toplam donatı metrajlarının çıkarılmasında kolonların ortalama yükseklikleri esas alınmıştır. Hesaplanan 6m yüksekliğindeki kolon donatısından yola çıkarak 1m uzunluğundaki kolon bölgesi için donatı metrajı elde edilmiştir. Kolon boyları **EK-2**'de bulunan plandan elde edilmiş ve buradan toplam kolon boyu hesaplanmıştır. Kolonların boylarının ortalaması Denklem 6.1 ile hesaplanmıştır.

$$S_{ort} = \frac{\sum_{n=0}^{n=139} S_n}{\text{Toplam Kolon Sayısı}} = \frac{1569}{140} = 11,20m \quad (6.1)$$

6.1.1.1. Beton Metrajı

Beton metrajı için kolon, kiriş, temel ve fore kazıkların hacimleri hesaplanmış ve Tablo 6.4'te verilmiştir.

Tablo 6.4. Kiriş, kolon, radye temel ve beton kazıkların metraji

İmalat Tipi	Boyutlar (m)	En Kesit		Hacim (m ³)
		Alanı (m ²)	Adet	
Kolon beton metraji h _{ort} =11.2m	1,2 x 1,5	1,8	140	2822,40
Kiriş beton metraji L _{tip1} =30m L _{tip2} =15m	0,7 x 1,6	1,12	50 adet tip 1 80 adet tip 2	3326,4
Temel beton metraji h= 1.2 m	3,6 x 3,6	12,96	140	2177,28
Fore Kazıklar h=4 m	D=0,8	0,5024	560	1125,38
TOPLAM BETON METRAJİ				9451,46

6.1.1.2. Çelik Donatı ve Öngerme Halat Metraji

Tipik monoray çerçevesinin kolonlarında kullanılan boyuna donatı, etriye ve çiroz metraji Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.5. Bir adet 6m yüksekliğinde kolon için donatı metraji

DonatıCinsi	Çap	Birim Ağırlık (kg/m)	Boy (m)	Adet	Ağırlık (t)
Boyuna Donatı	Ø28	4,834	7,2	32	1,11
Etriye	Ø14	1,208	5,14	50	0,31
Çiroz	Ø14	1,208	10,56	50	0,64
TOPLAM					2,06

Öngermeli kirişin öngerme halatı, basınç donatısı, montaj donatısı ve etriyeleri için metraj hesabı Tablo 6.6'te verilmiştir.

Tablo 6.6. 30m'lik bir adet kirişin demir donatı ve çelik halat metraji

DonatıCinsi	Çap	Donatı/Halat		Adet	Kiriş Birim	
		Birim Ağırlığı (kg/m)	Boy (m)		Ağırlığı (t/m)	Ağırlık (t)
Basınç Donatısı	Ø18	1,998	35	13	0,0303	0,91
Etriye	Ø10	0,617	4,08	250	0,02098	0,63
Montaj Donatısı	Ø12	0,888	32	12	0,01137	0,34
Öngerme halatı	6"	1,101	30	32	0,03523	1,06
BİR ADET KİRİŞ İÇİN TOPLAM					DONATI METRAJİ	1,88
					HALAT METRAJİ	1,06

Tekil temel donatısı için hazırlanan donatı metrajı Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7. Bir adet 3,6 x 3,6m boyutundatekil temel için donatı metrajı

DonatıCinsi	Çap	Donatı Birim Ağırlığı (kg/m)	Boy (m)	Adet	Ağırlık (t)
Üstte donatı (2 sıra)	Ø24	3,551	7,2	90	2,30
Altta donatı (2 sıra)	Ø24	3,551	7,2	90	2,30
Sehpa Donatısı	Ø14	1,208	6,4	24	0,19
TOPLAM DONATI METRAJI					4,79

Temele bağlı fore kazıklarının boyuna donatısı ve fret donatısı metrajları Tablo 6.8’de verilmiştir.

Tablo 6.8. Temele bağlanacak 4 adet 80cm uzunluktaki kazık için toplam donatı metrajı

DonatıCinsi	Çap	Birim Ağırlığı (kg/m)	Boy (m)	Adet	Ağırlık (t)
Boyuna Donatı	Ø20	2,466	5	72	0,89
Fret Donatı	Ø10	0,617	2,6	168	0,27
TOPLAM DONATI METRAJI					1,16

Not: Fret donatı boyu = $0,16 + (3,14 \cdot 0,75) = 2,515 = 2,6$ m şeklinde hesaplanmıştır.

6.1.1.3. Metraj Artırma Katsayısı

Yaklaşık maliyet hesabı için seçilen tipik monoray çerçevesi için elde edilen metrajların bütün monoray sistemi üzerine genelleştirilmesi gerekmektedir. Analizi yapılan kiriş 30m açıklığı ile en uzun kiriş olup diğer çerçevelerde kiriş en kesitlerinde bir değişiklik yapılmayacaktır (kiriş monoray aracı için kılavuz vazifesi gördüğü için). Bu nedenle kiriş metrajı için metraj artırma katsayısı kullanmaya gerek yoktur. Kolon ve temel boyutları ve donatıları güzergâh boyunca değişkenlik gösterecektir. Tipik kolondaki kolon yüksekliğinden uzun kolonlar ve bu kolonların temelleri için %20 metraj artışı düşünülmüştür. Yaklaşık maliyet hesabında resmi idarelere ait birim fiyatlar kullanıldığı için birim fiyatlı işlerde ortaya çıkabilecek tadilat durumları için %20’ye yakın bir iş artışına müsaade edilmektedir (Yapım İşleri Genel Şartnamesi, 2018). Bu oran boyutlarda ve donatılarda meydana gelebilecek metraj artışını dikkate alabilmemizi sağlayacaktır. Kolon ve temel metrajlarındaki artışlar Tablo 6.9.’da detaylandırılmıştır.

Tablo 6.9. Betonarme elemanlara uygulanan metraj artırma faktörleri

İmalat	Cinsi	Birimi	Toplam İmalat	Arttırma Faktörü	Arttırılmış Toplam İmalat
Öngerme Kiriş	Beton	m ³	3326,4	1,0	3326,40
	Demir	t	189,66	1,0	189,66
	Çelik Halat	t	106,27	1,0	106,27
Kolon	Beton	m ³	2822,40	1,2	3386,88
	Demir	t	537,82	1,2	645,39
Temel	Beton	m ³	2177,28	1,2	2612,74
	Demir	t	670,60	1,2	804,72
	Kalıp	m ²	3024,00	1,2	3628,8
Kazık	Beton	m ³	1125,38	1,2	1350,45
	Demir	t	162,40	1,2	194,88
	Kazık imalatı	m	2240,00	1,2	2688,00

6.1.1.4. İmalat Kalemlerine Ait Metrajlar

Prefabrik öngerme kirişin imal edilmesi sırasında gerekli iş kalemleri ve bunlara ait metrajlar Tablo 6.10. da belirtilmiştir.

Tablo 6.10. Kiriş imalatında kullanılacak kalemler (Birim Fiyat Cetvellerinden)

No	Poz No	İş Kalemi Özeti	Yapılan İşin Açıklaması	Birim	Toplam
1	KGM/16.137/K-H	Öngerme betonu için C40/50 betonu ve kalıp işleri	Tesiste prefabrik öngerme kirişinin kalıp imalatı ve uygun dozda betonunun yapımı	m ³	3326,40
2	KGM/23.002/K-6	Öngerme çeliğinin germe-gevşetme-kesme-işçiliği	Temin edilen çelik halatların öngerme makinası ile boyuna ve enine önçekim uygulanması ve kalıpların için yerleştirilmesi	t	106,27
3	KGM/3792/2	Öngerme çeliği temini	0,6 inch çapta projesine göre yeterli miktarda öngerme çeliğinin satın alınması	t	106,27
4	KGM/03.587	Vinç kullanımı ve kirişin yerleştirilmesi	139 adet kirişin yerine konması	sa	86,00
5	Y.23.014	Ø 8- Ø 12 inşaat demiri ve işçiliği	Projesine göre belirtilen çap aralıklarında demirin temini, nakli ve her türlü işçiliği	t	100,00
6	Y.23.015	Ø 14- Ø 28 inşaat demiri ve işçiliği	Projesine göre belirtilen çap aralıklarında demirin temini, nakli ve her türlü işçiliği	t	90,00
7	07.006/D	Kirişin iş sahasına nakli	25km nakliye mesafesi için	t	8100,00

Prefabrik kolonun imal edilmesi sırasında gerekli iş kalemleri ve bunlara ait metrajlar Tablo 6.11. da belirtilmiştir.

Tablo 6.11. Kolon imalatında kullanılacak kalemler (Birim Fiyat Cetvellerinden)

No	Poz No	İş Kalemi Özeti	Yapılan İşin Açıklaması	Birim	Toplam
1	MSB.327	Prefabrik kolonun tesiste kalıpların hazırlanması ve inşaat demiri hariç her türlü işçiliğinin yapılarak uygun dozda betonunun dökülmesi	Projesinde kesiti belirlenen 140 adet kolonun prefabrik olarak tesiste hazırlanması, iş sahasına nakli ve montajı	m ³	3386,88
2	Y.23.015	Ø 14- Ø 28 inşaat demiri ve işçiliği	Projesine göre belirtilen çap aralıklarında demirin temini, nakli ve her türlü işçiliği	t	645,39

Temel imalatı için gerekli iş kalemleri ve bunlara ait metrajlar Tablo 6.12. de belirtilmiştir.

Tablo 6.12. Temel imalatında kullanılacak kalemler (Birim Fiyat Cetvellerinden)

No	Poz No	İş Kalemi Özeti	Yapılan İşin Açıklaması	Birim	Toplam
1	Y.23.015	Ø 14- Ø 28 inşaat demiri ve işçiliği	Projesine göre belirtilen çap aralıklarında demirin temini, nakli ve her türlü işçiliği	m ³	804,72
2	21.017/1	Plywood (film kaplı) temel kalıbının iş sahasına nakli, kurulması ve her türlü işçiliği	Temel kazıları yapılmış 140 adet radye temel kalıplarının yerleştirilerek beton dökümüne hazır hale getirilmesi	m ³	3628,80
3	Y.15.001/2B	Yumuşak ya da sert toprak kazılması (Kazı klası %80)	İş makinasının çalışma payı dahil temelin oturacağı alanın temel derinliğine bağlı olarak kazılarının yapılması	m ³	2150,40
4	14.015/1	Yumuşak kaya kazılması (Kazı klası %20)	İş makinasının çalışma payı dahil temelin oturacağı alanın temel derinliğine bağlı olarak kazılarının yapılması	m ³	537,60
5	Y.16.059/3A	Beton santralinde üretilen C40/50 basınç dayanımı betonun pompa kullanılarak dökülmesi	Radye temel sayısınca kalıpları hazırlanmış ve kazıkları çakılmış zemine beton dökülmesi	m ³	2612,74

Forekazık imalatı sırasında gerekli iş kalemleri ve bunlara ait metrajlar Tablo 6.13. de belirtilmiştir.

Tablo 6.13. Fore kazık imalatında kullanılacak kalemler (Birim Fiyat Cetvellerinden)

Sıra	Poz No	İş Kalemi Özeti	Yapılan İşin Açıklaması	Birimi	Toplam
1	Y.23.014	Ø 8- Ø 12 inşaat demiri ve işçiliği	Projesine göre belirtilen çap aralıklarında demirin temini, nakli ve her türlü işçiliği	t	49
2	Y.23.015	Ø 14- Ø 28 inşaat demiri ve işçiliği	Projesine göre belirtilen çap aralıklarında demirin temini, nakli ve her türlü işçiliği	t	146
3	16.062/1/MK	0-16 arası 80'lik fore kazık imalatı	Toplamda 560 adet kazık imalatı için her türlü zeminde forekazık yapılması için gerekli delgi makinası ve teçhizatın getirilmesi ve çakılmış kalıplara C25 sınıfı betonun iş sahasında dökümü (demir donatı ve işçiliği hariç)	m	2688,00

6.1.2. Monoray Köprüsü Yaklaşık Maliyeti

Maliyet analizinde “Karayolları Genel Müdürlüğü”, “Çevre ve Şehircilik Bakanlığı”, “Milli Savunma Bakanlığı” ve “Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları” kurumlarına ait resmi birim fiyatlar kullanılmıştır. Bu birim fiyatların tercih edilmesinde fiyat tespitinin resmi kurumlar tarafından yapılmış olması ve bu kurumların benzer yapıların ihale bedellerini bu birim fiyatları kullanarak belirlemeleri etkili olmuştur. Ayrıca, bu idarelere ait birim fiyatların aylık tüketici endeksleri referans alınarak güncelleştirilmesi mümkün olmaktadır.

6.1.2.1. Öngerme Kirişinin İş Sahasına Nakliye Birim Fiyatının Analizi

Öngerme kirişiyle ilgili Karayolları İdaresi'ne ait kullanılan pozlarda kirişin iş sahasına nakliyesine ait herhangi bir ödeme kalemi bulunmamaktadır. Bundan dolayı, Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları'na ait “07.006/D” poz numaralı ve “Kazıdan başka inşaat malzemelerinin taşınması” açıklamalı iş kaleminin analizi yapılarak kiriş nakliye bedelleri hesaplanacaktır. İş sahası, prefabrik betonarme eleman üreticilerinin yoğun olarak bulunduğu Konya Organize Sanayii Bölgesine yaklaşık 25km uzaklıktadır. Nakliye analizi yapılırken formülde kullanılacak değerler ve güncel nakliye bedeli Tablo 6.14. de belirtilmiştir.

Tablo 6.14. Öngerme kirişinin nakliye analizi (Birim Fiyat Cetvellerinden)

07.006/D NUMARALI POZA AİT NAKLİYE ANALİZİ			
Nakliye mesafesi (m)	Prefabrik elemanın birim hacim ağırlığı γ (t/m ³)	Zorluk katsayısı A	Araç taşıma katsayısı K (güncel)
25 km	2.4	1	321
Nakliye Formülü	F=A*Y*1,25*K*(0,0007*M+0,01)		TL/t
Güncel Birim Fiyat			26.48 TL/t

6.1.2.2. Monoray Metraj İcmali

Monoray inşaatı sırasında gerekli tüm malzeme ve işçilik kalemleri tek bir listede toplanmış ve 1-6 arası pozlar Tablo 6.15'te ve 7-13 arası pozlar ise Tablo 6.16'da sunulmuştur.

Tablo 6.15. Yapının genel metraj icmali (Pozlar 1-6)

Sıra NO	Pozun Adı	Ait Olduğu İdare	Pozun Açıklaması	Birimi	Prefabrik Öngerme Kiriş İmalatı	Prefabrik Kolon İmalatı	Radye Temel	80'lik forekazık yapımı	Toplam Miktarı
1	KGMM/16.137/K-H	Karayolları G. Müd.	Köprülerin öngerilmeli (önçekim-artçekim) boyuna ve enine kirişlerinde her dozda demirli beton (c 40/50 hazır beton harcı)	m3	3326,40				3326,40
2	KGMM/23.002/K-6	Karayolları G. Müd.	Boyuna ve enine önçekim, öngerme çeliğinin (tel, demet, çubuk) yerlerine konulması, gerilmesi, gevşetilmesi ve kesilmesi işçiliği	ton	106,27				106,27
3	KGMM/3792/2	Karayolları G. Müd.	Yüksek dayanımlı öngerme çeliği temini (0,6 inç halat)	ton	106,27				106,27
4	KGMM/03.587	Karayolları G. Müd.	Vinç'in 1 saatlik ücreti (130 hp gücünde, 8-25 m. bom uzunluğunda, ortalama 25 ton kaldırma kapasiteli lastik tekerlekli hidrolik vinç)	sa	86				86,00
5	MSB.327	Milli Sav. Bk.	Prefabrik kolon kiriş imalatı	m3		3386,88			3386,88
6	Y.23.014	Çevre ve Şeh. Bk.	Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, kesilmesi, bükülmesi ve yerine konması	ton	100			49	149,00

Tablo 6.16. Yapının genel metraj icmali (Pozlar 7-13)

Sıra NO	Pozun Adı	Ait Olduğu İdare	Pozun Açıklaması	Birimi	Prefabrik Öngerme Kiriş İmalatı	Prefabrik Kolon İmalatı	Radye Temel	80'lik forekazık yapımı	Toplam Miktarı
7	Y.23.015	Çevre ve Şeh. Bk.	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, kesilmesi, bükülmesi ve yerine konması	ton	90	645,39	804,72	146	1686,11
8	21.017/1	Çevre ve Şeh. Bk.	Plwood (film kaplı) ile yapılan düz yüzeyli çıplak beton ve betonarme kalıbı	m2			3628,8		3628,80
9	Y.15.001/2B	Çevre ve Şeh. Bk.	Makine ile her derinlik ve her genişlikte yumuşak ve sert toprak kazılması (derin kazı)	m3			2150,4		2150,40
10	14.015/1	Çevre ve Şeh. Bk.	El veya kompr.ve patlayıcı madde kullanmadan her derinlikte yumuşak kayada geniş derin kazı yapılması	m3			537,6		537,60
11	16.062/1/MK	Çevre ve Şeh. Bk.	ø 80 cm çapında fore kazık yapılması 0-16 mt arası (16 mt dahil)	mt				2688	2688,00
12	Y.16.059/3A	Çevre ve Şeh. Bk.	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, c 40/50 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m3			2612,74	0,00	2612,74
13	07.006/D	Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları	Kazıdan başka inşaat malzemelerinin taşınması (10.000 mt'den fazla)	ton	8100				8100,00

6.1.2.3. Monoray Köprüsü Yaklaşık İnşaat Maliyeti

Monoray köprüsünün metraj icmalindeki iş kalemlerinin 2018 yılı güncel birim fiyatları dikkate alınarak fiyatları belirlenmiş ve toplam inşaat maliyeti 20.389.290 TL (USD 3.398.215) olarak belirlenmiştir (Tablo 6.17).

