İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL METROLARINDA BALASTSIZ ÜSTYAPI VE SİSTEM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat ULUÇ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK

ARALIK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111420 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Murat ULUÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "İstanbul Metrolarında Balastsız Üstyapı ve Sistem Özelliklerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi …….....

Jüri Üyeleri : **Yard. Doç. Dr. Pelin ALPKÖKİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi …….....

Yard. Doç. Dr. M. Sinan YARDIM
Yıldız Teknik Üniversitesi …….....

Teslim Tarihi : **13 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **23 Ocak 2014**

ÖNSÖZ

Ülkemizde henüz çok yaygınlaşmasa da gelecek vaat eden balastsız üstyapı tasarım çeşitleri ile İstanbul ağır metrolarının tasarım ve sistem özelliklerinin araştırılıp değerlendirildiği bu çalışmada;

Emeği, sabrı ve anlayışı için değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi saygı ile sunarım.

Verdiği her türlü teknik bilgi ve paylaştığı tecrübeleri için çok sevdiğim abim İ.B.B. Raylı Sistemler Müdürlüğü İnşaat Kontrol Müh. Canbek KAZOKOĞLU'ya, yine engin bilgi ve tecrübeleri ile elindeki kaynakları paylaşmayı esirgemeyen, her türlü bağlantıyı sağlayan Alarko Taahhüt Grubu Proje Taahhüt Müdürü Sn. Mak. Müh. İsmail EROĞLU'ya; hatların işletimi, teknik özellikleri hakkında verdiği bilgiler ve sağladığı bağlantılar için İstanbul Ulaşım A.Ş. Hat ve Sabit Tesisler Müdürü Sn. Dr. Veysel ARLI'ya ve aynı kurumdan M3 Hat Bakım ve İnşaat Şefi Sn. Yük. İnş. Müh. Muhammed Nesih DEMİRDAĞ, M2 İşletme Şefi Sn. Yük. Jeo. Müh. Fatih GÜLTEKİN, M4 Kumanda Merkezi Vardiya Amiri Sn. Enver AKKOYUN, İnş. Müh. Engin BÜYÜK ve İşletme Yük. Müh. Kamil SEYREK'e; Yüksel Proje A.Ş.'den İnş. Müh. Esra BİNGÖL'e; cömert doküman paylaşımından ötürü Pandrol Türkiye temsilcisi Kalebozan Dış Tic. ve Müm. A.Ş. Genel Müdürü Sn. Dr. Halit KALEBOZAN'a teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimimi yürekten destekleyerek izinlerini esirgemeyen iş verenim İlyas ÇOKKANLI'ya teşekkür ve sevgilerimi iletmek isterim.

Herkesten çok hayatım boyunca maddi-manevi her türlü desteğini, sevgisini hissettiren ve zorluklarıma katlanan canım aileme bu çalışmamda da geçen emeklerinden ötürü minnettarım..

Aralık, 2013 Murat ULUÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
Çalışmanın Amacı **2**
2. DEMİRYOLLARINDA KULLANILAN BALASTSIZ ÜSTYAPI TİPLERİNİN GENEL OLARAK İNCELENMESİ **3**
2.1 Betona Gömülü Traversli Sistemler **4**
2.1.1 Rheda 4
2.1.2 Züblin 10
2.1.3 Stedef 13
2.1.4 Heitkamp 16
2.2 Asfalt Betonu ve Beton Yatağı Üzeri Traversli Sistemler **16**
2.2.1 ATD (Asphalttragschicht mit Direktauflagerung) 17
2.2.2 SATO (Studiengesellschaft Asphalt-Oberbau) 18
2.2.3 FFYS (Feste Fahrbahn Y-Stahlschwelle) 19
2.2.4 GETRAC (German Track Corporation) 19
2.2.5 BTD (Betontragschict mit Direktaflagerung) 20
2.3 Prefabrik Sistemler **21**
2.3.1 Shinkansen 22
2.3.2 Bögl 23
2.3.3 OBB-Porr 25
2.4 Tek Parça (Monolitik) Yerinde Dökülen Sistemler **27**
2.4.1 Infundo 28
2.4.2 FFC (Feste Fahrbahn Crailsheim) 28
2.5 Sonuç **29**
3. İSTANBULDAKİ METRO HATLARININ TANITIMI VE BAZI SİSTEM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENİP KARŞILAŞTIRILMASI **33**
3.1 İşletmede Bulunan Hatların Tanıtımı **33**
3.1.1 M2 (Hacıosman-Şişhane) Hattı 33
3.1.2 M3 (Başakşehir-Kirazlı-Olimpiyatköy) 39
3.1.3 M4 (Kadıköy-Kartal) 44

3.2 İşletmede Bulunan Hatların İmalat ve Sistem Özellikleri 48
3.2.1 Kazı yöntemleri 48
3.2.2 Tünel Kesit Tipleri 54
3.2.3 Elektrifikasyon Sistemleri 55
3.2.4 Araç Kontrol Sistemleri 60
3.2.5 Tren Koruma Sistemleri 61

4. İSTANBUL METRO HATLARINDA KULLANILAN ÜSTYAPI TİPLERİ VE ELEMANLARI İLE YAPIM MALİYETLERİNİN İNCELENMESİ 65

4.1 M2 (Hacıosman-Şişhane) Hattı 65
4.1.1 Birinci Etap Üstyapısı (Stedef) 65
4.1.2 İkinci Etap Üstyapısı (Yerinde döküm) 67
4.1.3 Raylar 73
4.1.4 Bağlantı Elemanları 74

4.2 M3 (Başakşehir-Kirazlı-Olimpiyatköy) Hattı 87
4.2.1 Yerinde Döküm Üstyapı 87
4.2.2 Prekast Panelli Üstyapı 88
4.2.3 Raylar 91
4.2.4 Bağlantı Elemanları 91

4.3 M4 (Kadıköy-Kartal) Hattı 93
4.3.1 Yerinde Döküm Üstyapı 93
4.3.2 Raylar 95
4.3.3 Bağlantı Elemanları 95

4.4 Makas ve Kruvazmanlar 99
4.4.1 Basit Makas 100
4.4.2 Çapraz S Makas (Kutrani) 100
4.4.3 İngiliz Makası (Tam çapraz makas) 101
4.4.4 Kruvazman 102

4.5 Araç Tipleri 103

4.6 Hatların Birim İnşa Maliyetleri 103
4.6.1 M2 hattı üstyapı birim inşa maliyetleri 103
4.6.2 M3 hattı üstyapı birim inşa maliyetleri 104
4.6.3 M4 hattı üstyapı birim inşa maliyetleri 105

5. İNCELENEN HATLARIN KARŞILAŞTIRILMASI 107

5.1 Taşımacılık 107

5.2 İşletmedeki Hatların Sistem Özelliklerinin Karşılaştırması 111

5.3 Üstyapı Tasarımları 112

5.4 Üstyapı İnşa Maliyeti 114

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 117

KAYNAKLAR 119

EKLER 121

ÖZGEÇMİŞ 137

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: Rayların aralıklı desteklendiği balastsız üstyapılar. 3
Çizelge 2.2: Balastsız üstyapıların burulma rijitlikleri 3
Çizelge 2.3: Üstyapı tipleri çizelgesi. 29
Çizelge 2.4: Üstyapı tipleri hakkında bazı sayısal değerler 30
Çizelge 2.5: Yıllara göre imalat miktarları. 31
Çizelge 3.1**:** M2 hat özellikleri. 37
Çizelge 3.2: M2 hattı tasarım kriterleri. 39
Çizelge 3.3:M3 hat özellikleri. 42
Çizelge 3.4: M3 hattı tasarım kriterleri. 44
Çizelge 3.5: M4 hat özellikleri. 46
Çizelge 3.6: M4 hattı tasarım kriterleri. 47
Çizelge 4.1: S49 ve S54 raylarının teknik özellikleri 73
Çizelge 4.2: S54 rayı kimyasal analiz bilgileri. 95
Çizelge 4.3: İstanbul metrolarında kullanılan araçlar. 103
Çizelge 4.4: M2 hattı üstyapısına ait toplam birim fiyatlar listesi. 104
Çizelge 5.1: İstanbul metro hatlarında kazı ve elektromekanik sistem özellikleri karşılaştırması. 111
Çizelge 5.2: İstanbul metrolarında üstyapı karşılaştırması. 112
Çizelge 5.3: Metro hatları üstyapı birim fiyat değerlerinin dönüşümü. 115

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Rheda tipi üstyapı enkesiti..... 4
Şekil 2.2: Rheda Berlin tipi üstyapı enkesiti..... 5
Şekil 2.3: Rheda 2000 tipi üstyapı enkesiti..... 5
Şekil 2.4: İkizblok travers..... 6
Şekil 2.5: Normal zeminde Rheda 2000 enkesiti (deversiz)..... 7
Şekil 2.6: Delme tünelde Rheda 2000 enkesiti (deverli)..... 7
Şekil 2.7: Viyadükte Rheda 2000 enkesiti (deverli)..... 8
Şekil 2.8: Rayların portal üniteler ile hizalanması..... 9
Şekil 2.9: Travers blokları arasına koyulan ayırıcılar..... 9
Şekil 2.10: Yapımı tamamlanan Rheda 2000 tipi üstyapı.....10
Şekil 2.11: Züblin tipi üstyapı kesiti.....11
Şekil 2.12: Beton dökümü.....11
Şekil 2.13: Finişer ile beton tabliyenin düzeltilmesi.....12
Şekil 2.14: Traverslerin ıslak beton yüzeye yerleştirilmesi.....12
Şekil 2.15: Züblin tipi üstyapı donatı dizilimi.....13
Şekil 2.16: Stedef tipi üstyapıda travers bloğu bileşenleri 14
Şekil 2.17: Çelik baralı ikiz blok travers.....14
Şekil 2.18: LVT blok dizilimi, Marmaray örneği.....15
Şekil 2.19: LVT üstyapı tamamlanmış hali, Marmaray örneği.....15
Şekil 2.20: Heitkamp tipi üstyapı enkesiti 16
Şekil 2.21: ATD tipi üstyapı enkesiti.....17
Şekil 2.22: ATD tipi üstyapı uygulaması.....17
Şekil 2.23: ATD tipi üstyapısında monoblok ve ikiz blok traversler 18
Şekil 2.24: SATO tipi üstyapı enkesiti.....18
Şekil 2.25: FFYS tipi üstyapı enkesiti. 19
Şekil 2.26: GETRAC tipi üstyapı enkesiti. 19
Şekil 2.27: Beton takoz ve üstyapı görünüşü 19

Şekil 2.28: BTD tipi üstyapı enkesiti 20
Şekil 2.29: BTD üstyapısı bağlantı demiri ve tamamlanmış hali..... 20
Şekil 2.30: Eisenmann Track tipi üstyapı kesiti..... 21
Şekil 2.31: Shinkansen tipi üstyapı plan ve elemanları. 22
Şekil 2.32: Köprü üzerinde Shinkansen uygulaması ve beton takoz. 23
Şekil 2.33: Bögl tipi plak örneği. 24
Şekil 2.34: Bögl tipi üstyapı elemanları 24
Şekil 2.35: Plak birleşim noktalarındaki derzlerin beton ile doldurulması 25
Şekil 2.36: OBB-Porr tipi üstyapı plan ve kesit gösterimi 26
Şekil 2.37: Plakların yerleştirilmesi ve ortadaki beton döküm yerleri 26
Şekil 2.38: Plak altı beton dökümü (ve yolun bitmiş hali..... 26
Şekil 2.39: Vossloh DFF 300 bağlantı elemanı 27
Şekil 2.40: Monolitik üstyapı..... 27
Şekil 2.41:Infundo tipi üstyapı enkesiti..... 28
Şekil 2.42: FFC tipi üstyapı enkesiti 29
Şekil 3.1: M2 hattı istasyon şeması. 34
Şekil 3.2: Seyir ve enerji hattı için genleşme rayı. 35
Şekil 3.3: Vossloh System 336 Skl-24 bağlantı elemanı, M2 örneği. 36
Şekil 3.4: Ray kilitleme mekanizması. 36
Şekil 3.5: M3 Hattı istasyon şeması. 40
Şekil 3.6: Kontrray yerine imal edilen beton bloklar. 41
Şekil 3.7: M4 hat istasyon şeması. 45
Şekil 3.8: M4 hattı depo sahası ve yerleşimi 46
Şekil 3.9: TBM mekanizması..... 50
Şekil 3.10: TBM mekanizmasının hazırlanışı..... 51
Şekil 3.11:TBM kesici başlığının tünel sonuna varışı..... 51
Şekil 3.12: TBM-Delme patlatma maliyet analizi 52
Şekil 3.13: Kazı sonrası tünel aynasında püskürtme betonu uygulanır 53
Şekil 3.14: Kemerde çivileme ve çelik hasır ile stabilite işlemi. 53
Şekil 3.15: Kemerde püskürtme beton uygulaması..... 53
Şekil 3.16: Kaya bulonu ve çivilerin yerleştirilmesi 54
Şekil 3.17: Konvansiyonel katener sistemleri..... 55
Şekil 3.18: M3 hattı konvansiyonel elektrifikasyon sistemi..... 56

Şekil 3.19: Rijit katener sisteminde profil kesişim noktaları. 57
Şekil 3.20: Rijit katener sistemi İstanbul M4 hattı örneği. 58
Şekil 3.21: 3. ray yerleşimi ve farklı temas tipleri.....59
Şekil 3.22: 3. ray elektrifikasyon örnekleri. 59
3.23: Sabit bloklu sistem. 60
3.24: Hareketli blok sistemi güvenli takip mesafesi. 61
3.25: Sabit bloklu sistem çalışma döngüsü 62
3.26: Hareketli bloklu sistem çalışma döngüsü. 62
Şekil 4.1: M2 hattı birinci etap üstyapı enkesiti. 65
Şekil 4.2: Stedef üst yapısı travers plan ve kesiti. 66
Şekil 4.3: Stedef üstyapı imalatı ray bağlantı öncesi ve sonrası.....67
Şekil 4.4: M2 hattı üçüncü etap üstyapı kesiti. 68
Şekil 4.5: M2 hattı ikinci etap üstyapısı. 69
Şekil 4.6: 1.faz betonundan çıkan filizlerin bükülmüş hali. 69
Şekil 4.7: Rayların proje değerlerine uygun hale getirilmesi. 70
Şekil 4.8: Beton dökümü öncesi temizlik önlemleri alınması. 70
Şekil 4.9: Plint betonu dökümü. 71
Şekil 4.10: Haliç geçişi çelik köprü kesiti.....72
Şekil 4.11: S49 ve S54 ray kesitleri. 73
Şekil 4.12: Nabla bağlantı elemanı bileşenleri 74
Şekil 4.13: Nabla bağlantı elemanı uygulaması. 75
Şekil 4.14: Vossloh System 336 Skl 12 bağlantı elemanı bileşenleri. 76
Şekil 4.15. Vossloh System 336 Skl 12 bağlantı elemanı profil ve uygulaması. 77
Şekil 4.16: Vossloh System 336 Skl 24 bağlantı elemanı.....77
Şekil 4.17: Vanguard sistem elemanları.....78
Şekil 4.18: Selet üstü çarpma pedi ve shim.....79
Şekil 4.19: Seletlerin kamalar ile desteklenmesi 79
Şekil 4.20: Omuz (shoulder) elemanının yerleştirilmesi. 80
Şekil 4.21: Kauçuk pedli bağlantı ayağı 80
Şekil 4.22: Ayakların yerlerine konması.....80
Şekil 4.23: Kilit takozunun yerleştirilmesi.....81
Şekil 4.24: Vanguard elemanının montaj ekipmanı ile sıkılması.....81
Şekil 4.25: Takozların çekiç ile kontrolü [.....82

Şekil 4.26: Klipsin takılmasıyla montajın tamamlanması 82
Şekil 4.27: Ankraj bulonu ve sıkıştırma elemanları 83
Şekil 4.28: Sıkıştırması tamamlanan ankraj elemanı 83
Şekil 4.29: Beton döküm işlemi 84
Şekil 4.30: Beton dökümü sonrası selet altında boşluk kalmamalı 84
Şekil 4.31: Beton yüzeyinin düzlenmesi ve Vanguard'ların temizlenmesi. 84
Şekil 4.32: Hat pozisyonunun son kontrolü 85
Şekil 4.33: Örnek bir Vanguard bağlantı elemanlı üstyapı 85
Şekil 4.34: Selet altı taban yüzeylerinin ve komşu mesnetler arası eğimlerin kontrol edilmesi 86
Şekil 4.35: Selet altı pedlerin yerleştirilmesi 86
Şekil 4.36: Elemanların yerleştirilmesine seletler ile başlanması 86
Şekil 4.37: M3 hattı yerinde döküm betonarme üstyapı kesiti (deversiz) 87
Şekil 4.38: M3 hattı yerinde döküm betonarme üstyapı kesiti (deverli) 87
Şekil 4.39: Ray altı prefabrik panel kalıp planı 88
Şekil 4.40: Prefabrik panel betonarme en kesiti 89
Şekil 4.41: Prefabrik panel betonarme boy kesiti 89
Şekil 4.42: Prekast tabliyelerin bırakılması. 90
Şekil 4.43: Kamalar ile geçici sabitleme 90
Şekil 4.44: Topuk betonu 90
Şekil 4.45: Akışkan dolgu betonunun dökülmesi ve kenarların düzeltilmesi 91
Şekil 4.46: Prekast üstyapının tamamlanmış hali 91
Şekil 4.47: Vossloh W 14 Skl-14 bağlantı elemanı bileşenleri 92
Şekil 4.48: Vossloh W14 Skl-14 bağlantı elemanı montajı 92
Şekil 4.49: M4 hattı ana hat tünel kesiti. 93
Şekil 4.50: Geçici seletlerin ankraj çubuklarıyla birlikte hazırlanması. 94
Şekil 4.51: Plint betonu dökümü ve kuruması. 94
Şekil 4.52: Betonun priz almasının ardından geçici seletlerin kaldırılması. 94
Şekil 4.53: Pandrol e-clip bileşenleri 96
Şekil 4.54: E-clip somun sıkma prensibi 97
Şekil 4.55: E-clip selet yapısı 98
Şekil 4.56: Göğse doğru çekerek klipsin monte edilmesi 98
Şekil 4.57: Makasın temel parçaları. 100

Şekil 4.58: Basit makas uygulaması. 100
Şekil 4.59: Çapraz S makas şematik gösterimi 100
Şekil 4.60: Çapraz S makas uygulaması. 101
Şekil 4.61: İngiliz makası şematik gösterimi 101
Şekil 4.62: İngiliz makası uygulaması-M3 Olimpiyat Parkı deposu. 101
Şekil 4.63: Farklı yapıda kruvazman uygulamaları. 102
Şekil 5.1: Metro hatlarına ait 1 yıllık taşıma çizelgesi.....108
Şekil 5.2:Metro hatlarının taşımacılık payları. 108
Şekil 5.3: M2 hattı istasyonlar arası ticari hızlar çizelgesi.....109
Şekil 5.4: M3 hattı istasyonlar arası ticari hızlar çizelgesi.....110
Şekil 5.5: M4 hattı istasyonlar arası ticari hızlar çizelgesi.....110

İSTANBUL METROLARINDA BALASTSIZ ÜSTYAPI VE SİSTEM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Türkiye'de de başta İstanbul olmak üzere yüksek nüfus yoğunluğuna sahip şehirlerde artan ulaşım talepleri doğrultusunda hem karayolu taşıma kapasiteleri, hem de toplu taşıma araç sayısı, dolayısıyla seyahat konforunun yetersiz kalmasının ardından düşük enerji sarfiyatı ve yüksek taşıma kapasitesi ile ön plana çıkan şehir içi raylı sistemlere eğilim artış göstermiştir.

Raylı sistemler üstyapı bazında incelenecek olduğunda balastlı ve balastsız olarak genel iki sınıfa ayrılırlar. Balastlı üstyapıların da kendi avantajları olmasına rağmen, balastsız üstyapılar düşük bakım ihtiyacı, yüksek uyumluluğu ve tünelli hatlar için gabari ihtiyacını oldukça azaltması sayesinde ön plana çıkmaktadır. Çalışmaya esas olan ve traversli ya da traverssiz olarak iki ana tasarım tipine sahip olabilen balastsız üstyapılarda farklı zemin, iklim ve imalat koşullarına göre avantaj sağlayabilen asfalt, betonarme, prefabrik profiller yer almaktadır.

Bu çalışmada dünya genelinde ilk balastsız üstyapının ortaya çıkmasından günümüze kadar olan farklı tasarımların detayları, avantaj ve dezavantajları ile bazı istatistikî verileri hakkında bilgi verilmiş, metro hatlarında kullanılan kazı yöntemleri ile elektromekanik sistem çeşitleri üzerinde durulmuştur.

Yapılan araştırmaların takibinde İstanbul'da işletmesi yapılmakta olan üç adet ağır metro hattının imalatında uygulanan kazı yöntemleri, üstyapı tasarımları, kullanılan farklı elastikliğe sahip bağlantı elemanları, makas tipleri, elektrifikasyon ve sinyalizasyon sistemlerinin incelemesi yapılarak birbirilerine göre farklılıkları, avantaj ve dezavantajları ile işletmede sağlayacakları imkanlardan bahsedilmiştir. İmalatı yapılan üstyapıları meydana getiren kalemlerin birim maliyetleri araştırılmıştır.

İncelemeler göstermiştir ki söz konusu üç ağır metro hattında kullanılan tasarımların yarattığı bazı problemlerin yanında elektrifikasyon ve sinyalizasyon sistemlerinin de hem kaba inşaat ve enerji temini, hem de işletme kolaylığı hususlarında önemli tecrübeler sağlamıştır. Taşımacılık ile ilgili olarak her hattın güzergah ve entegrasyon imkanları dahilinde, farklı yıl içi dönemlerde toplu taşımaya doğacak ihtiyaca göre farklı talep değerlerine sahip olduğu söylenebilir. Ticari hızlar istasyonlar arası mesafeler ile doğru orantılıdır. Maliyet konusu ele alınacak olduğunda, ihale kalemlerini belli sınırlar içerisinde ele almanın yanlış değerlendirmelere sebep olabileceği, baştan sona kapsamlı olarak irdelenmesi gereken bir konu olduğu görülmüştür.

EXAMINE AND COMPARISON BETWEEN DIFFERENT SLAB TRACKS AND SYSTEM PROPERTIES OF ISTANBUL METRO LINES

SUMMARY

In the cities of Turkey-especially in İstanbul-which have high population intensity and increase, both highway transportation capacity and number of buses remain capable and the poor travel comfort has remained accordingly. Hereby the tendency to in-city railway systems which have highly transportation capacity and lower energy cost has grown up.

Although many of current railway superstructures was constructed with ballasted form, the tendency to slab track superstructure gradually increases. The main advantages of slab track are low maintenance, high adaptation, low height and low gauge need. The experiences showes that the high-speed railways with ballasted superstructures cause high maintenance costs.

In the past years the investment cost was more important than other costs but this importance have become the life cycle costing today. As a result of this attitude ballasted track has began to lose its attraction in favour of slab track applications with various types in different countries. It is possible to choose different types of productions before applying the superstructure project, by providing required functionality and economical conditions under factors like static and dynamic loads, climate conditions and material obtaining opportunities.

In this study it has been mentioned about the details, advantages and disadvantages of different superstructures that created since the first slab track has been built, some cutting methods and various electromechanical systems used on metro projects.

Following the researches; the differences, advantages, disadvantages and opportunities on operating the lines have been talked about by analysing the cutting methods, superstructure designs, electrification and signalization systems, crossing and fastenning types of three heavy metro lines being operated in İstanbul. The unit costs of components that compose the suprestructures of three metro lines have been researched.

There are various slab track forms with different materials like concrete, asphalt or asphalt-concrete. The designs should be with sleeper or without sleeper, and the production should be in-situ or precast form. Each design type has different forms that designed in different countries. Even all of these types are not being used in Turkey, it is possible to apply for the next projects. On the projects that produced in İstanbul till today, three types of superstructures are applied. At first step the twin block Stedef system was used on M2 which is the first metro line in İstanbul, than because of some problems on the fastennings the superstructure choice has been side with in-situ reinforced concrete (plinth) system at the second step of line. This type is

adopted by the contractor companies and governmental authorities, so it is applied for the next projects too. On M3 line, precast system was applied to a portion of the line but because of the high cost that method was cancelled. On M4 line plinth method was used with different sizes and reinforcing form with respect to some experiences that were gotten on M2 line.

Different series of three companies were used for fastening. At first step of M2 line Nabla fastening was used but because of some problems about stability, it was not used anymore for next steps. The second choice was Vossloh System 336 Skl-12, which has higher and ideal elasticity for using on plinth concrete. On M4 line Pandrol e-clip system was preferred by the contractor companies, it was more useful and had practicle installation.

The last type was the Pandrol Vanguard System, which has high elasticity about 5kN/mm and wide displacement value about ±20 mm. It was prefered for the steel bridge passing over Haliç, viaducts and historical buildings on the tunnels to absorb the vibrations. Crossings are passed with three switch types, standart turnout, crossover turnouts and double slip turnout. Standart turnouts should have different angles. Crossover turnouts are consist of four standart turnouts and a crossing. Double slips let vehicles pass with a single switch between two lines near to each other. These mechanisms have a complex design and high cost.

Also different electromechanical systems were used for three lines. For electrification first system was 3. rail system with 750 V. It is useful for tunnel gauge and visual clearness but the rigid catenery system was prefered for M3 and M4 lines with 1500 V voltage value by the contractors. It was safer than the 3. rail system, however it needs larger gauge that should minimalized with lower 1. phase concrete.

Also normal catenery system was used on the viaduct section and depot area of M3 line. Thus, except 4.rail system, all off the electrification systems were experienced on these three metro lines. If we talk about signalization, first system was the fixed block system on M2 line between Taksim-4. Levent station. Because of the demand that will increase by extending the line, more frequent headway was going to be needed, so the system was transformed to moving block system with ATO driving mode. M3 and M4 lines were signalled with moving block system too.

About the demand subject, it can be said that each line has different demand values with respect to the need to mass transportation in different intra-year periods. It is also based on the route and integration opportunities of the line.

At the present time, M2 is the line that has the biggest demand value because of the univercities, plazas, shopping centers and important integration points on its route. M4 has lower demand value but by the Marmaray connection that provides integration with M1, T1 and suburban lines, demand should increase significiantly. M3 is a new line for considerating the passenger demands but it will be an important line because of the industry field and increasing urbanization on its route in future. The operating speeds are proportional with the distance between stations.

The analyses in the study have shown that some problems on the superstructure designs of three metro lines being talked about, provided important experiences in additional to the experiences gotten about the electromechanical systems and the subjects of power supply, basic structure and operating convenience.

To make a cost analyze between different superstructures of lines, it should not be enough to examine the items about only the superstructure design. It has to be hold in mind that each contractor should have different earning strategies and determine different item costs with purpose of those strategies. Because of this, before analysing the costs within the contracts, some interviews have to be made with an authorized person from the contractor companies and each component of the contract has to be examine one by one.

Üniversitesi : **İstanbul Teknik Üniversitesi**
Enstitüsü : **Fen Bilimleri**
Anabilim Dalı : **İnşaat Mühendisliği**
Programı : **Ulaştırma Mühendisliği**
Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK**
Tez Türü ve Tarihi : **Yüksek Lisans – Ocak 2014**

ÖZET

İSTANBUL METROLARINDA BALASTSIZ ÜSTYAPI VE SİSTEM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

Murat ULUÇ

Dünya çapında yaygın hale gelen balastsız üstyapı, birçok farklı koşullarda kullanılmak üzere çeşitli tasarım tiplerine sahiptir. İstanbul'da giderek önem kazanan metro hatlarında da farklı tasarım tipleri uygulanmıştır. Bu çalışmada dünya genelinde ilk balastsız üstyapının ortaya çıkmasından günümüze kadar olan farklı tasarımların detayları, avantaj ve dezavantajları ile bazı istatistikî verileri hakkında bilgi verilmiş, metro hatlarında kullanılan kazı yöntemleri ile elektromekanik sistem çeşitleri üzerinde durulmuştur.İstanbul'da işletmesi yapılmakta olan üç adet ağır metro hattının imalatında uygulanan kazı yöntemleri, üstyapı tasarımları, kullanılan farklı elastikliğe sahip bağlantı elemanları, makas tipleri, elektrifikasyon ve sinyalizasyon sistemlerinin incelemesi yapılarak birbirilerine göre farklılıkları, avantaj ve dezavantajları ile işletmede sağlayacakları imkanlardan bahsedilmiştir. İmalatı yapılan üstyapıları meydana getiren kalemlerin birim maliyetleri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Balastsız üstyapı, İstanbul, metro, elektromekanik

University : **İstanbul Technical University**
Institute : **Institute of Science and Technology**
Science Programme : **Civil Engineering**
Programme : **Transporting Engineering**
Supervisor : **Prof. Dr. Yalçın AKÖZ**
Degree Awarded and Date : **Master – January 2014**

ABSTRACT

EXAMINE AND COMPARISON BETWEEN DIFFERENT SLAB TRACKS AND SYSTEM PROPERTIES OF ISTANBUL METRO LINES

Murat ULUÇ

The slab track, which is useful around the world, has a lot of design types that suitable for different conditions. Different design types of slab track have aplied on İstanbul heavy metro lines, which have growing importance. In this study it has been mentioned about the details, advantages and disadvantages of different superstructures that created since the first slab track has been built, some cutting methods and various electromechanical systems used on metro projects.Following the researches; the differences, advantages, disadvantages and opportunities on operating the lines have been talked about by analysing the cutting methods, superstructure designs, electrification and signalization systems, crossing and fastenning types of three heavy metro lines being operated in İstanbul. The unit costs of components that compose the suprestructures of three metro lines have been researched.

Keywords: Slab track, İstanbul, metro, electromechanical

1. GİRİŞ

Günümüzde giderek küresel bir hal almaya başlayan ve genelde yoğun trafik kaynaklı olan ulaşım problemleri alternatif çözümler ile minimum düzeye indirilmeye çalışılmaktadır.

1990'lı yıllara dek yüksek maliyeti ve uzun imalat süresinin yanında yeterli tecrübenin bulunmaması nedeniyle raylı taşımacılık ikinci planda tutulup daha alışıldık ancak kısa süreli çözüm vaat eden ilave yol, kavşak gibi karayolu uygulamaları tercih edilerek ulaşım problemlerini gidermeye çalışlmış, ancak bu uygulamalar özellikle metropollerdeki sürekli nüfus ve iş hacmi artışına paralel olarak boy gösteren trafik sıkışıklığı üzerinde gerekli etkiyi sağlayamamıştır.

Bunun üzerine konuya daha bilimsel bir bakış açısıyla yaklaşmaya başlayan yönetim mercileri çözüm stratejisini değiştirerek raylı sistemlere ağırlık vermeye başlamış, metropollerde taşımacılığa yönelik süre ve kapasite faktörleri üzerinde göze çarpan olumlu sonuçlar elde etmiştir.