Tablo 6.17. Köyceğiz monoray köprüsü yaklaşık inşaat maliyeti (1 USD = 6 TL olarak alınmıştır, Ağustos-2018)

Sıra	Poz No	Ait Olduğu İdare	Pozun Açıklaması	Birimi	2018 Güncel Birim Fiyatı (TL)	Miktarı	Toplam Tutar
1	KGM/16.137/K-H	KGM	Köprülerin öngerilmeli (önçekim-artçekim) boyuna ve enine kirişlerinde her dozda demirli beton (c 40/50 hazır beton harcı)	m3	705,92	3326,40	2.348.172,29
2	KGM/23.002/K-6	KGM	Boyuna ve enine önçekim, öngerme çeliğinin (tel, demet, çubuk) yerlerine konulması, gerilmesi, gevşetilmesi ve kesilmesi işçiliği	ton	11750,97	106,27	1.248.783,22
3	KGM/3792/2	KGM	Yüksek dayanımlı öngerme çeliği temini (0,6 inç halat)	ton	4495,00	106,27	477.686,57
4	KGM/03.587	KGM	Vinç'in 1 saatlik ücreti (130 hp gücünde, 8-25 m. bom uzunluğunda, ortalama 25 ton kaldırma kapasiteli lastik tekerlekli hidrolik vinç)	sa	282,10	86,00	24.260,60
5	MSB.327	MSB	Prefabrik kolon kiriş imalatı	m3	2318,80	3386,88	7.853.497,34
6	Y.23.014	ÇŞB	Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, kesilmesi, bükülmesi ve yerine konması	ton	3343,50	149,00	498.181,50
7	Y.23.015	ÇŞB	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, kesilmesi, bükülmesi ve yerine konması	ton	3343,50	1686,11	5.637.504,77
8	21.017/1	ÇŞB	Plwood (film kaplı) ile yapılan düz yüzeyle çıplak beton ve betonarme kalıbı	m2	50,22	3628,80	182.238,34

*Yaklaşık maliyet tablosunun devamıdır (9-13 satırlar)

Sıra	Poz No	Ait Olduğu İdare	Pozun Açıklaması	Birimi	2018 Güncel Birim Fiyatı (TL)	Miktarı	Toplam Tutar
9	Y.15.001/2B	ÇŞB	Makine ile her derinlik ve her genişlikte yumuşak ve sert toprak kazılması (derin kazı)	m3	5,41	2150,40	11.633,66
10	14.015/1	ÇŞB	El veya kompr.ve patlayıcı madde kullanmadan her derinlikte yumuşak kayada geniş derin kazı yapılması	m3	94,00	537,60	50.534,40
11	16.062/1/MK	ÇŞB	ø 80 cm çapında fore kazık yapılması 0-16 mt arası (16 mt dahil)	mt	457,50	2688,00	1.229.760,00
12	Y.16.059/3A	ÇŞB	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, c 40/50 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m3	234,44	2612,74	612.529,83
13	07.006/D	DLH	Kazıdan başka inşaat malzemelerinin taşınması (10.000 mt'den fazla)	ton	26,48	8100,00	214.508,25
GENEL TOPLAM (TL)							20.389.290,77
GENEL TOPLAM (USD)							3.398.215

6.2. Diğer Kurulum Maliyetleri

6.2.1. Araç Maliyeti

Dördüncü bölümde hat için uygun monoray aracı bindirme tipi Hitachi Small olarak belirlenmişti. Kullanılacak aracın maliyetinin belirlenebilmesi için öncelikle araç sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için mevcut şartlar göz önüne alınarak saatlik kapasitenin ve bu talebi karşılayabilecek araç sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Hat ring olarak çalışacağı için tek yönde ortaya çıkabilecek maksimum yolcu kapasitesinin belirlenecektir. Talep belirlenirken kampüs girişine taşıma yapan otobüslerin aynı anda tam kapasite yolcu indirdiği varsayımı üzerinden hareket edilmiştir. Böylelikle hesaplarda güvenli tarafta kalınması sağlanacaktır. Hesaplar kampüsün mevcut kapasitesine göre yapılmıştır (Tablo 6.18). İleride ortaya çıkacak talebi karşılayacak şekilde ihtiyaca göre araç sayısı artırılabilir.

Tablo 6.18. Talebin maksimum olduğu saatte otobüslerle taşınması gereken maksimum yolcu sayısı, (NEÜ Köyceğiz Kampüsü, 2018)

Otobüs Seferleri	Saatteki Maksimum Sefer Sayısı	Taşınan Yolcu (kişi)
1 Hoca fakih	4	180
98 Yazır Tıp	2	100
Saatlik talep		920

Ana toplu taşıma araçlarının maksimum taşıma kapasitesine ilave olarak diğer toplu taşıma araçlarıyla gelen yolcular, bisikletliler ve yaya olarak gelen kişilerde hesaba katılmalıdır. Bu sebeple talebin 2 ile çarpılması hesaplarda güvenli tarafta kalınması açısından uygun olacaktır. Böylece toplam saatlik talep aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Toplam yolcu sayısı} = 920 \times 2 = 1840 \text{ yolcu}$$

Aracın taşıma kapasitesini hesaplamadan önce, bir monoray aracının güzergâhı kaç dakikada turlayacağını hesap edilmesi gerekmektedir. Hat uzunluğunun 3,01 km, ortalama hızın ise 40 km/h olduğu daha önceki kısımlarda belirtilmişti. Ancak monoray güzergâhındaki eğimler ve virajlar yanında duraklardaki bekleme süreleri dikkate alındığında, kapasite hesabında güvenli tarafta kalmak için 20 km/h ortalama hız düşünülmüştür. Buna göre, monoray aracının bir turu 9 dk'da tamamlayacağı hesaplanmıştır. Seçilen aracın saatlik yolcu taşıma kapasitesi Tablo 6.19'da belirtilmiştir.

Tablo 6.19. Monoray aracının saatte taşıyabileceği maksimum yolcu sayısı, (Hitachi, 2001)

Araç	Sefer aralığı	Bir saatteki sefer sayısı	Bir seferde taşınabilecek maksimum yolcu
Hitachi Small	9dk	6.67	406
Saatlik kapasite			2708 kişi

Bir monoray aracının saatte taşıyabileceği yolcu sayısı Tablo 6.19'da 2708 yolcu olarak hesaplanmış olup, yukarıda 1 adet 4 vagonlu Hitachi Small-Type monoray aracı için hesaplanmış yolcu sayısı 1840 yolcu'dan oldukça fazladır. Bu çalışmada seçilen monoray aracının maliyeti hakkında çok çeşitli kaynaklar incelenmiş hatta üretici firma ile iletişime geçilmesine rağmen araç maliyeti öğrenilememiştir. Ancak, Bölüm 4.1.2'de

ifade edildiği gibi, araç maliyetinin toplam maliyet içerisindeki oranı kullanılarak, araç maliyetinin yaklaşık olarak belirlenmesi yoluna gidilecektir. Bu nedenle aynı monoray aracının kullanıldığı ve toplam maliyeti bilinen bir monoray sistemi olan Sentosa monorayı baz alınarak bir adet monoray aracının vagon başına maliyeti yaklaşık olarak Tablo 6.20’de belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 6.20. Sentosa monorayı baz alınarak hesaplanan monoray aracının maliyeti

Toplam monoraymaliyeti:	43.000.000,00 USD
Kullanılan araç sayısı:	2 vagonlu toplamda 7 araç
Araç tipi:	Hitachi Small
Bir vagonun yaklaşık maliyeti:	767.850,00 USD (toplam maliyetin %25’i)
1 adet 4 vagonlu aracın yaklaşık maliyeti:	3.071.400,00 USD

6.2.2. İstasyonlar, Bakım Depoları ve Diğer Kurulum Kalemlerinin Maliyetleri

Monorayın yaklaşık toplam kurulum maliyetini ortaya koyabilmek için, hattın inşaatı ve araç alımı maliyetlerinin yanında istasyonların, bakım depolarının, enerji hatlarının ve hat kontrol & yönetim birimlerinin maliyetlerinin de belirlenmesi gereklidir. Ancak bu maliyetlerin hesaplanması bu tez çalışması kapsamı dışında tutulmuştur. Bu maliyetlerin tahmini değerlerini elde edebilmek için, bu maliyet verilerinin bulunduğu çalışmalardan faydalanılacaktır. Ryan Kennedy (2004), Seattle Green Line Monoray hattına ait maliyet giderlerine yer vermiştir. Ayrıca Tarighi (2011) tarafından yapılan çalışmada verilen km başına maliyet verilerinden de istifade edilmiştir. Tablo 6.21’de, literatürde verilen çeşitli iş kalemlerine ait USD cinsinden belirlenmiş kilometre başına maliyetler sunulmuştur. Literatürdeki bu maliyet değerlerinin çift hatlı bir monoray için verildiği varsayımı ile, tek hatlı olarak imal edilecek Köyceğiz monorayı için bu verilerin yarı değerleri dikkate alınarak 3km’lik hat için toplam maliyetler hesaplanarak tabloya aktarılmıştır.

Tablo 6.21. Çeşitli iş kalemlerinin yaklaşık maliyetleri (Kennedy, 2004), (Tarighi, 2011)

Yatırım Kalemleri	Literatürden gelen maliyet (USD/km)	Köyceğiz monorayı için tahmin edilen maliyet (3km)-USD
Hat İstasyonları	4.880.000,00	7.320.000,00
Araç bakım merkezi	2.200.000,00	3.300.000,00
Proje ve inşaat yönetimi	1.000.000,00	1.500.000,00
Güvenlik, İletişim, Trafik Kontrolü vb. Sistemlerin Kurulması	1.300.000,00	1.950.000,00
Mekanik ve Elektrik-Elektronik Sistemler, Enerji Hattı, Otomasyonlar	7.000.000,00	10.500.000,00

6.3. Toplam Kurulum Maliyeti

Tablo 6.22’de, Bölüm 6.1 ve 6.2’de verilen maliyetler biraraya getirilerek Köyceğiz monorayının toplam maliyeti hesap edilmiştir. Burada verilen maliyetlerin yaklaşık maliyetler olduğu, bazı maliyetler hakkındaki veri eksikliğinden kaynaklı çeşitli varsayımlara dayandığı, ayrıca inşaat, imalat, işçilik ve malzeme bedellerinin ülkeden ülkeye, hatta aynı ülke içindeki farklı lokasyonlara göre bile büyük farklılıklar gösterebilecekleri unutulmamalıdır. Tablo 6.22’den de görüleceği üzere Köyceğiz monorayı için yaklaşık toplam maliyet 31.039.615,00 USD olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.22. Köyceğiz monoray hattı toplam kurulum maliyeti

Yatırım Kalemleri	3km’lik hat için tutarlar USD
Betonarme elemanlarının imalatı (Kılavuz giriş, kolon, temel, forekazık)	3.398.215,00
Monoray aracı	3.071.400,00
Hat istasyonları	7.320.000,00
Araç bakım merkezi	3.300.000,00
Proje ve inşaat yönetimi	1.500.000,00
Güvenlik, İletişim, Trafik Kontrolü vb. Sistemlerin Kurulması	1.950.000,00
Mekanik ve Elektrik-Elektronik Sistemler, Enerji Hattı, Otomasyonlar	10.500.000,00
TOPLAM TUTAR	31.039.615,00

6.4. Çeşitli Raylı Toplu Taşıma Hatlarının Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Bilindiği gibi, toplu taşıma hatları birbirinden farklı coğrafyalarda, farklı standartlara ve ihtiyaçlara göre dizayn edilebilmekte ve aynı maliyet kalemleri için farklı bedeller ödenebilmektedir. Bu nedenle, metro, tramvay, finüküler, hafif raylı sistemler ya da diğer monoray hatlarının toplam maliyetlerinin doğrudan karşılaştırılmaları çok sağlıklı çıkarımlar elde edilmesine imkan vermese de, yaklaşık maliyetlerin karşılaştırmalı olarak bilinmesi ve buna göre çeşitli kararlar alınması faydalıdır. Bu nedenle, Tablo 6.23’de, dünyada uygulanmış çeşitli raylı sistem ve monoray örneklerinin kilometre başı maliyetleri ve Köyceğiz monorayı için hesaplanan maliyet karşılaştırılmalı bir biçimde belirtilmiştir.

Tablo 6.23. Kılavuzlu toplu taşıma sistemleri maliyetlerinin karşılaştırılması (Monorails.org, 2018), (Tarighi, 2011), (Kennedy, 2004), (Cirit, 2014)

Güzergâh Adı	Sistem	Yapım Yılı	Hat Uzunluğu (km)	Toplam Maliyet (MilyonUSD/km)
Hitachi Okinawa	Bindirme tipi monoray	2003	12,9	27,00
Kuala Lumpur		2003	8,6	36,00
Bombardier Riyadh		2019	3,6	66,90
Scomi Mumbai		2014	8,9	61,24
Sentosa (Hitachi Small tipi)		2007	2,1	16,53
Köyceğiz		Planlanıyor	3,0	10,35
Mexico City	Metro	1972-2014	24,0	40,90
Hong Kong MTR		1979-2007	82,0	220,0
Madrid		ilk etap:1919	38,0	42,80
San Diego	HRS	1981	75,0	17,20
Los Angeles		1990	23,0	37,80
Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat*		2007	3,6	1,79

*Araç maliyeti hariç.

Tablo 6.23’den de anlaşıldığı gibi, raylı sistemler arasında en maliyetli olan raylı toplu taşıma sistemi metrodur. Hafif raylı sistemlerin maliyetleri ise projeyi etkileyen faktörlerin çeşitliliğine göre değişmektedir.

Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından 2007 yılında yapımı tamamlanan Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampüs içi hafif raylı sistem hattına ait güzergah verileri Tablo 6.23’de belirtilmiştir. Alaeddin Keykubat HRS hattının toplam hat maliyeti (ray güzergah döşenmesi, durak yapımı, sinyalizasyon kurulumu, elektrik hattının çekilmesi dahil) Tablo 6.23’de de görüldüğü üzere 1,79 milyon dolar/km dir. Bu maliyet değerine ortalama araç maliyeti de eklendiğinde, hattın toplam maliyeti

yaklaşık olarak 6,73 milyon dolar olmaktadır. Tramvaylar Konya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Raylı Sistem Daire Başkanlığı'ndan elde edilen verilere göre, kampüs yoğunluğuna da bağlı olarak, saatte ortalama 1.250-1.500 arası yolcu taşımaktadır (Köyceğiz Monorayı ile karşılaştırmak için 6.2.1'e bakılabilir) .

Köyceğiz monorayının kilometre başına maliyeti 10,35 milyon USD iken, aynı aracın kullanıldığı Sentosa Monorayı'nın kilometre başına maliyeti 16,53 milyon USD'dir. Ayrıca üzerinde durulması gereken bir diğer önemli nokta ise, çalışma kapsamında detaylı ele alınan betonarme elemanların yaklaşık maliyetleri haricindeki diğer kalemlere ait maliyetler çeşitli çalışmalardan alınan verilere dayandığı görülmektedir. Kesin proje aşamasında araç, istasyon ve diğer ana kalemlerin yaklaşık maliyetlerinin detaylı analizlerinin yapılması durumunda maliyetlerin daha da aşağı çekilmesi mümkün olacaktır.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bir toplu taşıma sistemi olarak monorayın tüm dünyada uzun süredir işletmede olan çok sayıda örneği bulunmaktadır. Coğrafi, ekonomik, teknolojik ve sosyal açıdan durumları ve konumları birbirinden farklı olan ülkelerde monoray sistemleri başarıyla uygulanmış ve yeni monoray projeleri de hazırlanmaya devam etmektedir. Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkeler neredeyse monoray sistemi kurulumunun tamamını öz kaynaklarıyla yapabilmektedir. Buna karşın Hindistan, Malezya ve Çin gibi ülkeler ise kurulumun önemli bir kısmını öz kaynaklarıyla gerçekleştirebilmekte ancak vagon ve elektromekanik kontrol sistemi gibi bazı özelleşmiş ekipmanları ithal etmektedirler. Suudi Arabistan ve Birleşik Arap Emirlikleri gibi devletlerde ise monoray sistemi tamamen yurtdışı kaynaklı firmalarca gerçekleştirilmektedir. Bu açıdan bakıldığında ülkemizdeki durumun, Hindistan ve Malezya gibi devletlerin durumu ile örtüştüğü görülmektedir.

N.E.Ü. Köyceğiz kampüsünün inşa edildiği zorlu ve yüksek eğimli arazi koşulları ve bölgenin karasal iklimi dikkate alındığında monoray sistemi, alternatif ulaşım sistemlerine göre güvenlik ve yolcu kapasitesi gibi birçok yönden avantajlı durumdadır. Yüksek eğimlerin ve çok düşük kurp yarıçaplarının etkin olduğu güzergâhlarda çalışma verimleri oldukça düşen metro ve tramvay gibi sistemlerin mevcut kampüs güzergâhı için sağlıklı bir tercih olmayacağı görülmektedir. Teleferik ya da finüküler gibi sistemler ise yüksek eğim değerlerinde verimli sistemler olmalarına rağmen, güvenlik ve yolcu taşıma kapasitesi açısından pek tercih edilmeyeceklerdir. Bu tez çalışmasında N.E.Ü. Köyceğiz kampüsü için uygunluğunu incelediğimiz ve Köyceğiz monorayı olarak isimlendirdiğimiz monoray hattının inşası için gerekli toplam maliyet tutarı, tipik bir monoray çerçevesinin statik ve betonarme hesabına dayandırılarak gerçekleştirilen yaklaşık maliyet analizleri sonucu elde edilmiştir. Dünyadaki mevcut pek çok benzer projenin maliyetleriyle kıyaslandığında Köyceğiz monorayı için hesaplanan maliyetin oldukça makul seviyelerde olduğu görülmektedir.

Köyceğiz monorayı sayesinde Necmettin Erbakan Üniversitesi aşağıda maddeler halinde belirtilen bazı kazanımları elde edecektir:

- ✓ Çalışan ve öğrenci nüfusu 40.000 civarında olan N.E.Ü.'nün en az yarısına ev sahipliği yapacak olan Köyceğiz kampüsü için mevcut

durumda yeterli kapasitede olan ve gerektiğinde kapasitesi artırılabilen nitelikte bir toplu taşıma sistemine kavuşulacaktır. Kampüs içindeki tüm fakültelere güvenli ve konforlu bir şekilde ulaşımın sağlanmasının yanında kampüs içindeki karayollarında araç yoğunluğunda ve çevreye salınacak karbon monoksit gazı miktarında azalma olacaktır.

- ✓ Sürücüsüz ve tam otomasyonlu seçeneklerde göz önüne alındığında, monoray sistemi işletme maliyetleri açısından diğer toplu taşıma araçlarından daha avantajlı konumda olacaktır.
- ✓ Monoray sistemi, özellikle kış mevsiminde kar yağışı ve don tesirinde de, karayolu ulaşımındaki durumun aksine, güvenle hizmet verebilecektir. Monoray kirişi üzerine tam kenetlenmeyle oturan vagonların geleneksel raylı sistemlerdeki vagonlar gibi raydan çıkması neredeyse imkansız bir durumdur.
- ✓ Monorayın yükseltilmiş yapısı sayesinde mevcut karayolu ve yaya yollarındaki insan ve araç trafiğine herhangi bir engel teşkil etmeyecek, ayrıca trafik sinyalizasyonunun sebep olacağı duraklamalar olmadan kesintisiz ve hızlı ulaşım sağlanmış olacaktır (Köprü yapısı tasarlanmış monoray hattının yaklaşık üç boyutlu model görünümü **EK-4**'te verilmiştir).
- ✓ Köyceğiz kampüsü bulunduğu rakım itibarıyla, şehre nazır durumdadır. Böylece monoray hattı ulaşım hizmeti vermenin yanında turizme de katkıda bulunacaktır. Özellikle güzergâh çevresinde düşünülecek yaşam alanları, yeşil alanlar ve yürüyüş parkurlarıyla beraber üniversitenin çehresini değiştirecektir.

Köyceğiz monorayı Konya şehrine de estetik açıdan pozitif bir imaj katacak, farkındalık meydana getirerek kentin turizmine katkı sağlayacaktır. Yükseltilmiş güzergâhı ile kesintisiz ve akıcı bir ulaşım imkânı sunmasının yanında seyahat konforu, güvenlik, maliyet, seyahat süresi ve taşıma kapasitesi gibi kriterlerin tamamı göz önüne alındığında diğer raylı toplu ulaşım sistemlerinden daha avantajlı olduğu ortadadır. Yapılan bu çalışma ile, monoray sisteminin çok yönlü olarak ele alınması sayesinde, diğer kent içi raylı sistemlerle karşılaştırılması da sağlanmıştır.

Bu çalışmada 3km'lik kısa bir hattı bulunan Köyceğiz monorayı için uygun bir güzergâh belirlenmiş, bu güzergâh üzerinden seçilen tipik bir taşıyıcı çerçevenin statik ve betonarme hesapları ve tasarımı yapılmış, metrajı çıkarılmış ve maliyet hesapları yapılmış ve buradan yola çıkarak sistemin toplamına ait metraj ve maliyet hesabı yapılmıştır. Sonuç olarak, monoray hattının kampüs içi ulaşım sorununun çözülmesinde her yönden uygulanabilir bir ulaşım sistemi olduğu görülmektedir. Hali hazırda yeteri kadar makul seviyede bulunan monoray sistemi yapım maliyetinin, güzergâh üzerinde yapılacak optimizasyon çalışmaları sonrası daha da makul seviyelere çekilebileceği değerlendirilmektedir.

Ülkemizde bugüne kadar tercih edilen tramvay ve metro sistemlerine önemli bir alternatif olarak monoray raylı ulaşım sistemlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çalışmanın çeşitli platformlarda ele alınması halinde bir farkındalık oluşturacağı ve ileride ülkemizde yapılması muhtemel pek çok monoray hattı çalışmasına ışık tutacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AASHTO, Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition – 2002, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA, 2002.
- Aktaş, E. , Öngerilme Kirişli Bir Köprü Tasarımı ve Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2010, İTÜ.
- Andersen, A. E., Installation and Operation of Seattle Monorail System, Los Angeles, USA, 1962 1-7.
- Armstrong and Wright, Urban Transit Systems Guidelines for Examining Options, World Bank Technical Paper, 52, Washington, D.C., USA.
- Atzenroth, B., Wuppertal's Suspension Railway: Overview and History, <https://web.archive.org/web/20061008161818/http://www.uni-wuppertal.de/wuppertal/schwebbahn/allgemein-en.html>, [Ziyaret tarihi: 07.01.2017].
- Ay, İ., Monorails and Comparison with The Other Railway Systems, Karabük, 2016.
- Baştürk, G., 2014, Kent İçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi ve Dünya Örnekleri ile Karşılaştırılması, Uzmanlık Tezi, T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara, 1-2, 14-18.
- Botzow, D., Monorails, 1960p. 1
- Brackett, Q., Biswas, M., Lucy, S. H., “Monorail Technology Study” Task 1: A review of monorail systems, Texas, 1982 15-25
- Bridge Turkey, Köprü Yapılarına Etkiyen Yükler ve Sınırlandırmalar, Rüzgar Yükleri https://www.bridgeturkey.org/files/3_YUKKILAVUZU_201510.pdf, [Ziyaret tarihi: 05.04.2018],
- Bureau Int. Des Expositions, Expo 1961 Turin, <http://www.bie-paris.org/site/en/1961-turin>, [Ziyaret tarihi: 16.01.2017]
- Caltrans, Division of Engineering Services Bridge Design Practise, 4th Edition, State of California Department of Transportation Şubat, 2015
- Cirit, F., Sürdürülebilir Kentiçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması, Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2014 3-4
- Çalış, E. A., Monoray Ulaşım Sistemlerinin Özellikleri ve Diğer Kentiçi Ulaşım Araçları İle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tez, İstanbul Teknik Üniversitesi, Aralık, 2016, 15-16.

- Çankaya, T., Monoray Ulaşım Sisteminin Kocaeli İlinde Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 2011.
- Dadaşbilge, O., Derin (Kazıklı) Temellerin Tasarımı, Tmmob İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Geoteknik Kursu Kasım, 2017.
- Das, B. M., Principles of Foundation Engineering, PWS Publishing, Sacramento, 1999
- DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, (2007).
- Deprem bölgesi abağı, 2018,
http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/ff019c60caaf76b_ek.pdf?tipi=84&turu=X&sube=0, [Ziyaret tarihi: 16.01.2018].
- Disneypix, Monorail History,
<http://www.disneypix.com/Transportation/Monorail/Transportation-FF.htm>, [Ziyaret tarihi: 10.01.2017].
- DSİTB, Devlet Su İşleri Teknik Bülteni,
2010http://www2.dsi.gov.tr/kutuphane/dsi_teknik_bulten/108/files/assets/basic-html/page50.html, [Ziyaret Tarihi: 04.03.2018].
- Esdep, Structural Systems: Bridges, Lecture 15B.2: Actions on Bridges, <http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/~pmoze/esdep/master/wg15b/10200.htm>, [Ziyaret tarihi: 2018]
- Glover, E., Disneyland Resort, 2013,
<https://disneyparks.disney.go.com/blog/2013/10/the-history-of-the-disneyland-monorail-mark-i-1959-1961/>, [Ziyaret tarihi: 14.01.2017].
- Gonzales, R., When monorail came to Houston, 2008,
<http://blog.chron.com/bayoucityhistory/2008/10/when-monorail-came-to-houston/>, [Ziyaret tarihi: 08.01.2017].
- Gökbulut, A., Monorail: An Alternative Transportation Mode For Metu, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Eylül, 2003.
- Grafit Mühendislik, Konya Meram Köyceğiz Mah. 3 Bloklu Konya Üniversitesi Zemin Etüt Raporu, T.C. Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı, 2010.
- Grava, S., “Urban Transportation Systems Choices for Communities”, McGraw Hill, New York, 2002.
- Hitachi, General Features of Monorail http://www.hitachi-rail.com/products/rolling_stock/monorail/index.html, [Ziyaret tarihi: 01.02.2018].
- İTO, Şehir içi toplu taşımacılık hizmetleri değerlendirilmesi, İstanbul: Bağlam Yayınları, 2004.

- Kato ve ark., Straddle-type Monorail Systems with Driverless Train Operation System, 2004 http://www.hitachi-rail.com/products/rolling_stock/monorail/index.html, [Ziyaret tarihi: 01.11.2017].
- Kennedy, R., “Considering Monorail Rapid Transit for North American Cities”,2004, 1-6.
- Kölük, E., Demiryollarının Ülkemizde ve Dünyadaki Gelişimi, TCDD Eğitim Merkezi yayınlanmamış ders notları, Ankara, 2005.
- Kulhawy ve Phoon, DrilledShaft Side Resistance in ClaySoiltoRock, Design andPerformance of DeepFoundations: PilesandPiers in SoilandRock, 1993.
- Kutlu, Y., Deniz Üstü Rüzgar Türbini Temel Tasarımı Ve Türkiye’de Kazıklı Bir Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2011.
- Kuwabara ve ark., New Solution for Urban Traffic: Small-Type Monorail System, Hitachi Review, 2001
- Kyodo News, 1.5 billionth rides monorail to Haneda, 2007, http://www.japantimes.co.jp/news/2007/01/25/news/1-5-billionth-rides-monorail-to-haneda/#.WGtxTBUG_IU, [Ziyaret tarihi: 11.01.2017]
- LRFD Bridge Design, 2007, AASHTO-LRFD Bridge Design Specifications Loading and General Information, Presentation.
- Memiş, E., Monoray Sistemleri, Türkiye’deki Yatırım Süreçleri ve Yerel Yönetimleri Monoraya Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Aralık, 2016.
- Meteoblue, Konya’nın iklimi ve mevsimsel olarak rüzgar hızlarının gösterimi, https://www.meteoblue.com/tr/hava/tahmin/modelclimate/konya_turkiye_306571, [Ziyaret tarihi: 02.03.2018].
- Miller, R., A., Teaching Prestressed Concrete Design, University of Cincinnati <https://slideplayer.com/slide/9739035> [Ziyaret tarihi: 05.03.2018]
- Mizan, D., Betonarme Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2018 <http://mizan.ogu.edu.tr/files/lecture/1514x7640/kesmedn-20151229172403.pdf>, [Ziyaret tarihi: 07.03.2018]
- Mohamad, H., Rail Transportation in Kuala Lumpur, Japan Railway & Transport Review Temmuz, 2003
- Monorails Australia, A Briefing on Transrapid Maglev Intercity or Airport ExpressMonorails, Ağustos, 2015 4-8
- Murteza, M., Raylı Sistem Yatırımları Fizibilite Etütleri ve Yapım Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 2010, 11-12.

- Nehashi, A., New Types of Guided Transport, Railway Technology Today 13, Şubat, 2001
- Nywf64, Amf Monorail, 2016, <http://nywf64.com/amf02.shtml>, [Ziyaret tarihi: 11.01.2017]
- Obermayer Proje, DLH Genel Müdürlüğü Kentiçi Raylı Toplutaşım Kriterleri ve Mevzuatın Geliştirilmesi İşi Monoraylı Toplutaşım Sistemleri, Kasım, 2009
- Seattle Center Monorail, About The Monorail, <http://www.seattlemonorail.com/about/history/>, [Ziyaret tarihi: 09.01.2017]
- Sezer, R, Prefabrik Yapıların Tasarımı Örnek Çözümleri, Ders notu, Selçuk Üniversitesi, Konya2006
- Simiu, E.,Miyata, T., Design of Buildings Bridges for Wind. A Practical Guide for ASCE-1 Standard Usersand Designers of Special Structures. Publishedby John Wiley&Sons.,Inc. New Jersey, 2006, USA
- Svensson, E., Definition and Description of Monorail, 2007
- Tarighi, A.,Multi-Criteria Feasibility Assessment Of The Monorail Transportation System In METU Campus, Master's Thesis, Middle East Technical University, Ocak, 2011
- Terada, Hirokazu (19 January 2013). データブック日本の私鉄 [Databook: Japan's Private Railways]. Japan: Neko Publishing. p. 53. ISBN 978-4-7770-1336-4.
- Tetsudo, K., Japan's Private Railways, Neko Publishing, Japonya, 2008 p. 53.
- The Monorail Society, Definition of Monorail, <http://www.monorails.org/tMspages/WhatIs.html>, [Ziyaret tarihi: 02.01.2017]
- The Monorail Society, Monorails in History,<http://www.monorails.org/tMspages/History.html>, [Ziyaret tarihi: 05.01.2017]
- The Monorail Society, Monorails of North America, <http://www.monorails.org/tMspages/Dsnylnd.html>, [Ziyaret tarihi: 18.01.2017]
- Timan, P., Why Monorail Systems Provide a Great Solution for Metropolitan Areas, Nisan, 2015 1-13
- Toğrol, E. ve Tan, O., Kazıklı Temeller, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009
- Topçu A., Betonarme Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2018

- TOPRAK, R. ve AKTÜRK, N., 2001, Raylı toplu taşıma sistemleri ve raylı toplu taşıma sistemlerinde güvenliği tehdit eden tehlikeler, 3. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, sayfa 280, 99-108
- TRSJR, Technical Regulatory Standards on Japanese Railways, Yapım Yönetmeliği, Railway Bureau, Ministry of Land Infrastructure Transport and Tourism, Mart, 2012
- TS 3233, Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, 1979, Ankara
- TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standardları Enstitüsü, 1997, Ankara
- TS 500, Betonarme Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları, 2000, Ankara
- Tümen, G., Adıyaman İçin Bir Monoray Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ocak 2017, 27-33.
- Ulaştırma Bakanlığı (UBAK), Monoray İnceleme Raporu, http://www.ubak.gov.tr/BLSM_WIYS/DLH/tr/DOKUMAN_SOL_MENU/Rayli_Sistem_Kriterleri/20140228_153201_10288_1_10315.pdf, [Ziyaret Tarihi: 05.05.2018]]
- Uluğ, N. İ. , “ÖNGERİLMELİ BİR KÖPRÜ TASARIMI VE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ”, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2008, İTÜ
- United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Public Transport Services, Cenevre, 2010
- URL01: (<https://wallhere.com/en/wallpaper/610675>, erişim tarihi: 2018)
- URL02: (<https://www.ibb.istanbul>, erişim tarihi: 2018)
- URL03: (<https://www.aksam.com.tr/yasam/istanbula-yeni-tramvay-hatti-geliyor/haber-671004>, erişim tarihi: 2018)
- URL04: (<http://www.konya.bel.tr>, erişim tarihi: 2018)
- URL05: ([https://en.wikipedia.org/wiki/Light_Rail_\(MTR\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Light_Rail_(MTR)), erişim tarihi: 2018)
- URL06: (<https://tracytcarticles.files.wordpress.com/2011/11/light-rail-photo1.jpg>, erişim tarihi: 2018)
- URL07: (<https://www.flickr.com/photos/9028007@N05/5769526472/in/photostream/lightbox/>, erişim tarihi: 2018)
- URL08: (<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/28/Palmer-monorail.png/220px-Palmer-monorail.png>, erişim tarihi: 2018)

URL09: (<http://gonzalocamacho.com/wp-content/uploads/2014/08/Wuppertal-100522-13449-Sonnborn.jpg>, erişim tarihi: 2018)

URL10: (<https://i.ytimg.com/vi/9P0ZrcLuH74/hqdefault.jpg>, erişim tarihi: 2018)

URL11: (<http://www.monorails.org/webpix/1952.jpg>, erişim tarihi: 2018)

URL12: (<http://www.monorails.org/tMspages/History.html>, erişim tarihi: 2018)

URL13: (<http://www.tanasreminisce.com/uploads/2/9/5/6/2956417/9631470.jpg>, erişim tarihi: 2018)

URL14: (https://resources.matcha-jp.com/archive_files/jp/2015/08/uenozoo6.jpg, erişim tarihi: 2018)

URL15: (<https://secure.parksandresorts.wdpromedia.com/media/disneyparks/blog/wp-content/uploads/2014/06/15-DL59.jpg>, erişim tarihi: 2018)

URL16: (<http://www.monorails.org>, erişim tarihi: 2018)

URL17: (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1d/Torino_monorotaia_Italia_61.jpg/300px-Torino_monorotaia_Italia_61.jpg, erişim tarihi: 2018)

URL18: (<seattlecentermonorail.files.wordpress.com>, erişim tarihi: 2018)