Dünyanın ikinci yeraltı metrosu olmasının yanı sıra Türkiye'nin de ilk kent içi raylı sistemi olan Karaköy-Beyoğlu tünel hattının ardından 1989 yılında kullanıma açılan İstanbul Aksaray-Kartaltepe hafif metro (LRT) sistemi bu yeni strateji üzerine gerçekleştirilen ilk proje olup takip eden yıllarda Yenibosna ve Atatürk Havalimanı'na kadar uzatılmıştır. Bu yeni girişim ile alınan verimin cazibesi sonucu kentiçi raylı sistem uygulamaları başta İstanbul olmak üzere Ankara, İzmir, Bursa, Adana gibi illerde özelikle metro bazında gelişme göstermeye başlamıştır.

Adı geçen sistemler ilk aşamada balastlı olarak düzenlenmiş, sonrasında yapılan araştırmalar ve gelişen teknolojiye bağlı olarak birçok avantajıyla ön plana çıkan balastsız tasarıma ağırlık verilmiştir. Zaman içerisinde kazanılan tecrübeler ve artan gereksinimler neticesinde bu teknik üzerinde daha geniş ve detaylı araştırmalara başvurularak farklı kesit tasarımları ve malzeme kullanımına gidilmiştir.

Türkiye' de ilk ağır metro 1997 yılında 14.6 km uzunluk ile Ankara' da Kızılay-Batıkent arasında faaliyete geçmiştir. İstanbul' da ise 1992 yılında temeli atılan M2 hattı 16 Eylül 2000 tarihinde Taksim-Levent arasında yolcu taşımacılığına başlamıştır. Söz konusu hat İstanbul'un ilk ağır metrosu olmanın yanında ilk balastsız (doğrudan tespitli) üstyapılı raylı sistem olma özelliğine sahiptir.

Önceki yıllarda yapılan çalışmalarda hatların bireysel bakım çalışmaları, kendi içindeki farklı tasarımların mali analizleri gibi incelemeler mevcut olup, bu çalışmada üç ayrı hattın farklı tasarım ve sistem özelliklerinin birbirleriyle kıyaslanarak değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada balastsız üstyapı çeşitleri ile ağır metro inşaatı aşamalarına genel olarak değinilerek, İstanbul'daki üç ağır metro hattının proje ve uygulama esasları ile ilgili incelemelerde bulunmak suretiyle çeşitli kriterler üzerinden karşılaştırma ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bu kriterler üstyapı tasarım tipleri, kazı yöntemleri, kullanılan elektrifikasyon ve sinyalizasyon sistemleri ile taşımacılık ve maliyetlere dair sayısal veriler olarak ele alınmış, şimdiye kadarki projeler hakkında faydalı olabilecek bilgi ve tecrübeleri sunarak bundan sonraki projeler için ilgili şahıslara ön fikir teşkil etmek amaçlanmıştır.

2. DEMİRYOLLARINDA KULLANILAN BALASTSIZ ÜSTYAPI TİPLERİNİN GENEL OLARAK İNCELENMESİ

Düşük eğilme rijitliğine sahip olan balastsız üstyapı sistemleri tamamen zemin taşıma kapasitesi ile rijitliği doğrultusunda davranış gösterirler. Hem prefabrik hem monolitik (yerinde döküm, tek parça) üstyapı, eğilme kuvvetlerine karşı zayıf kalmakta olup, güvenli olmayan yumuşak zeminlerde inşa edilecek eğilme rijitliği yüksek, donatılı bir üstyapı, zemindeki zayıf ve bozuk noktalar arasında güçlü bir köprü işlevi görecektir. Çizelge 2.1'de tez kapsamında incelenen üstyapı tipleri sıralanmış olup, Çizelge 2.2'de burulma rijitlikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Rayların aralıklı desteklendiği balastsız üstyapılar.

RAYLARIN ARALIKLI DESTEKLENDİĞİ BALASTSIZ ÜSTYAPI SİSTEMLERİ			
TRAVERSLİ		**TRAVERSSİZ**	
Traversler Betona Gömülü	*Traversler Beton veya Asfalt-Beton Yatak Üzerinde*	*Prefabrik*	*Tek Parça (Monolitik)*
Rheda Züblin Stedef-LVT Heitkamp	ATD SATO FFYS GETRAC BTD	Shinkansen Bögl OBB-Porr	FFC

Çizelge 2.2: Balastsız üstyapıların burulma rijitlikleri [1].

BALASTSIZ ÜSTYAPI TİPLERİ	**Burulma Rijitliği**	
	Düşük	**Yüksek**
Travers veya bloklar betona gömülü	⟷	
Traversler asfalt-beton yatağın üstünde	⟷	
Prefabrik beton plak	⟷	
Tek parça yerinde dökülen plak	⟷	
Gömülü ray	⟷	
Kenetlenmiş ve sürekli desteklenmiş ray	⟷	

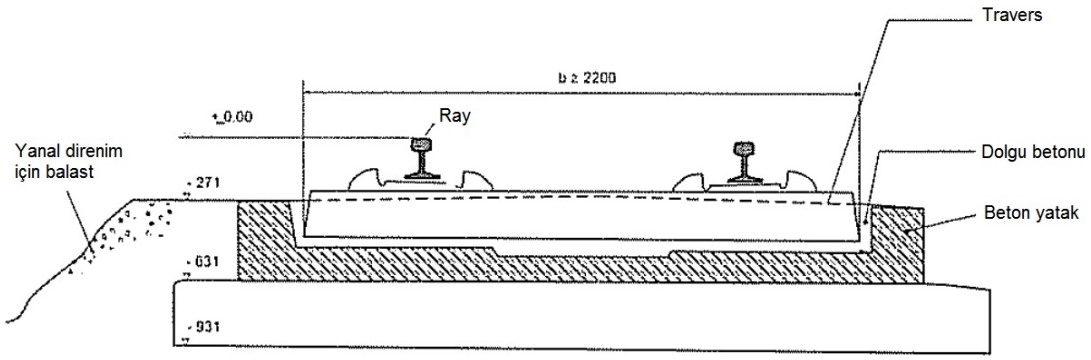
Donatılı monolitik sistemlerde rayların gömülü olarak uygulanması da mümkün olmaktadır.

2.1 Betona Gömülü Traversli Sistemler

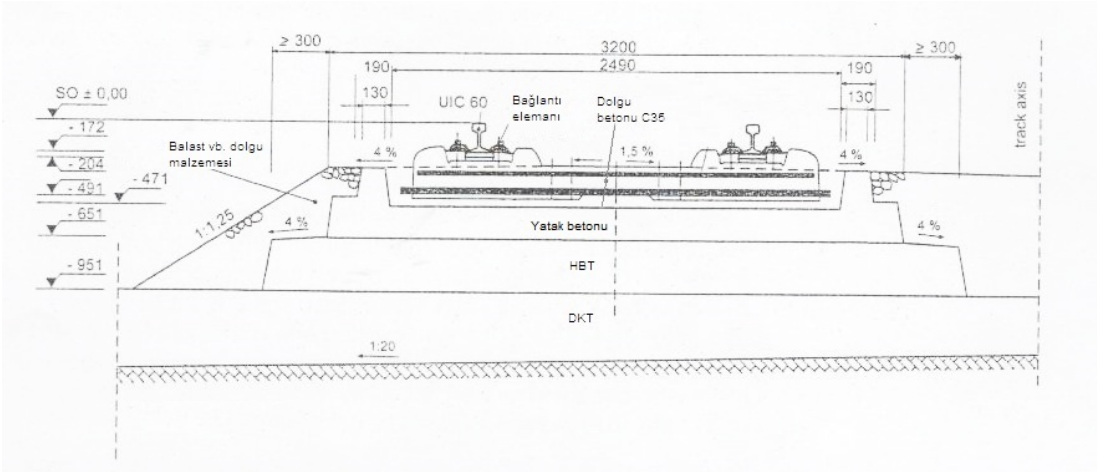
Betona gömülü traversler en çok Almanya'daki yeni hızlı tren hatlarında kullanılmakta olup, genel olarak traverslerin beton oluğunun içerisine ya da doğrudan beton yatağının üstüne yerleştirilmesi şeklinde uygulanır. Rheda ve Züblin sistemleri örnek olarak gösterilir. LVT (Low Vibration Track) ve Fransız TGV hatlarındaki Stedef sistemleri de yine bu gruptadır. Yaygın olarak metrolarda kullanılan bu sistemlerde traverslerin altına konulan kauçuk pabuçlar ile elastiklik arttırılarak gürültü ve titreşimde azalma sağlanır.

2.1.1 Rheda

1972 yılında Rheda-Wiedenbrück istasyonunda tasarlanan ilk balastsız üstyapı tipidir. Patenti olmadığı için geçen süre içerisinde firmalar çeşitli versiyonlarını geliştirip uygulamışlardır. Başta monoblok traverslerin beton oluk içerisine döşenmesi şeklinde uygulamaya konmuştur (Şekil 2.1). Daha sonra rijitliğin arttırılması amacıyla travers donatıları dışarıya çıkıntılı olup boyuna donatılara bağlanmış, oluk ve travers genişliği azaltılmış ve "Rheda Berlin" ismini almıştır (Şekil2.2). Günümüzde bu tasarımın da iyileştirilmesi sonucu "Rheda 2000" adı ile uygulanmaktadır.

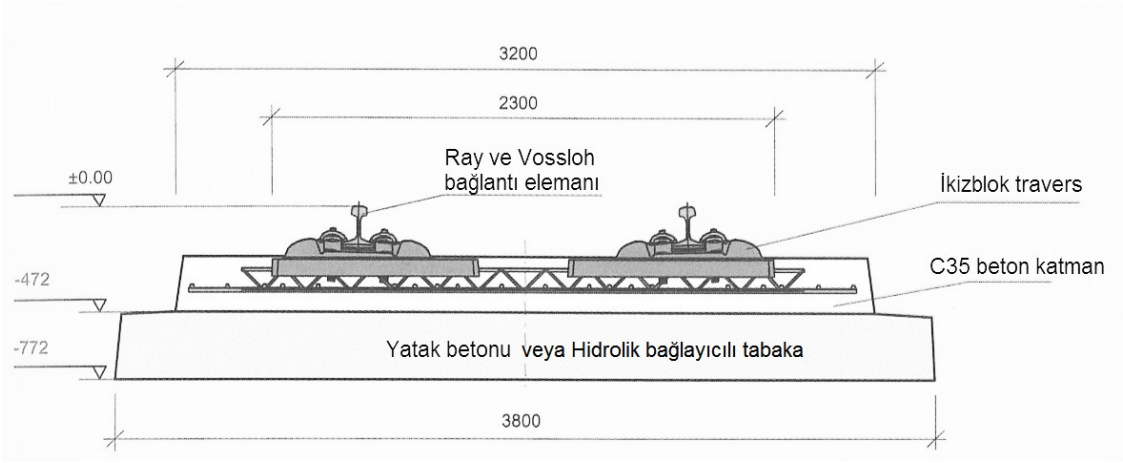


Şekil 2.1: Rheda tipi üstyapı enkesiti [2].



Şekil 2.2: Rheda Berlin tipi üstyapı enkesiti [2].

Rheda 2000 tipi üstyapı ilk olarak hali hazır beton traverslerin donatılı yerinde döküm betonuna gömülmesi şeklinde tasarlanmıştır. Şekilde 2.3'de ikiz blok traversli benzer tasarım gösterilmiştir. Boyuna donatılar ile traversler gevşemeye karşı koruma altına alınmıştır. Hat çerçevesi top-down metodu ile enine ve boyuna pimlerin monte edilmesi şeklinde oluşturulur. Plağın tabanına yeterli donatı konması durumunda zayıf zemin tabakaları üzerinde köprü vazifesi görerek oldukça rijit bir yapı oluşturur. Zeminin oturma yapması istenmez.



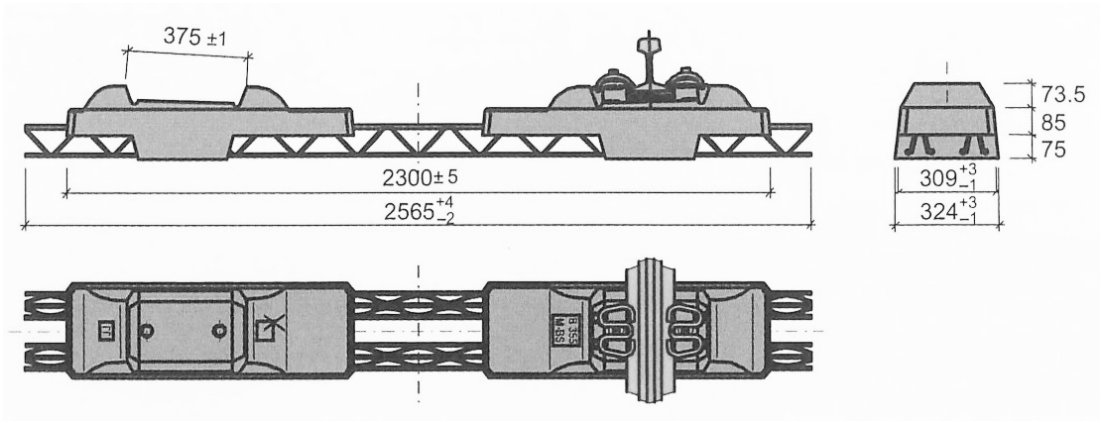
Şekil 2.3: Rheda 2000 tipi üstyapı enkesiti [3].

Bu sistem Alman Rheda Berlin Sistemi'nin üzerinde hala devam eden geliştirmeler sonucu Temmuz-2000' de oluşturulmuş, Almanya hızlı treninin bir kesimine uygulanmıştır.

Rheda 2000' deki gelişme ve karakteristikler

Arttırılmış rijitlik

Beton plağın monolitik kalitesini arttırmak amacıyla Rheda 2000' de traversler monoblok tasarımdan Şekil 2.4'deki gibi kesin ölçülerde beton ikiz blok tasarıma çevrilmiştir. Hassas olarak yerleştirilen destek elemanları rayların konumunu kararlı kılmıştır. İlaveten beton destek noktalarından geçen çok sayıda çelik donatı sayesinde yerinde dökülen betonla bütünleşmesi garanti altına alınır.



Şekil 2.4: İkizblok travers [3].

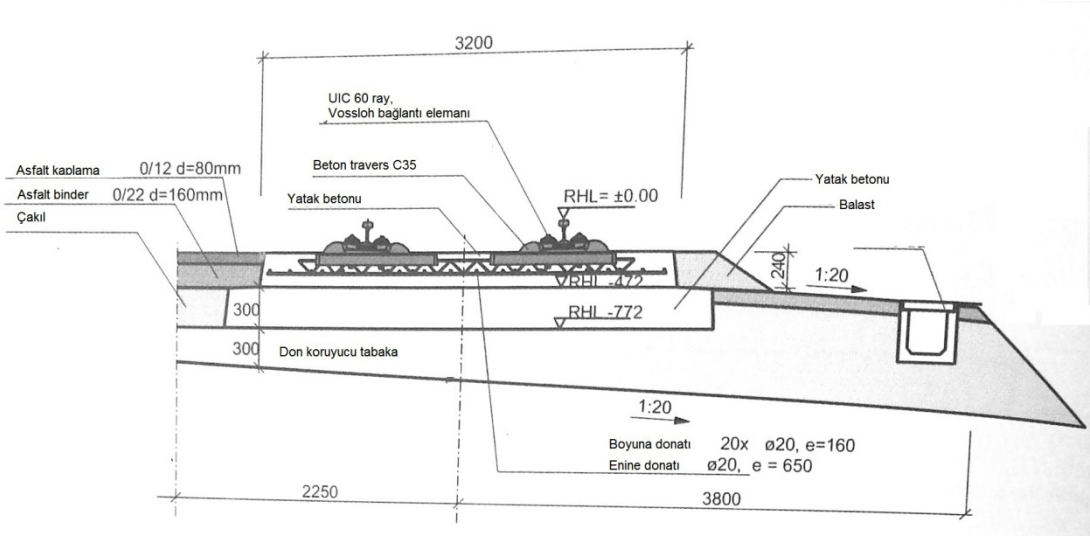
Destek noktalarındaki yüksek beton kalitesi, bağlantı elemanı ve beton katman arasındaki zorlanmayı önler. Bu özellikler yüksek hızlı trafikte statik ve dinamik yüklemelere güvenli ve uzun ömürlü hizmet sunar.

Optimum tasarım

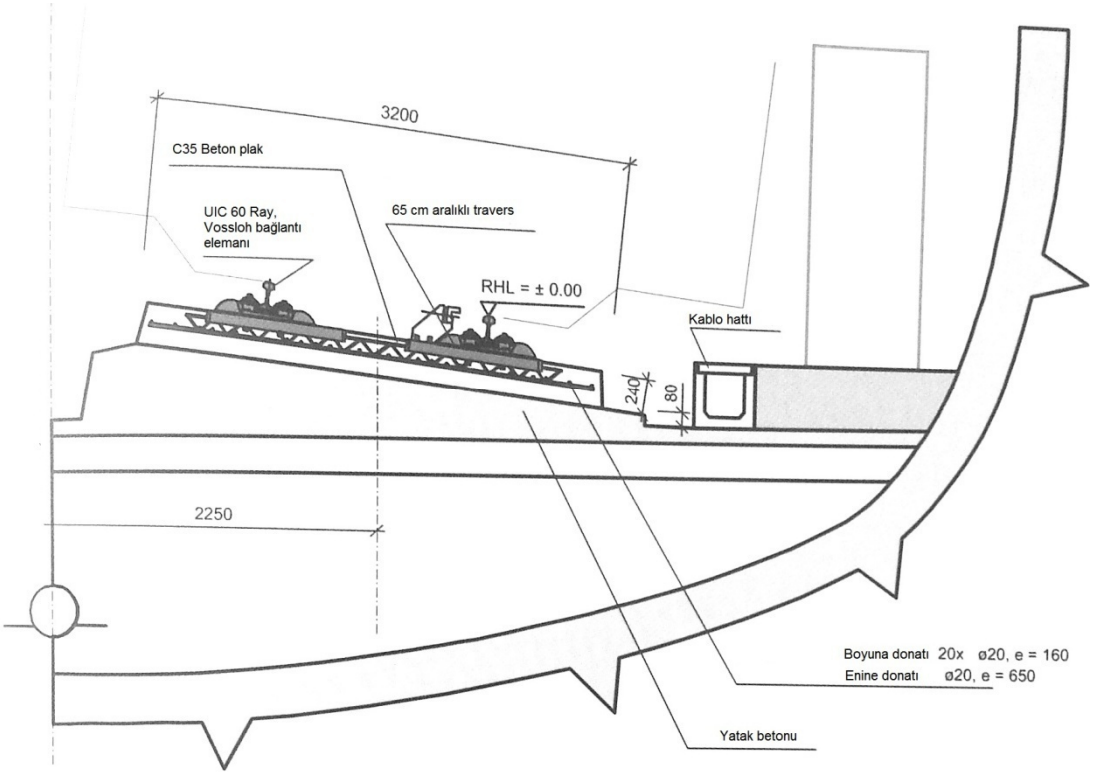
Geleneksel dolgu betonunun ortadan kaldırılmasıyla sistemde bütün olarak kayda değer bir basitleştirme sağlanmıştır. Enkesitin tamamı tek parça haline gelmiş, daha önceki dökme betonun ortadan kaldırılması ve ikiz blok traverslerin kullanılmasıyla üstyapı yüksekliğinde azalma sağlanmıştır.

Üniform sistem mimarisi

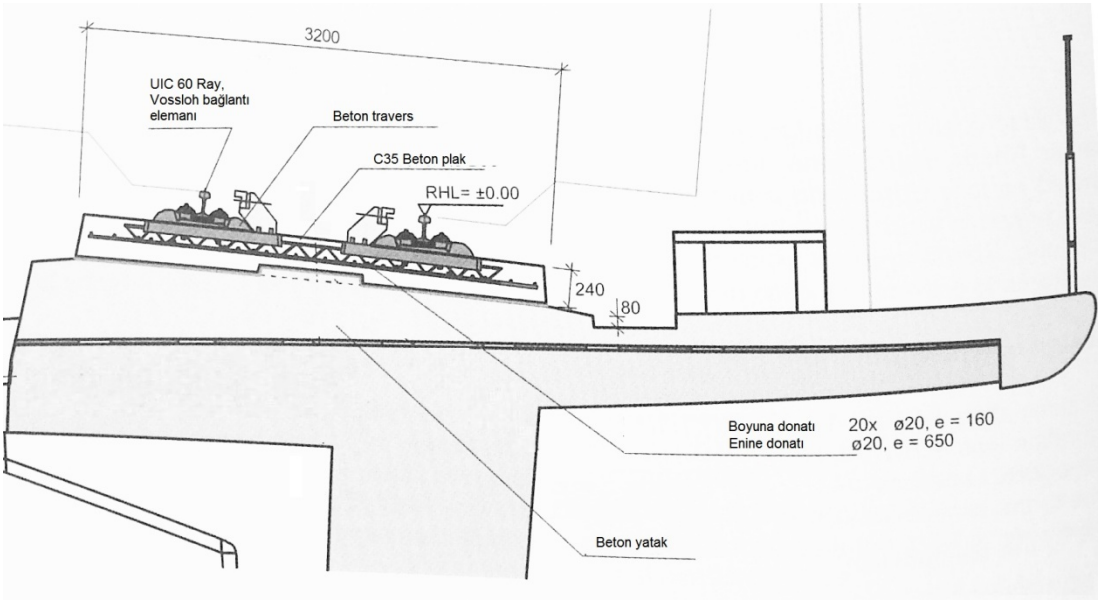
Planlama, mühendislik ve ölçülendirme maliyetinin önemi, Rheda 2000 sistemi ile pratikte karşılaşılan çeşitli hat pozisyonlarına uyumlu tasarımların yapılabilmesini gerektirmektedir. Bu sebeple toprak işleri (Şekil 2.5), tünel (Şekil 2.6) köprü, viyadük (Şekil 2.7) inşaatlarında farklı çözümler üretilmiştir. Aşağıdaki resimlerde farklı koşullara uyumlu hale getirilmiş en kesitler bulunmaktadır.



Şekil 2.5: Normal zeminde Rheda 2000 enkesiti (deversiz)[3].



Şekil 2.6: Delme tünelde Rheda 2000 enkesiti (deverli) [3].



Şekil 2.7: Viyadükte Rheda 2000 enkesiti (deverli)[3].

Montaj tekniği

Yüksek tasarım maliyetinin azaltılması için Rheda 2000'de yeni bir bağlantı konsepti oluşturulmuştur. Yatak içi betonun kaldırılmasıyla iş akışındaki başlıca işlerden biri ortadan kalkmıştır. Kullanımı kolay ve hafif ikiz blok traversler prefabrik panellerin makineler ile montajına imkan tanımıştır. Travers yüzeyindeki temel niteliği gören oluklar sayesinde yüklü araçların rayları kesin montajından önce kullanma zorluğunu ortadan kaldırmıştır.

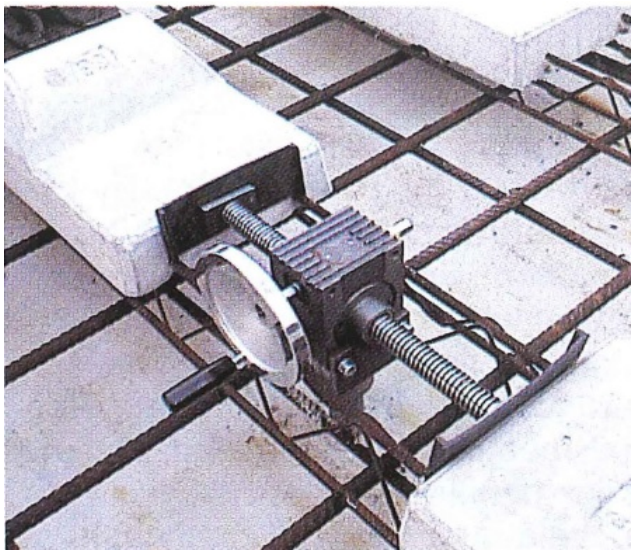
Yolda iki teknik yardımıyla kaba ve ince hizalama yapılır;

Portal hizalama: Öncelikle portal üniteler yatak betonuna güvenli bir şekilde sabitlenir. Ekipler kurulumun doğruluğunu kontrol ederler. Ardından ray tutucular aşağıya, yol panelinin yaklaşık 9 cm yükseleceği farz edilerek ± 0,5 mm hata payı ile indirilerek sabitlenir. Ölçüm görevlileri her portal mil için ayrı ayrı gerekli ayarlamaları yaptıktan sonra yol paneli beton dökümüne hazır hale gelir. Şekil 2.8'de portal hizalama esnasında çekilmiş bir resim bulunmaktadır.



Şekil 2.8: Rayların portal üniteler ile hizalanması[3].

Mil ve ayıraçlar ile hizalama: Bu metot Şekil 2.9'daki gibi traverslerin iki başına tutturulan miller ile düşeyde, ayırıcılar ile yatayda ayarlamanın kombinesinden oluşur. Ayırıcılar her iki travers başının arasında, beton yatağın ortasına ankrajlı bulonlara sabitlenir. Traverslerin iki ucundaki miller ile gerekli dever verilip düşey konumları ayarlanır. Son kontrollerin ardından beton dökümüne hazır hale gelinir.



Şekil 2.9: Travers blokları arasına koyulan ayırıcılar[3].

Beton dökümü

Kesin olarak hizaya getirilmiş hatta beton dökümü yapılır. Betonun kalitesi ve yerleştirilmesi için büyük titizlik gösterilmelidir. Yüksek hızlı trenlerin büyük dinamik etkilerine karşı duyarlılık gösteren yapıya sahip olduğundan, döküm sırasında beton kıvamının uygun olmasına, traverslerin altında hava boşluğu kalmamasına dikkat edilmelidir.

Sıkıştırmanın ardından paneldeki sabitleyiciler serbest bırakılır ve 6 saat sonra kalıplar sökülerek son halini (Şekil 2.10) alır. Tüm bu işlemlerin tekrar edilmesiyle günde 500 m yol katedilebilir.



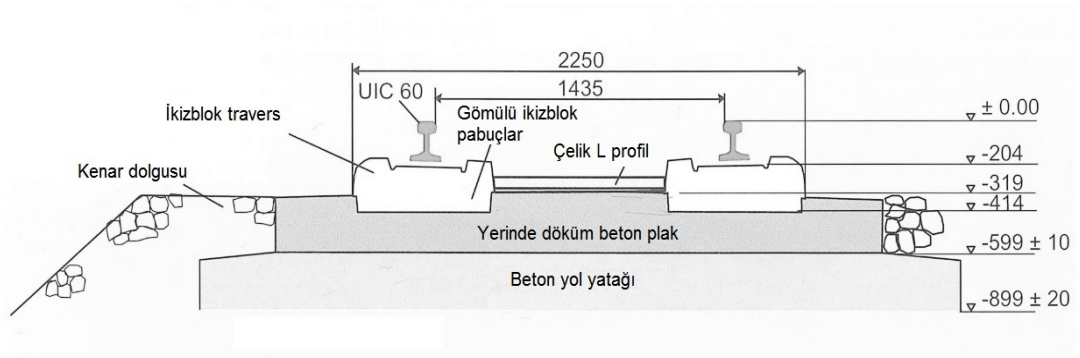
Şekil 2.10: Yapımı tamamlanan Rheda 2000 tipi üstyapı [3].

Bu üst yapının belirgin özellik ve avantajlarından bahsedecek olursak ;

- Alman demiryollarının pek çok tünelinde ve Singapur Metrosu'nda başarıyla kullanılmaktadır.
- Bugüne kadar ray taşlaması dışında bir bakım gerektirmemiştir.
- Yapılan ölçümler 250 km/saate kadar çıkan hızlarda deformasyon davranışının bugüne kadar değişmediğini göstermiştir.
- Ayrıca kurbalarda ve rampalarda hiçbir tasman ve ondülasyona maruz kalmamaktadır.
- Bu tabakada alt kısımda boyuna direnci sağlayacak demir donatı bulunmaktadır.
- Bu sistemin ömrü 50-60 yıl arasında tahmin edilmektedir.
- Bu sistemlerde UIC 60 rayı ve Vossloh 300 bağlantı sistemi kullanılmaktadır.
- Servis ömrünü sağlamak için, çok iyi bir ölçüm yapmak ve kullanılan inşa malzemesine uygun bir yapım yöntemi uygulamak, sıkı bir zemin üzerinde dona karşı korunaklı bir temel ile iyi çalışan bir su drenajı gerçekleştirmek gerekmektedir.

2.1.2 Züblin

Bu sistemde de yine ikiz ya da monoblok traversler monolitik beton yatak içerisine gömülmektedir. 1974' te çok daha ekonomik tasarım yöntemleri geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmış ve hat pozisyonunu önceden ayarlama zahmeti ortadan kaldırılmıştır. Diğer metotlardan en önemli fark beton traverslerin taze beton üzerine vibrasyon ile oturtularak döşenmesidir. Bunun için dökülen taze beton, traverslerin istenilen seviyede oturtulmasına imkan tanıyacak, ancak batmalarına izin vermeyecek kıvama sahip olmalıdır.



Şekil 2.11: Züblin tipi üstyapı kesiti [3].

İmalatta kayar kalıp sistemli finişer, taze betona konan 8 traverslik panel, vibrasyon edevatı ve traversleri taşıyan vagondan oluşan makineler kullanılır.

Züblin tipi üstyapının imalatı

Zemin iyileştirmesinin ardından don koruyucu tabaka serilir. Üzerine kayar kalıplı finişer ile monolitik beton yol yatağı inşa edilir. İmalat makinesi yandaki kalıplara monteli raylar üzerinde hareket eder. Yatak üzerinde donatıların döşenmesinin ardından finişer yardımıyla gerekli seviyede beton dökümü yapılır. Şekil 2.12'de donatılı üstyapıya beton dökümü ve Şekil 2.13'de finişerlerin beton kotunu gerekli seviyeye getirmesi görülüyor.



Şekil 2.12: Beton dökümü [3].



Şekil 2.13: Finişer ile beton tabliyenin düzeltilmesi [3].

Beton tabliye oluşturulduktan sonra finişeri takip eden diğer makine traverslerin bağlı olduğu çerçeveleri alır ve Şekil 2.14'te gösterildiği gibi halihazır yüzeye vibrasyon ile yerleştirir. Bilgisayar destekli teodolitler ile nihai pozisyonlar belirlenir.



Şekil 2.14: Traverslerin ıslak beton yüzeye yerleştirilmesi [3].

Tabliye üzerinde elle düzeltme ve tamamlama yapılarak beton yeterince prizini aldıktan sonra çerçeveler sökülür, elastik ray pedleri ve rayların döşenmesine geçilir. 8 saatlik çalışma sürecinde 150-200 m yol inşa edilebilir.

Donatı prensibi

Züblin sisteminde donatılar çatlakların kabul edilebilir seviyede olacağı şekilde düzenlenir. Dengeli dağılım yerine Şekil 2.15'teki gibi alt yüzeye ağırlık verilerek eğilmeye karşı rijitlik arttırılmış olur.