URL19: (<http://www.monorails.org/tMspages/Lockheed02.html>, erişim tarihi: 2018)

URL20: (<http://www.nywf64.com/amf07.shtml>, erişim tarihi: 2018)

URL21: (<https://www.japantimes.co.jp/wp-content/uploads/2014/09/n-monorail-b-20140918-870x581.jpg>, erişim tarihi: 2018)

URL22: (www.tokyo-monorail.co.jp/english, erişim tarihi: 2018)

URL23: (https://www.metro-report.com/typo3temp/_processed_/c/9/csm_tn_in-mumbai_monorail_ac1f8218f6.jpg, erişim tarihi: 2018)

URL24: (<http://n.sinaimg.cn/translate/20161121/Ejtb-fxxwrwk1600101.jpg>, erişim tarihi: 2018)

URL25: (<http://www.urbanaut.com>, erişim tarihi: 2018)

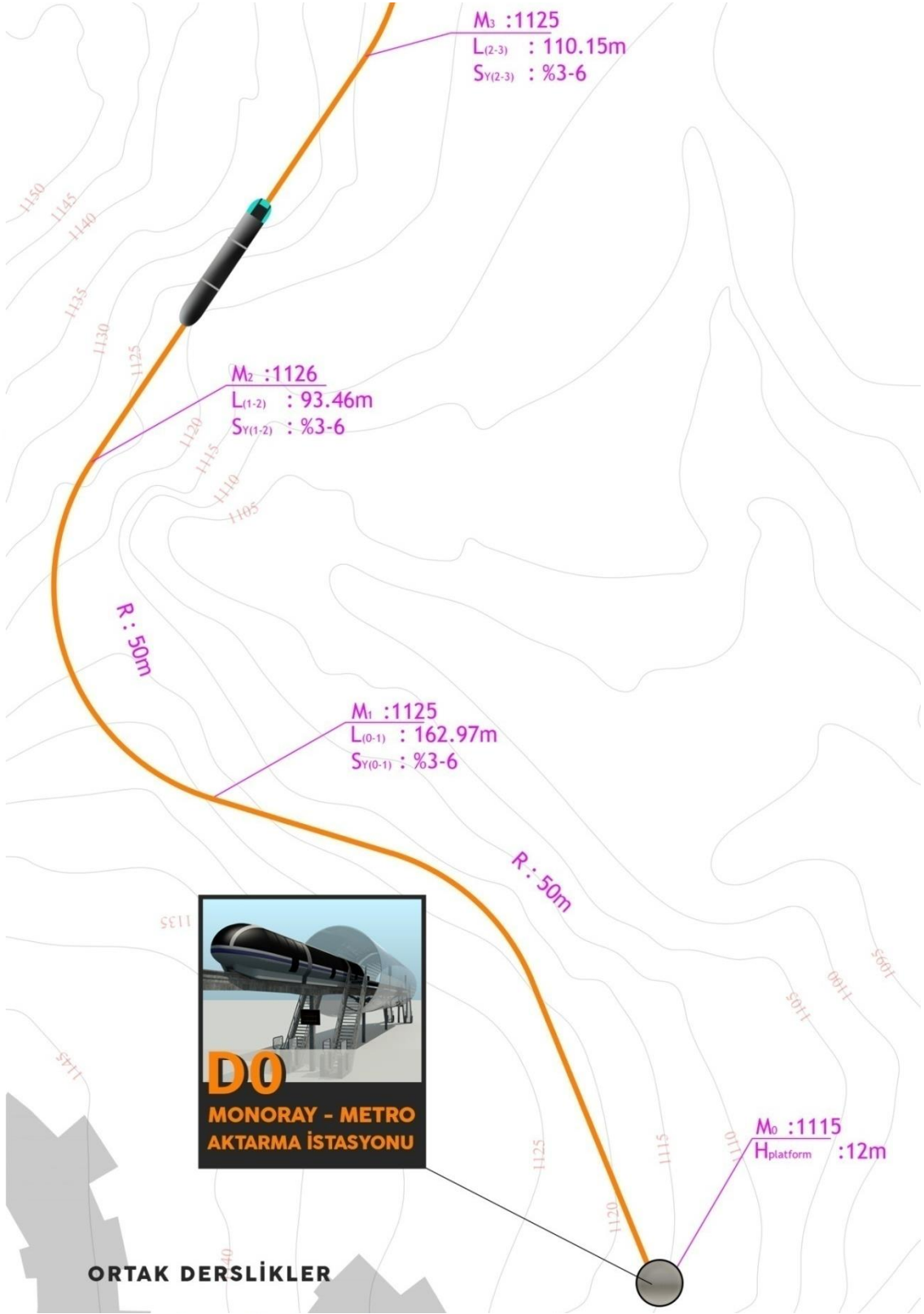
URL26: (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3b/KL_Monorail_Track_switch.jpg, erişim tarihi: 2018)

URL27: (<upload.wikimedia.org>, erişim tarihi: 2018)

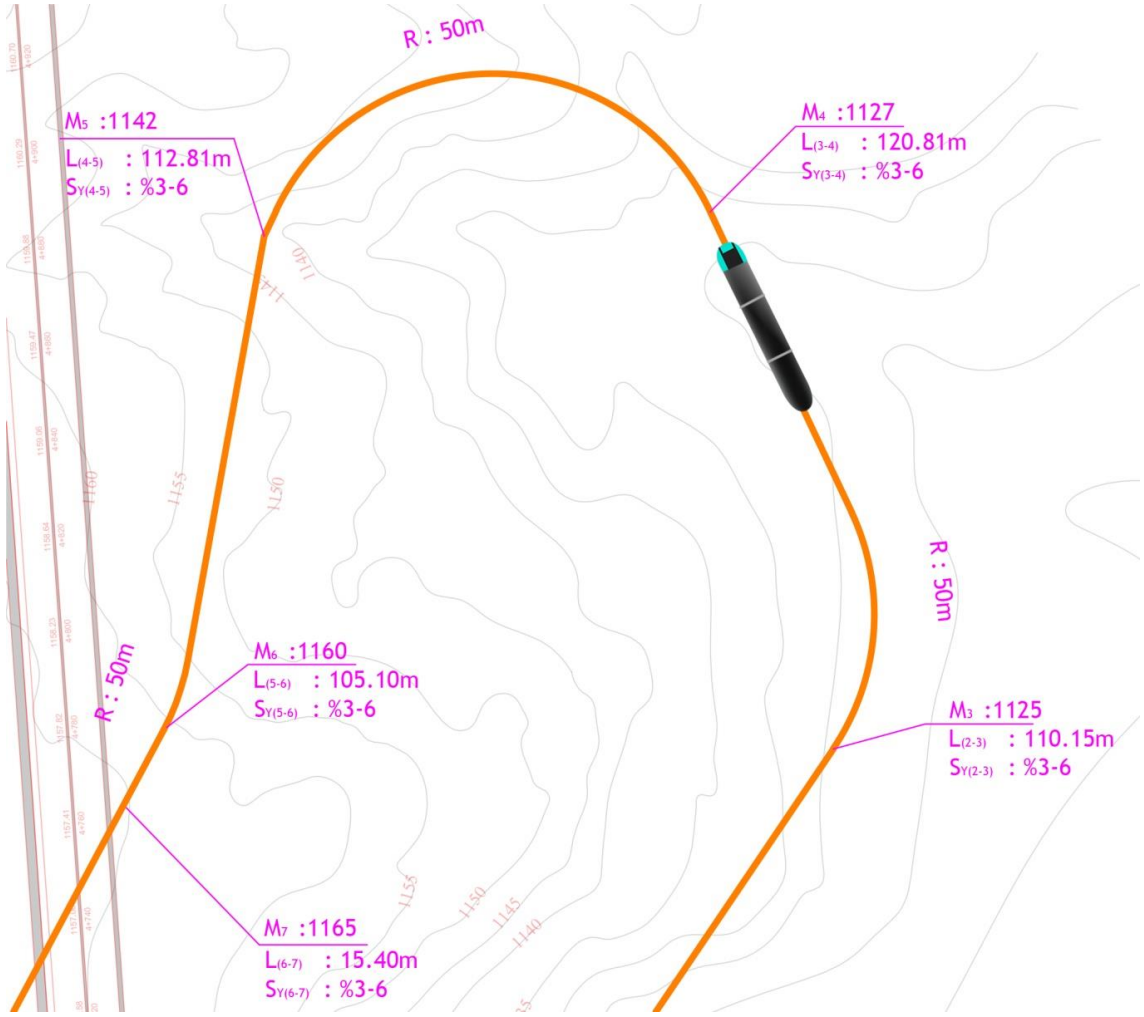
- URL28: (<http://beagle-maru.seesaa.net/article/387033472.html>, erişim tarihi: 2018)
- URL29: (https://www.tripadvisor.co.kr/LocationPhotoDirectLink-g60878-d563127-i74820344-Seattle_Center_Monorail-Seattle_Washington.html, erişim tarihi: 2018)
- URL30: (<https://www.bombardier.com>, erişim tarihi: 2018)
- URL31: (<https://www.lightrailnow.org>, erişim tarihi: 2018)
- URL32: (<http://architectureimg.com/sydney-mono-rail-train-flags-monorail-bridge-fullscreen-wallpaper>, erişim tarihi: 2018)
- URL33: (<https://i2.wp.com/up.picr.de/10036128fh.jpg>, erişim tarihi: 2018)
- URL34: (https://cdn.pixabay.com/photo/2017/04/16/15/01/the-monorail-2234868_960_720.jpg, erişim tarihi: 2018)
- URL35: (<https://www.businesstimes.com.sg/transport/sentosa-express-to-get-s30m-upgrade>, erişim tarihi: 2018)
- URL36: (<https://i.pinimg.com/736x/c0/cc/e7/c0cce7317513fb4bb12dbd375a45f392--las-vegas-nevada-rail.jpg>, erişim tarihi: 2018)
- URL37:
(<https://i.pinimg.com/originals/49/a6/ea/49a6ea66cec5bc7097538c889bc45afe.jpg>, erişim tarihi: 2018).
- URL38: (https://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:H-Bahn_Uni_Dortmund_Haltestelle_S-Bahn.jpg, erişim tarihi: 2018).
- Uysal, O., Türkiye’de Metro ve Tramvay Sistemleri,
<https://tr.railturkey.org/2014/09/18/turkiye-metro-tramvay-sistemleri/>, [Ziyaret tarihi: 19.01.2017].
- VUCHIC, V.R., Urban Transit System and Technology, John Wiley and Sons, New Jersey, 2007.
- Web Archive, Wuppertal Tuffi Jahrestag,
https://web.archive.org/web/20110515132249/http://www.wdr.de/themen/panorama/28/wuppertal_tuffi_jahrestag/index.jhtml, [Ziyaret tarihi: 06.01.2017].
- Yorulmaz, E., Adana Toplu Taşıma Sisteminin Yapısı Ve Sürdürülebilir Bir Toplu Taşıma Sistemi İçin Yeni Öneriler, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 2016 14-20.



EK-1 NA2 GÜZERGÂH DETAYI



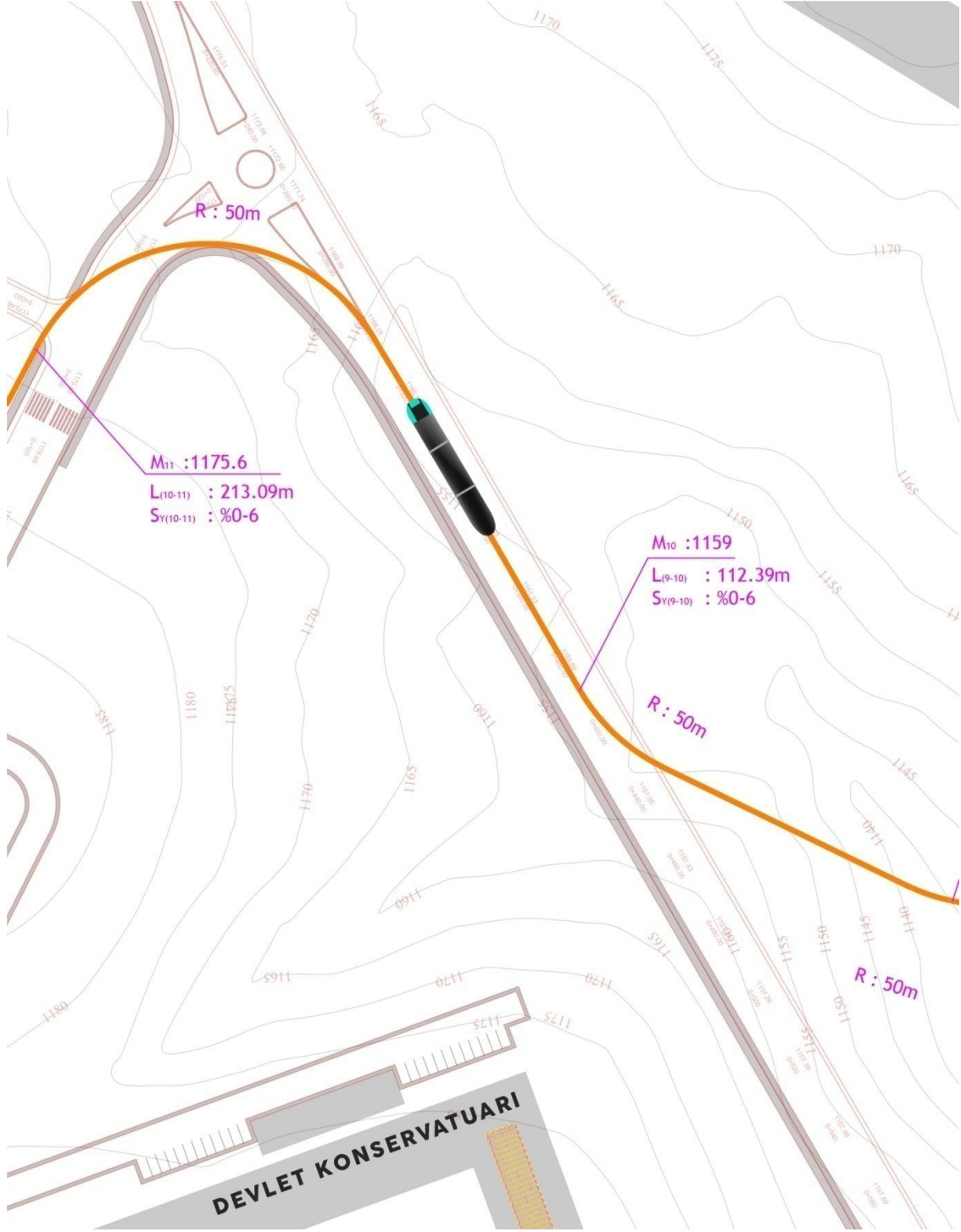
Şekil E.1: NA2 güzergâhı detay görünümü



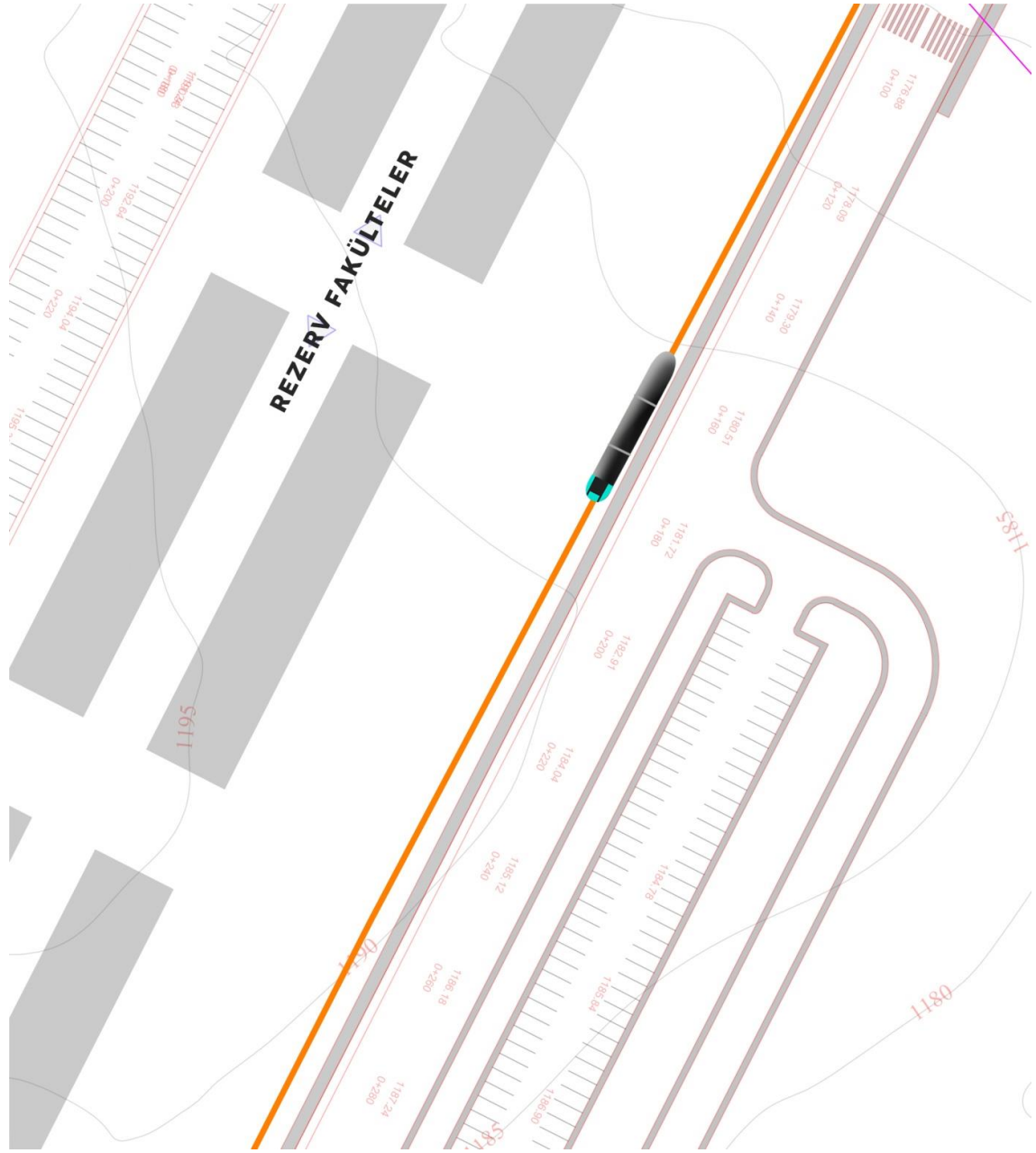
Şekil E.2: NA2 güzergâhı detay görünümü (devam)



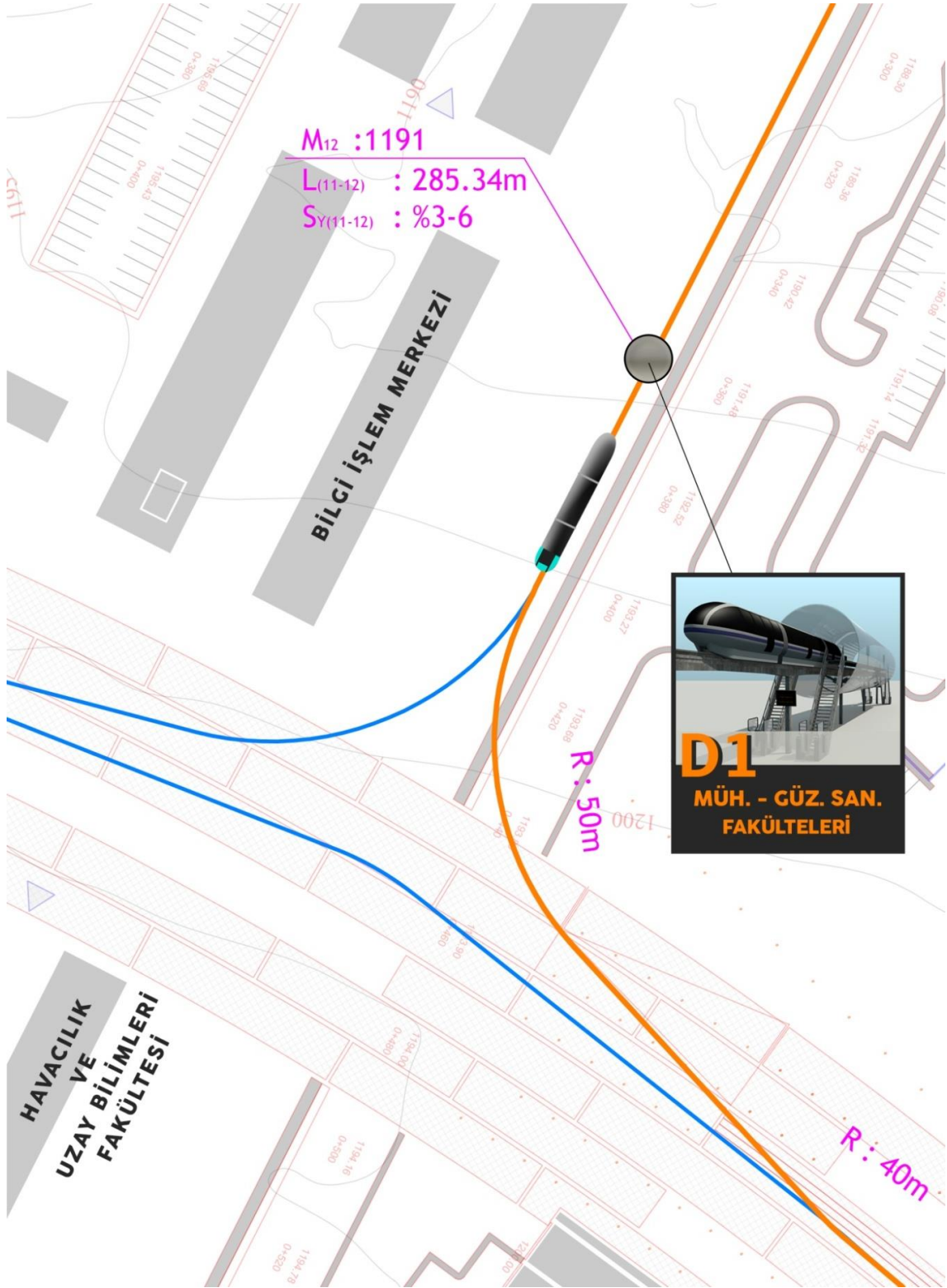
Şekil E.3: NA2 güzergâhı detay görünümü (devam)



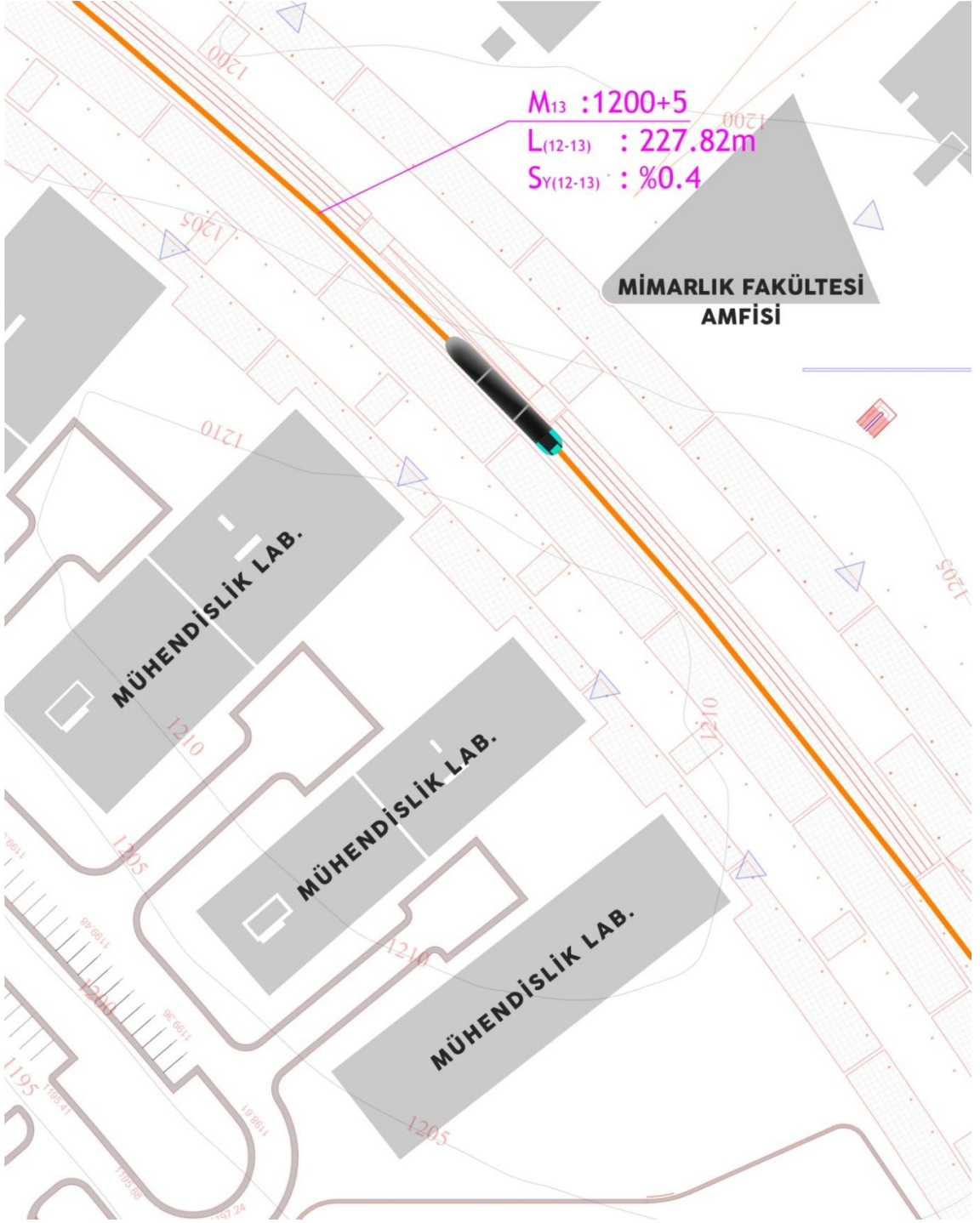
Şekil E.4: NA2 güzergâhı detay görünümü (devam)



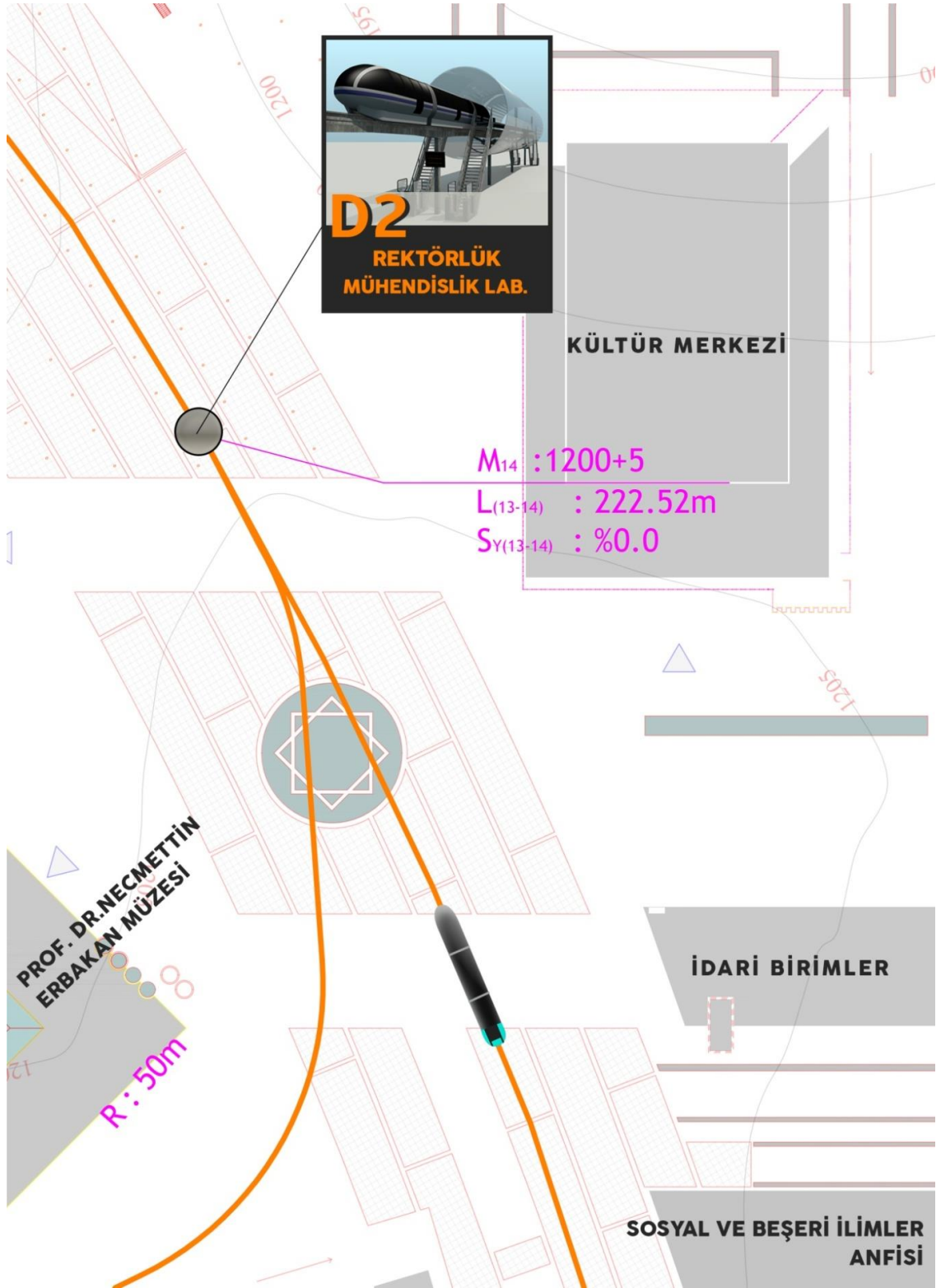
Şekil E.5: NA2 güzergâhı detay görünümü (devam)



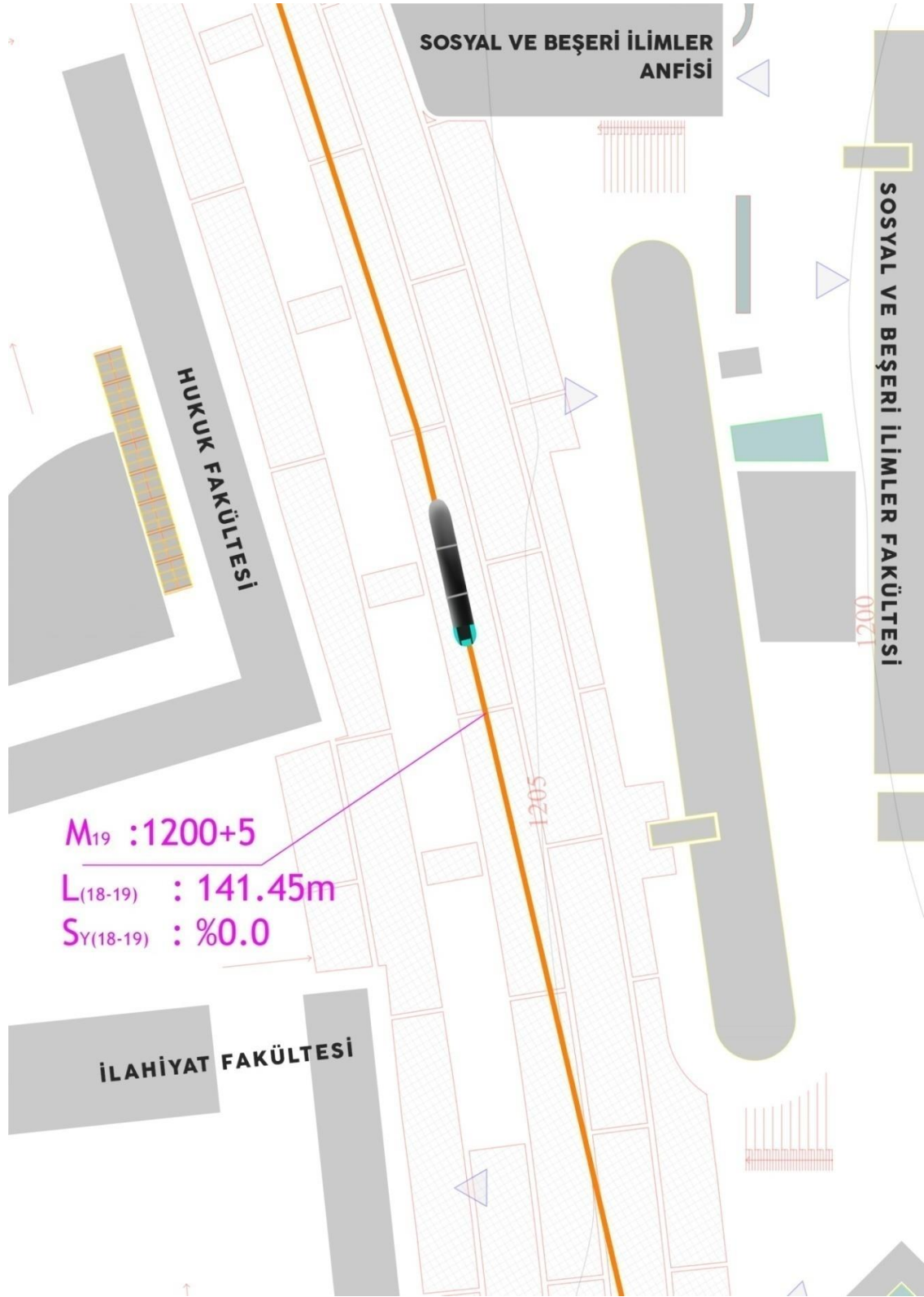
Şekil E.6: NA2 güzergâhı detay görünümü (devam)