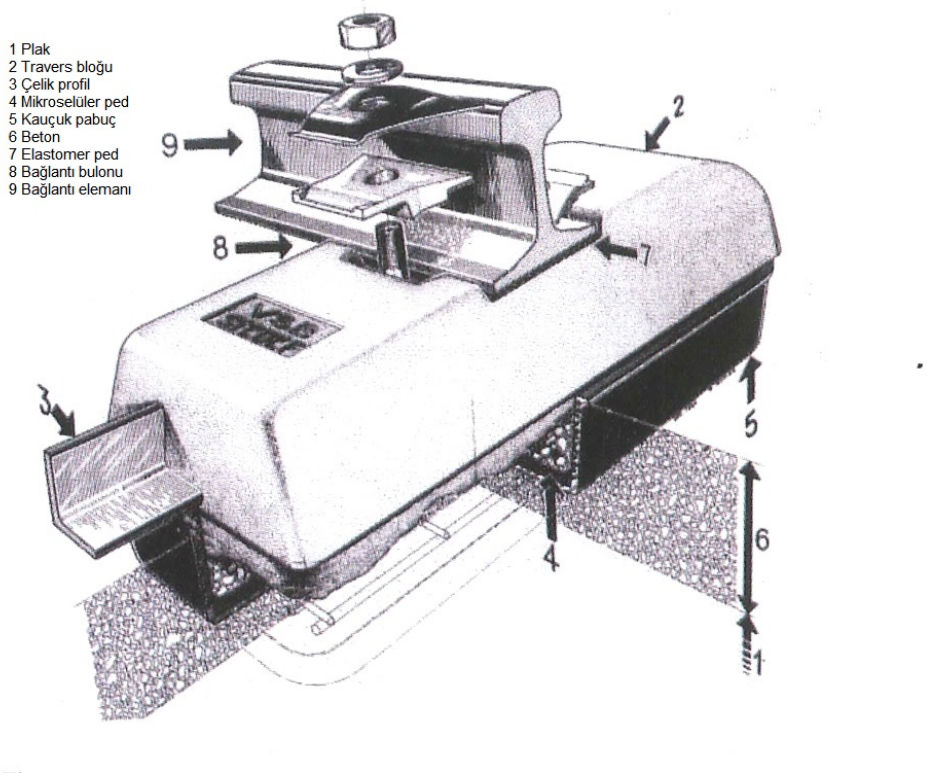


Şekil 2.15: Züblin tipi üstyapı donatı dizilimi [3].

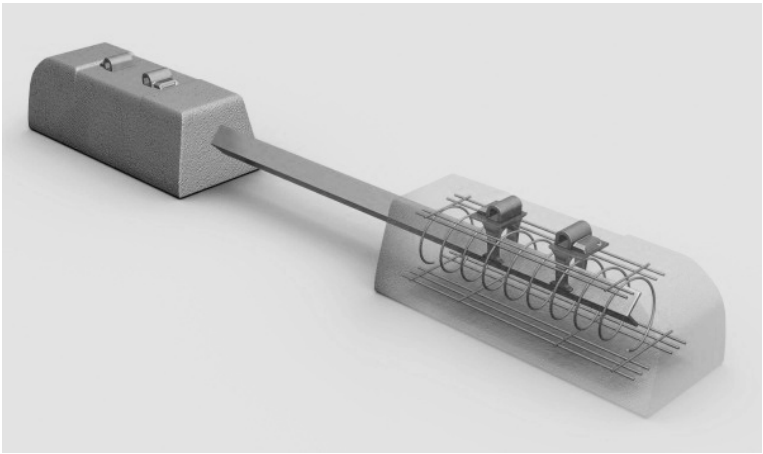
Tabliye yüksekliği ve donatı alanı arttırılarak, zemin taşıma gücünde belirsizlik yaşanan bölgelerde rijit bir davranış elde edilmiş olur.

2.1.3 Stedef

Bu sistem makaslar dışındaki tüm hat için ikiz blok beton traversler, makaslar için ahşap traversler ve Şekil 2.16'da görüldüğü üzere traverslerle ilişkili olan elastik travers çizmeleri, travers altı mikroselüler yastıklar ve ray bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Traversin alt kısmını kaplayan elastik travers çizmesi, beton plaka ve travers arasındaki temasa engel olarak kaçak akım oluşmasını engeller. Traversin alt kısmı ve elastik travers çizmesi arasına yerleştirilen mikroselüler elastik ped, trenin seyri sırasında zeminden kaynaklanan gürültüyü azaltma işlevi görür [4]. Travers pabuçları ortada çelik L profil (bara) ile birbirine bağlanır (Şekil 2.17).



Şekil 2.16: Stedef tipi üstyapıda travers bloğu bileşenleri [3].



Şekil 2.17: Çelik baralı ikiz blok travers.

Ayrıca Şekil 2.18 ve Şekil 2.19'da görülen, LVT (Low Vibration Track - Düşük Titreşimli Hat) olarak da adlandırılan bir başka versiyonu, her ray altında bloklar ve bu blokların altında "microcelluler pad" ve etrafında da plastik bir kılıftan meydana gelmektedir. LVT blok sistemi de Stedef gibi blok altında kullanılan mikrohücresel ped sayesinde yüksek bir elastikiyet seviyesi sağlayan, titreşim ve gürültü sönümleme kabiliyeti açısından oldukça verimli bir hat üstyapısı tipidir. Farklı olarak pabuçlar daha derindir ve çelik bara bulunmayıp bloklar birbirinden bağımsızdır.

Yerinde uygulama açısından LVT sistemi, özellikle tünel içi yapılarda en kolay montajı yapılabilen betona sabitli hat sistemlerinin başında gelir. Kısaca montaj avantajları; hat paneller halinde ray+blok montaj edilmiş şekilde döşenebilir. Hat paneller döşendikten hemen sonra üzerinden araç ile geçilebilir, bu şekilde lojistik açısından iyi bir planlama yapılabilir.



Şekil 2.18: LVT blok dizilimi, Marmaray örneği [5].

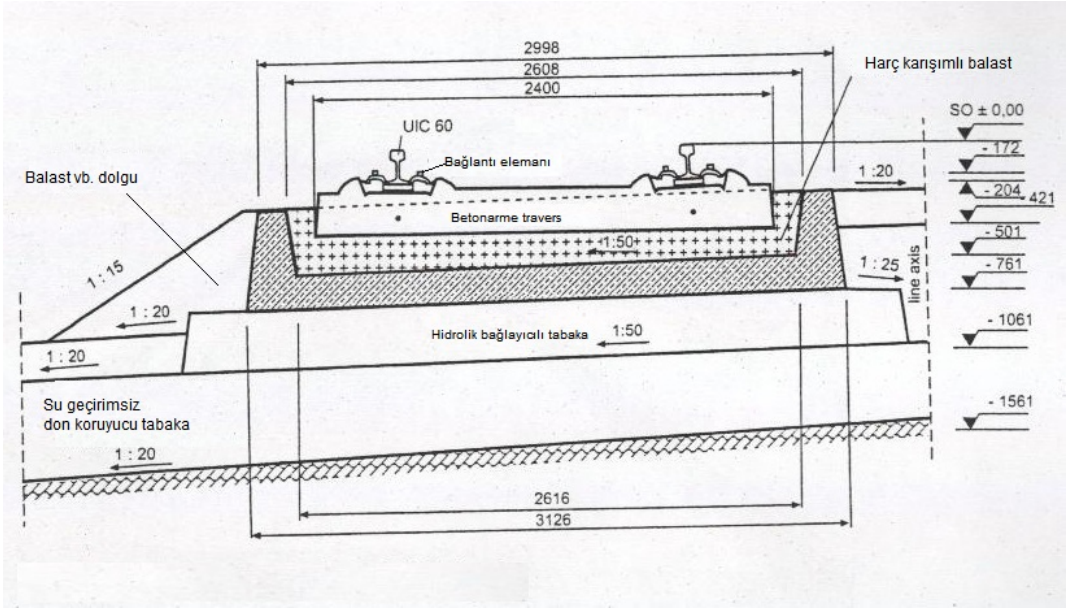


Şekil 2.19: LVT üstyapı tamamlanmış hali, Marmaray örneği [5].

Diğer sistemler ile karşılaştırıldığında, Stedef ve LVT'nin daha az donatı ihtiyacı vardır. Beton ihtiyacının diğer sistemlere göre fazla olmasının yanında, kalıp ihtiyacı olmadığı ve beton döküm genişliği fazla olduğundan, işçiliği daha kolaydır.

2.1.4 Heitkamp

Bu sistem Rheda' nın daha geniş versiyonudur. Şekil 2.20'deki gibi oluk içinde beton yerine balast kullanılır. Bu durum buraj makineleri ile daha kolay pozisyon sağlama imkanı sunar. Hat istenilen konuma getirildiğinde balastlar arası boşluklar çimento emülsiyonu ile doldurulur.



Şekil 2.20: Heitkamp tipi üstyapı enkesiti [2].

Bu üstyapı tipinde bakım için traverslerin değiştirilmesi zahmetlidir. Ses yalıtımı malzemesi kullanmak için yeterli alan mevcuttur. 390 metrelik test hattı inşa edilmiştir.

2.2 Asfalt Betonu ve Beton Yatağı Üzeri Traversli Sistemler

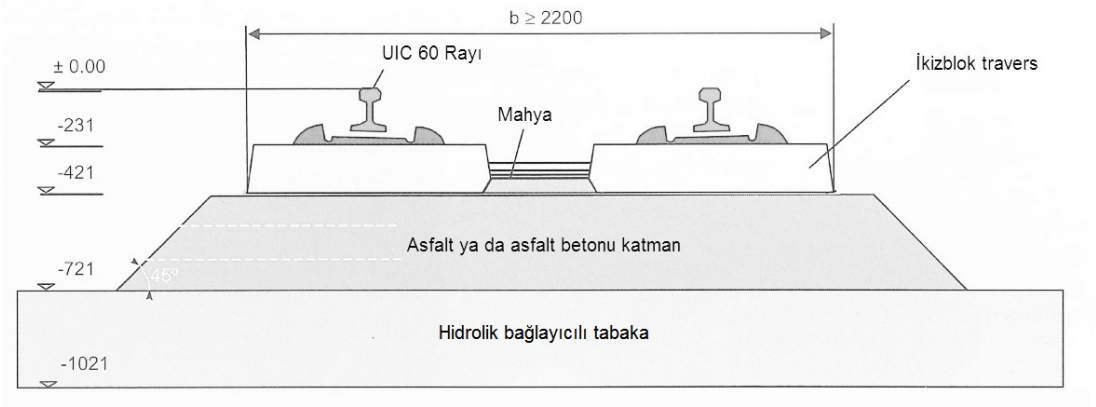
Balastsız üstyapının bu türünde tabliye olmayıp, traversler direkt olarak asfalt betonu ya da beton tabakası üzerine yerleştirilir. Asfalt betonu yatak sıradan finişer makineleri ile oluşturulur. ±2 mm yanılma payı ile kotlandırılır ve 180 mm' ye kadar dever verilebilir. Asfalt, betondaki gibi priz süresi gerektirmez, soğuduktan hemen sonra yükleme yapılabilir, üretimde verimlilik sağlar.

Karayollarında kullanılan asfaltın demiryollarında kullanılmadan önce karışımında revizyon yapılmalıdır. Karayollarında deformasyon ve stabilite yerine yüzeysel bozukluklara (çatlak, aşınma) önem verilirken, demiryollarında asıl dikkat edilmesi gereken stabilite ve deformasyona karşı dayanımdır.

Asfalt akmaya sebep olan yükleme ve sıcaklık değişimleri gerilmelerine kolay adaptasyon sağlar. Bu bakımdan asfalt betonu sürekli yol yatağı olarak kullanılabilir. Gürültü ve titreşim sönümleme özelliği olup geri dönüşüme sahiptir. Özel karışımlar ile kötü hava koşullarında bile 50-60 yıl kullanım ömrü olup, genelde 25-30 cm kalınlıkta uygulanır.

2.2.1 ATD (Asphalttragschicht mit Direktauflagerung)

Bu sistemde Şekil 2.21'deki gibi beton temel üzerine asfalt katman serilerek üzerine traversler yerleştirilmektedir. Yatay ayarlamalar yapıldıktan sonra mahya, asfalt ve travers arasındaki boşluk ses yalıtımı için elastik sentetik malzeme ya da stabiliteyi arttırmak için balast ile doldurulabilir.

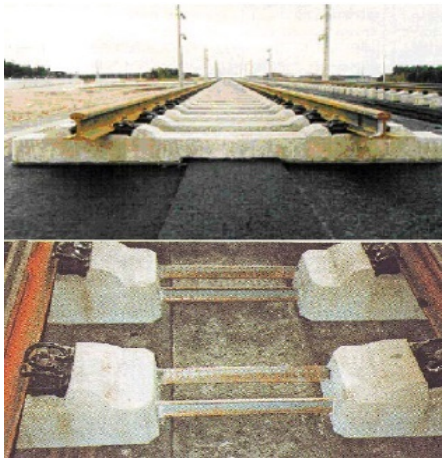


Şekil 2.21: ATD tipi üstyapı enkesiti [3].



Şekil 2.22: ATD tipi üstyapı uygulaması [3].

Şekil 2.23'ten de anlaşılacağı üzere traversler ikiz blok olduğu gibi monoblok olarak da tasarlanabilir. Bu takdirde yatay kuvvetlerin karşılanması için asfalt temel ortası oluklu imal edilir. İkiz blok traverslerde ortadaki mahya (ridge) yatay kuvvetlere direnim sağlamaktadır.

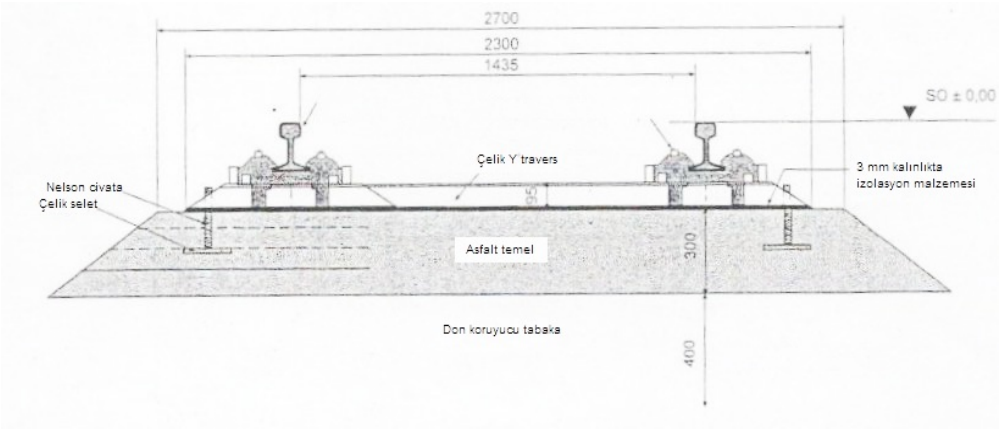


Şekil 2.23: ATD tipi üstyapısında monoblok(üstte) ve ikiz blok(altta) traversler [6].

Sonuçlar göstermiştir ki asfalt katmanlar balastsız üst yapılar için uygun stabil ve destekleyici özelliğe sahiptir.

2.2.2 SATO (Studiengesellschaft Asphalt-Oberbau)

Şekil 2.24'te kesiti görülen bu üstyapı tipinde Y şekilli çelik profiller travers olarak asfalt plak üzerine serilir.



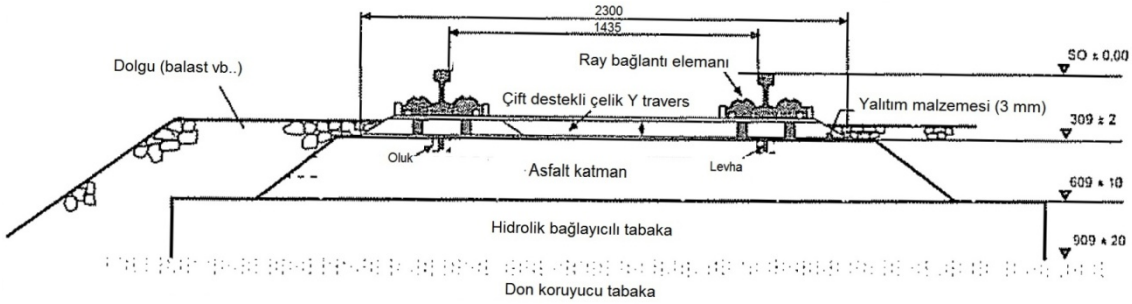
Şekil 2.24: SATO tipi üstyapı enkesiti [2].

Traversler kenarlardan asfalt katmana gömülü ve yola paralel devam eden çelik şerit levhaya (Nelson) cıvata ile sabitlenirler. Çelik Y traversler şaşırtmalı olarak dizilir.

Maliyetleri yüksektir.

2.2.3 FFYS (Feste Fahrbahn Y-Stahlschwelle)

Şekil 2.25'te kesiti görülen bu tip SATO'nun geliştirilmiş halidir.

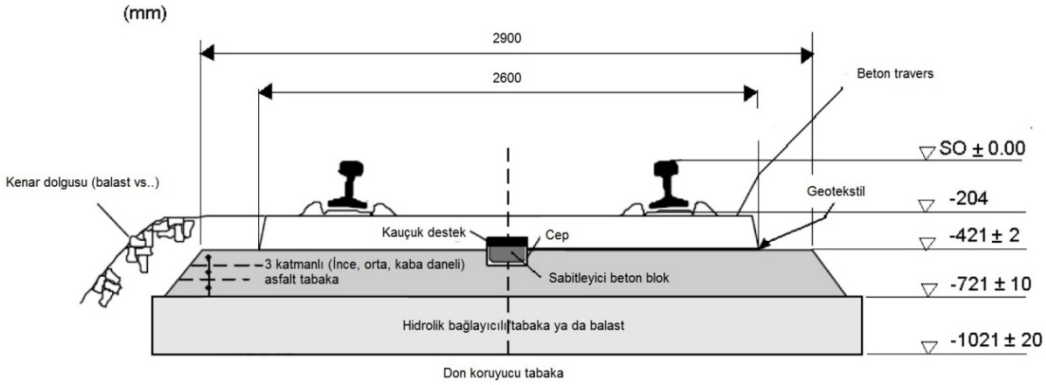


Şekil 2.25: FFYS tipi üstyapı enkesiti[2].

Traverslerin alt yüzeyinde Nelson civataların yerine iki adet levha bulunur. Bu levhalar alttaki asfalt katmanın içerisine tutturucu bir bileşik ile penetre edilerek yatay kuvvetlerin karşılanması sağlanır.

2.2.4 GETRAC (German Track Corporation)

Traverslerin alt yüz merkezi ile taşıyıcı plağın üst yüzü merkezinden geçen bir tür beton takoz ile yatay kuvvetler azaltılır.



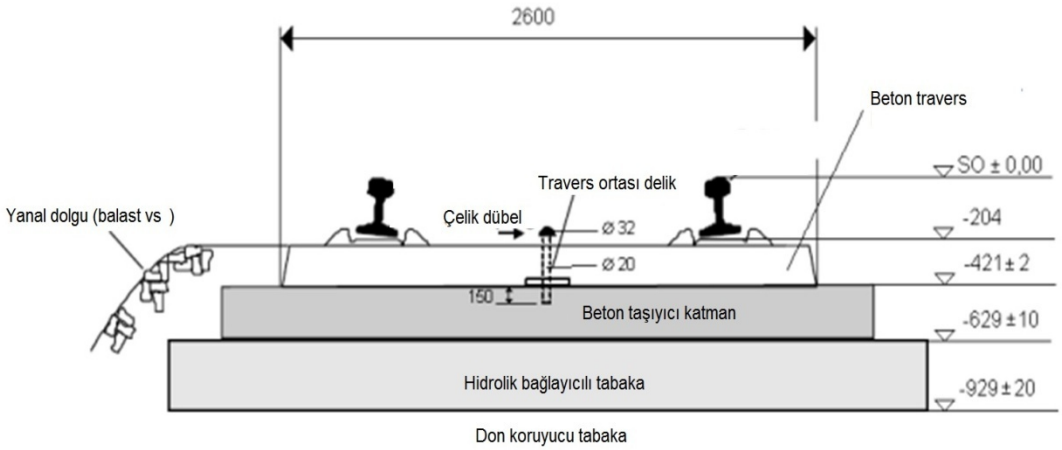
Şekil 2.26: GETRAC tipi üstyapı enkesiti [6].



Şekil 2.27: Beton takoz ve üstyapı görünüşü [6].

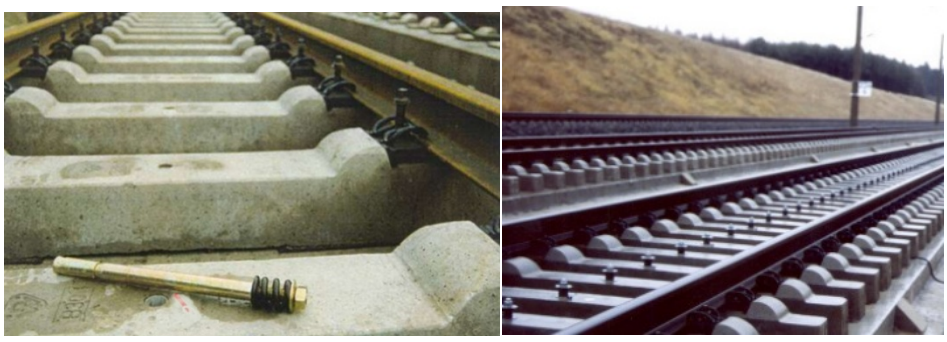
2.2.5 BTD (Betontragschict mit Direktaflagerung)

Şekil 2.28'de görüldüğü üzere burada monoblok traversler beton yatağın üzerine yerleştirilir. Traverslerin ortasında delik açılıp altta beton tabakaya çelik bir bağlantı çubuğu yerleştirilerek traverse germe uygulanmış olur.



Şekil 2.28: BTD tipi üstyapı enkesiti [6].

Enine ve boyuna donatılı beton temel, kayar kalıp finişeri kullanılarak çimento ile iyileştirilmiş bir zemin üzerinde dökülür. Boyuna donatı süreklidir ve Rheda tipi üstyapılardakiyle aynı görevi üstlenmektedir. Traversleri betona bağlayan dübel noktalarında çatlak oluşumunu engellemek için, 3.90 m (6x0,65 m, travers aralığının altı katı) aralıkla derzler bırakılır. Hat paneli hizası ayarlandıktan sonra, traverslerin ortasındaki deliklerden alttaki beton delinerek Şekil 2.29'daki gibi bağlantı çubukları ile sabitleme sağlanır ve hat kullanıma hazır hale gelir.



Şekil 2.29: BTD üstyapısı bağlantı demiri (solda) ve tamamlanmış hali (sağda).

BTD tip hatlarda beton temel ile hat panellerinin ayrık olması nedeniyle yoğun işçilik gerektiren ve fazla zaman alan, aynı zamanda hata yapmaya müsait olan ve hassas bir imalat isteyen grobeton dökümü ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Rheda

sisteminden farklı olarak burada traversler (beton bileşenler) betona gömülmediğinden arayüz çatlakları problemi de ortadan kaldırılmıştır. Bunun yanında daha az farklı iş kalemi bulunmaktadır. BTD inşaatında yaklaşık 14 çeşit iş kalemi vardır ki bu da Rheda üstyapısındakinin yaklaşık %50'sidir. İnşaat açısından ve buna bağlı olarak da kalite açısından BTD tipi üstyapılarda Rheda sisteme göre büyük ilerleme sağlanmıştır. Bunun yanında BTD üstyapısının inşaatı sırasında yandaki hattın kullanılmasına ihtiyaç yoktur ve bu hat işletme altındayken BTD üstyapısının inşası daha kolaydır.

2.3 Prefabrik Sistemler

Yol elemanlarının prefabrik olarak inşa edilmesi yol kalitesini büyük ölçüde etkilemekte olup prefabrik üstyapılar dünyanın birçok yerinde uygulanmaktadırlar. Prefabrik üstyapının belirli avantajlar şöyle sıralanabilirı;

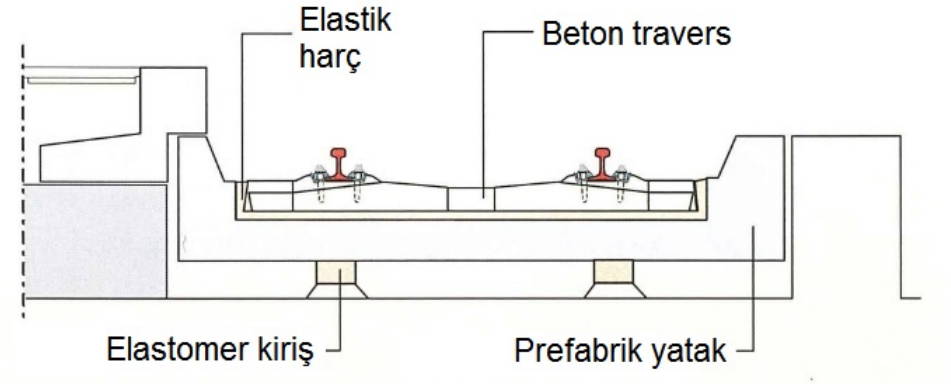
* Makine gücünden büyük ölçüde faydalanma

* Rayların doğrudan ayarlanıp montaj edilebilir olması

* İşçilik hatalarından daha az etkilenme

* Tamir ve yenileme çalışmalarında kolaylık

Doğrudan bağlantılı (tespitli) prefabrik plaklar ilk olarak Japonya Shinkansen hatları ile yine bu sistemden türemiş İtalya IPA sistemlerinde kullanılmıştır. Şekil 2.30'da "Eisenmann track" adlı sistem bulunmaktadır. Tünel zeminlerinde elastomer kirişler ile desteklenmiş prefabrik betonarme plak segmentlerinden oluşur. Münih ve Frankfurt' ta kullanılmıştır.

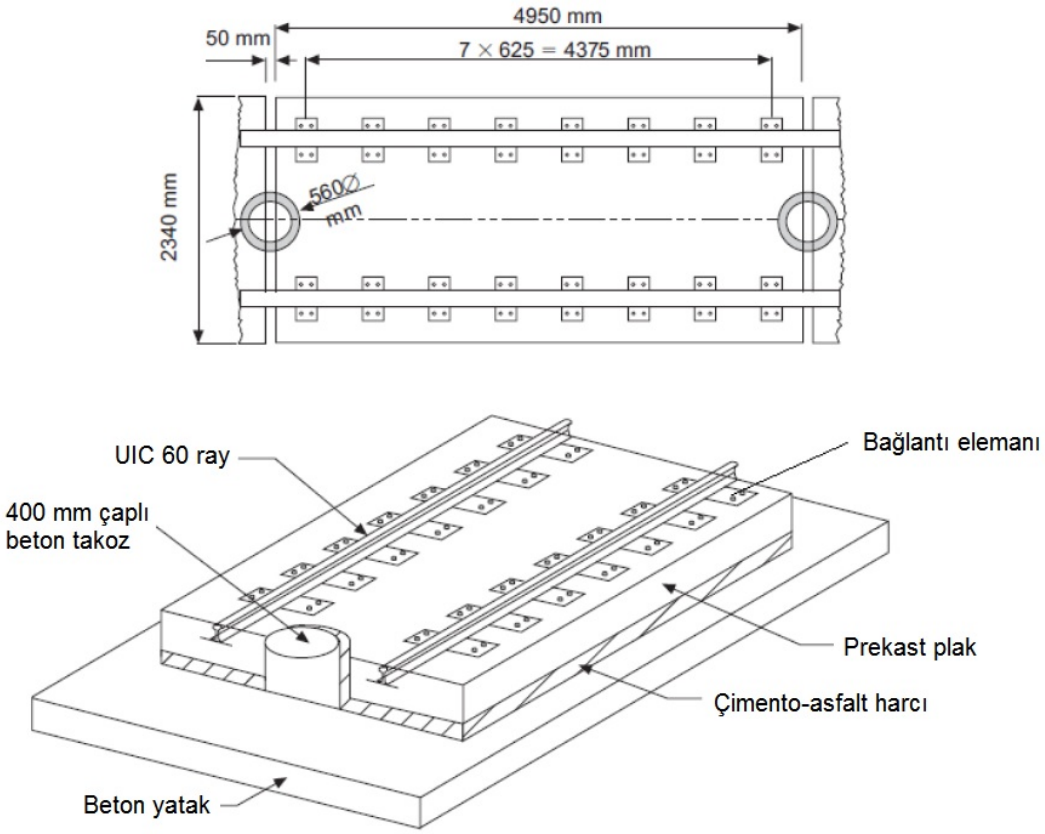


Şekil 2.30: Eisenmann Track tipi üstyapı kesiti [3].

Birçok kentiçi raylı sistem ağı belli kısımlara ayrılmış farklı prefabrik sistemlerden oluşabilmektedir. Bu sistem ses ve titreşime karşı hassas bölgelerde kullanışlı olsa da yükseklik ve maliyet yönünden verimsizdir. Balastlı yapıdan 4 kat daha maliyetlidir.

2.3.1 Shinkansen

Japonya 'da 1964' te kullanıma açılan 516 km uzunluktaki balastlı Tokaido hattında edinilen kötü tecrübeler prefabrik plakların geliştirilmesine vesile oldu. Bu sistem beton ya da asfalt betonu yol yatağı üzerine öngermeli prefabrik betonarme plakların yerleştirilmesinden meydana gelmektedir. Plaklar 4,93 m x 2,34 m x 0,19 m boyutlarında olup tünelli kesimlerde kalınlık 0,16 m' ye düşmektedir. Paneller arasında hattın enine ve boyuna deplasmanını engelleyen silindirik beton kütleler bulunur. Bu elemanlara 'stoper' adı da verilmektedir. Panel ve deplasman elemanları pimler ile yatağa bağlandıktan sonra altlarına ve birleşim yerlerine bitümlü çimento harcı enjekte edilir. Şekil 2.31'de tasarımın resimli anlatımı verilmiştir.



Şekil 2.31: Shinkansen tipi üstyapı plan ve elemanları [3].

Japon plak sistemi en çok köprü, viyadük, tünel gibi mühendislik yapılarında kullanılırken, balastlı yollar kısa mesafeli toprak üstü kesimlerde kullanılır. Şekil 2.32'de söz konusu tasarımın köprü uygulamasından bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.32: Köprü üzerinde Shinkansen uygulaması (solda) ve beton takoz (sağda)[6].

Bir açıklamaya göre yatırım maliyeti balastlı yolun 1,3~1,5 katı kadar olup, gerekli bakım işleri ise balastlı yapının %18~33' ü kadardır.

2.3.2 Bögl

Bögl tipi üstyapı ilk defa Almanya-Karsfeld' de 1977 yılında uygulanmıştır. Amaç uzun ömürlü, bakım gerektirmeyen, özellikle yüksek hızlı hatlarda yüksek kalite ve kullanılabilirlik sunan bir tasarım üretmekti.