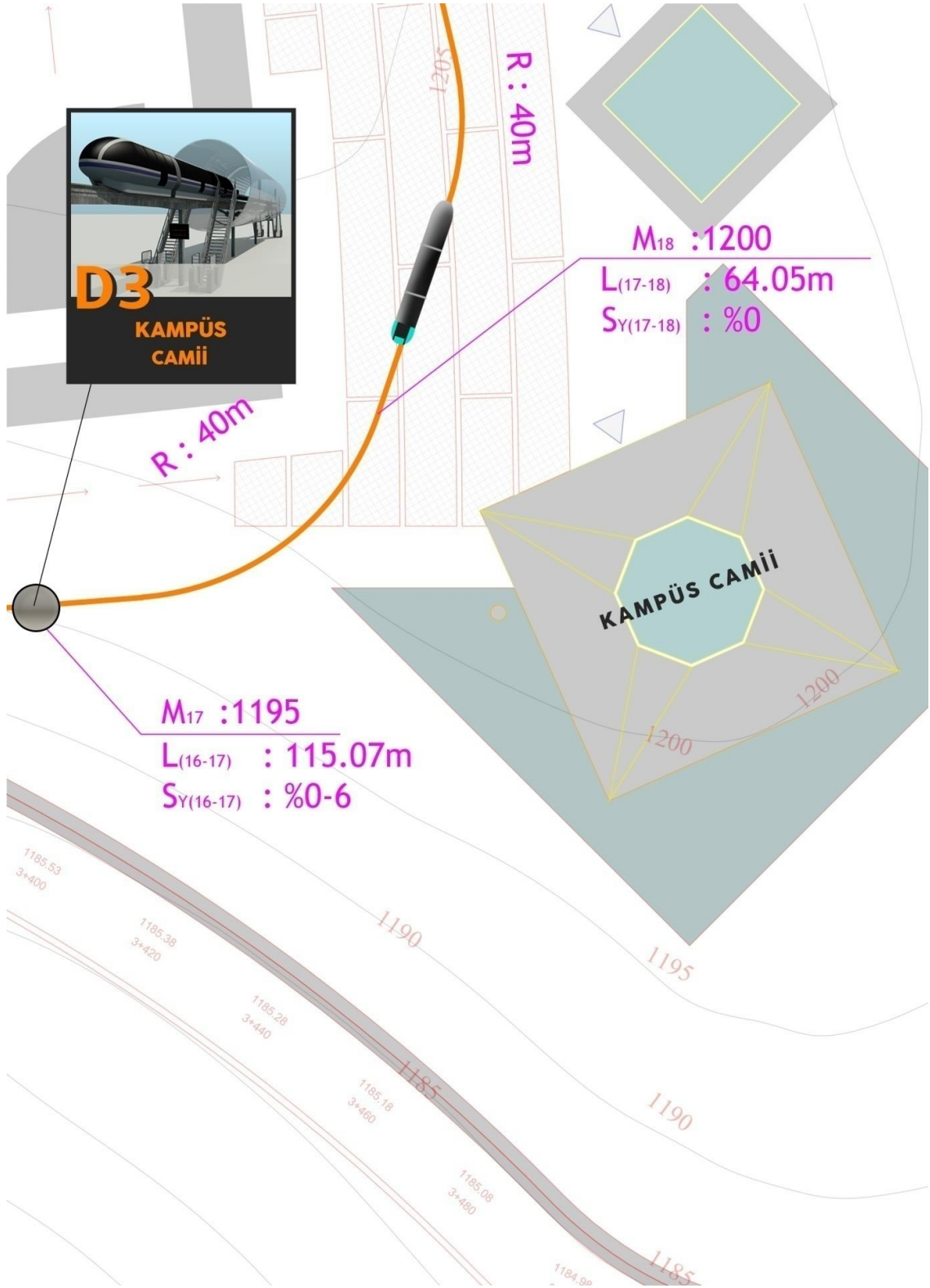
Şekil E.7: NA2 güzergâhı detay görünümü (devam)



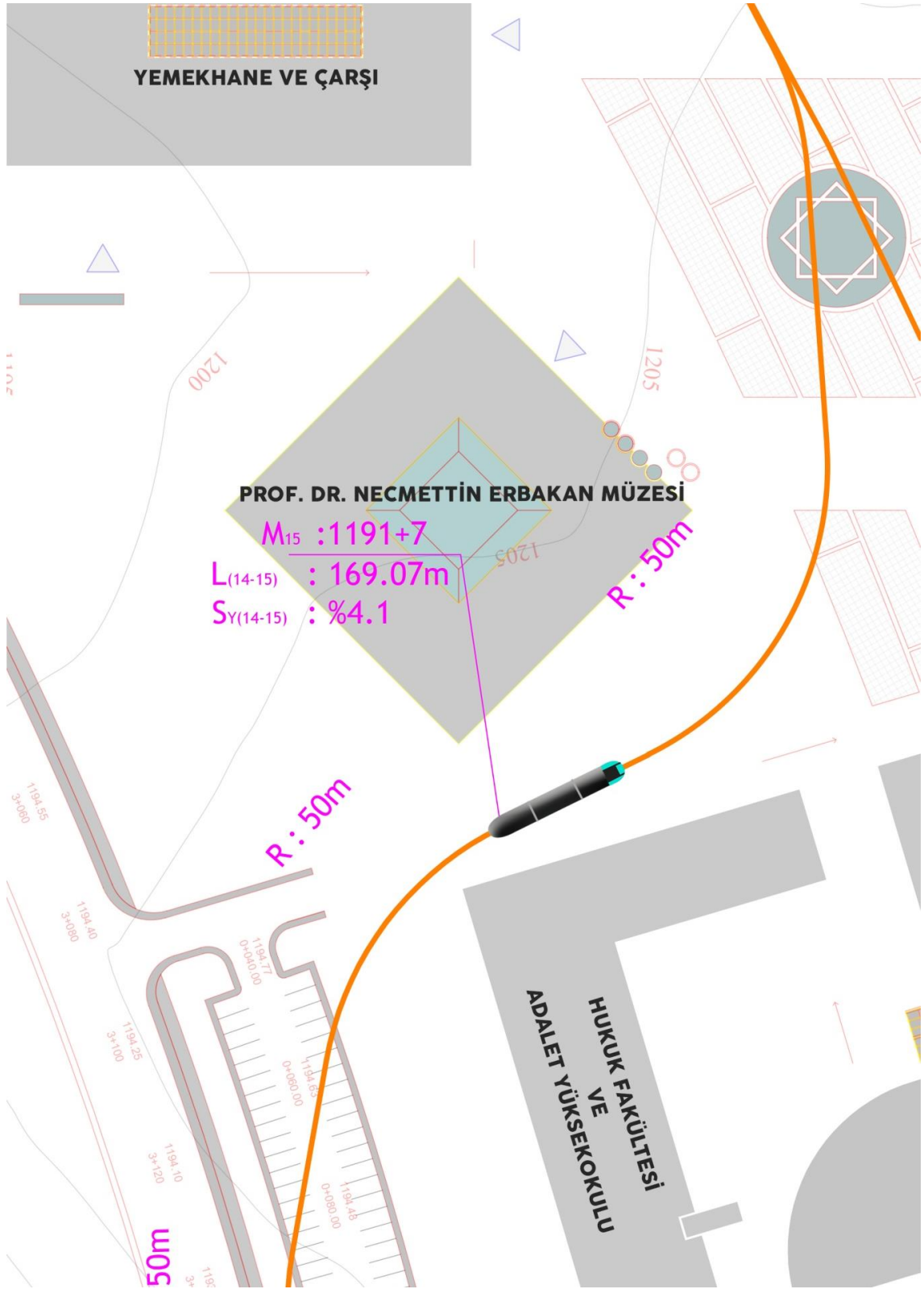
Şekil E.8: NA2 güzergâhı detay görünümü (devam)



Şekil E.9: NA2 güzergâhı detay görünümü (devam)

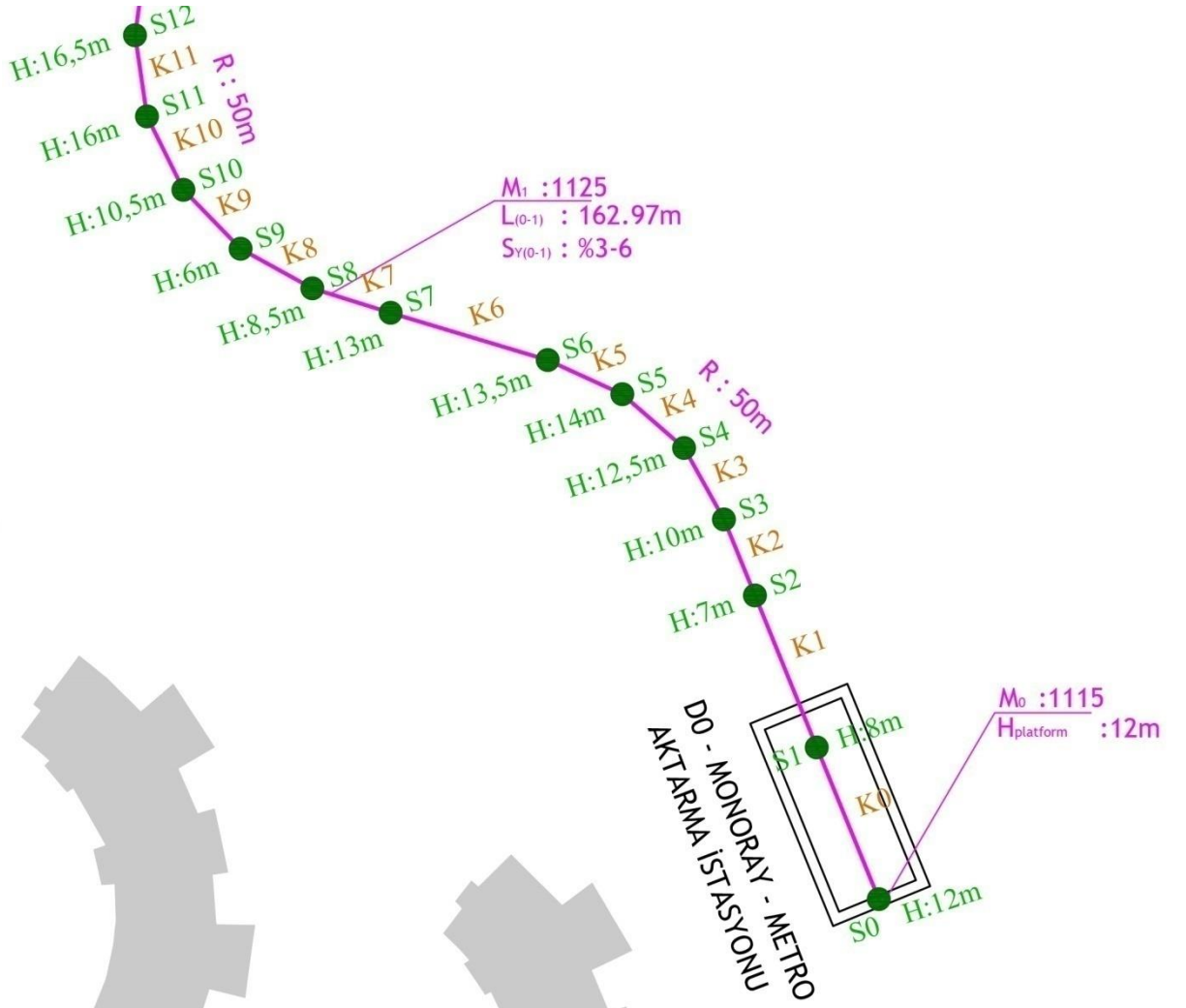


Şekil E.10: NA2 güzergâhı detay görünümü (devam)

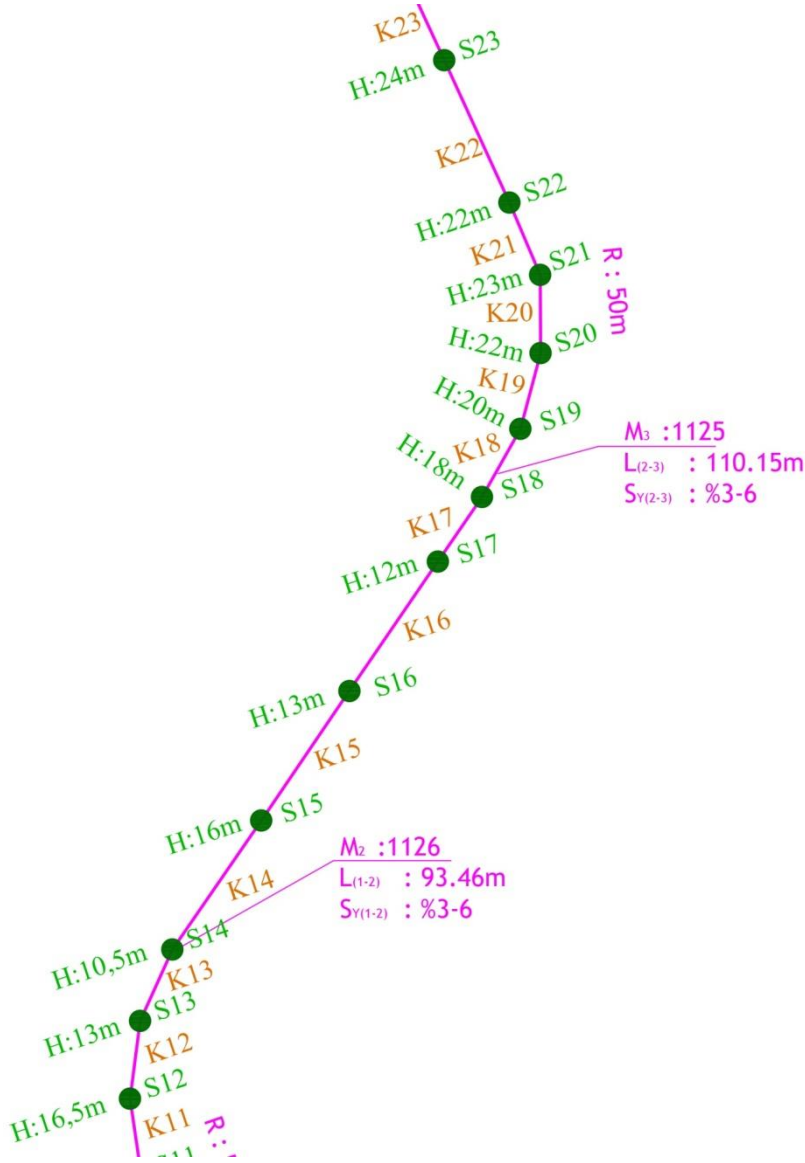


Şekil E.12: NA2 güzergâhı detay görünümü (devam)

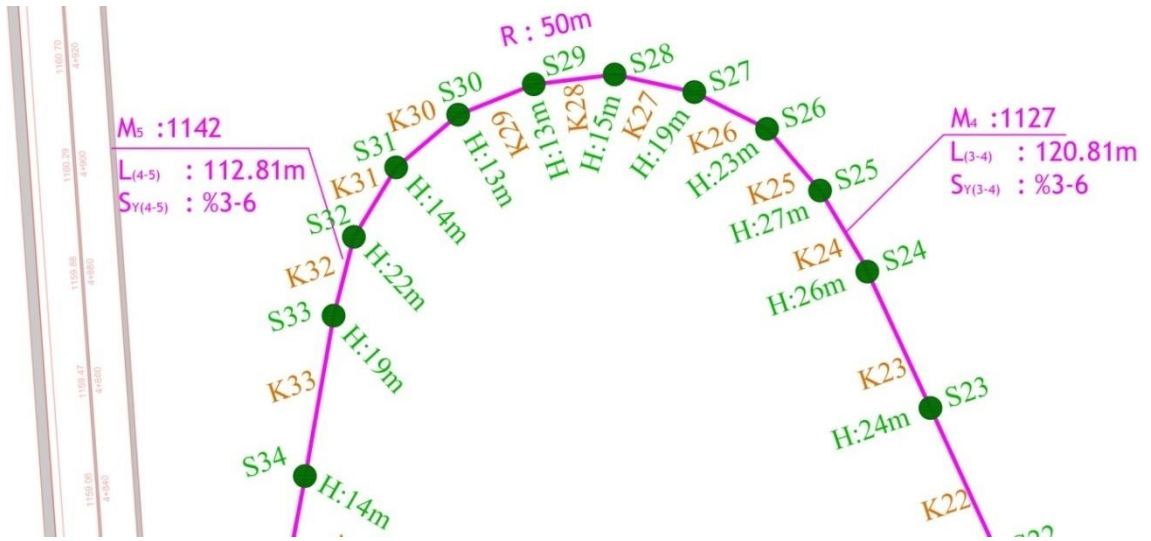
EK-2 NA2 GÜZERGÂHINDAKİ KOLON VE KİRİŞ BİLGİLERİ