Bögl tipi üstyapının karakteristik özellikleri

Bögl üstyapısı büyük ölçüde Shinkansen tasarımına benzemektedir. Farklı olarak plaklar C55 çelik fibre donatılı betondan oluşmakta olup 20 cm kalınlık, 6.45 m uzunluk ile 2,55 ya da 2,80 m genişliğe sahiptir. Donatılar enine yönde öngermeli olup boyuna donatılar serbest haldedir. Pimler kolay ve hızlı ayarlama için plakların içine yerleştirilmiştir. Özelliği çatlak oluşumunu önleyen, destek noktaları arasında kırılma noktalarının bulunmasıdır.

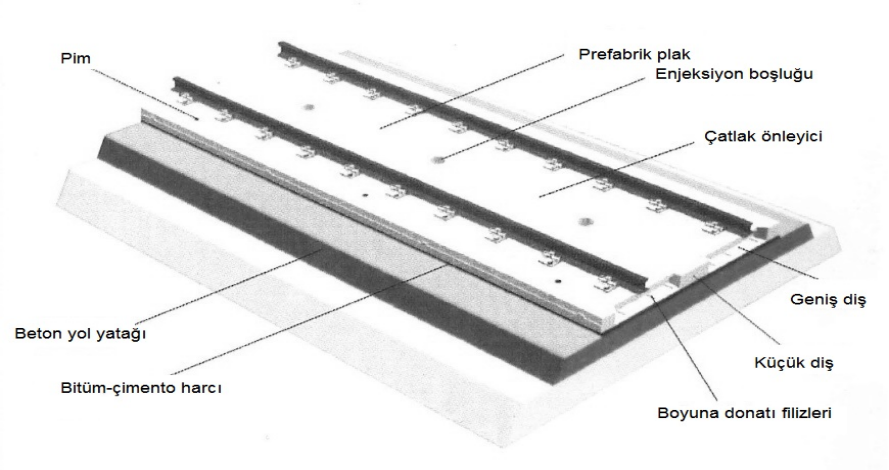
Şekil 2.33'te yukarıda bahsedilen tasarım kriterlerini temsil eden örnek bir Bögl tipi plak yer almaktadır.



Şekil 2.33: Bögl tipi plak örneği.

Bögl tipi üstyapının imalatı

Beton ya da asfalt betonundan oluşan yatağın üzerine plaklar vinç yardımıyla yerleştirilir. Plakların iki ucundan çıkan boyuna donatılar somun yardımıyla gevşek halde birbirlerine bağlanır. Rayların konumları ayarlanarak bağlantıları yapılır. Ardından plaklar altı adet pim ile dengelenir. Plak-yatak arası boşluğun kenar kısımları sızdırmaz harç ile kapatılır ve kurumasının ardından bitümlü çimento harcı Şekil 2.33'de belirtilen enjeksiyon noktalarından plakların altına enjekte edilir.



Şekil 2.34: Bögl tipi üstyapı elemanları[3].

Harç prizini aldıktan sonra plaklar birbirlerine iki aşamada rijit hale getirilir. İlk önce küçük olan boşluk betonla doldurulur. Prizini aldıktan sonra ikinci olarak gevşek haldeki somunlar iyice sıkılarak derzlerde öngerme oluşturulur. Son olarak Şekil 2.35'teki gibi bu derzler de betonla doldurularak sürekli ve rijit bir plak meydana gelir. Bu sistem yanal ve boyuna hareketleri önlemek için plak-enjeksiyon-yatak arası sürtünmeden faydalandığından silindirik eleman gerektirmez.

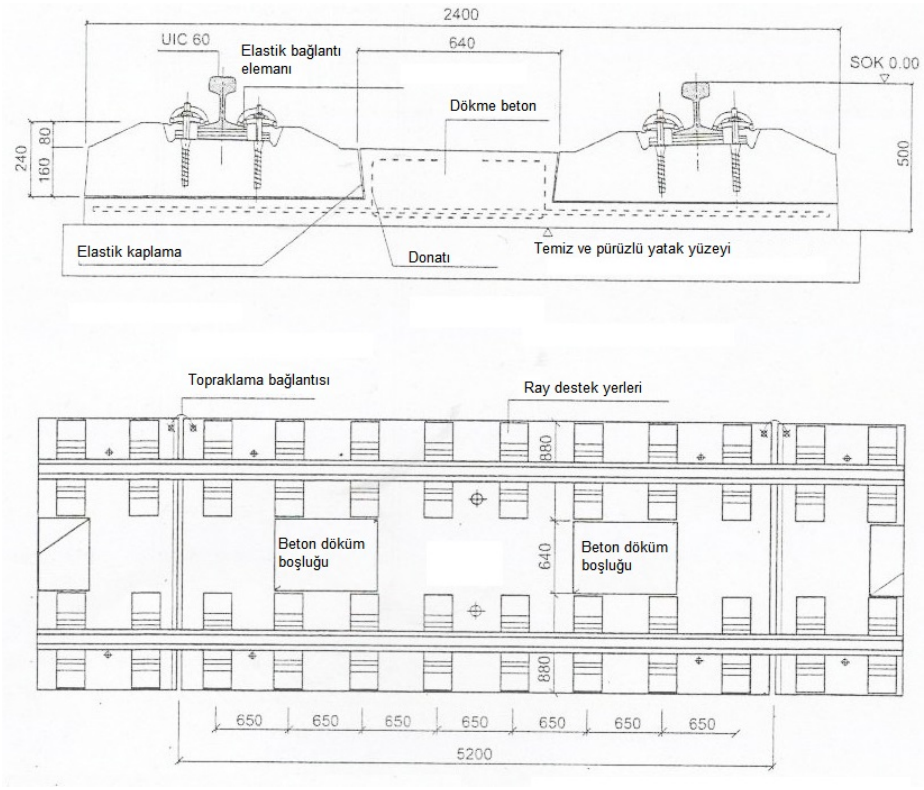


Şekil 2.35: Plak birleşim noktalarındaki derzlerin beton ile doldurulması [3].

Bu tasarım yöntemi ile yoldaki 26 mm' ye kadar olan oturmalar ray bağlantıları ile telafi edilebilir. Daha büyük oturmalar varsa montaj plakları yerinden kaldırılıp pim yerleştirilerek geri konur. Plakların ray bağlantısız ağırlığı 9 tondur.

2.3.3 OBB-Porr

Şekil 2.36'da plan ve kesiti verilen bu tasarım metodu elastik destekler üzerindeki taşıyıcı plaklardan oluşur. Plaklar donatılı betondan meydana gelir ve stabil bir üstyapıya miller ile yerleştirilerek beton ile kapatılır. Bu amaçla plaklarda Şekil 2.37'de görülen 2 büyük konik döküm deliği bırakılmıştır. Bu delikler plak ile dökme beton arasında Shinkansen tasarımındaki stoper (takoz) işlevini görür. Plakların betonla temas eden yüzeyleri granüler kauçuk ile kaplanarak hem titreşimler sönümlenir hem de plakların betondan ayrı tutulması sağlanarak herhangi bir hasar görme durumunda yenisiyle değiştirilmesine imkan tanınmış olur.



Şekil 2.36: OBB-Porr tipi üstyapı plan ve kesit gösterimi [2].



Şekil 2.37: Plakların yerleştirilmesi (solda) ve ortadaki beton döküm yerleri (sağda).



Şekil 2.38: Plak altı beton dökümü (solda) ve yolun bitmiş hali (sağda).

Hattın oturma yapması halinde prekast elemanlar krikolar ile istenilen kota getirilerek kalan boşlukların tekrar beton ile doldurulması mümkündür. Sistem açık alan uygulamalarına müsait olsa da esasen tünelli kesimlerde uygulanır.

2.4 Tek Parça (Monolitik) Yerinde Dökülen Sistemler

Doğrudan bağlantı uygulamaları denince akla üzerinde sivillerin bulunduğu yapılar (köprü gibi) ve traverssiz sürekli monolitik plaklar getirilebilir. Doğrudan bağlantı sistemleri beton ya da çelik zeminlere düz cıvata ile uygulanır. Örnek olarak Şekil 2.39'daki Vossloh DFF 300 klipsli sistemi gösterilebilir.



Şekil 2.39: Vossloh DFF 300 bağlantı elemanı [3].

Burada yaklaşık olarak düşeyde 50 mm ve yatayda 46 mm ayarlamalar yapılabilir. Raylar kalıcı olarak uzun ömürlü ve elastik klipsler ile iki yandan sabitlenir. Alttaki çelik selet beton plaklara dört adet plastik dübel içinde cıvata ile ya da alternatif olarak çelik tabliyeler için ankraj bulonu ile zemine bağlanır. Çelik köprülerde bulonlar direkt olarak tabliyeye monte edilirken, beton köprülerde önceden açılan deliklere bulonların kimyasal olarak ankre edilmesiyle bağlantı sağlanır.

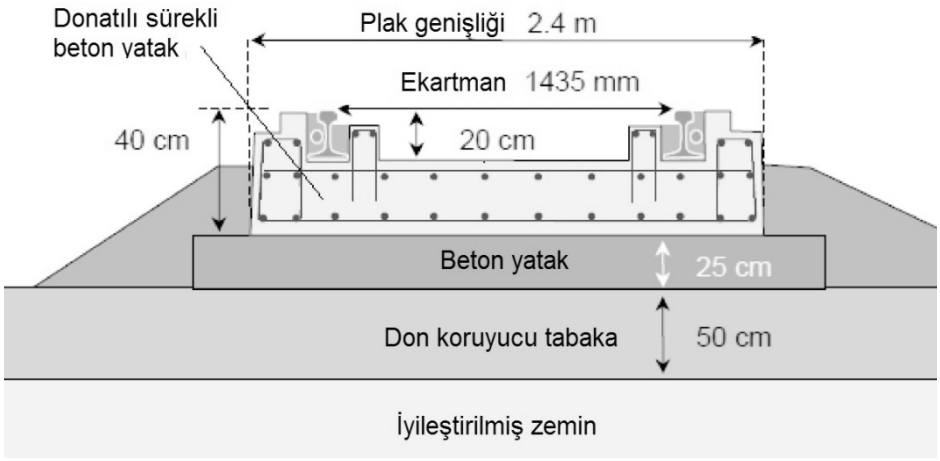


Şekil 2.40: Monolitik üstyapı [3].

Bu tasarım metodu trafik yükleri altında sürekli destekli elastik kiriş gibi davranarak rijit bir sürekli plak teşkil edecektir. Bu sayede zayıf ve yumuşak zeminler üzerinde balastsız üstyapı tasarımı mümkün olacaktır. Rijit plak yükleri oldukça geniş ve uzun alana yayarak zemindeki yerel bozuklukların etkisini ortadan kaldıracak, zemin iyileştirme maliyetleri azalacaktır.

2.4.1 Infundo

Monolitik yol tipi ilk kez Hollanda' da "Edilon" adı ile 1973' de geliştirilmiş, tünel ve köprülerde başarıyla kullanılmıştır. Daha sonra geliştirilen yeni modelin adı "Infundo" olup, tramvay yollarında ve kentler arası demiryollarında başarılı olmuştur. Şekil 2.41'de kesiti görülmektedir [3,27].

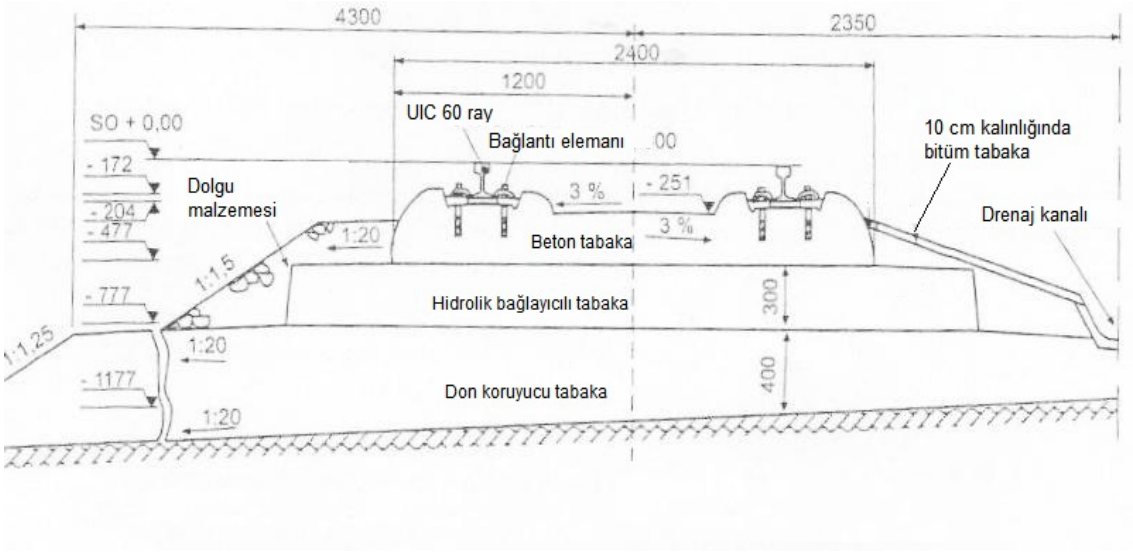


Şekil 2.41: Infundo tipi üstyapı enkesiti [3].

Hollanda' da 10 km yüksek hızlı hat, hafif raylı sistemler ve Madrid metrosu (100 km) önemli uygulama sahalarıdır. Almanya' da denenen beton döşemeli üstyapı tipleri arasında en iyi sistem olarak seçilmiştir. Infundo tasarımı monolitik olmasının yanında gömülü ve sürekli destekli raylar için de örnek teşkil eder.

2.4.2 FFC (Feste Fahrbahn Crailsheim)

Aralıklı destekli monolitik üstyapılara diğer bir örnek ise Alman FFC tasarımıdır. Şekil 2.42'de en kesiti görülen modelde taşıyıcı katman, üzerinde ray bağlantı destek noktalarını da içeren sürekli beton profilden oluşur. Bağlantı pimleri beton dökümü sırasında yerleştirilir. Her 3 destek noktasında bir çatlak oluşumunu önlemek ve drenajı sağlamak için aralıklar bırakılır.



Şekil 2.42: FFC tipi üstyapı enkesiti [2].

2.5 Sonuç

Bahsedilen tasarım tiplerinin her biri yaygın olarak kullanılmamakta olup çeşitlilik arz etmektedir. Coğrafi ve iklimsel koşullar, proje özelliklerinin yanında proje bitirme süresi ve maliyeti gibi farklı kriterler ele alınarak üstyapı imalatının ne tür metot ve malzemeler kullanılarak yapılacağına işverenler ve yükleniciler tarafından karar verilir. Çizelge 2.3'te şimdiye dek incelenen farklı üstyapı tasarım tipleri için özet tanımlamalar verilmiştir.

Çizelge 2.3: Üstyapı tipleri çizelgesi.

Betona Gömülü Travers	Rheda	Beton oluk veya yatak içerisine traversler gömülür. Zamanla gelişerek rijitlik arttırılmış, tasarım kolaylaştırılmıştır.
	Züblin	Taze dökülmüş betonun üzerine ikiz blok ya da monoblok traversler vibrasyon ile yerleştirilir.
	Stedef-LVT	Beton yatak üzerine ikiz blok traversler yerleştirilir. Travers blokları bara ile birleştirilmiş, mikroselüler elastik pedler ile beslenmiştir. Bunun yanında daha derin pabuçlu, bara bulunmayan uygulamalar da mevcuttur.
	Heitkamp	Rheda' nın daha geniş boyutlusu olup beton oluk içi travers altları balast ile doldurulur, burajın ardından çimento enjeksiyonu yapılır.
Asfalt Betonu-Beton Temel Üzeri Travers	ATD	Beton temel ve asfalt yatağın üzerine mono ya da ikiz blok traversler yerleştirilir. Hızlı imalat ve geri dönüşüm imkanı sunar.
	SATO	Asfalt yatak üzerine çelik Y traversler şaşırtmalı olarak yerleştirilir. Maliyeti yüksektir.
	FFYS	SATO tasarımının geliştirilmiş halidir. Traverslerin iki başının altında asfalta gömülü levhalar bulunur. Yanal rijitlik artar.

	Getrac	Monoblok traverslerin ortasında alt yüzeyde yanal rijitliği arttıran beton silindirik tamponlar bulunur.
	BTD	Monoblok traverslerin ortasından çelik çubuklar yukarıdan aşağıya doğru yatağa monte edilir.
Prefabrik	Eisenmann Track	Prefabrik beton yataklar altta elastomer kirişler ile desteklenmiştir.
	Shinkansen	Beton temel üzerindeki prefabrik plaklar arasında 40 cm çaplı beton takozlar (stoper) bulunur.
	Bögl	Beton temel üzeri prefabrik plakların iki başı girintili şekilde üretilir. Donatı filizleri ile birleşim sağlanır.
	OBB-Porr	Beton temel üzerine prefabrik beton plakların ortasındaki boşluklardan beton dökülerek dolgu yapılır.
Monolitik	Infundo	Zayıf ve yumuşak zeminlerde rijitlik sağlanır. Raylar süreklidir. Hem tramvay hem kentler arası taşımacılıkta başarılıdır.
	FFC	Zayıf ve yumuşak zeminlerde rijitlik sağlanır. Bağlantı yerleri döküm öncesi hazırlanır. Çatlak önlemek için derz ya da dişler bırakılır.

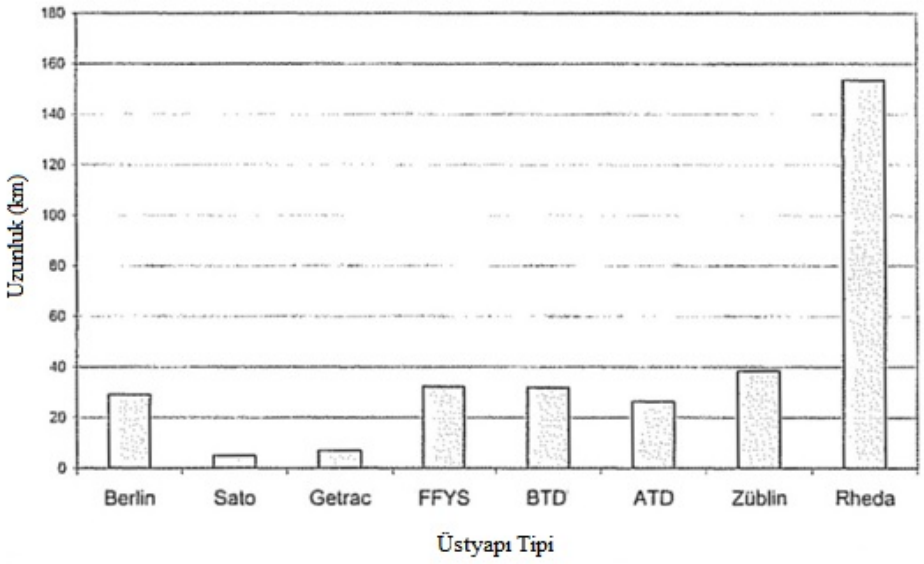
Ekim 1998' de yapılmış bir imalat istatistik tablosu 2.3, 2.4 ve 2.5 nolu çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 2.4: Üstyapı tipleri hakkında bazı sayısal değerler [2].

Tasarım tipi	Tasarım yılı	Hız (km/h)	Yükseklik (cm)*	Gürültü**	Maliyet (€/m)	Günlük imalat (m)
Rheda	1972	300	63	2	1198	172
Rheda Berlin	1997	300	67	3	630	170
Züblin	1988	300	60	2	550	200
ATD	1993	300	70	2	600	200
BTD	1994	300	63	2	-	350
Getrac	1995	300	72	2	625	270
SATO, FFYS	1984	200	61	2	600	350
Heitkamp	1998	160	78	3	-	200
FFC	1998	300	48	1	470	200
INFUNDO	1995	160	-	1	470	200

**Hidrolik bağlayıcı tabaka üstü, tünel zemini veya viyadük üstyapısı ile ray üst kotu arası*
***1:Tavsiye edilir 2:Yeterli 3:İyileştirme gerekir*

Çizelge 2.5: Yıllara göre imalat miktarları [2].



İmalat verilerinden anlayabileceğimiz üzere her ne kadar toplamda Rheda tipi üstyapı diğerlerinden çok daha fazla inşa edilmişse de, ortaya çıkış tarihinden yola çıkarak yıl başına düşen ortalama imalata baktığımızda BTD tipi üstyapı en çok tercih edilen olmuştur. Nitekim Rheda Berlin' in 1 yıldaki inşa edilme uzunluğu 30 km' dir. Bunda yeni tasarımlara olan merak, demiryolu ulaşımı ve imalatına verilen önemin artması, ilk Rheda tasarımından gelen güven gibi unsurlar detaylı tarih ve imalat uzunlukları doğrultusunda irdelenebilir.

3. İSTANBULDAKİ METRO HATLARININ TANITIMI VE BAZI SİSTEM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENİP KARŞILAŞTIRILMASI

İstanbul' da halihazır kullanılmakta olan 3 farklı ağır hat bulunmaktadır. Her hatta bulunması gereken temel sistemler, bu 3 hatta benzer ya da farklı modellemeler ile kullanılmıştır. Bu başlık altında mevcut hatlar ve sistem özellikleri hakkında inceleme yapılmıştır.

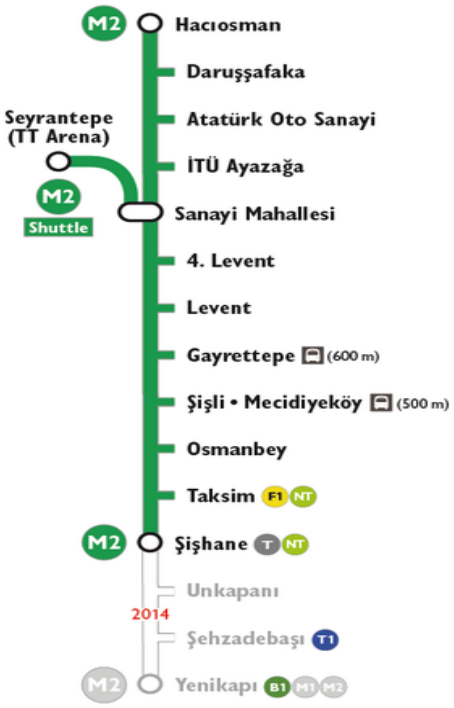
3.1 İşletmede Bulunan Hatların Tanıtımı

İstanbul' da metro ilk olarak 1989 yılında Aksaray-Kartaltepe arasında "Hafif Metro" bazında işletmeye açılmış olup zamanla yapılan araştırmalar ve artan imkanlar doğrultusunda 2000 yılında Taksim–4. Levent arasında ilk ağır metro hizmete açılmıştır. Sonrasında öncelikle bu hattın uzatılmasına ağırlık verilerek farklı güzergahlarda yeni hatlar için girişimlerde bulunulmuş, ağır metro sistemi her geçen gün daha fazla gelişme göstermiştir.

3.1.1 M2 (Hacıosman-Şişhane) Hattı

Şekil 3.1'de istasyon sıralaması bulunan hat 2000 yılında Taksim-4. Levent arası 7,25 km uzunluk ile işletmeye açılmış olup 2011 yılında Şişhane-Hacıosman arasında 16,10 km uzunluğa erişerek hizmet vermeye başlamıştır.

Hatta Sanayi Mahallesi istasyonundan Seyrantepe' ye ulaşan 1,6 km'lik ilave bir hat bulunmakta olup tek platform üzerinde 9 buçuk dakika aralıkla mekik sefer yapılmaktadır Seyrantepe' de yer alan 65600 m2 alana yayılmış depo mevcuttur.



Şekil 3.1: M2 hattı istasyon şeması.

Levent hariç bütün istasyonlarda trafolar mevcuttur. Tüm sistemin enerji beslemesi iki ayrı noktadan yapılmaktadır. Her iki besleme noktası da devre dışı kalırsa 15 saniye içinde jeneratörler devreye girmekte ve tünel içerisinde kalan tüm trenler en yakın istasyona ulaşarak yolcularını tahliye edebilmektedir. Enerji beslemelerinin kesilmesi ve jeneratörlerin arızalanıp devreye girememesi durumunda aydınlatma sistemi ve elektronik kontrol sistemleri 3 saat süreyle kesintisiz güç kaynakları (aküler) vasıtasıyla beslenebilmektedir

Taksim-Şişhane istasyonları arası ulaşım mevcut haliyle tek platform üzerinde gerçekleşmekte olup, Şişhane-Yenikapı arası test sürüşlerinin tamamlanmasıyla M2 hattı kesintisiz olarak çift platform üzerinde çalışmaya başlayacaktır.

Birçok finans ve alışveriş merkezine erişimi sağlayarak karayolu trafiğini büyük ölçüde rahatlatan bu hattın tamamlanmasıyla, Marmaray ve M1 hatları ile aktarma yapılarak İstanbul içerisinde çok büyük mesafelerin konforlu ve kısa sürede katedilmesi mümkün hale gelecek ve,

Yenikapı'dan;

Taksim'e : 8 dakika'da,

4.Levent'e : 20 dakika'da,

Hacıosman'a : 32 dakika'da,
Otogar'a : 19 dakika'da,
Havalimanı'na : 32 dakika'da,
Olimpiyat Stadı'na :42 dakika'da,
Üsküdar'a : 12 dakika'da,
Kadıköy'e : 18 dakika'da,
Kartal'a : 47 dakika'da seyahat edilebilecektir [7].

İlerleyen yıllarda hattın Çayırbaşı' ya kadar uzatılması düşünülmektedir.

Tamamında NATM (New Austrian Tunneling Method) yöntemi ile kazı yapılan, bazı spesifik noktalarda da patlatma yöntemi kullanılan hattın ilk etabı olan Taksim-4.Levent arası üstyapı Stedef sistemi ile inşa edilmiştir. Hatta basit ve çapraz makaslar kullanılmış olup bu bölgelerde ahşap traversler bulunmaktadır. Bağlantı elemanı olarak Nabla kullanılmış, gerekli elastisite travers bloklarının altındaki mikroselüler yastıklar ile sağlanmıştır. Zira Nabla' nın elastisitesi oldukça düşük kalmakta, ihtiyaç duyulan konforu sağlayamamaktadır.

Açık havada mevsimsel koşullardan tünel içine göre daha çok etkilenecek raylar için Haliç geçişinin viyadük kesiminde Şekil 3.2'deki ısıl genleşme rayı (rail expansion joint) kullanılmış, burada rayı üreten firmanın tercihi doğrultusunda 6 metrelik bir mesafede Şekil 3.3'de görülen Vossloh System 336 Skl-24 bağlantı elemanı kullanılmıştır. Bu kesimde raylar 15 cm uzama yapabilmektedir. Benzer düzenek daha düşük bir uzama payı ile enerji rayları için de mevcuttur.



Şekil 3.2: Seyir (solda) ve enerji (sağda) hattı için genleşme rayı.



Şekil 3.3: Vossloh System 336 Skl-24 bağlantı elemanı, M2 örneği.

Köprünün açılır kısmı ile sabit kısmı arası geçişler için Şekil 3.4'te görülen özel ray kilitleme mekanizması bulunmaktadır. Diğer tüm mekanizmalarının yanında, köprü açılırken ilk önce, köprü kapanırken ise en son çalışan kısımdır. Her rayın altında bulunan bir piston yardımıyla rayların iki yanında bulunan parçaların ileri-geri hareketi sağlanır.



Şekil 3.4: Ray kilitleme mekanizması.

Sinyalizasyon sistemi otomatik ve manuel kullanıma izin vermektedir.

Araçlar 86 m uzunlukta olup 950 kişi kapasitelidir.

Seyrantepe' de bulunan depoda araç bakım-onarım, yıkama ve park etme işlemleri yapılmakta olup 84 vagon kapasitelidir. Geri kalan araçlar hattın muhtelif bölgelerinde park etmektedir. Araçlar sürücüsüz olarak kumanda merkezi komutlarıyla depoya giriş çıkış yapabilmektedir.

Levent hariç her istasyonda ikişer adet 750 voltluk CER ve 400 voltluk iç ihtiyaç trafosu mevcuttur. Taksim, 4. Levent ve Atatürk Oto Sanayi istasyonlarında ikişer adet 34,5 kV gerilimli giriş trafosu bulunmakta olup Atatürk Oto Sanayi istasyonundaki trafoların biri şuan için devre dışıdır. Herhangi bir teknik arıza ya da genel elektrik kesintilerine karşı her trafonun yedeği ve jeneratörler ile aküler bulunmaktadır.

Sinyalizasyon sistemi otomatik ve manuel kullanıma izin vermekte olup hareketli bloklu olarak tasarlanmıştır. İletişim çift yönlüdür. Seyrantepe kumanda merkezine ilaveten aynı sistem ve ekipmana sahip bir merkez de Taksim istasyonunda bulunmaktadır. Ekipmanlar aktif olarak çalışır vaziyette bulunmakta olup personelin tamamı Seyrantepe merkezinden kontrolü sağlamaktadır.

Hat ile ilgili bazı bilgiler Çizelge 3.1 ve 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: M2 hat özellikleri [7,8,9].

Şişhane-Hacıosman arası mesafe	16,20 km.
Seyrantepe-Sanayi Mah. arası mesafe	1,65 km
Hacıosman-Taksim sefer aralığı*	3 dk 45 sn (peak saatte)
Hacıosman-Taksim yolculuk süresi	22 dk
Seyrantepe-Sanayi Mah. sefer aralığı*	9 dk 30 sn
Seyrantepe-Sanayi Mah. yolculuk süresi	3 dk 20 sn
Taksim-Şişhane arası sefer aralığı*	6 dk 40 sn (peak saatte)
Taksim-Şişhane arası yolculuk süresi	2 dk

Çizelge 3.1(devam): M2 hat özellikleri.

Sefer saatleri*	06:15-00:00
Peak saatler*	07:00-09:15, 16:15-19:45
Sefer sayısı*	Tek yönde 228 sefer/gün (Taksim-Hacıosman)
Max. kapasite**	Tek yönde 1011750 kişi/gün (Taksim-Hacıosman)
Araç tipi	Alstom (bölmeli), Rotem (bölmesiz)
Araç sayısı	4 vagonlu 31 set
İstasyon sayısı***	16
İstasyon derinlikleri	17~60 m
Peron uzunlukları	180 m
Sinyalizasyon	ATO
Elektrifikasyon	3. ray
CER Trafo sayısı	11
Kazı yöntemleri	NATM, Aç-Kapa
Bağlantı elemanı***	Nabla, Vossloh System 336 Skl 12 ve Skl 24, Vossloh W 14 Skl 14, Pandrol Vanguard
Depo	Seyrantepe
Ray tipi	S49, S54 Vinyol
Kaynak Tipi	Aluminotermit, Alın
Makaslar	65 adet basit ve çapraz (kruvazman)
Üstyapı***	Stedef, Yerinde döküm plint beton, Çelik tabliye

**Bu bilgi Ulaşım A.Ş. 2013 Kış Tarifesi haftaiçi günler için geçerlidir.*

***Pratik sefer aralığı min. 120 saniyedir [www.ibb.gov.tr].Peronlar 2 dizi kullanıma müsaittir.*

****Yenikapı uzantısı dahilinde geçerlidir.*

Çizelge 3.2: M2 hattı tasarım kriterleri.