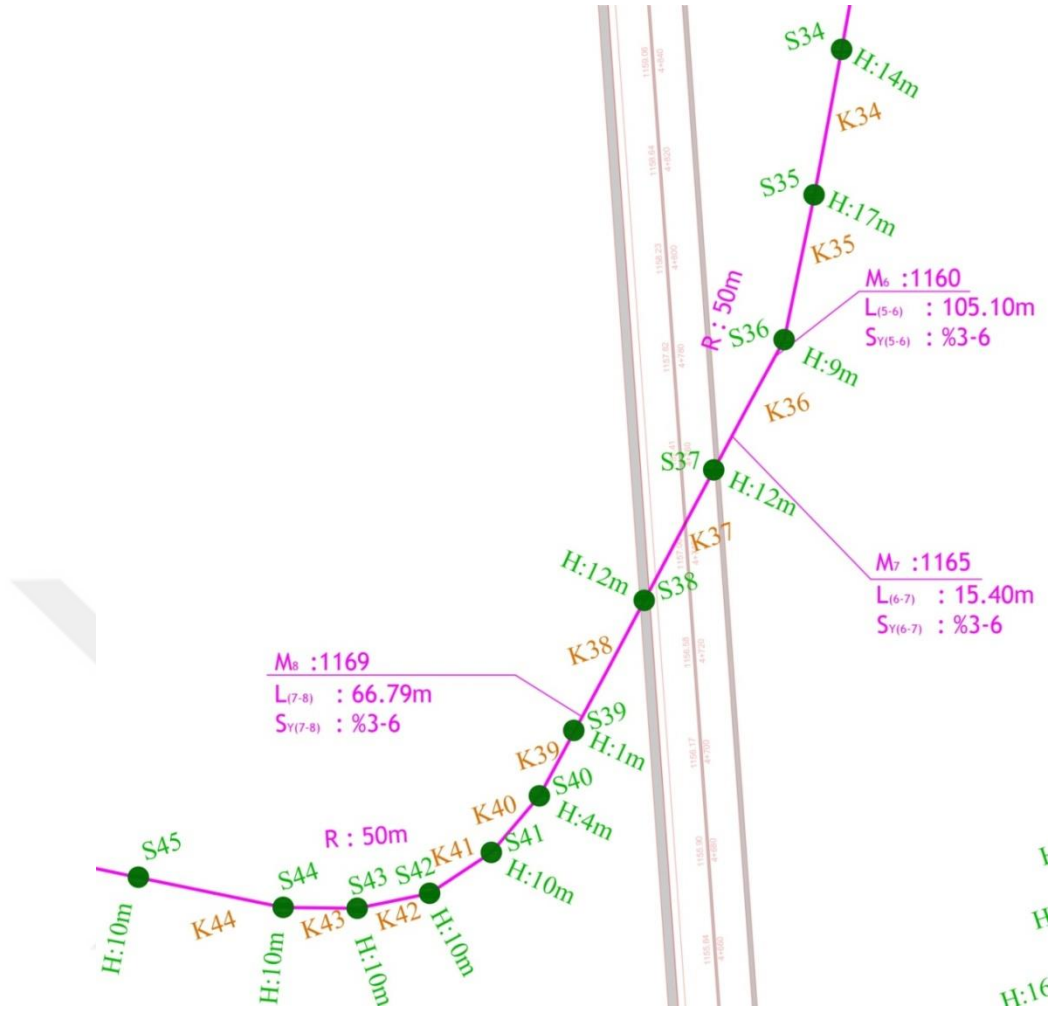
Şekil E.13: NA2 güzergâhındaki kolon ve kiriş bilgileri



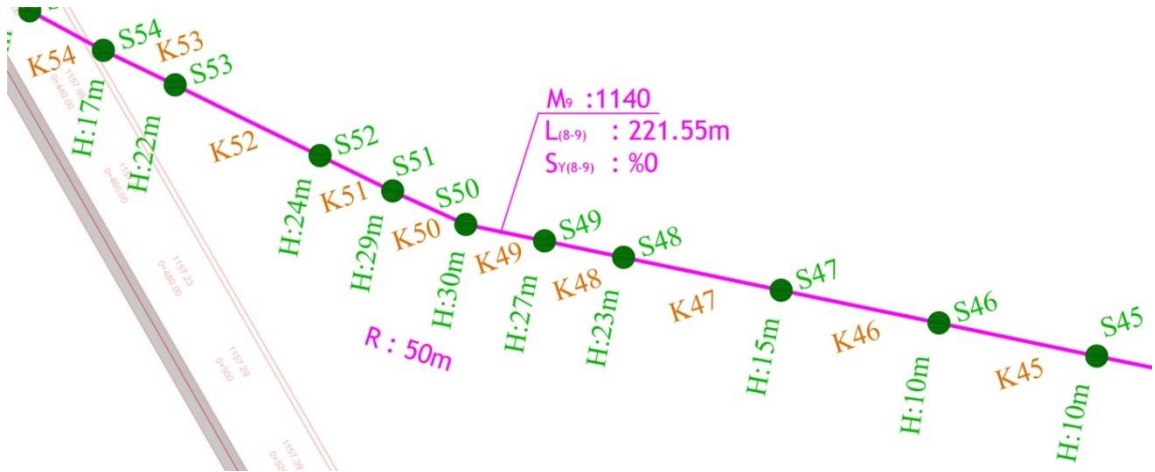
Şekil E.14: NA2 güzergâhındaki kolon ve kiriş bilgileri (devam)



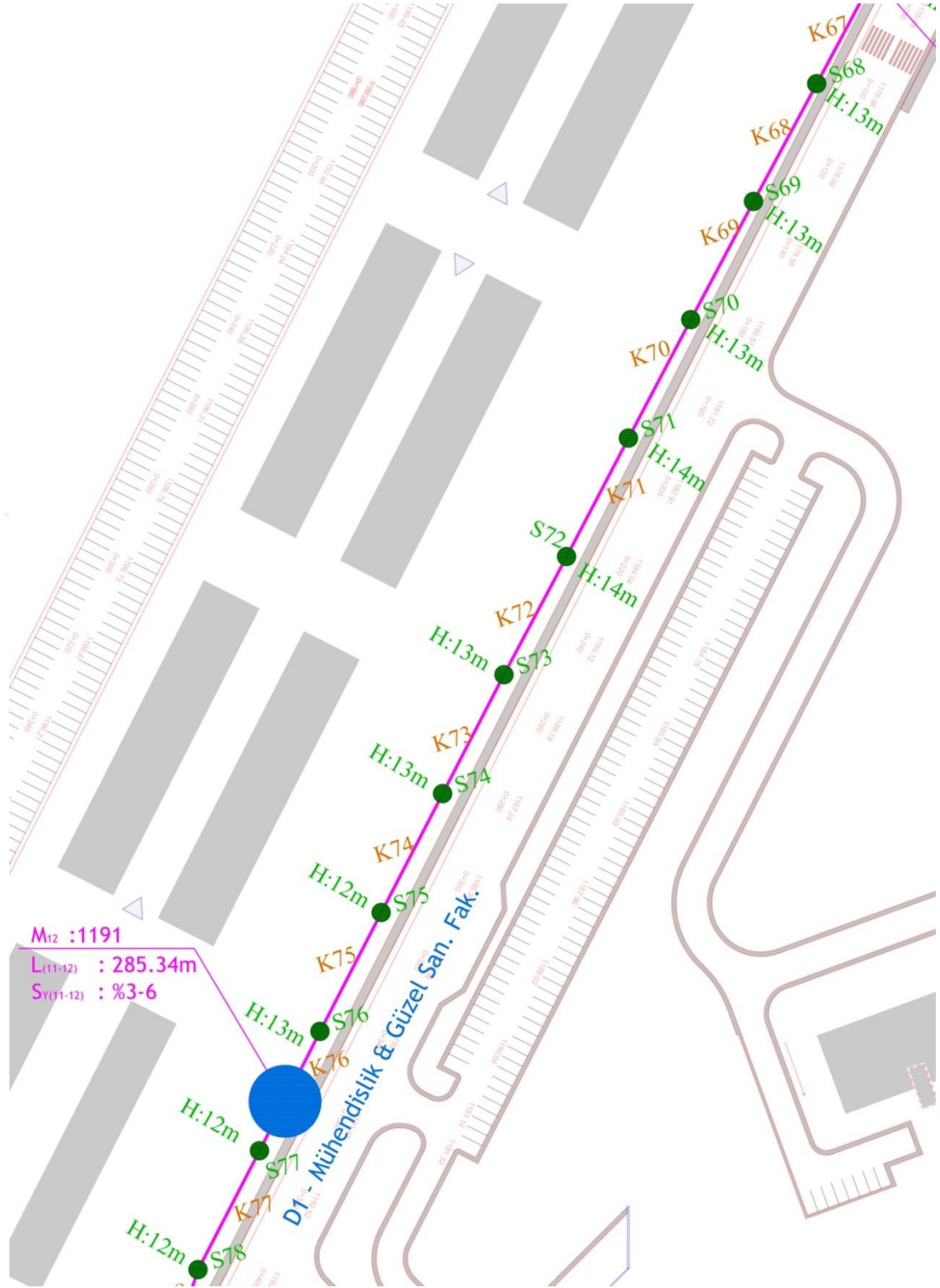
Şekil E.15: NA2 güzergâhındaki kolon ve kiriş bilgileri (devam)



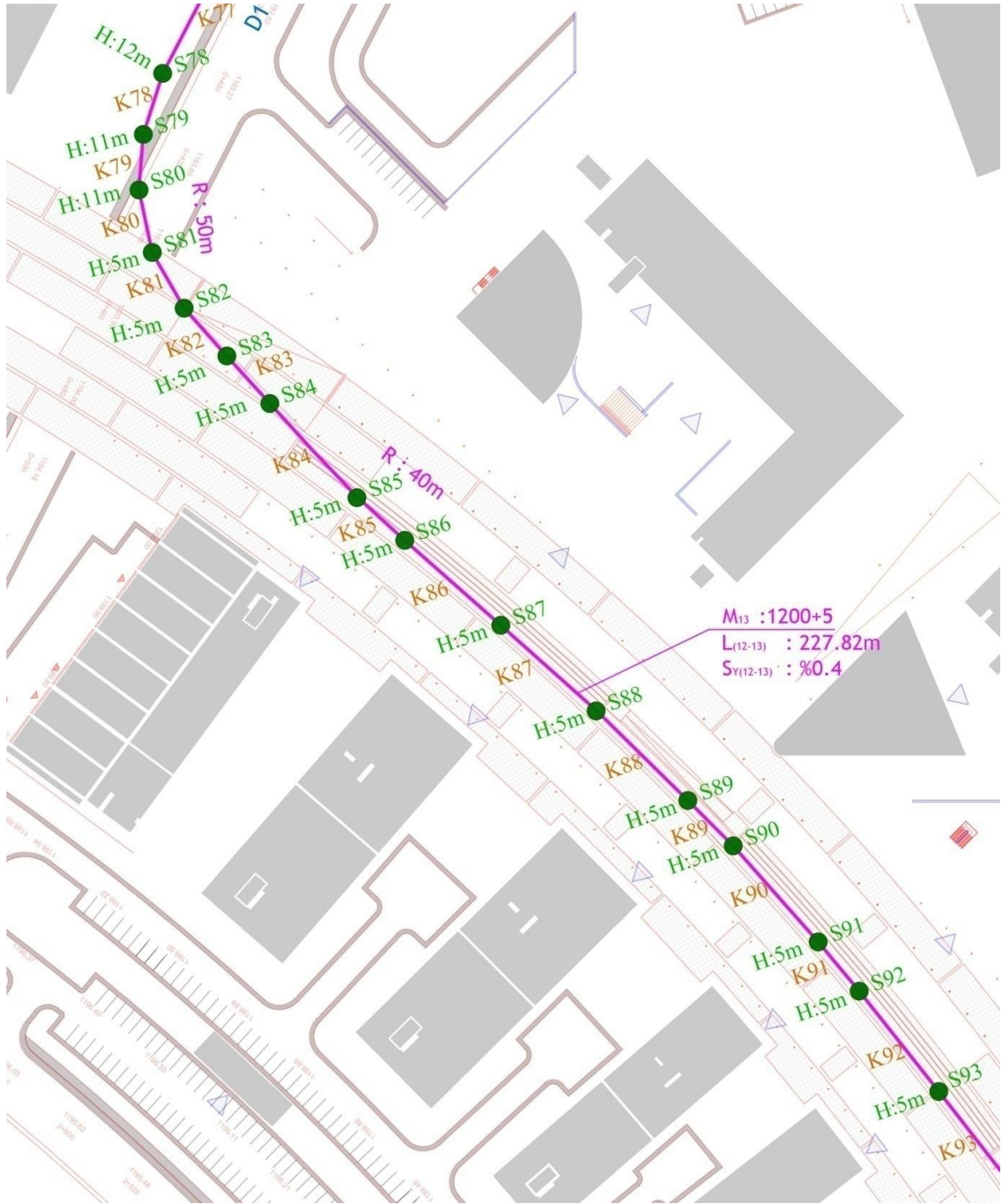
Şekil E.16: NA2 güzergâhındaki kolon ve kiriş bilgileri (devam)



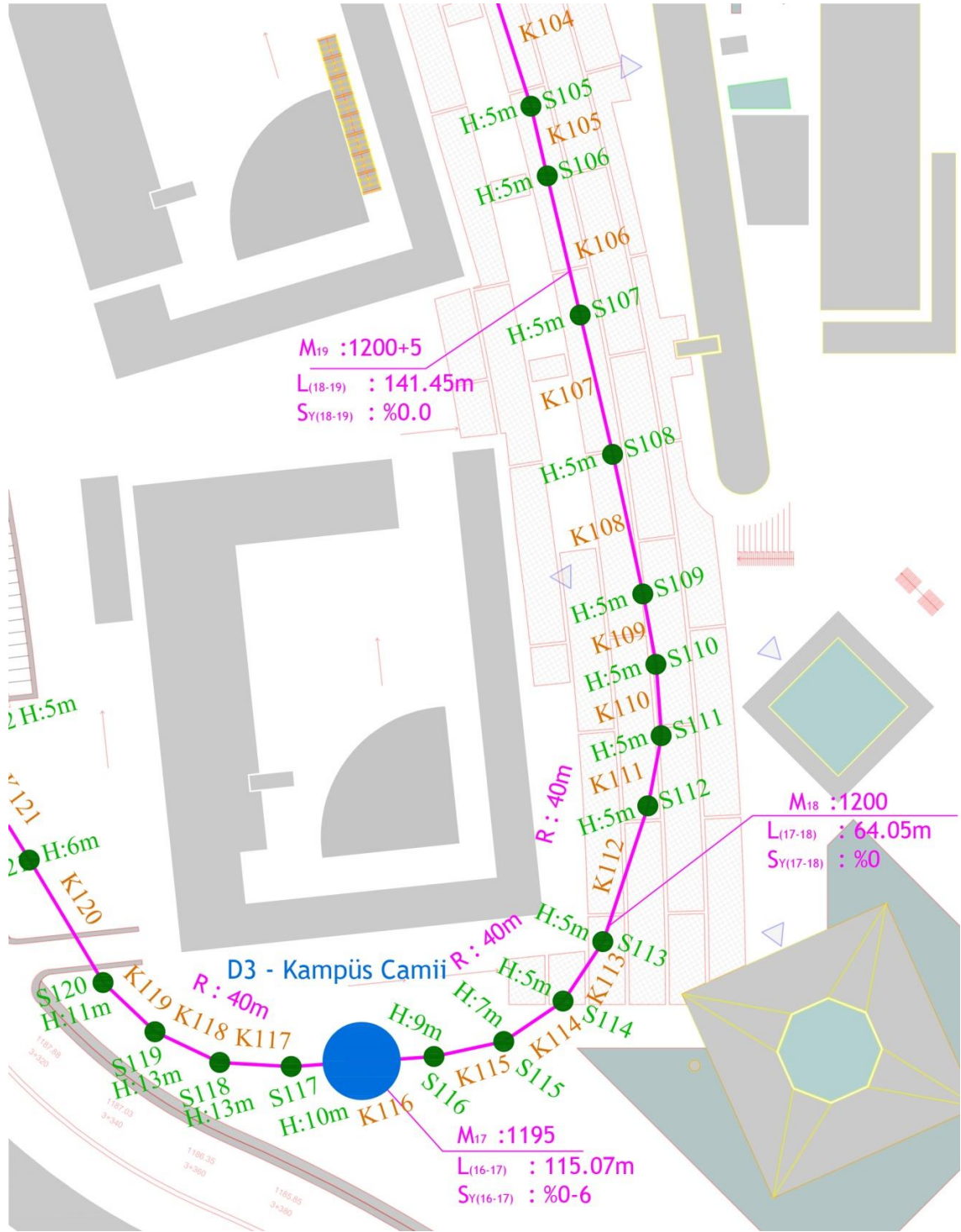
Şekil E.17: NA2 güzergâhındaki kolon ve kiriş bilgileri (devam)