Max. hız	85 km/sa
İşletme hızı	40 km/sa
Minimum kurp yarıçapı	80 m (Tali hat) 300 m (Cari hat)
Max. dever	100mm
Max. boyuna eğim	% 3,00
Ekartman genişliği	1435 mm
Araç aks sayısı	4
Aks yükü	16 t
Dinamik yük çarpanı	2,0

Gayrettepe ve Mecidiyeköy istasyonlarından metrobüs hattına, Taksim istasyonundan Kabataş funiküler hattı ile Nostaljik Tramvay hattına aktarma yapılabilmektedir. İnşaatı sürmekte olan Levent-Rumelihisarüstü raylı sistemine de benzer şekilde aktarma sağlanabilecektir. Hacıosman, 4. Levent, Mecidiyeköy ve Taksim' den geniş çaplı otobüs güzergahlarına erişim sağlanır

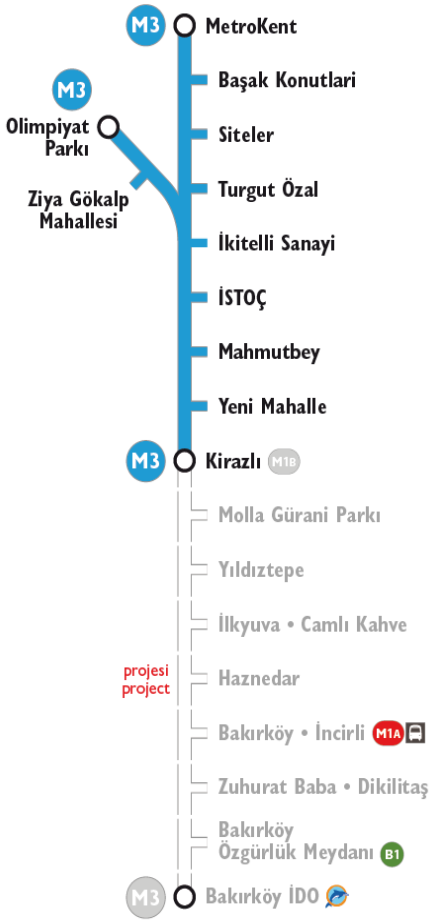
3.1.2 M3 (Başakşehir-Kirazlı-Olimpiyatköy)

İstanbul' da her gün daha da artmakta olan nüfus yoğunluğunu takiben yapılaşma da toplu konut projeleri altında büyük ilerleme göstermekte olup, geçmişte düşük nüfusa sahip banliyö nitelikli yerleşim alanları günümüzde merkez ile bütünleşik bir hal almaya başlamıştır.

Bu durumun en bariz örneklerinden biri olan Başakşehir' de artan yapılaşma ve yüksek iş potansiyeline sahip mevcut sanayi sitelerine olan ulaşım imkanlarının giderek yetersiz kalıp ihtiyacı karşılayamaz hale gelmesiyle bu güzergahtaki yoğunluğu azaltmak adına söz konusu hattın projelendirilmesine karar verilmiştir.

Mayıs 2006' da sözleşmesi yapılarak inşasına başlanan bu hat Kirazlı' dan başlayarak İkitelli Sanayi İstasyonu' na, oradan da iki kola ayrılarak Metrokent ve

Olimpiyat Parkı' na erişim sağlamaktadır. 11 istasyondan meydana gelen hattın toplam uzunluğu 16 km olup, bunun 4,2 km' lik kesimini İkitelli Sanayi-Olimpiyat Parkı kolu oluşturmaktadır. Şekil 3.5'te istasyon sıralaması gösterilmiştir.



Şekil 3.5: M3 Hattı istasyon şeması.

Sistem M1 hattıyla Kirazlı istasyonundan entegreli olup Metrokent-Kirazlı arası çift yönlü, Olimpiyat Parkı kolunda mekik seferli olarak çalışmaktadır. Futbol müsabakalarının olduğu günlerde bu bölümde sefer aralık ve başlangıç-bitiş saatleri değişiklik gösterebilmektedir. Hat çift yönlü taşımacılığa uygundur.

Marmaray, Yenikapı Transfer Merkezi ve Aksaray – Yenikapı Metro Hattının da tamamlanmasının ardından bu hat ile;

Kirazlı'dan;

Otogar'a : 10 dakika'da,

Olimpiyat parkı'na : 16 dakika'da

Metrokent'e :20 dakika'da

Metrokent'ten;

Otogar'a : 30 dakika'da

Havalimanı'na : 50 dakika'da

Yenikapı'ya : 44 dakika'da

Hacıosman'a : 77 dakika'da

Üsküdar'a :53 dakika'da

Kadıköy'e : 61 dakika'da

Kartal'a : 89 dakika'da

Olimpiyat Parkı'ndan;

Otogar'a : 26 dakika'da

Havalimanı'na : 46 dakika'da

Yenikapı' ya : 40 dakika'da

Hacıosman'a : 73 dakika'da

Üsküdar'a : 49 dakika' da

Kadıköy' e : 57 dakika' da

Kartal' a : 85 dakika' da seyahat edilebilecektir [7]. Gelecek yıllarda hattın Bakırköy-İncirli' den geçerek Bakırköy İDO iskelesine uzatılması planlanmaktadır.

Projenin özellikle viyadük bölgesinde yapılması öngörülen kontrray montaj işleri ile ilgili yüklenici tarafından Şekil 3.6'daki daha önce imal edilen seri kiriş şeklindeki beton kılavuzlar uygun bulunmayıp bunun yerine standart S-49 ray kullanılması yükleniciye yazılı talimat ile bildirilmiştir.



Şekil 3.6: Kontrray yerine imal edilen beton bloklar.

Projede S49 sınıfı ray kullanılmış olup, istasyon giriş çıkışları ile 800 metreden küçük yarıçaplı kurplarda ısıl işlemden geçip sertleştirilmiş ray kullanılmış ve bağlantı elemanları 4 adet bulon ile ankre edilmiştir.

Sinyalizasyon sistemi otomatik ve manuel kullanıma izin vermekte olup sabit bloklu olarak tasarlanmıştır ve blok uzunlukları 250 ila 400 m arasında değişmektedir. Sinyal raylar üzerinden ve tek yönlüdür.

Enerji temini Kirazlı' da 2, İkitelli Sanayi' de 1 adet ana trafodan 34,5 kV gerilim ile sağlanmaktadır. Bütün istasyonlarda 400 V gerilimli iç tesisat (merdiven, asansör, havalandırma, aydınlatma vs..) trafoları ile Siteler istasyonu hariç 1500 V' luk CER (katener) trafoları bulunmaktadır. Herhangi bir teknik arıza ya da genel elektrik kesintilerine karşı her trafonun yedeği ve jeneratörler ile aküler bulunmaktadır.

Araçlar 86 m uzunlukta olup 966 kişi kapasitelidir.

Hat ile ilgili bazı bilgiler ile projelendirme kriterleri Çizelge 3.3'te bulunmaktadır

Çizelge 3.3:M3 hat özellikleri [7,8,10].

Kirazlı-Metrokent arası mesafe	11,8 km
Kirazlı-Metrokent sefer aralığı*	6 dk 40 sn (peak saatte)
Kirazlı-Metrokent yolculuk süresi	20 dk
İkitelli Sanayi-Olimpiyatköy arası mesafe	4,2 km
İkitelli Sanayi-Olimpiyatköy sefer aralığı	10 dk
İkitelli Sanayi-Olimpiyatköy yolculuk süresi	5 dk
Sefer saatleri*	06:00-00:00
Peak saatler*	07:00-09:30, 17:00-20:00
Sefer sayısı*	Tek yönde 138/gün (Metrokent-Kirazlı)
	Tek yönde 108/gün (Olimpiyat-İkitelli) Maç günlerinde değişiklik gösterir.

Çizelge 3.3 (devam):M3 hat özellikleri.

Max. kapasite**	Tek yönde 1028790/gün (Metrokent-Kirazlı)
Araç tipi	Alstom (bölmesiz)
Araç sayısı	4 vagonlu 20 set
İstasyon sayısı	11
İstasyon derinlikleri	16~37 m
Peron uzunlukları	180 m
Sinyalizasyon	ATO
Elektrifikasyon	Rijit katener, Konvansiyonel katener
CER Trafo sayısı	10
Kazı yöntemleri	NATM, TBM, Aç-Kapa
Bağlantı elemanı	Vossloh System 336 Skl-12 Vossloh W-Tram Skl-14
Depo	Olimpiyatköy
Ray tipi	S49, Ri59
Kaynak Tipi	Alüminotermit, Alın
Makaslar	69 adet Basit, Çapraz, İngiliz
Üstyapı	Yerinde döküm plint beton, Prekast plak, Monoblok travers(balastlı, depo hattında)

**Bu bilgi Ulaşım A.Ş. 2013 Yaz Tarifesi haftaiçi günler için geçerlidir.*

***Pratik sefer aralığı min. 120 saniyedir [www.ibb.gov.tr]. Peronlar 2 dizi kullanıma müsaittir.*

Çizelge 3.4: M3 hattı tasarım kriterleri.

Max. hızı	80 km/h
İşletme hızı	40 km/h
Minimum kurp yarıçapı	300 m
Max. dever	140 mm
Max. boyuna eğim	% 4,00
Aks yükü	18,6 ton
Dinamik yük çarpanı	1,3

Çizelge 3.4'te görüldüğü üzere proje bilgileri M2 hattı ile benzerlik göstermekle birlikte dever ve boyuna eğim miktarlarında artışlar mevcuttur.

3.1.3 M4 (Kadıköy-Kartal)

Başlangıçta Harem-Tuzla hafif raylı sistemi (LRT) olarak düşünülmesine rağmen Marmaray projesiyle bütünleştirilmesinin daha uygun olacağı düşünülerek başlangıç noktası Kadıköy'e kaydırılmıştır. Projenin Acıbadem–Kadıköy arası delme tünel, Acıbadem'den Kartal'a kadar olan kısmın ise hemzemin olarak inşa edilmesi kararlaştırılmıştır.

2005 yılında temeli atıldıktan sonra, inşaat aşamasında D-100 karayolunun kısmen trafiğe kapatılacak olması, raylı sisteme ayrılacak bölüm dolayısı ile yolun kalıcı olarak daralacak olması, hafif raylı sistemin ihtiyaca tam olarak cevap veremeyecek olması gibi etkenler de göz önüne alınarak İTÜ görüşü, İETT önerisi ve UKOME kararıyla 2005 yılı Temmuz ayında dizgenin tamamen yer altında ve ağır metro standartları ile inşasına karar verilmiştir.

Kadıköy' den Kartal' a kadar D-100 karayolunu takip etmek suretiyle birçok semte erişim imkanı sağlayan, 16 istasyon ve 21,80 km uzunluktan oluşmakta olan sistem Ünalan istasyonunda metrobüs ile entegrelidir. Şekil 3.7'de istasyon sıralaması gösterilmiştir.



Şekil 3.7: M4 hat istasyon şeması.

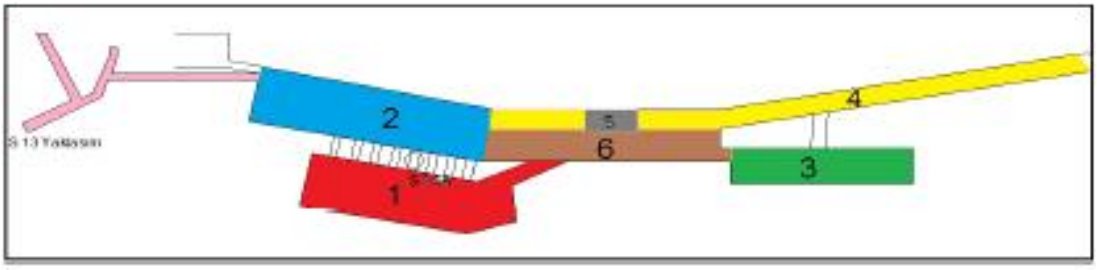
Ünalan istasyonunda metrobüs ile entegreli olan sistem 2013 yılı içerisinde bitmesi planlanan Marmaray projesinin test sürüşlerinin ardından, şuan pas geçilmekte olan Ayrılıkçeşme istasyonu da kullanıma açılarak Avrupa yakasına geçmek mümkün hale gelecektir. Bununla birlikte (aktarma ve bekleme süreleri göze alınmaksızın);

Kartal'dan;

Kadıköy'e : 32 dakika'da
Üsküdar'a : 36 dakika'da
Ümraniye'ye : 49,5 dakika'da
Hacıosman'a : 78 dakika'da
Seyrantepe'ye : 67,5 dakika'da
Havalimanı'na : 81 dakika'da
Topkapı'ya : 55 dakika'da
Başakşehir'e : 92 dakika'da
Olimpiyat Stadı'na : 86 dakika'da seyahat edilebilecektir [7].

Mevcutta yapılan çalışmaların ardından 2016 yılında hattın Yakacık ve Pendik' ten geçerek Kaynarca' ya uzanması sağlanacaktır.

Maltepe' de bulunan 13 dizi kapasiteli depo sahasında Şekil 3.8'deki numaralara göre ağır bakım bölgesi(1), periyodik bakım bölgesi(2), geceleme hattı(3), test hattı(4), yıkama ünitesi(5), parklama bölgesi(6) bulunmaktadır ve toplam 52 araç barındırılabilmektedir.



Şekil 3.8: M4 hattı depo sahası ve yerleşimi [11].

Sinyalizasyon sistemi otomatik ve manuel kullanıma izin vermekle birlikte araçlar sürücüsüz kullanım imkanı da sunmakta olup henüz sürücülü işletim yapılmaktadır. İletişim çift yönlü kurulur.

Çizelge 3.6 ve 3.7'da hat ile ilgili çeşitli bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.5: M4 hat özellikleri [7,8,11].

Mesafe	21,80 km
Sefer aralığı*	4 dk 30 sn (peak saatte)
Yolculuk süresi	32 dk
Peak saatler*	07:20-08:20, 17:10-18:50
Sefer sayısı*	Tek yönde 187/gün
Max. kapasite**	Tek yönde 1114560/gün
Araç tipi	CAF
Araç sayısı	4 vagonlu 36 set
İstasyon sayısı	16

Çizelge 3.5(devam): M4 hat özellikleri.

İstasyon derinlikleri	28m~40m
Sinyalizasyon	ATO
Elektrifikasyon	Rijit katener
Trafo sayısı	13
Kazı yöntemleri	NATM, TBM, EPBM, Aç-Kapa
Bağlantı elemanı	Pandrol E-clip
Depo	Maltepe
Ray tipi	S54
Makaslar	57 adet basit ve çapraz (kruvazman)
Üstyapı	Yerinde döküm plint beton

**Ulaşım A.Ş. 2013 Yaz Tarifesi haftaiçi günler için geçerlidir.*

***Pratik sefer aralığı min. 120 saniyedir [www.istanbul-ulasim.com.tr]. Peronlar 2 dizi kullanıma müsaittir.*

Çizelge 3.6: M4 hattı tasarım kriterleri.

Max. hız	80 km/sa
İşletme hızı	40 km/sa
Minimum kurp yarıçapı	80 m
Max. dever	150 mm
Max. boyuna eğim	% 4,00
Ekartman genişliği	1435 mm
Aks yükü	16,5 ton
Dinamik yük çarpanı	1,10

Enerji temini Kartal ve Kozyatağı' da ikişer adet ana trafodan 34,5 kV gerilim ile sağlanmaktadır. Bütün istasyonlarda 400 V' luk iç ihtiyaç (merdiven, asansör, havalandırma, aydınlatma vs..) trafoları ile Acıbadem, Huzurevi ve Hastane istasyonları hariç 1500 V' luk CER (katener) trafoları bulunmaktadır. Herhangi bir teknik arıza ya da genel elektrik kesintilerine karşı her trafonun yedeği ve jeneratörler ile aküler bulunmaktadır.

3.2 İşletmede Bulunan Hatların İmalat ve Sistem Özellikleri

Çalışmaya esas olarak işletmedeki hatların kazı yöntemleri, üstyapı tipleri ile elemanları, elektrifikasyon, sinyalizasyon ve tren koruma sistemleri incelenecek olup, üstyapı tipleri detaylı olarak bir sonraki ana başlıkta ele alınacaktır.

3.2.1 Kazı yöntemleri

Metro inşaatlarında kullanılacak kazı yöntemleri incelenirken genel sıralama yerine istasyon yapıları ile tünel kısımlarını ayrı ayrı ele almak daha doğru olur.

3.2.1.1 İstasyon İnşaatları

İstasyon yapıları bölgenin tamamen yüzeyden başlanarak kazılmasıyla, ya da hattın seyir tüneli inşaatı kapsamında, hemzemin olarak ve viyadük üzerlerinde inşa edilebilirler.

a) Aç-kapa İstasyonlar

Genellikle metroların güzergâhları itibariyle yüzeye yakın olan kısımlarında, kazı işlerinin yüzeyden başlayarak yapıldığı yöntemdir. Konvansiyonel olarak bu şekilde gerçekleştirilen aç-kapa yöntemi top-down ve bottom-up şeklinde iki farklı yolla gerçekleştirilir. M2 hattı Gayrettepe ve Levent istasyonları örnek olarak gösterilebilir.

- ***Top-down***

Bu metotta beton duvarlardan önce bir miktar hafriyat alınıp kenarlara geçici stabilite amaçlı püskürtme beton uygulanır. Beton duvarların tamamlanmasının ardından tavan kısmı kapatılarak üstyapı restore edilir. Kazı işlemleri tavan tabliyesinde bırakılan boşluklardan uygulanmaya devam eder. Tünel taban döşemesi işlemin son aşamasıdır.

- ***Bottom-up***

Bu metotta mevcut zemin bir miktar kazıldıktan sonra çevredeki fore kazıklar inşa edilir ve hemen ardından tavan tabliyesi oluşturularak yüzey restore edilir. Uygun bir yerde açılan rampa üzerinden içeride kazı işleri başlar. Derine inildikçe belirli aralıklarla karşılıklı destek elemanları (kuşak) yerleştirilir. Zemin tabliyesinin dökülmesinden sonra destekler sırayla kaldırılıp diyafram duvarlar aşağıdan yukarıya gerekirse ankraj yapılmak suretiyle doğru şekilde inşa edilerek istasyon kaba inşaatı tamamlanmış olur. Kazı alanında restorasyonu gerektirecek şartlar yoksa tavan tabliyesi sona bırakılır ve inşaata açık olarak devam edilerek hız ve kolaylık sağlanabilir.

b) Delme Tünel İstasyonlar

Genelde hatların derinden seyrettiği kısımlarda tünelin açılması kesintisiz olarak devam ederken istasyon noktasında peron ve teknik hacimler inşa edilir. Bu kısımlar tamamlandıktan sonra yüzeye yakında bulunan giriş yapılarına tekrar aç-kapa metodu ile devam edilir.

3.2.1.2 Tünel İnşaatları

Araçların iki istasyon arası seyrettikleri bölgelerde zemin şartlarına, zaman ve maliyet analizlerine bağlı olarak farklı yöntemler uygulanır.

a) Delme-Patlatma Yöntemi

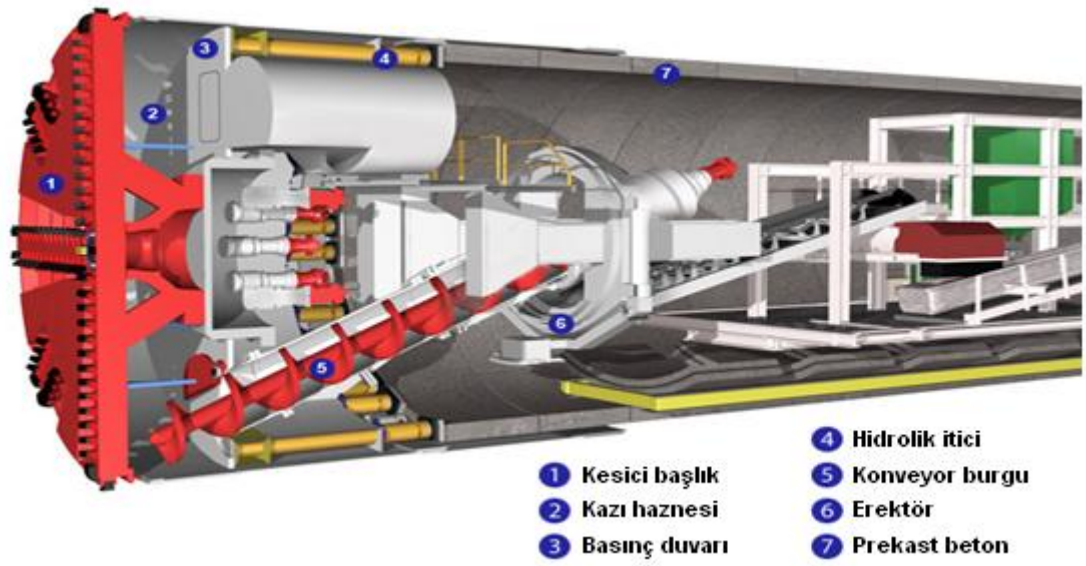
Bu yöntem özellikle kaya zeminlerde verim sağlar. Kaya kütlenin kırıcı makinelerle oyulması ya da ilgili kesimlerine belli sayıda delikler açılarak içlerinin patlayıcıyla doldurulmasıyla gerçekleştirilir. Kırmanın ya da patlatmanın ardından molozlar temizlenerek gerekli yerler traşlanır ve inşaata hazır hale getirilir. İnşaat sırasında yukardan kaya düşme ihtimaline karşın iksa ya da püskürtme betonu ile önlem alınır. Teçhizat bazındaki ucuzluğu ve her türlü kayada uygulanabilir olmasının yanında zaman alan ve zahmetli bir yöntemdir.

> Patlatma işleminde tipik olarak, bir tünel günde 1-3 rountluk (patlatma safhası) patlatma ile açılır. Her rounttaki ilerleme uzunluğu, kaya kalitesi ve kazı çapına bağlı olarak sınırlıdır. Tünelde ilerleme, ayna genişliğinin %50-95'i kadardır. Aynı zamanda ilerleme derhal iksa isteyen çok kırıklı tünel koşullarında 0,5 m olabileceği gibi geniş çaplı kazıların yapıldığı masif ve kendini destekleyebilen kayaçlarda 3 m olabilir. (Palmstorn & Berthelsen,1988) [13].

İstanbul M2 hattı inşaatında bu yöntem kazı için başvurulan son yöntem olup, Gayrettepe-Levent arası bölgedeki kaya zeminde hidrolik kırıcıların (Jackhammer) yetersiz kalması üzerine uygulanmıştır.

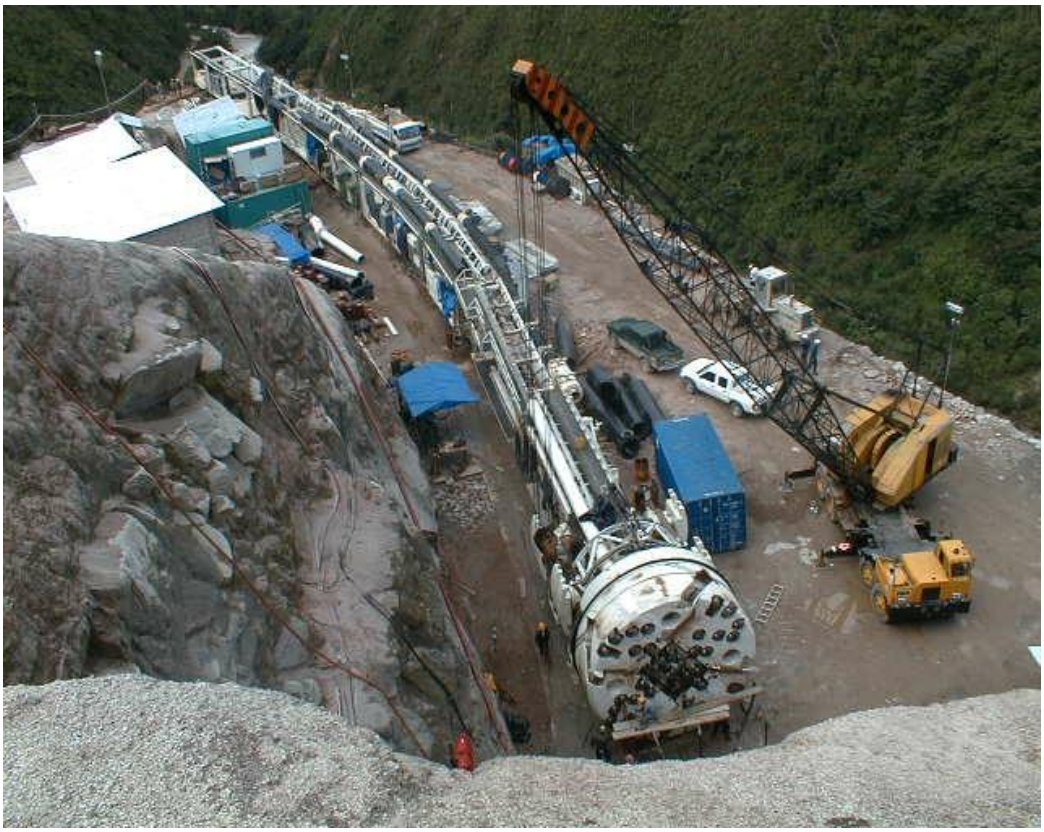
b) TBM (Tunel Boring Machine) Yöntemi

İlk olarak 1856 yılında Florida' da kullanılan ve 'köstebek' adıyla da anılan TBM ile kaya dahil her tür zeminde dairesel kesitli tünel kazısı yapılabilir. Günümüzde çapları 1 metre ile 19,25 metre arasında değişen kesitler mevcuttur. TBM yöntemiyle kazı çevresinde oluşacak bozunmalar ile yoğun kentleşme bölgelerinde meydana gelecek ses ve titreşim etkileri minimum düzeyde olurken aynı zamanda pürüzsüz bir yüzey elde edilir. Zeminin oyulması ve konveyörlerle aktarılması ile prekast betonların yerleştirilmesi eş zamanlı olarak birbirini takip eder. Şekil 3.9'da bu mekanizma tipik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9: TBM mekanizması.

Bu özelliğiyle hattın ilerlemesinde kâr sağlamakla birlikte, yüksek montaj ve nakliye maliyetleri, geçiş bölgelerinde kırılacak segmentlere geçici güçlendirme koşulu ile dezavantaj teşkil etmektedir. Yine de artmakta olan modern tünel projeleri kapsamında delme ve patlatma yöntemlerine göre işçilik ve süre bazında ön plana çıkmaktadır. Üsküdar-Çekmeköy metrosu için günde 22 m kazı yapılması hedeflenmiştir. Şekil 3.10 ve 3.11'de TBM mekanizmalarının kazıdan önce ve kazı bitimindeki fotoğrafları görülmekte.



Şekil 3.10: TBM mekanizmasının hazırlanışı.



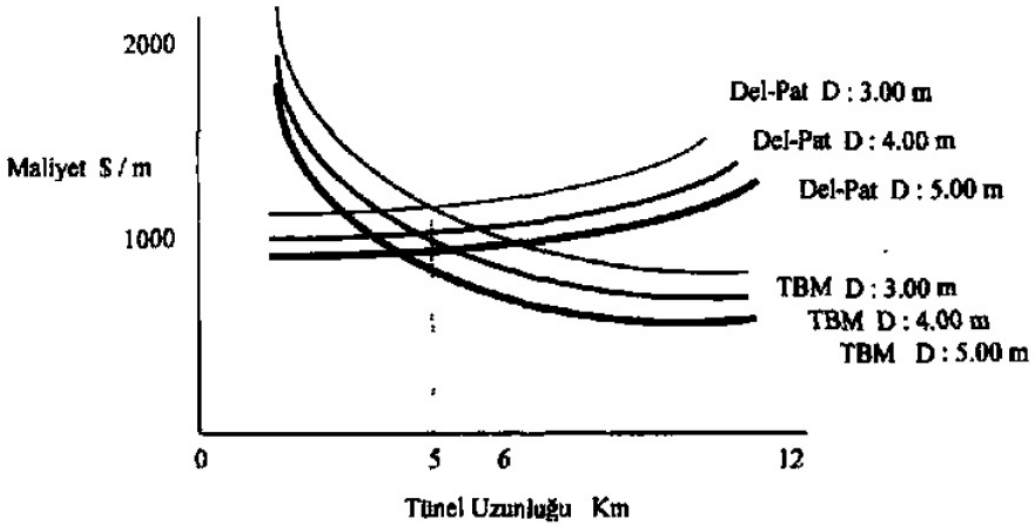
Şekil 3.11:TBM kesici başlığının tünel sonuna varışı.

Bu makineye alternatif olarak yeraltı su seviyesinin altındaki zayıf zeminlerde kullanılmak üzere TBM'in bir alternatifi olan EPBM (Earth Pressure Balance Machine)'ler mevcuttur. Bu makinelerde TBM'den farklı olarak toprak basıncı ile atmosfer basıncını dengeleyerek makinenin pozisyonunu koruyan ve güzergahtan şaşmasını engelleyen özel bir başlık mevcuttur. Kadıköy-Kartal hattı inşaatında 2 adet TBM ile 2 adet EPBM kullanılmıştır. Benzer şekilde İzmir metrosunda da EPBM kullanılmıştır.

TBM ve Delme-Patlatma Yöntemlerinin Maliyet Karşılaştırması

Herhangi bir tünel projesine başlanmadan önce yapılacak mali çalışmalar çerçevesinde kazı yönteminin belirlenmesi için baz alınacak en önemli husus tünel çapı ve uzunluğudur. Bunların yanında zemin yapısı, çalışma saatleri, işin süresi, gerekli makinelerin temin imkanı ve bakım onarım süreçleri, patlayıcı madde ile kazıyı engelleyebilecek sebepler de göz önünde tutulur.

Örnek olarak kireçtaşı formasyonu üzerinde yapılan mali analizler sonucu oluşturulan Şekil 3.12'de belirtilen grafik gösterilebilir.

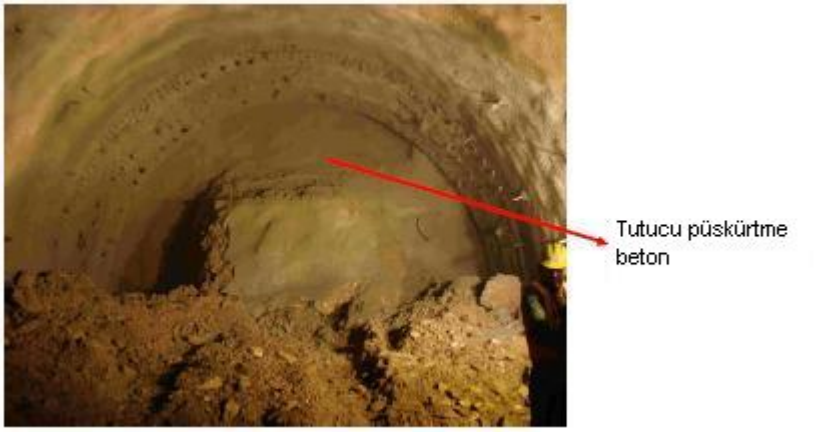


Şekil 3.12: TBM-Delme patlatma maliyet analizi [12].

Bu grafiğe göre 3 m kazı çaplı bir tünel için 5 km' den fazla uzunluklarda TBM kullanılması daha ekonomik olacaktır[12].

c) NATM (New Austrian Tunneling Method) Yöntemi

1957-1965 yılları arasında Avusturya' da geliştirilen bu metodun ana fikri kaya kütleyi kendi gerilmeleriyle sabit tutmaya dayalıdır. Hidrolik kırıcı, ekskavatör, trimer ve ankraj makineleriyle uygulanan metotta, kazıdan önce zeminin işlem esnasında ve sonrasında göstereceği davranışlar tespit edilerek uygun tedbir yöntemleri belirlenmelidir. Püskürtme beton (Şekil 3.13), çivileme (Forepole) ve çelik hasır (Şekil3.14), hasır üstü püskürtme betonu (Şekil 3.15), kaya bulonu (Şekil 3.16), kafes kemer kirişi gibi uygulamalar kazıyla paralel olarak sürdürülmeli ve özellikle kaya bulonlarının yaptığı deplasmanlar takip edilerek zeminin davranışı hakkında değerlendirme yapılmalıdır.



Şekil 3.13: Kazı sonrası tünel aynasında püskürtme betonu uygulanır [35].



Şekil 3.14: Kemerde çivileme ve çelik hasır ile stabilite işlemi [35].



Şekil 3.15: Kemerde püskürtme beton uygulaması [35].



Şekil 3.16: Kaya bulonu ve çivilerin yerleştirilmesi [35].

Şekil 3.16'da görülen çivileme ve bulonlama dahil bu işlemlerin seri şekilde gerçekleştirilmesi özellikle yumuşak ve gevşek zeminlerde büyük önem taşımaktadır. Bu tedbirlerin tamamlanmasının ardından drenaj için mebran kaplaması yapılarak son beton tabakası atılır. TBM yöntemiyle açılan tünellerin güvenlik koridorları, makas geçişleri gibi detayları da yine bu yöntem ile gerçekleştirilir.

Yöntem farklı zemin şartlarında farklı kesitlerde uygulanabilir. Küçük çaplı işlemlerde ve itinalı bir ön stabilizasyon ölçülerinin belirlenmesinde ekonomik çözümler sunar. Bunların yanında yeraltı suyunun altındaki işlerde zahmetli olması, profesyonel işçilik ve yüksek kaliteli ekipman gerektirmesi gibi dezavantajları mevcuttur. Yenikapı-Hacıosman hattının tamamının yanında, Kadıköy-Kartal hattının da belirli kesimlerinde bu metot uygulanmıştır.

3.2.2 Tünel Kesit Tipleri

Tüneller ilk kazı itibariyle (özellikle TBM metodunda) genel olarak yuvarlak kesitlere sahip olup kaba yapı inşaatı sırasında zeminin yapısına bağlı gerekli taşıma kapasitesi de göz önüne alınarak güzergah üzerindeki farklı işlevsel bölgelerin gerektirdiği ölçülere göre şekil alır. Standart bir prosedürü bulunmamakla birlikte projeci ile imalatçı şirketlerin paralel olarak çalışacağı isimler verilir ve söz konusu

hat boyunca aynı isme ait tünel kesimlerinin ölçüleri değişiklik göstermez.

3.2.3 Elektrifikasyon Sistemleri

Dünyada ilk olarak 1881 yılında Berlin' de kullanılıp, Türkiye' ye ise ilk olarak 1875 yılında Karaköy-Beyoğlu füniküllerinde kullanılmaya başlayan elektrikli trenler ekonomik ve çevresel avantajlarının yanında yüksek hızlı ulaşımın da önünü açmış, dünya çapında vazgeçilmez hale gelmiştir.

Raylı sistemlerde yaygın olarak üç farklı elektrifikasyon yöntemi kullanılmakta olup farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Ana hat demiryollarında en yaygın olan elektriklendirme sistemi 25 kV AC tek fazlı şebeke frekanslı (50 Hz) veya 750 V DC sistemdir. Metro ve hafif raylı sistemlerde de bu sistemler kullanılır ancak çoğu zaman, özellikle kara araçları ile yolların paylaşıldığı hatlarda daha düşük gerilimler ile çalışılır [14].

3.2.3.1 Konvansiyonel (Havai) Katener Sistemi

Elektrikli demiryolu araçları katener sisteminden elektrik motorları, ışıklandırma ve havalandırma sistemi için pantograflar aracılığıyla enerji alırlar. Pantografın en alttaki kontak telinin alt yüzeyine temas ederek aldığı enerji tren ya da tramvay içerisinden akıp tekerlek ve raylar aracılığıyla besleme istasyonlarına geri döner. Yüksekliği değişmekle birlikte ray üst seviyesinden kontak teline kadar olan mesafe yaklaşık 5 metredir. Şekil 3.17'de sistem örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.17: Konvansiyonel katener sistemleri.

Elektrikli olmayan trenler bu sistemden etkilenmeden aynı hat üzerinde seyredebilirler. Kuvvetli rüzgarlarda tellerin kopması, yıldırımı çekmesi ve iki direk

arası gerekli açıklığın sağlanabilmesi için köprü gibi yapıların yeniden inşa edilmesini gerektirebilmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. TGV Atlantik hatlarında kullanılan basit, Shinkansen hatlarında kullanılan birleşik,İtalyan hatlarında kullanılan ikiz, TGV Güneydoğu Almanya hatlarında kullanılan ilmekli tasarım tipleri mevcuttur. Bu sistemin şu özellikleri sağlaması gerekir;

- Tel ve sistem karakteristikleri tren hızına ve akım ihtiyacına yeterli olmalı.
- Pantograf güç toplama özelliğini en iyi şekilde kullanmak için katener hattı elemanları üniform yay sabitine ve eğilme rijitliğine sahip olmalı ve ray üst seviyesinden itibaren tel eşit yükseklikte olmalı.
- Yüksek hızlı işletmelerde ve kuvvetli rüzgarda pantografın geçişini az titreşimli ve az hareketli sağlayabilmeli.
- İşletme ömrü yeterli olmalı.
- Titreşim, korozyon, ısı vb. etkenlere yeterince dayanıklı olmalı.

İstanbul M1 hafif metrosu, M3 hattı viyadük ve depo kesiminde bu besleme sistemi kullanılmıştır. Şekil 3.18'de M3 hattı viyadük kesiminden bir görünüş bulunmaktadır.



Şekil 3.18: M3 hattı konvansiyonel elektrifikasyon sistemi.

Ülkemizden farklı örnekler olarak Bursa ve Adana metroları havai katener sistemi ile beslenmektedir.

3.2.3.2 Rijit Katener Sistemi

Bu sistem konvansiyonel katener ve 3. ray sistemine alternatif olarak kullanılmakta olup, 10-12 metre uzunluklu alüminyum bar profiller ile bakır ya da bakır alaşımlı kontak teli kombinasyonundan meydana gelir. Şekil 3.19'da görsel örnekler mevcuttur.



Şekil 3.19: Rijit katener sisteminde profil kesişim noktaları.

Son 25 yıldır Asya ve Avrupa ülkelerinde sıkça kullanılan rijit katener sistemi raylı sistem tasarımında bir çok avantaj sunar;

- Konvansiyonel hatlarda kullanılan araçlara uyumludur.
- Sağlam ve güvenlidir. Kontak telinde kopma durumu söz konusu olmaz.
- Gergi cihazlarına ihtiyaç duyulmaz.
- Herhangi bir sebeple tel kısmen yansa bile gergi olmadığı için tehlike oluşmaz.
- Kontak telinin nominal kesit alanının %50' sine kadar aşınma müsaadesi verilir. Oysa konvansiyonel katenerde bu oran %33' tür. Burada tek sınırlama pantografın alüminyum profile temas etmemesi gerektiğidir.
- Hızlı, kolay ve güvenli montaj imkanı sunar. Standart katenere göre daha yüksek taşıma kapasitesi ve kısa devre direncine sahiptir.
- 120 m kurp yarıçapına kadar önceden bükme işlemi yapılmadan monte edilebilir.
- Makas ve kruvazman bölgelerinde basit dizayna sahiptir.
- Sistemin montajı için gerekli yükseklik düşük olduğundan daha küçük

tünel kesitleri ve daha düşük maliyetler oluşurken, daha büyük hacimli araçların kullanılmasına olanak sağlar.

- Normal hatlar dışındaki konteynır terminallerinde, yükleme-boşaltma ve araç bakım hatlarında, açılabilir köprü geçişlerinde kaldırılabilir katener sistemi olarak kullanılabilir.

Şekil 3.20'de görülen İstanbul Kadıköy-Kartal metrosunda elektrifikasyon sistemi 1500 V gerilimli rijit katener sistemi ile oluşturulmuştur.

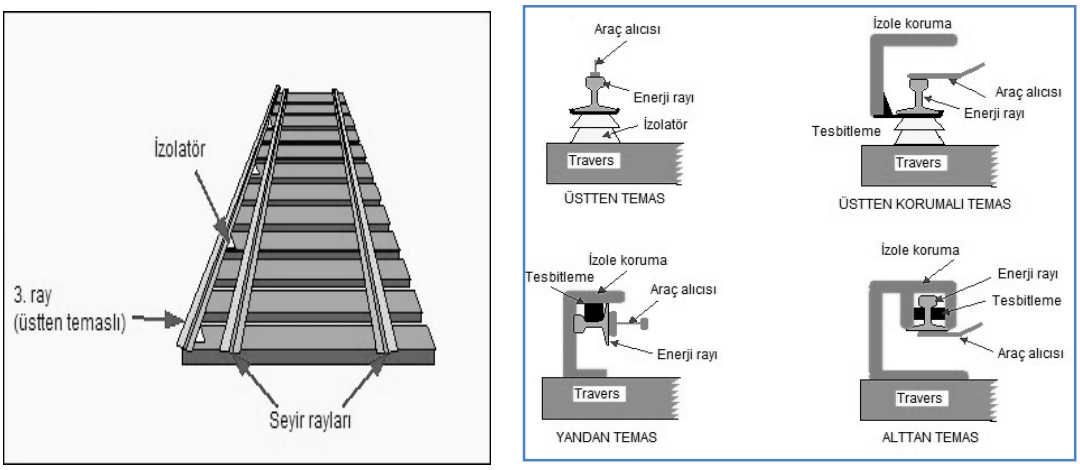


Şekil 3.20: Rijit katener sistemi İstanbul M4 hattı örneği.

750V DC ve 1500V DC metro sistemlerinde kullanıldığı gibi 3kV DC ve 25kV AC sistemler için de kullanılabilmektedir.

3.2.3.3 Üçüncü Ray Sistemi

Bu sistem trenlere enerjiyi rayların kenarına ya da arasına yerleştirilen rijit ve sürekli bir iletken (üçüncü ray) ile aktarır. 3 metre aralıkla seramik izolatörler ya da yalıtımlı konsollar ile desteklenen 3.raylardan pabuçlar ile enerji trenlere alınır. Genelde yüksek iletkenlikli çelikten imal edilir ve direncin minimize olması için seyir rayları birbirlerine kablolar ile bağlanır. Makas ve kruvazman bölgelerinde sonlandırılırlar. Şekil 3.21'de verilen farklı imalat şekilleri arasından ilk zamanlar üstten temas ile enerji alınırken son zamanlarda yandan ve alttan temaslı tasarım yapılmaktadır. Bu durum rayın dış etkenlere (yabancı cisim, yağışlar) karşı korunup işçilerin temas riskinin azalmasını sağlayacak koruyucu kaplamanın yapılmasına imkan tanımaktadır.



Şekil 3.21: 3. ray yerleşimi (solda) ve farklı temas tipleri(sağda).

Şekil 3.22'de görselleri bulunan 3. ray sistemi diğerlerine göre daha kompakt yapıda olduğundan daha küçük çaplı tünellerin yapılmasını mümkün kılarak özellikle metro hatlarında çokça tercih edilir. Ayrıca tasarım maliyeti düşük olup köprülerde yeniden tasarımı gerektirmez, görüntü kirliliği oluşturmaz. Genellikle 750 V gerilim ile işletmede kullanılan sistem elektrik çarpma riski bulunduğundan 1200 V üstü gerilmelerde ve bakım onarım işlerinde tehlike arz eder. Üstten temaslı hatlarda kar ve buz tabakasının oluşumunu engellemek için pabuçlardan özel kimyasal madde yayılımını gerektirir. Enerji raylarının rampalı olduğu bitiş ve başlangıç kesimlerinde pabuçların çarpma etkisine karşın 160 km/h hız limiti mevcuttur.



Şekil 3.22: 3. ray elektrifikasyon örnekleri.

İstanbul Hacıosman-Yenikapı metrosu ile Ankara ve İzmir metrolarında elektrifikasyon sistemi 750 V gerilimli üçüncü ray metodu ile oluşturulmuştur.

3.2.4 Araç Kontrol Sistemleri

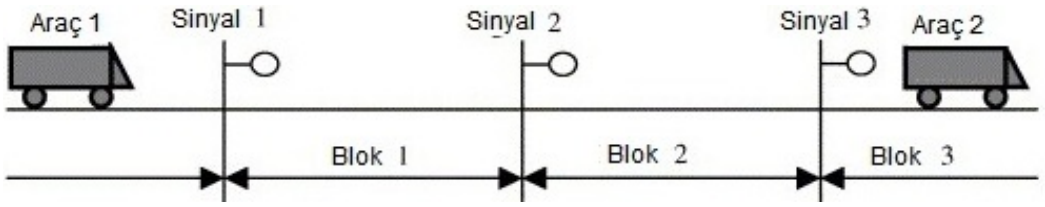
Raylı sistem araçları sabit raylar ile kılavuzlanmış olup, hızlı duruş yapmaya müsait değildirler ve genelde makinistin görüş mesafesi içerisinde duramayacak hızlarda seyrederler. Bu yüzden trafik güvenliğinin sağlanması amacıyla çeşitli sinyalizasyon sistemleri geliştirilerek işletmeler kontrol altına alınmıştır.

İlk olarak demiryollarında levhalar ve livreler ile güvenlik sağlanırken günümüzde bunların yerini ışıklandırmalar ve kabin kontrol sistemleri almıştır.

Metrolarda kullanılan sinyalizasyon sistemleri blok sistemlere dayalı olup günümüzde sabit ve hareketli blok sistemler kullanılmaktadır [14].

3.2.4.1 Sabit Blok (Fixed Block) Sistemi

Bu sistemde hat belli uzunlukta (genelde perondan perona) kısımlara ayrılır ve işletme her kısımda (blokta) en fazla 1 tren bulunacak şekilde işletilir. Trenlerden biri bulunduğu bloğu terk etmedikçe arkadaki araca hareket izni verilmez. Şekil 3.23'te sistemin görsel ifadesi bulunmaktadır.



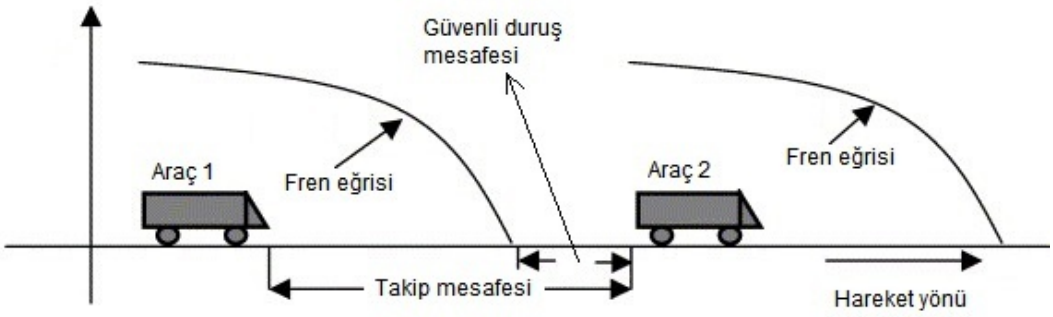
3.23: Sabit bloklu sistem**.**

Öndeki blok boşalsa bile, blok sonunun ötesinde bir trenin durabileceği mesafe kadar boş yer kalana dek beklenir. Blokların uzunlukları belirlenirken hat max. hızı, farklı tren tiplerinin hızları, hat eğimleri, trenlerin fren karakteristikleri, sürücü görüş mesafesi ve intikal süresi gibi kriterler göz önüne alınır. Yüksek hızlı ya da uzun trenlerin kullanıldığı hatlarda bu kural değişir, önde boşalması beklenen blok sayısı 2' ye çıkartılır.

Sabit bloklu sistemin en büyük dezavantajı hızlı trenler için uzun frenleme mesafesi gerektiğinden blokların da daha uzun tasarlanmasıdır. Bu durum kapasitenin düşmesine neden olur.

3.2.4.2 Hareketli Blok (Moving Block) Sistemi

Hareketli sistemlerde bilgisayarlı sistemlerce işletmedeki her aracın etrafı için Şekil 3.24'de gösterildiği gibi bir güvenli alan hesabı yapılır ve bu alana diğer araçların girişine izin verilmez. Sistem her trenin tam konumu, hızı ve yönünü takip ederek çalışır ve bu takip çeşitli harekete duyarlı alıcıların kombinasyonuyla sağlanır. Alınan veriler gerekli hesaplar yapılıp bilgi ve komut bazında bir sonraki trene iletilir. Kabindeki bilgisayarda mevcut hat haritası ile alınan bilgiler karşılaştırılıp yeniden düzenlenir. Alanlar arasında ilave bağlantı ile tren ikinci alana girdiğinde ikinci alanın bilgisayarına bağlantı kurularak trene yeni alana uygun şekilde radyo kodlarını değiştirmesi bilgisi gelir. Tünel içerisinde işlevsiz hale geldiğinden GPS teknolojisinden faydalanılamaz. Hareketli sistemlerde hat kenarı sinyalizasyonuna gerek duyulmaz, talimatlar doğrudan araçlara gelir.



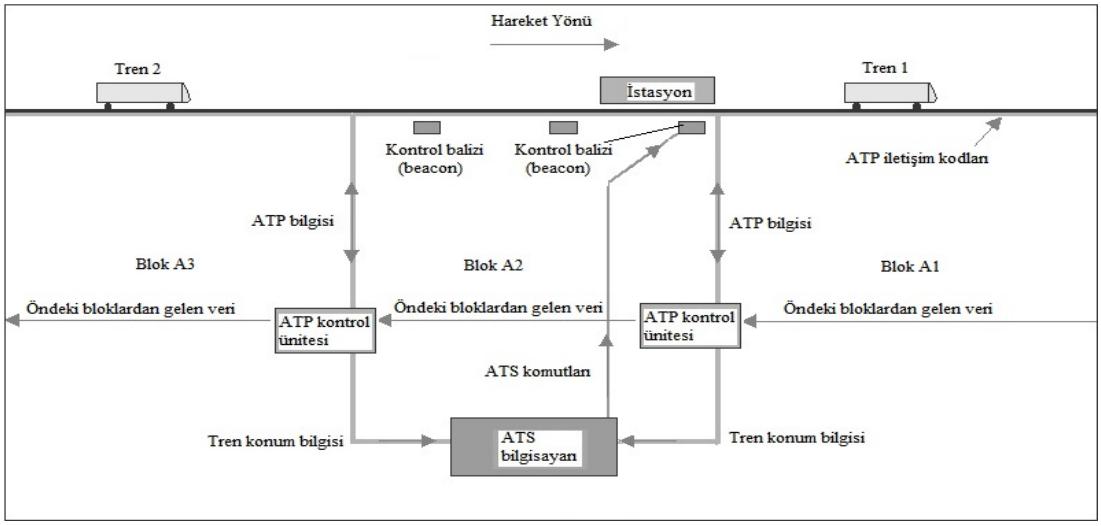
3.24: Hareketli blok sistemi güvenli takip mesafesi.

Trenlerin güvenlik mesafesini koruyarak daha yakın hareket etmeleri mümkün olur ve bu sayede kapasite artışı sağlanır. Hareketli blok sistemini sabit blok sisteminden ayrı kılan, blokların tren konum ve hızlarını takiben yer değiştirebilir olmasıdır.

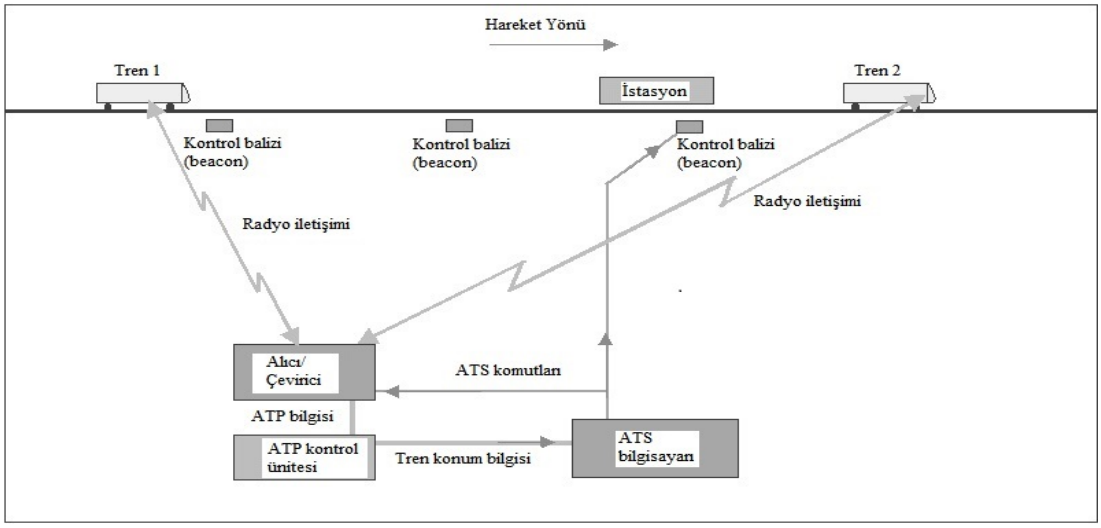
Hareketli blok sisteminde sinyal bağlantılarından birinin kopması durumunda trenlerin çarpışması riski doğar. Bu durum sabit blok sistemi karşısında dezavantaj teşkil eder.

3.2.5 Tren Koruma Sistemleri

Ana hat trenlerinde olduğu gibi metro sistemleri de her biri Şekil 3.25 ve 3.26'da görülen ve farklı sinyal döngüleri ile korunan sabit ya da hareketli bloklara ayrılarak işletilir. Sabit blok sinyalli metrolarda hattı kullanan araç sayısını arttırmak için blok boyları kısa tutulur.



3.25: Sabit bloklu sistem çalışma döngüsü



3.26: Hareketli bloklu sistem çalışma döngüsü.

Bloklar genel olarak bir takım otomatik programlar dahilinde araçların hareket edip etmemesi yönünde sürekli denetim altında tutulup güvenlikleri sağlanmaktadır.

3.2.5.1 ATP (Automatic Train Protection)

Bu sistemde trenin hız profili ve bir sonraki bloğun durumu hakkındaki verileri trene iletmek için 2 yol vardır. Biri sürekli iletim, diğeri rayların arasına monte edilen vericiler ile iletimdir. Trenin önündeki bir çift alıcı bobin veri akışını sağlayarak ATP iletişimine gönderir. Normal şartlar altında trenin kontrolü makiniste aittir. Blok sisteminin sabit ya da hareketli olması durumuna göre yol kenarı ışıklandırma ya da kabin içi bilgilendirmelerindeki ‘dur’ komutunun ihlal edilmesi ya da herhangi bir kısım için belirlenen hızın üzerinde seyredilmesi durumunda ATP devreye girerek

treni bir sonraki bloğa geçmeden durdurur.

Bildirim ve talimatların blok geçiş noktasında yapılması halinde ATP sisteminin devreye girmesinin ardından hız ve yol geometrisine bağlı olarak tren durma mesafesi kadar diğer bloğun içine girmiş olacaktır. Bu da bloğun müsait olmadığı düşünüldüğünde kazalar karşısında herhangi bir faydanın sağlanamayacağı anlamına gelir. Bu yüzden gerekli uyarı sistemleri blok birleşim noktasından, söz konusu tren durma mesafesi kadar geriye yerleştirilir veya kodlanır. Bu mesafe bindirme ya da "overlap" olarak adlandırılır.

3.2.5.2 ATO (Automatic Train Operation)

ATO sistemi sürücünün iş yükünü önemli ölçüde azaltarak şehir içi yüksek hız ve yoğunluklu raylı sistemleri etkili ve konforlu kılarak enerji tasarrufu sağlar. Bu sistemin temel gereği istasyona yanaşan trene tamamı platformda olacak şekilde nerede duracağını söylemektir. Burada ATP zaten hattın boş olduğunu doğrulayarak geçiş izni vermiş demektir. Tren boş hat üzerinde istasyona yaklaşır. İlk alıcıdan (beacon) geçtiği anda fren komutu trene gelir. Kabin bilgisayarı fren eğrisini hesaplayarak trenin doğru noktada durmasını sağlar. İstasyona giriş sırasında bu eğri hesapları birkaç kez tekrarlanarak durma noktasının daha hassas belirlenmesini sağlar. ATP ve ATC ile de bağlantılı olan bu sistem trenin belli toleranslar ile zaman çizelgesine (livre) uygun olarak hareket etmesini sağlar.

3.2.5.3 ATS (Automatic Train Supervision)

Tren gecikmelerinin işletme tarifesi üzerindeki etkilerini azaltmak için kullanılan, sistemin durumunu denetleyerek planlanan trafik şablonuna göre uygun kontrolleri sunan sistemdir. Tüm alıcı ve verici sistem elemanlarının merkezini oluşturur. Hem otomatik hem de manuel olarak trenlerin güvenli ve livresine uygun olarak işletilmesini sağlar.

3.2.5.4 ATC (Automatic Train Control)

Esas olarak bu sistem çeşitli sinyalizasyon teknolojilerinin entegresiyle meydana gelir ve hayati önem arz eder. Dünya çapında otomatik işletilen trenleri tanımlayan ve en çok metro hatlarında kullanılan bu sisteme Shinkansen hatlarında da sıkça rastlanır. Diğer tüm otomatik fonksiyonları kapsar ve bazı durumlarda manuel müdahaleye izin verir. Sistemde ATP' den alınan veriler ATS bilgisayarında toplanır

ve burada zaman çizelgesi ile kıyaslanarak trenin çizelgeye uyup uymadığı kontrol edilir. Uyumsuzluk varsa düzene sokmak için yol boyunca konulan ATO cihazları (beacon) ile araçlara komutlar gönderilir. Trenlerde bu komutlar alınarak kabin ekranlarına taşınır. Manuel sürüşe geçildiğinde ATO devreden çıkar ancak ATP güvenliği sağlamaya devam eder.

Dünyada farklı tiplerde ATC' ler mevcuttur ancak hepsi aynı prensip üzerinde çalışırlar.

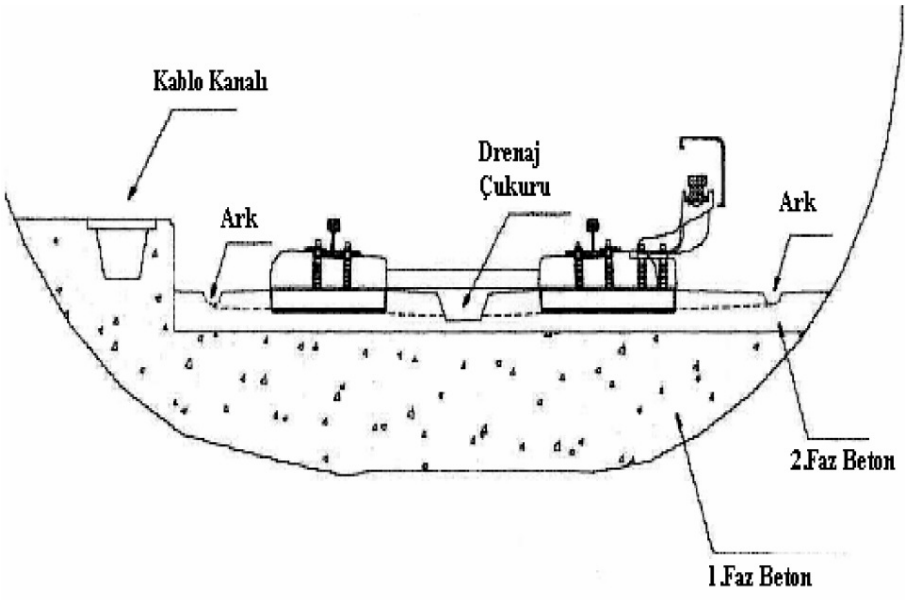
4. İSTANBUL METRO HATLARINDA KULLANILAN ÜSTYAPI TİPLERİ VE ELEMANLARI İLE YAPIM MALİYETLERİNİN İNCELENMESİ

Demiryolu inşaatlarında ana kalem teşkil eden konulardan biri de üstyapıdır. Üçüncü konu başlığı altında temel imalat ve kullanım sistemlerinden bahsedilen üç hat, bu başlıkta üstyapı tipleri ve malzemeleri bakımından ele alınacaktır.