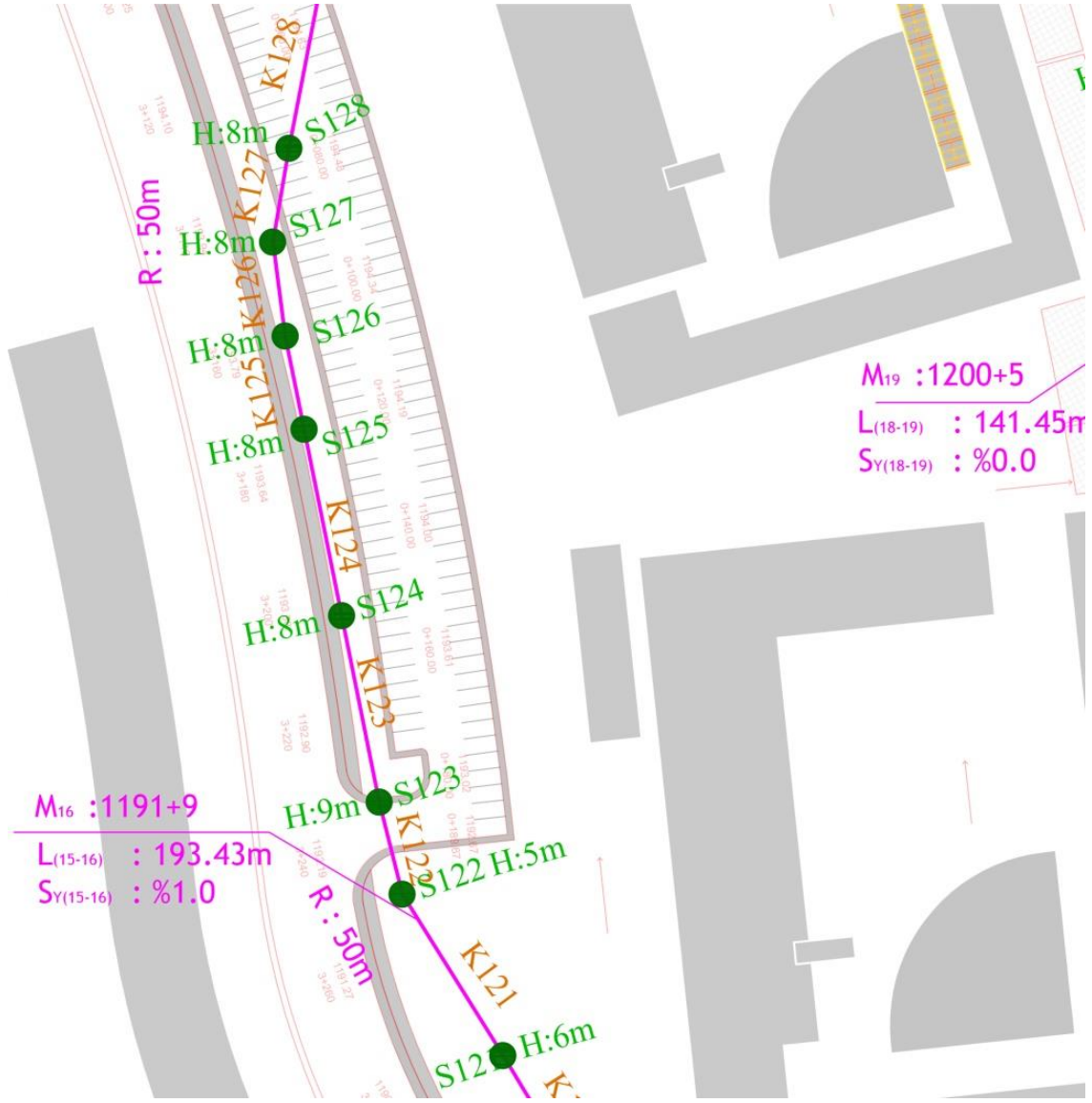
Şekil E.19: NA2 güzergâhındaki kolon ve kiriş bilgileri (devam)



Şekil E.20: NA2 güzergâhındaki kolon ve kiriş bilgileri (devam)

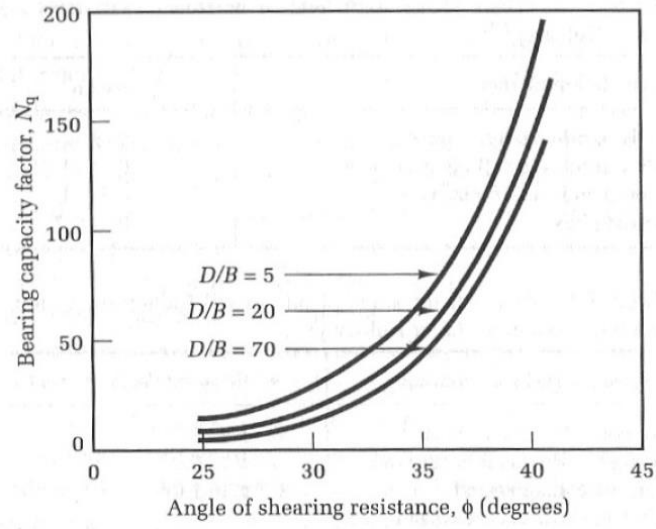


Şekil E.22: NA2 güzergâhındaki kolon ve kiriş bilgileri (devam)

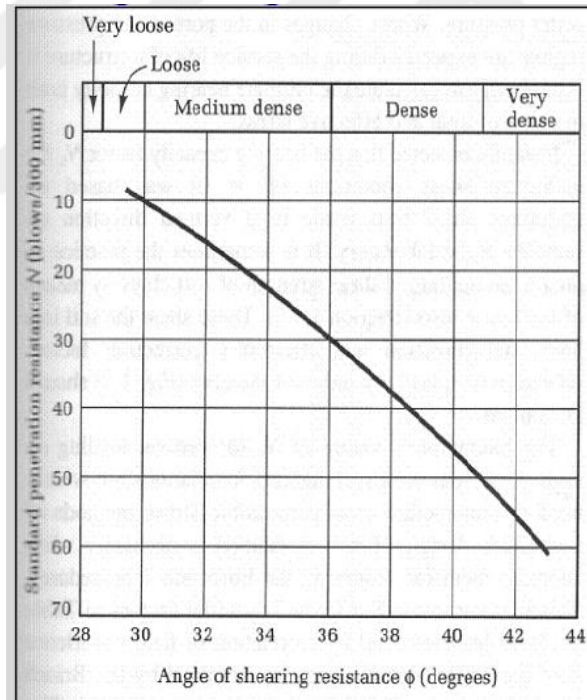


Şekil E.23: NA2 güzergâhındaki kolon ve kiriş bilgileri (devam)

EK-3 FORE KAZIK HESAPLAMALARINDA KULLANILAN ABAK, TABLO VE GRAFİKLER



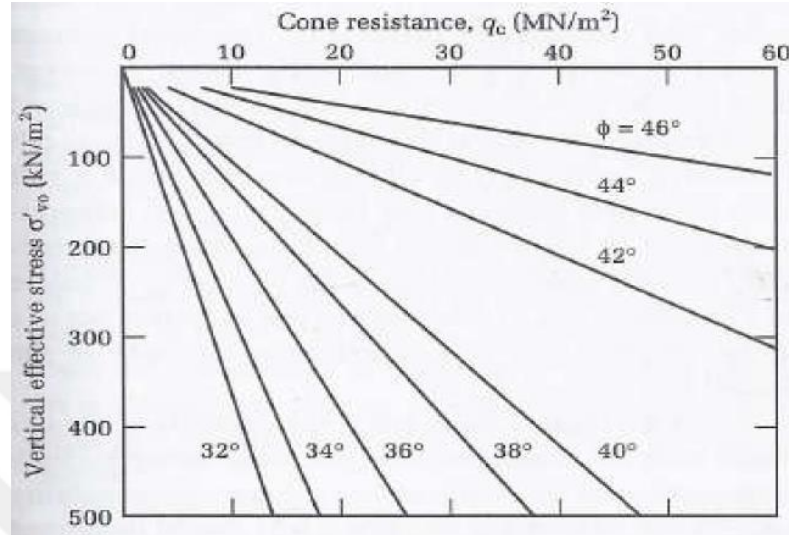
Şekil E.25: Berezantsev taşıma kapasitesi faktörü (N_q)



Şekil E.26: STP N değeri ile kayma mukavemeti açısı arasındaki ilişki

Tablo E.1: Zemin tiplerine göre tabii toprak basıncı katsayısı değerleri (K_0)

Loose normally consolidated sand	0.5
Medium–dense normally consolidated sand	0.45
Dense normally consolidated sand	0.35
Normally consolidated clay	0.75
Overconsolidated clay	1–2



Şekil E.28: Düşey etkin gerilme ile koni penetrasyon direnci arasındaki ilişki

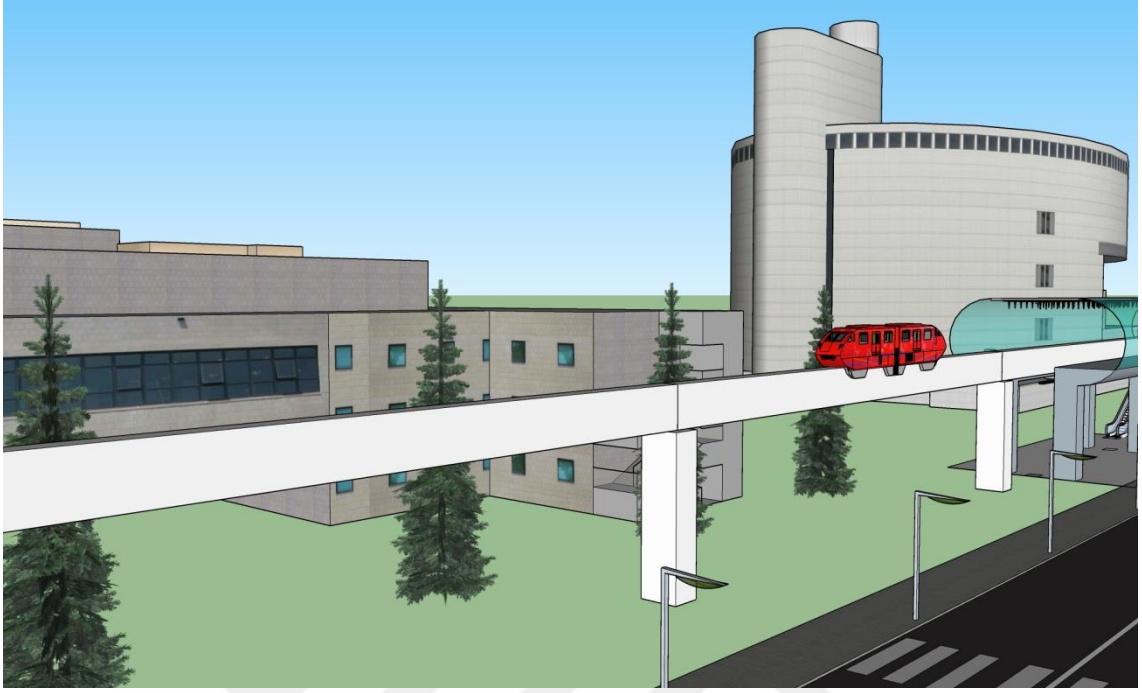
Tablo E.2: Kazık kurulum yöntemlerine göre yatay zemin gerilme katsayıları

Installation method	K_s/K_0
Driven piles, large displacement	1–2
Driven piles, small displacement	0.75–1.75
Bored and cast-in-place piles	0.71–1
Jetted piles	0.5–0.7

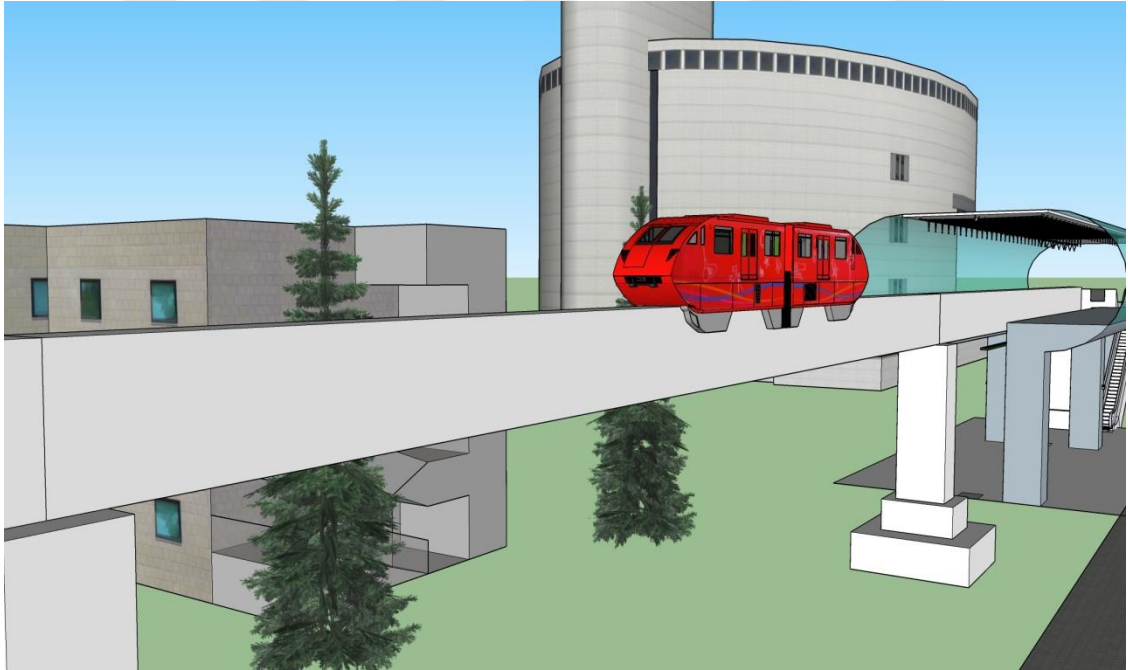
Tablo E.3: Kazık/zemin arayüzü durumuna göre kazık/toprak sürtünmesi açıları

Pile/soil interface condition	Angle of pile/soil friction(δ)
Smooth (coated) steel/sand	$0.5\phi'$ to $0.7\phi'$
Rough (corrugated) steel/sand	$0.7\phi'$ to $0.9\phi'$
Precast concrete/sand	$0.8\phi'$ to $1.0\phi'$
Cast-in-place concrete/sand	$1.0\phi'$
Timber/sand	$0.8\phi'$ to $0.9\phi'$

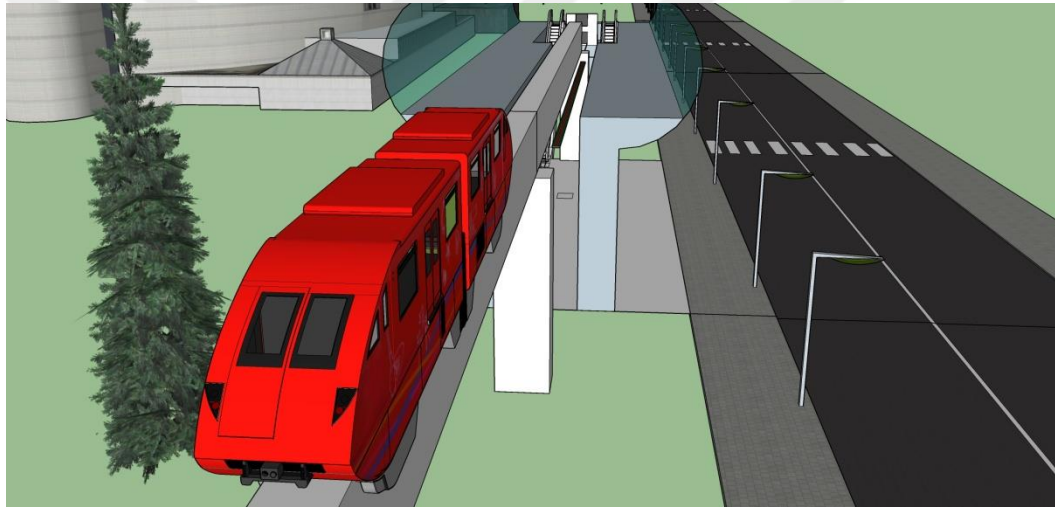
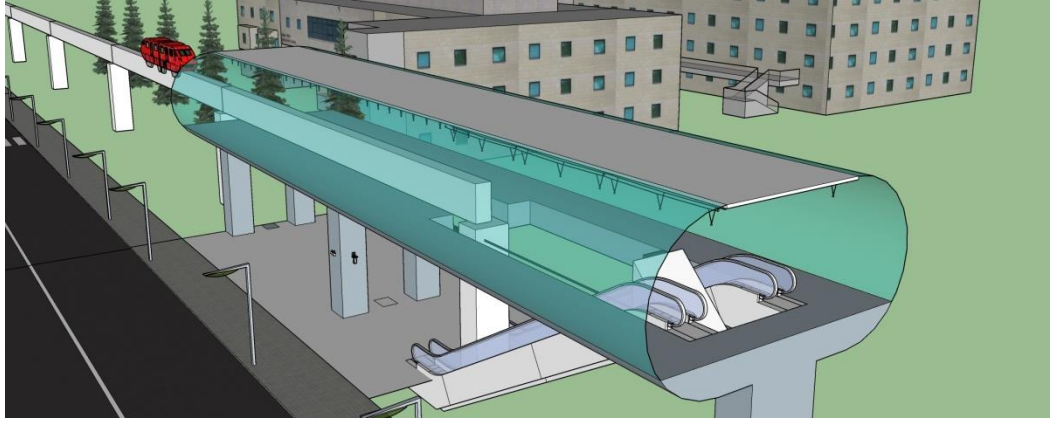
EK-4 MONORAY KÖPRÜ YAPISI VE YAKLAŞIK ÜÇ BOYUTLU MODELİNE AİT ÇEŞİTLİ GÖRÜNÜMLER



Şekil E.29: Monoray model görünümü



Şekil E.30: Monoray model görünümü (Temel soketi ve temel yapısı gösterilmiştir.)



Şekil E.31: Çeşitli açılardan monoray modeli

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammed İkbāl NORİSTANİ
Uyruđu : T.C.
Dođum Yeri ve Tarihi : 26.04.1988 / Kargı
Telefon : 0 531 224 17 00
e-mail : minuristani@yandex.com

EĞİTİM

Derece	Adı	Bitirme Yılı
• Lisans :	İstanbul Teknik Üniversitesi	2012
• Yüksek Lisans:	Necmettin Erbakan Üniversitesi	2018

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012-	Konya Büyükşehir Belediyesi	Kontrol Mühendisi

YABANCI DİLLER

- **İngilizce:** Reading (İyi), Writing (İyi), Speaking (Orta), Listening (İyi)
- **İngilizce YDS sınavı puanı:** 71 (2017-Bahar)
- **Arapça:** Okuma (İyi), Yazma (Orta), Konuşma (Giriş), Dinleme (Orta)

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

Yazılımlar:

Microsoft Office (İyi), Autocad (İyi), Adobe Photoshop (Çok İyi), Adobe Illustrator (İyi), Matlab (Giriş), Python (Giriş), SAP 2000 (Orta)

Başarılar:

Yaşanabilir ve Estetik Şehirler yarışmasında Bisiklet Yolu projesi ile Türkiye 1.'liği
İlgili haber: <http://www.konya.bel.tr/haberayrinti.php?haberID=3710>