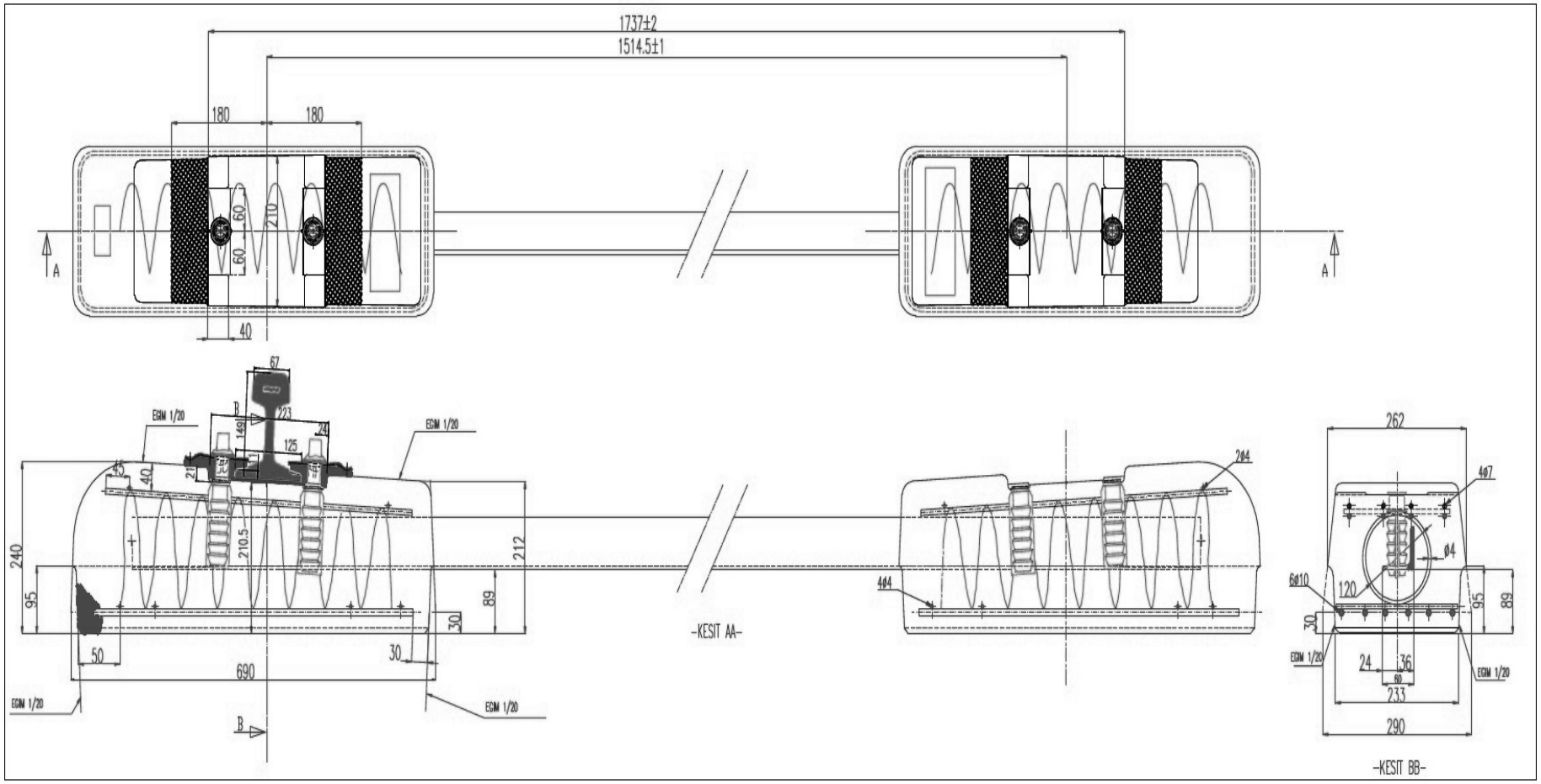
4.1 M2 (Hacıosman-Şişhane) Hattı

4.1.1 Birinci Etap Üstyapısı (Stedef)

Hattın birinci etabını teşkil eden Taksim-4. Levent arası kısım Stedef tipi üstyapı ile imal edilmiştir. Ortadan L profilli çelik bara ile birbirine bağlı ikiz blok traversler 1. faz betonunun üzerinde bulunan C30 tesviye betonu içerisinde gömülü haldedir. 1. faz betonu içerisine kaçak akımın toplanması için yüzeye yakın çelik hasır döşenir. Tesviye betonu içerisinde ortadaki drenaj kanalından aktarmayı sağlayan Şekil 4.1'de belirtilen arklar (su yolu) bırakılarak son aşamada Şekil 4.2'deki gibi ray bağlantıları tamamlanır ve kullanıma hazır hale getirilir.



Şekil 4.1: M2 hattı birinci etap üstyapı enkesiti [4].



Şekil 4.2: Stedef üst yapısı travers plan ve kesiti.



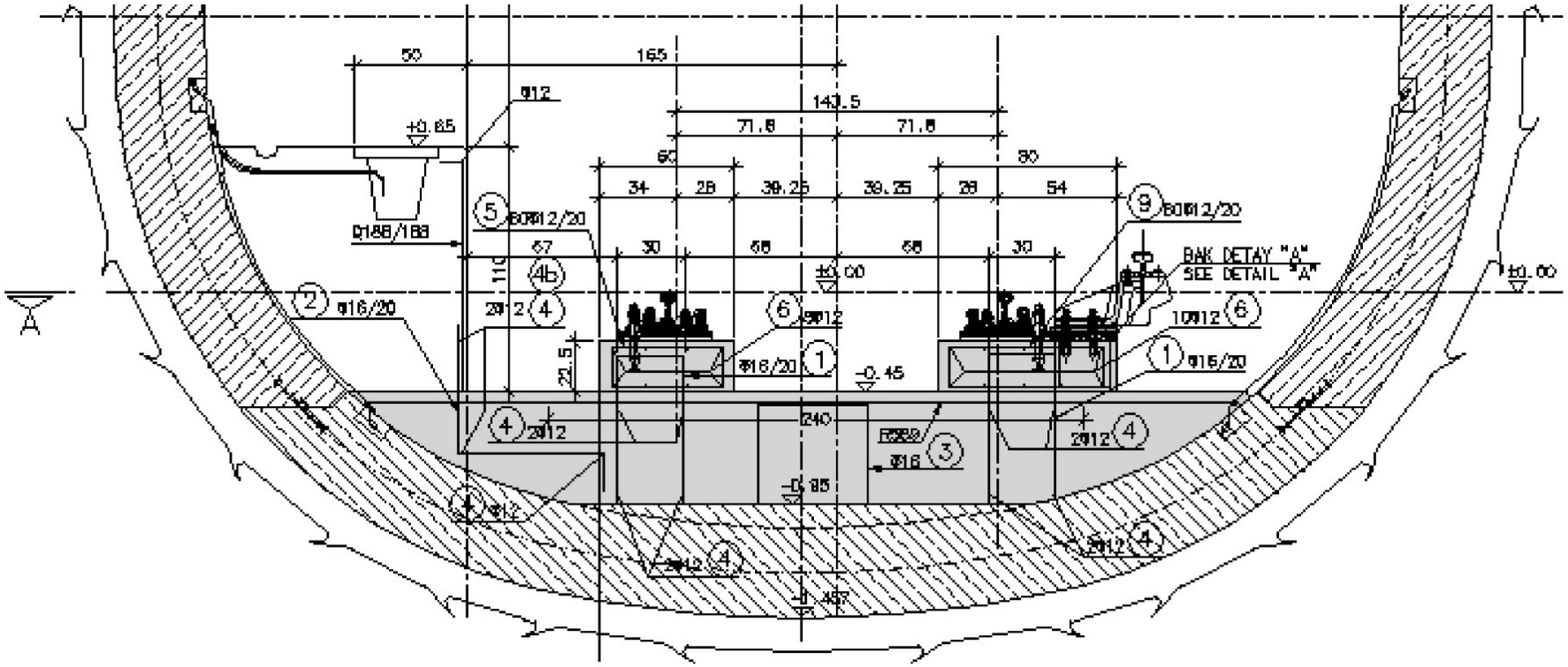
Şekil 4.3: Stedef üstyapı imalatı ray bağlantı öncesi (solda) ve sonrası(sağda).

Şekil 4.3'te M2 hattında bulunan uygulaması görülen sistemin ray bağlantısı bottom-up mantığı ile sağlanır. Traversler yerleştirildikten sonra pabuçlarda delikler açılarak bağlantı elemanı bulonları bu deliklere tespitlenir.

4.1.2 İkinci Etap Üstyapısı (Yerinde döküm)

İlk etap üzerinde yapılan bakım çalışmalarında traversli sistemin ankraj elemanlarında gevşeme ve oynamaya sebep olan çeşitli problemlerle karşılaşılmış, ciddi bakım çalışmalarına gidilmiştir.

Edinilen bu ve benzeri tecrübeler sonrasında hattın ikinci aşaması olan Şişhane ve Hacıosman uzatmalarında üstyapı tasarımında değişikliğe gidilerek yeni bir sistem uygulanmıştır. Bu yeni sistemde travers kullanımından vazgeçilerek yerinde döküm kirişli (plint) tasarım tercih edilmiştir. Tünel yüzeyinden 40 cm yukarıya kadar dökülen C20 sınıfı 1. faz (yatak) betonu üzerine 2. faz betonu olan kirişler inşa edilmiştir. Bu kirişler için C30 sınıfı beton kullanılmış olup S420 ve S500 sınıfı çelik ile donatılandırılmıştır. Yüksekliği 22 cm, genişliği üçüncü rayın bağlandığı tarafta 85 cm, peron tarafında 60 cm' dir. Birinci faz betonu içerisinde sehpalar ile sabitlenerek yüzeye çıkan, plint donatıları ile kaynaşmayı sağlayacak etriye nitelikli donatılar bulunur. Şekil 4.4'te Yenikapı-Şişhane arası bölgeye ait betonarme tasarım kesidi bulunmakta olup, ikinci etap kesidi de aynı tasarıma sahiptir. Şekil 4.5'te İ.T.Ü.-Ayazağa istasyonundan alınan bir uygulama görseli verilmiştir. Plint betonu içerisinde kiriş mantığı ile tasarlanmış boyuna donatılar ve etriyeler bulunur.



Şekil 4.4: M2 hattı üçüncü etap üstyapı kesiti.[15]



Şekil 4.5: M2 hattı ikinci etap üstyapısı.

Yerinde dökme kiriş betonu imalat adımları;

- Projeye ugun aplikasyon işlemleri ile kurp, klotoid başlangıç-bitiş noktaları, makas ve 2,5 m aralıklı eksen ve kot değerleri ile eğim kesişme noktaları işaretlenir. Montaj sonrası oluşabilecek bozukluklar beton dökümü öncesi düzeltilir.
- Yatak betonundan çıkan aderans filizleri Şekil 4.6'daki gibi bükülüp boyuna donatılar bunlara bağlanır. bağlanır. (İstisnai olarak Hacıosman-Şişhane arası kesimde tek parça nervürlü U demirler kullanılmıştır.)



Şekil 4.6: 1.faz betonundan çıkan filizlerin bükülmüş hali.

- Kullanılacak raylar askı tertibatları ile gerekli ekartman, kot, dever değerlerine uygun olarak aplike edilip bağlantı elemanları Şekil 4.7'deki gibi projede belirtilen aralıklara göre yerleştirilip askı tertibatları sabitlenir.



Şekil 4.7: Rayların proje değerlerine uygun hale getirilmesi.

- Kalıplar proje koordinatlarında yerleştirilerek Şekil 4.8 ve 4.9'da görüldüğü üzere gerekli temizlik işlemlerinin ardından beton dökülüp sıkıştırılır.



Şekil 4.8: Beton dökümü öncesi temizlik önlemleri alınması.



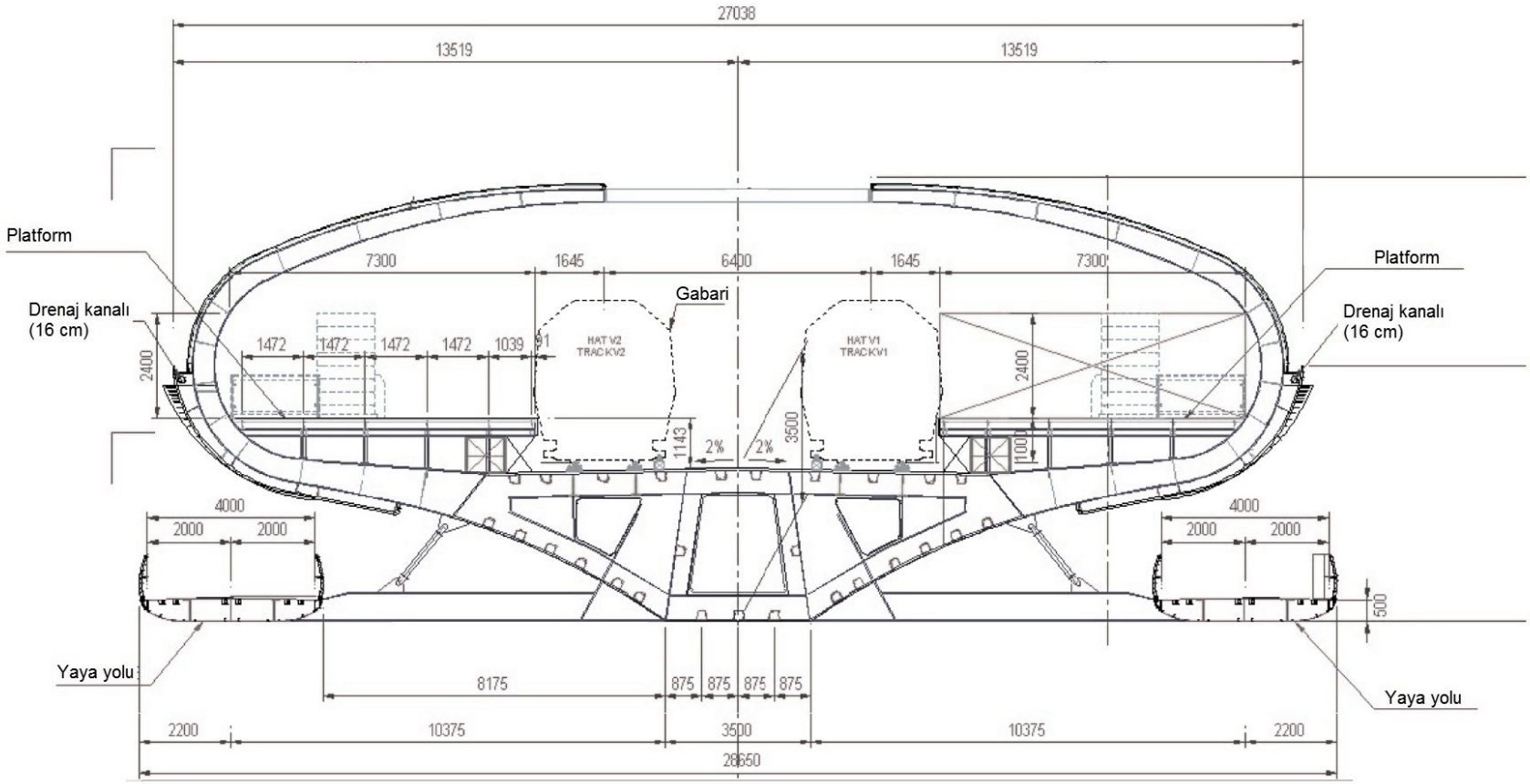
Şekil 4.9: Plint betonu dökümü.

- Askı tertibatları ile kalıplar usulüne uygun şekilde sökülerek bir sonraki adımda kullanılmak üzere temizlenir [17].

İmalat sırasında raylar ile bağlantı malzemelerinin kirlenmemesi için koruyucu, şeffaf malzeme ile sarılması, beton dökülecek sahanın her türlü kirden arındırılması ve betona çok iyi vibrasyon uygulanıp selet altı boşluklara müsaade edilmemesi büyük önem arz eder.

Bu yeni sistemde Stedef' in blokları altındaki elastik pabuçlar bulunmadığı için Nabla bağlantı elemanı ile yeterli elastiklik sağlanamayacağından, ondan daha yüksek elastikliğe sahip olan Vossloh bağlantı elemanının kullanılması uygun görülmüştür.

Şişhane-Şehzadebaşı istasyonları arasında kalan tünelsiz kesim köprü ve viyadükler ile geçilmiş olup toplam açık kesim 936 m. uzunluğundadır ve bunun 507 metrelik kısmını Şekil 4.10'da enkesiti görülen çelik köprü oluşturmaktadır. Köprü üzerinde 1 adet istasyon (Unkapanı) ve yaya yürüyüş yolları bulunacaktır. Gemi geçişlerine 90 derece dönebilen 120 m uzunluklu kesim ile izin verilecektir. Açık kesimde yüksek elastik yapıya sahip Pandrol Vanguard bağlantı elemanı kullanılarak tünelin devam eden kesimleri tekrar Vossloh ile imal edilmektedir. Bu sayede hem köprüye etkiyecek titreşimler minimuma inecek hem de çelik tabliye üzerinde oluşacak gürültü artışının önüne geçilecektir.

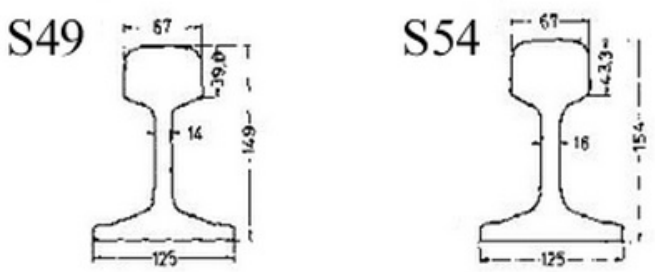


Şekil 4.10: Haliç geçişi çelik köprü kesiti [18]

4.1.3 Raylar

Hattın ilk aşaması için S49 (900A) sınıfı vinyol ray kullanılmış olup 1200 metreden küçük yarıçaplı kurplar ile istasyon giriş ve çıkış bölgelerinde ısıl işlemden geçip sertleştirilmiş S49 (900 HSH) rayı kullanılmıştır. İkinci ve üçüncü aşamaya gelindiğinde S54 (900A) sınıfı ray kullanılmış, 800 metreden küçük yarıçaplı kurplar ile istasyon giriş çıkışlarında ısıl işlemden geçip sertleştirilmiş S54 (900HSH) ray kullanılmış ve bağlantı elemanları 4 adet bulon ile ankre edilmiştir. Ray sınıf değişikliği taşıma gücünde çok etkili olmamakla birlikte elektrik geri dönüş akımlarına daha büyük direnç göstermektedir. İlk aşamada S49 rayın kullanıldığı enerji hattında, yük taşımadığından ötürü sonraki aşamalarda daha hafif olan alüminyum esaslı raylar 3.ray olarak kullanılmıştır. Taşıyıcı raylar 18 metre, enerji rayları 15 metre uzunluktadır. Üretici firma Voest-Alpine Schinen' dir. Şekil 4.11'de söz konusu iki ray tipinin ölçüleri gösterilmiş olup Çizelge 4.1'de teknik özellikleri verilmiştir.

Isıl işlemden geçirilerek sertleştirilmiş raylar kullanıldığı takdirde kaynak işlemlerine ekstra dikkat ve özen gösterilmelidir. Aksi halde kırılmalar ile karşılaşma riski artacak, bakım maliyetleri oldukça yüksek bir hal alacaktır.



Şekil 4.11: S49 ve S54 ray kesitleri.

Çizelge 4.1: S49 ve S54 raylarının teknik özellikleri [19].

Ray Tipi	Kesit Alanı A_k (mm^2)	Birim Uzunluk Kütelsi m (kg/m)	Mukavemet Momenti W (cm^3)	Atalet Momenti I($x10^{-8}m^4$)	Eğilme Rijitliği EI($x10^6$ Nm^2)	Kesme Faktörü ϒ
S49	6297	49.43	248	1819	3.82	1.33
S54	6948	54.54	276	2073	4.35	1.29

Mantarı sertleştirilmiş (900HSR) raylar 900A kalitesindeki raylara göre aşınmasında %40, kılcal çatlak derinliğinde %67 ve ondülasyon oluşumunda %50 azalma mevcuttur. Buna karşın, sert raylarda kılcal çatlaklar zamanla oluşur ve çok daha yoğun bir yüzey meydana gelse de derinlikleri daha azdır ve bu sayede taşlama sırasında birkaç defada tamamen temizlenir [19].

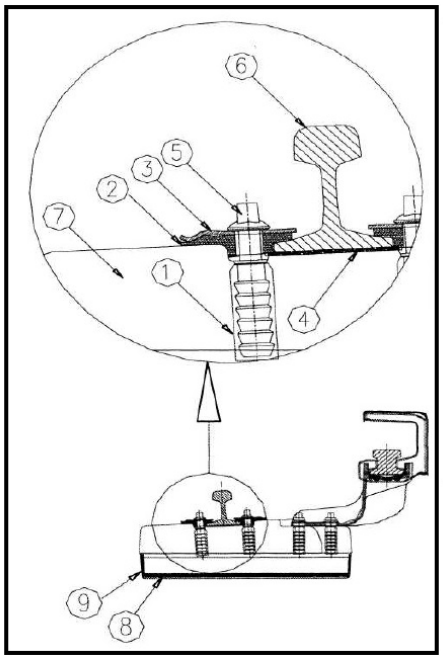
4.1.4 Bağlantı Elemanları

Rayların travers ya da plint betonuna sabitlenerek ekartman genişliğinin sürekliliğini ve araçların stabil hareket etmelerini sağlayan bağlantı elemanları, aynı zamanda hattaki elektrik akımını izole eder, hareketlerden oluşan titreşimlerin beton yüzeye ve konfora olumsuz etkilerini azaltır. Çeşitli ülkelerden farklı niteliklerde tasarımlar mevcuttur.

Bu hatta 3 farklı ülkeye ait tasarımlar kullanılmıştır.

4.1.4.1 Nabla

Fransa kökenli olan bu bağlantı tipi şekli üçgene benzer olduğu için adını yunan matematik simgesi nabladan (∇) almıştır. Düşük elastisiteye sahip olup tekerlek geçiş anında 4 mm civarında yaylanma gösterir. Farklı bağlantı elemanlarına göre daha rijit bir yapıya sahiptir. Şekil 4.12'de bağlantı elemanının parça dizilimi gösterilmiştir.



No	Adet	Adı
1	4	Plastırail Dübel
2	4	Nabla Obal
3	4	Nabla Bıçağı
4	2	Oluklu Ray Altı Pedi
5	4	Plastırail Vida
6	2	Ray
7	1	Travers
8	2	Elastomer Ped
9	2	Travers Çizmesi

Not: Şekil 3.ray monte edilmiş uzun traverstir. Miktarlar normal travers üzerindeki parçaların adetidir.

Şekil 4.12: Nabla bağlantı elemanı bileşenleri [4].

Bağlantının traverse ön montaj imkanı yoktur. Ayrıca bakım çalışmaları sırasında rayın boşa çıkarılması için tirfonun tamamen çıkartılması gerekir. Diğer bağlantı elemanlarında bu işlem için tirfonun gevşetilmesi yeterli olmaktadır. Şekil 4.13'de uygulama örneği bulunmaktadır.



Şekil 4.13: Nabla bağlantı elemanı uygulaması.

Gerekli konfor için yetersiz kalmasına karşın bu eksiklik travers altı pedler ile telafi edilmektedir. Kullanımı çok yaygın değildir. Ülkemizde M2 hattı Taksim-4. Levent arası kesimde kullanılmıştır.

4.1.4.2 Vossloh

Alman firma Vossloh Türkiye' de şehir içi ve şehirler arası raylı sistemlerde en çok tercih edilen bağlantı elemanı markası olup İstanbul ağır metro sistemlerinde ilk olarak M2 hattının ikinci aşamasında System 336 Skl-12 modeli ile yer almış, ardından M3 hattında yine aynı modelin yanı sıra System W 14 Skl-14 modeli ile de kullanılmıştır. Nabla' ya göre daha yüksek olan elastikliği ile ön plana çıkmaktadır.

System 336 Skl-12 ve Skl-24

Bu seri traversli ve traverssiz döşeme hatlar üzerinde kullanılmaya müsait olup, kurp yarıçapına göre 2 veya 4 adet ankraj bulonu vasıtasıyla hatta sabitlenen seletler üzerinde rayları taşır. Ray, T-kafalı civatalar, somunlar ve rondelalar ile gerdirilmiş gergi kıskaçlarının iki yaylı kolu vasıtası ile elastik olarak aşağıya bastırılır. Nervürlü selet, izoleli elastik selet ile desteklenir, betona ankraj civataları ve spiral şeklinde yaylı rondelalar ile sabitlenir.

Ankraj civataları 250 Nm tork değeri ile sıkıştırılır. Bu da izolasyon kovanı tepesinden yakalı rondelanın tabanı arasında 39 mm mesafe kalması demektir. Gergi kıskaçları ise 180 Nm tork ile sıkıştırılır.

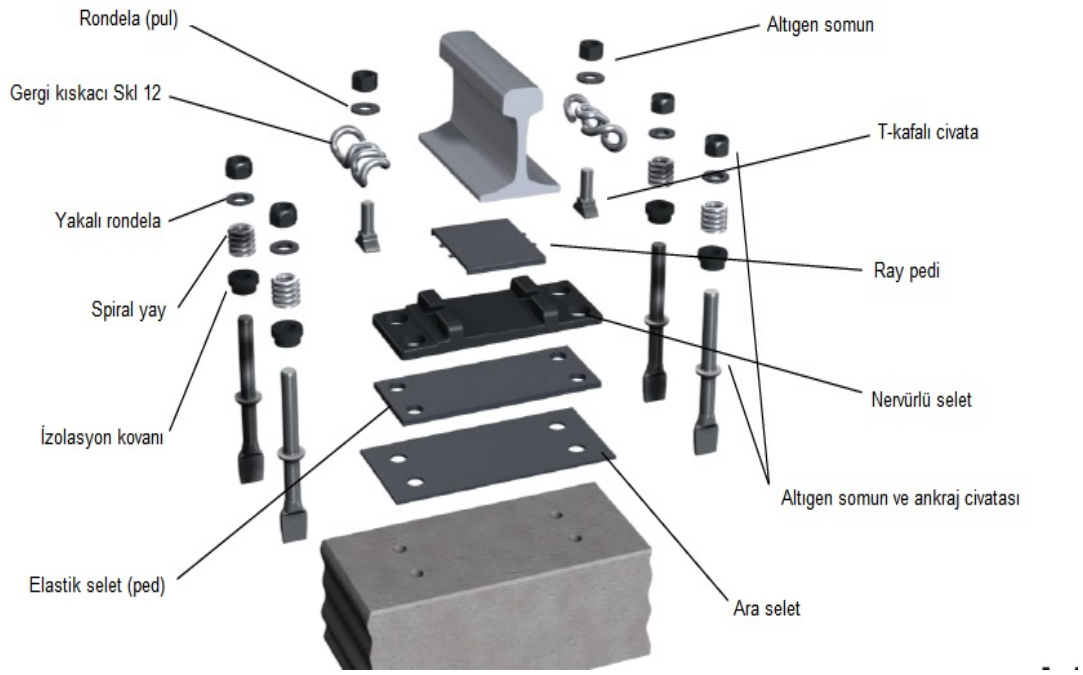
Ekartman genişliğinde ±8 mm düzeltme payı vardır. Yükseklik ayarları ise farklı

kalınlıklarda yükseklik ayar plakaları (örneğin aks yükü, kurb yarıçapı, bağlantılar arası mesafe gibi teknik ayrıntılara bağlıdır) yardımıyla yapılır.

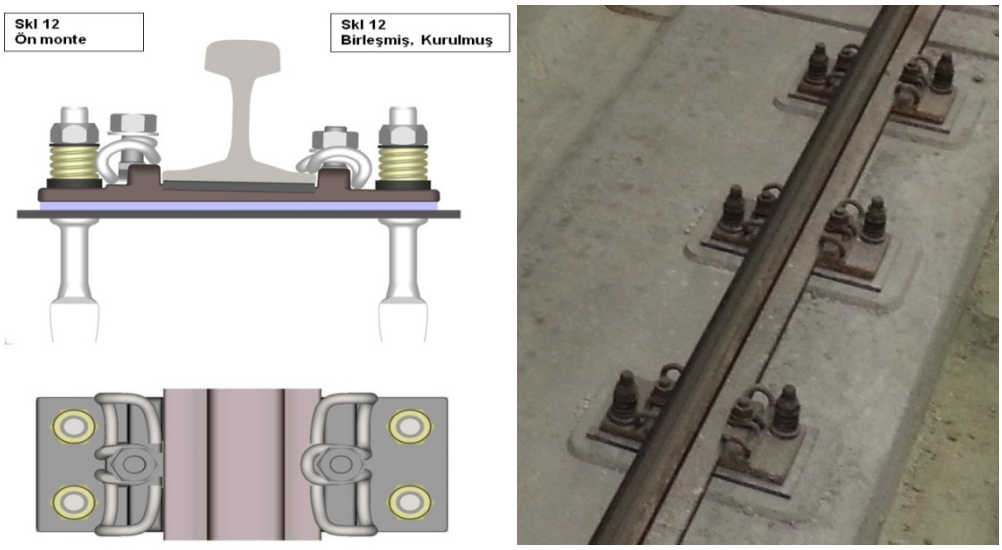
Top-down metodu ile imalat

Ankraj cıvataları alttan sokulur ve spiral biçimli yaylı rondela, yakalı rondela ile sabitlenir ve kendi kendine kilitlenen altıgen somunla tutturulur. Ankraj cıvatalarının yağını temizlemek için gerekirse, uygun bir deterjanla temizlenmelidir. Gergi kıskacının altıgen somununu yaklaşık 2-3 kez saat yönü tersine çevirerek gevşetilir. Gergi kıskacı ön montaj konumundan, montaj konumuna getirilir (yaylı kolların ray ayağı üzerinde oturması gerekir). Gergi kıskaçları, son birleştirme ve kurmaya göre sabitlenmelidir. Bağlantı sistemi doğru konumda monte edilmişse, sabit yolun betonlanmasına başlanabilir. Yeterince basınç ve sıkışma ve taban plaka altında hava kabarcığı olmaması için betonun özel işlem görmesi gerekir. Betonun yeterince sertleşmesinden sonra, ısı kuvvetlerinden kaçınmak için gergi kıskacı gevşetilmelidir [20].

Şekil 4.14-15-16'da System 336 Skl 12 ve Skl 24 sistemlerine ait görseller verilmiştir.



Şekil 4.14: Vossloh System 336 Skl 12 bağlantı elemanı bileşenleri.



Şekil 4.15. Vossloh System 336 Skl 12 bağlantı elemanı profili [21] ve uygulaması.



Şekil 4.16: Vossloh System 336 Skl 24 bağlantı elemanı [21].

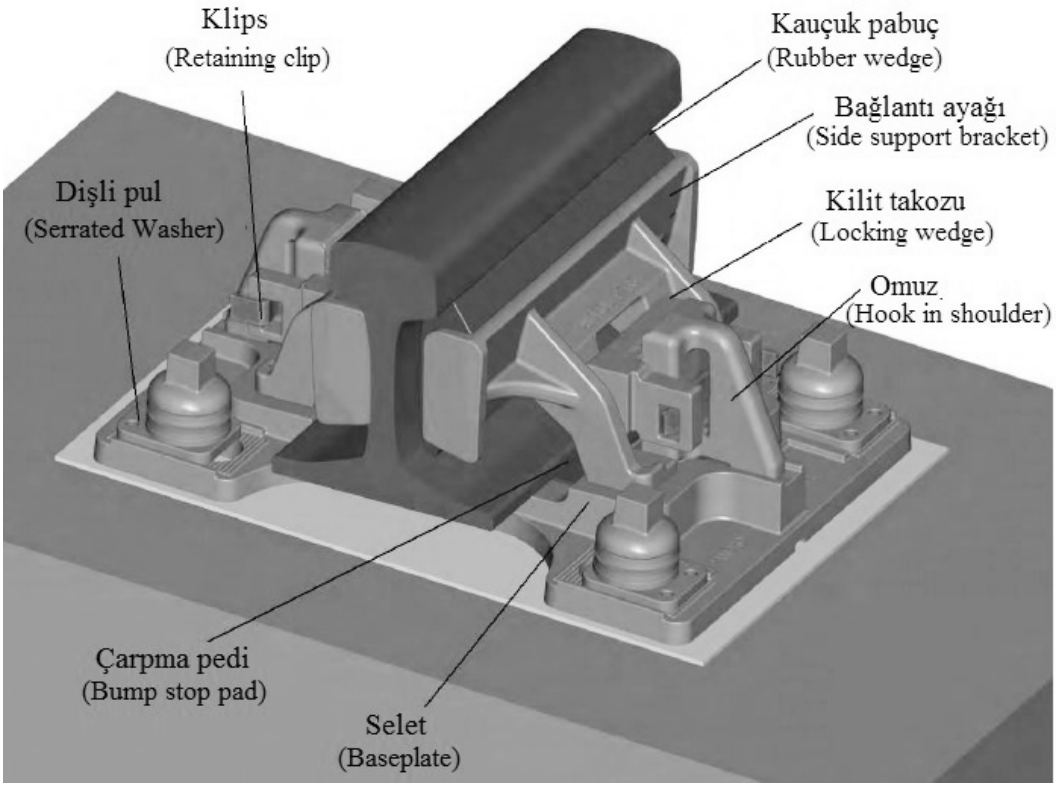
İki model arasında teknik olarak çok fazla fark olmayıp patent farklılığı mevcuttur. Hattın genelinde Skl-12 modeli kullanılmış olup, viyadük üzerinde bulunan genleşme rayı kesiminde üretici firma tarafından Skl-24 modeli kullanılmıştır. Bu modelde klipsler daha geniş yapıya sahiptir.

4.1.4.3 Pandrol

Türkiye' de fazla yaygın kullanılmayan Pandrol bağlantı elemanları İngiltere asıllı olup tarihi 1930' lu yıllara dayanmaktadır. Metro ağlarındaki ilk kullanımı M4 hattı üzerinde E-clip modeli ile gerçekleşmiştir. Ardından M2 hattı Haliç Geçiş Köprüsü üzerinde yüksek elastik özellikli Vanguard modeli ile tercih edilmiş olup imalatına devam edilmektedir.

Vanguard

Dünya çapında metro ve yüksek hızlı demiryolu hatlarında tercih edilen sistem ilk olarak Mart 2000' de Londra Metrosu Victoria Hattında kullanılmıştır. Gabaride büyütme gerekmeksizin düşeyde sağladığı düşük rijitlik sayesinde trafik altındaki büyük titreşimleri sönümleme yeteneğine sahiptir. Titreşim ve gürültüde sağladığı büyük azalma ile bu konulardaki hassas alanlar için idealdir. Ahşap ve beton traverslerde, balastsız üstyapıda, köprü, tünel ve viyadüklerde kullanıma müsaittir. Rayı çevreleyen kauçuk pabuçlar, bu kauçukları tutan ve yükleri aktaran bağlantı ayakları, kilit takozları ile destek teşkil eden omuzlardan oluşur. Güvenliği ve konforu garantileyen kilit klipsleri ile çarpma pedi mevcuttur. Bağlantı elemanı bileşenleri Şekil 4.17'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.17: Vanguard sistem elemanları.

İstanbul' da M2 projesinde kullanılan sistem Şişhane-Şehzadebaşı istasyonları arasında yaklaşık 1,5 km mesafeli Haliç geçişi bölgesinde viyadük, çelik köprü ve yüzeye yakın tarihi yapılara etkiyecek titreşimlerin ve çelik kesimde oluşacak gürültü kirliliğinin önüne geçmek amacıyla kullanılmıştır.

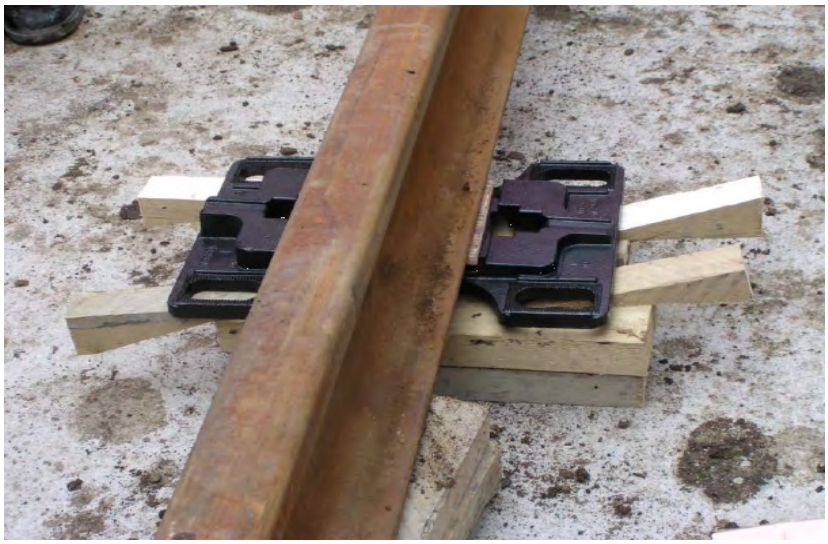
Montaj aşamaları[22]

1. Seletlerin üzerine Şekil 4.18'deki çarpma (bump stop) pedi ve onun da üzerine geçici ahşap ya da plastik plakalar yerleştirilir. Bunlar rayın kıstırılma sırasında doğru kotta kalmalarını sağlar.



Şekil 4.18: Selet üstü çarpma pedi ve shim [22].

2. Raylar seletlere yerleştirilir. Bu sırada ped, plaka ve ray arasında boşluk kalmamasına dikkat edilmeli, gerekirse Şekil 4.19'daki gibi seletler ahşap kamalar ile desteklenmelidir.



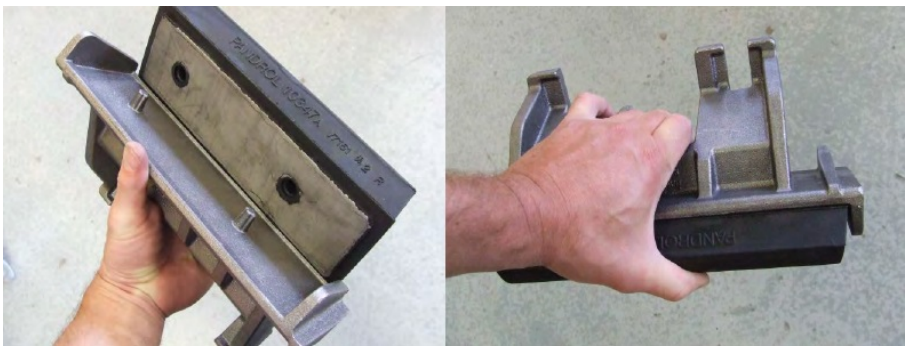
Şekil 4.19: Seletlerin kamalar ile desteklenmesi [22].

3. Seletlerin üzerine omuzlar Şekil 4.20'de görüldüğü gibi konarak geriye doğru yerlerine kaydırılır.



Şekil 4.20: Omuz (shoulder) elemanının yerleştirilmesi [22].

4. Şekil 4.21'de görülen bağlantı-destek ayakları, pimlerine yerleştirilen kauçuk pedler ile birlikte rayın iki tarafına Şekil 4.22'deki gibi selet üzerindeki yerlerine konur, raya bitişik konuma getirilir.



Şekil 4.21: Kauçuk pedli bağlantı ayağı [22].



Şekil 4.22: Ayakların yerlerine konması [22].

5. Kilit takozları Şekil 4.23'teki gibi gevşek bir şekilde omuzlar ile bağlantı ayakları arasındaki boşluğa bırakılarak iki arada kenetlenme sağlanır.

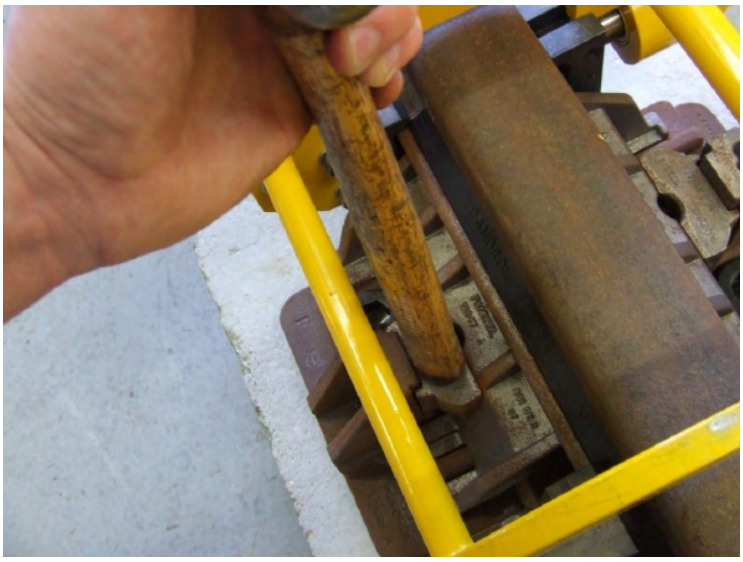


Şekil 4.23: Kilit takozunun yerleştirilmesi [22].

6. Oluşan takım iki kişi tarafından Vanguard montaj ekipmanı ile Şekil 4.24'teki gibi sıkılır. Gerekli basınca ulaşıldığında da Şekil 4.25'teki şekilde bir bar ya da çekiç ile kilit takozlarına vurularak yerlerine tamamen oturup oturmadıkları teyit edilir. İki taraftaki takozun da aynı seviyede olmasına dikkat edilir.



Şekil 4.24: Vanguard elemanının montaj ekipmanı ile sıkılması [22].



Şekil 4.25: Takozların çekiç ile kontrolü [22].

7. Hat boyunca düzenekler hazırlandıktan sonra kauçuk pedlerin rayları tamamen kavradığı teyit edilmek üzere kontrol yapılır, gerekirse sökülerek 6. adım tekrar uygulanır.
8. En son ray ile ped arasına konan geçici plaka yerinden alınır ve Şekil 4.26'da görülen renkli klipsler omuz-kilit takozu bölmelerine yerleştirilir.

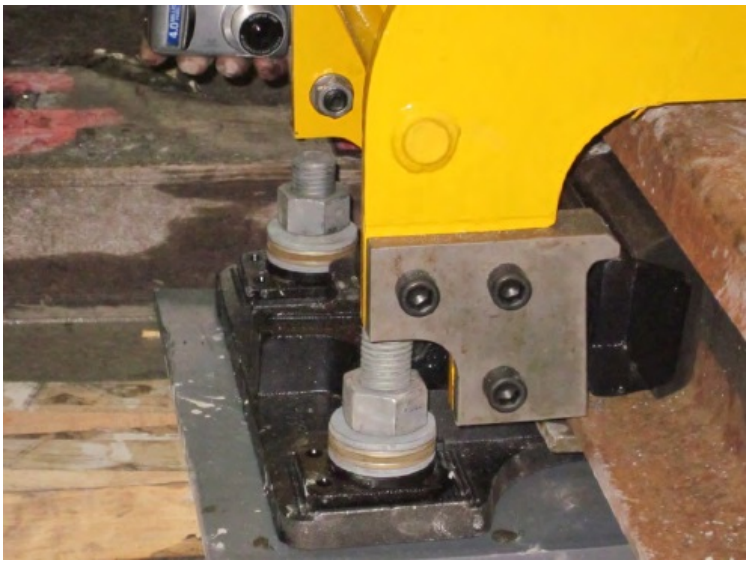


Şekil 4.26: Klipsin takılmasıyla montajın tamamlanması [22].

9. Takımların tamamlanmasının ardından Şekil 4.27 örneğindeki gibi belirlenen ankraj tipleri rondela, cıvata vs. elemanların sıralarına dikkat edilerek yerlerine selet altı plakaları ile birlikte konur. Ankrajların deliklere iyice oturduğundan emin olunmalıdır.



Şekil 4.27: Ankraj bulonu ve sıkıştırma elemanları[22].



Şekil 4.28: Sıkıştırması tamamlanan ankraj elemanı [22].

10. Hat geometrisi kesin olarak kontrol edildikten sonra takımların etrafı kapatılarak beton dökümüne geçilir. Beton vibrasyon ile yerleştirilerek selet altı plakaların tamamen betonla temas ettiğinden emin olunur. Şekil 4.29 ve 4.30'da örnek fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 4.29: Beton döküm işlemi [22].



Şekil 4.30: Beton dökümü sonrası selet altında boşluk kalmamalı [22].

11. Beton yüzeyi Şekil 4.31'deki gibi düzlenir, Vanguard elemanlarının kirlenen kesimleri temizlenir. Şekil 4.32'de görüldüğü şekilde son kez düşey ve yatay pozisyonlar kontrol edilir, beton yeterli prizini aldıktan sonra ayar ekipmanları toplanır.



Şekil 4.31: Beton yüzeyinin düzlenmesi (solda) ve Vanguard'ların temizlenmesi (sağda) [22].



Şekil 4.32: Hat pozisyonunun son kontrolü [22].

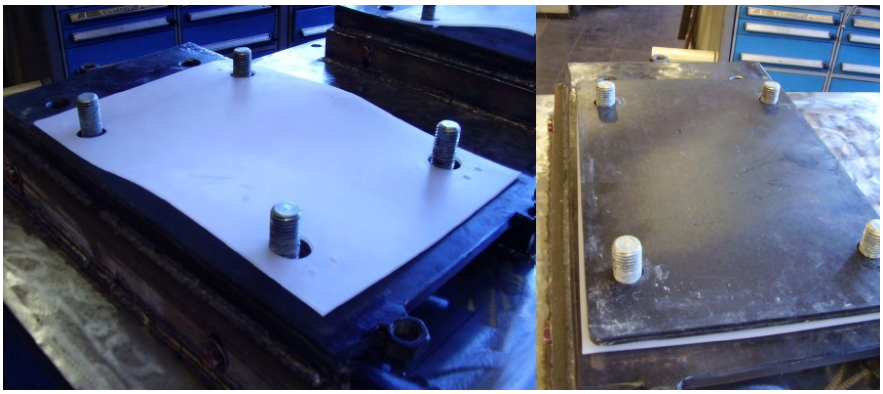


Şekil 4.33: Örnek bir Vanguard bağlantı elemanlı üstyapı [22].

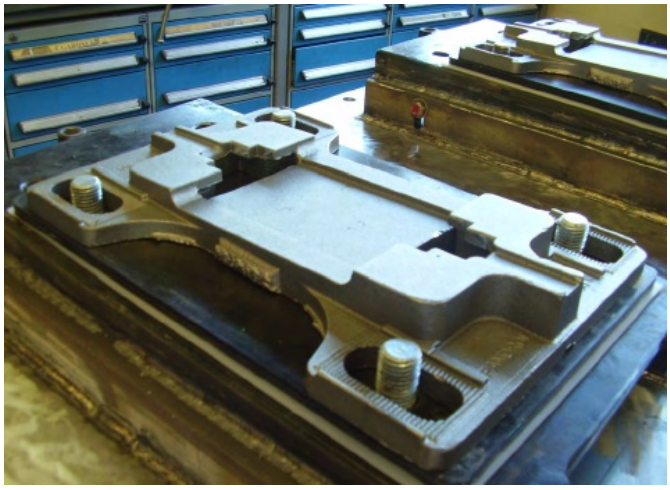
Yukarıdaki işlemler betonarme üstyapılarda yapılan top-down metodudur. Ayriyeten daha çok çelik köprülerde uygulanan bottom-up metodu mevcuttur. Burada çelik yüzeye koordinatlarında çakılan ankraj çubuklarının üzerine Şekil 4.34 ve 4.35'te görüldüğü gibi selet altı ped ve plakalar yerleştirilir. Seletler konmadan önce yüzeylerin enine ve boyuna eğimleri ile komşu mesnetler arası kot farkı kontrol edilir. Bundan sonra Şekil 4.36'da görülen seletlerden başlanarak bilindik elemanların montajına aynı prosedürle devam edilir.



Şekil 4.34: Selet altı taban yüzeylerinin ve komşu mesnetler arası eğimlerin kontrol edilmesi [22].



Şekil 4.35: Selet altı pedlerin yerleştirilmesi [22].



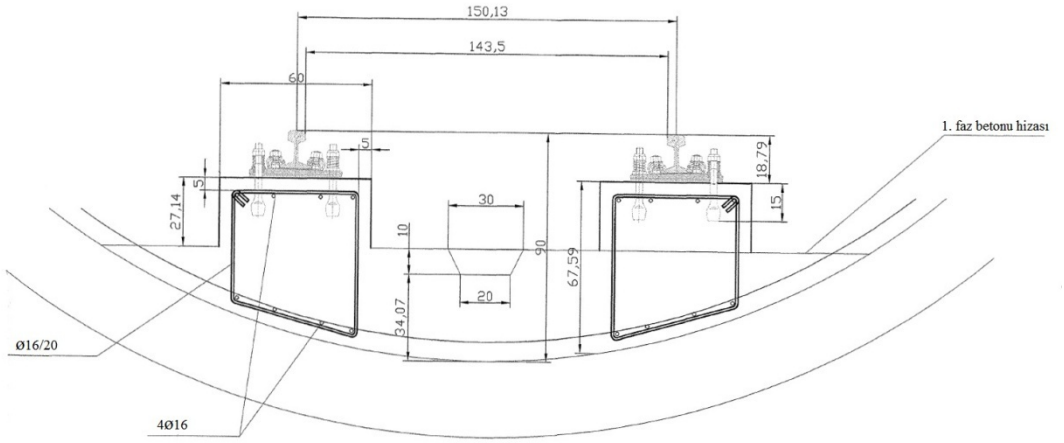
Şekil 4.36: Elemanların yerleştirilmesine seletler ile başlanması [22].

Takım üzerinde kilit takozlarının yerlerine oturması, kauçuk pedlerin yerlerinde ve rayla tamamen temasta olması, selet-ped-ray arası boşlukların gereğine uygunluğu her daim kontrol edilmelidir.

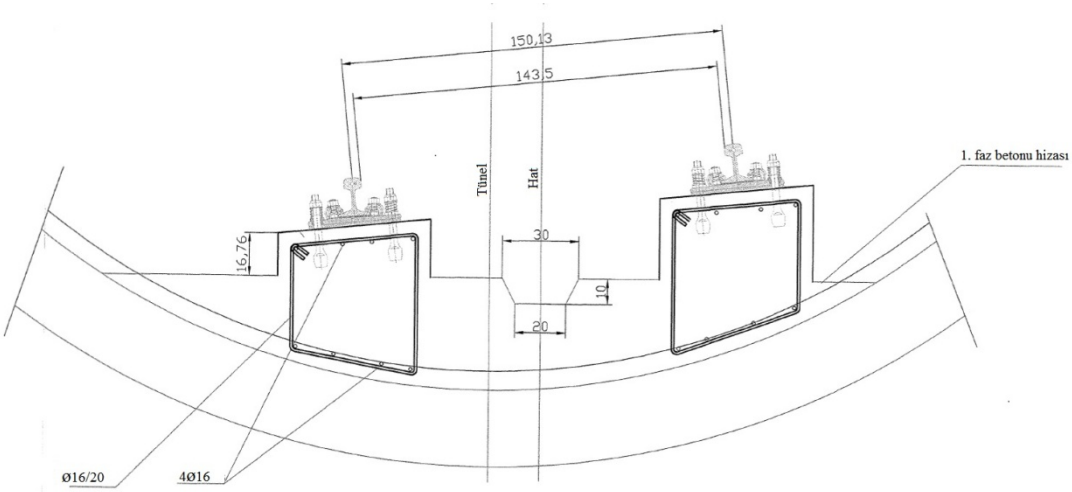
4.2 M3 (Başakşehir-Kirazlı-Olimpiyatköy) Hattı

4.2.1 Yerinde Döküm Üstyapı

Sistem esas olarak yine C20 birinci faz betonu üzerinde C30 ikinci faz plint betonlarından oluşur. Farklı olarak plint içi etriyeler birinci faz betonu ile bütünleşiktir. Şekil 4.37 ve 4.38'de M3 hattının deverli ve deversiz yerinde döküm betonarme üstyapı kesitleri gösterilmiştir.



Şekil 4.37: M3 hattı yerinde döküm betonarme üstyapı kesiti (deversiz) [23].

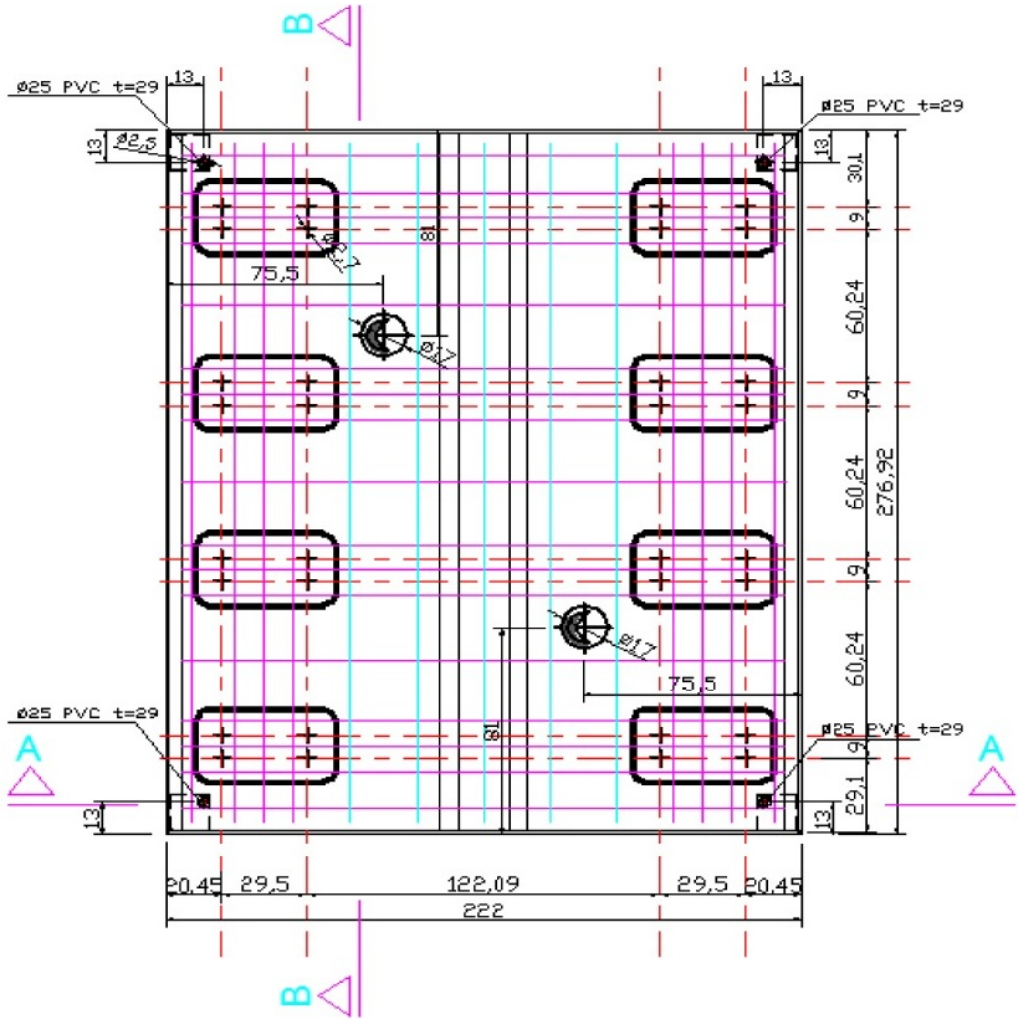


Şekil 4.38: M3 hattı yerinde döküm betonarme üstyapı kesiti (deverli) [23].

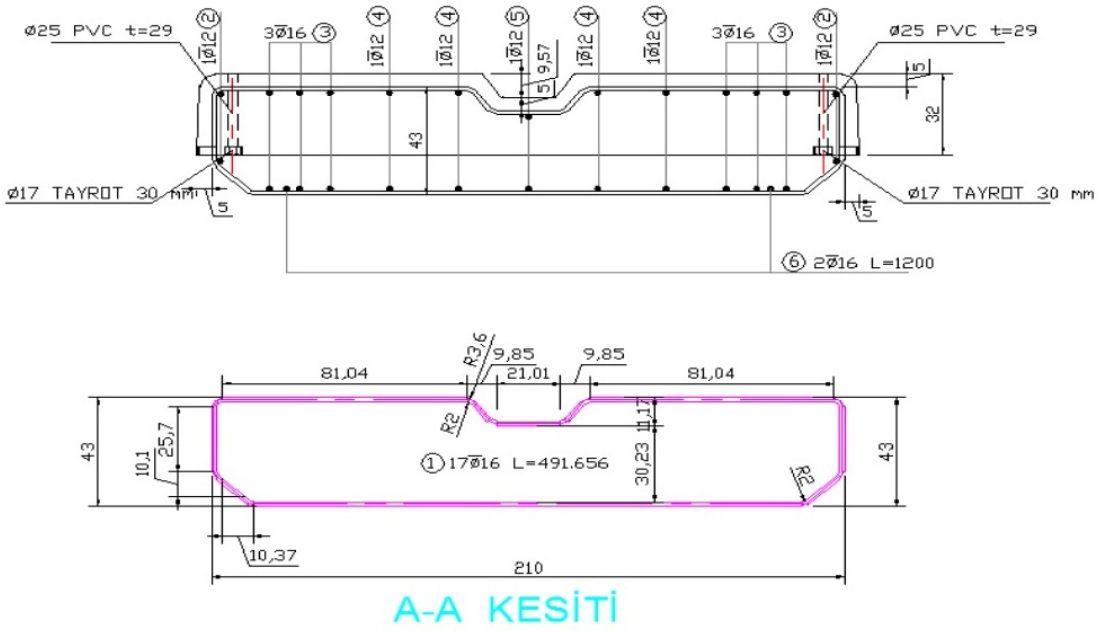
4.2.2 Prekast Panelli Üstyapı

Üstyapı inşaatı için Teknik Şartname Madde 18.4' de Doğrudan Tespitli Yol Yapılması başlığı altında, balastsız üstyapının yapımı ve kullanılacak malzemeler tariflenmiş olup prekast üstyapıya hiç değinilmemiştir. Yalnızca yerinde döküm ray altı kirişleri tariflenmiştir. Ancak daha sonrasında, fabrika ortamında kaliteli üretim standartlarında, yüksek mukavemetli betonlardan prefabrik bir demiryolu üstyapısının üretilerek uygulanması fikri benimsenmiştir. Hesap ve projeleri yapıldıktan sonra üretime geçilmiş ve TBM Segment Üretim Fabrikasında Prekast Demiryolu Üstyapısının imalatına başlanmıştır. Projedeki demiryolu hattının %46' sı prekast üstyapıdan teşkil edilmiştir. Daha sonra segment imalatının bitmesinin de etkisiyle prekast üstyapı üretimine son verilerek yeni yapılacak olan demiryolu üstyapısında yerinde döküm ray altı kirişler kullanılmaya devam edilerek demiryolu imalatları sona ermiştir [17].

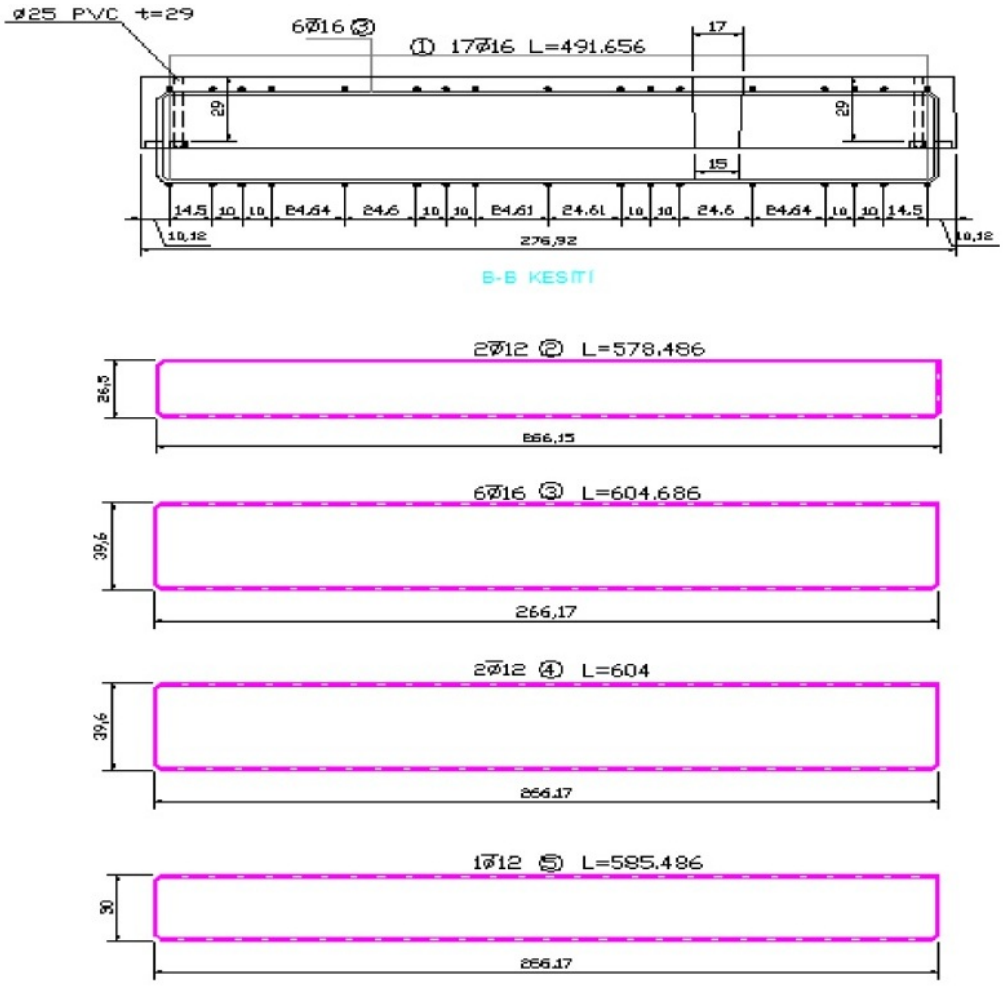
Şekil 4.39-40-41'de prefabrik panellere ait betonarme kalıp ve donatı planları gösterilmiştir [24].



Şekil 4.39: Ray altı prefabrik panel kalıp planı [17].



Şekil 4.40: Prefabrik panel betonarme en kesiti [17].



Şekil 4.41: Prefabrik panel betonarme boy kesiti [17].

Prekast üstyapı imalat adımları [17];

- Hareketli askı aparatları ile prekastlar hat boyunca serilir (Şekil 4.42).



Şekil 4.42: Prekast tabliyelerin bırakılması [17].

- Prekastların her iki tarafına ayar tijleri ve alt kenar noktalarına beton parçalar konarak geçici sabitleme sağlanır (Şekil 4.43).



Şekil 4.43: Kamalar ile geçici sabitleme [17].

- Paneller, üzerine konan raylar ve bağlantı elemanları proje kotuna getirilip sabitlenir.
- Birleşim köşelerine ham beton (topuk betonu) dökülüp milimetrik ölçümlerle nihai olarak kotlandırılır. Bu betonun kurumasıyla paneller üzerinde yürünebilecek hale gelir (Şekil 4.44).



Şekil 4.44: Topuk betonu [17].

- Kotlarda bozulma fark edilirse bu beton kırılıp yeniden düzenleme yapılabilir. Bozukluk yoksa panellerin altına akışkan, kendiliğinden yerleşip boşluk kalmayan dolgu betonu dökülür (Şekil 4.45).



Şekil 4.45: Akışkan dolgu betonunun dökülmesi (solda) ve kenarların düzeltilmesi (sağda) [17].

- Panel ortasındaki kontrol deliklerinden tamamen dolup dolmadığı takip edilir. Bu işlemin ardından yapılacak düzeltmeler zahmetli ve maliyetli olacaktır, zira bir veya birden fazla panelin tamamen kırılıp değiştirilmesi gerekecektir.

Şekil 4.46'da yukarıda sayılan adımların ardından yolun tamamlanmış hali bulunmaktadır.



Şekil 4.46: Prekast üstyapının tamamlanmış hali [17].

4.2.3 Raylar

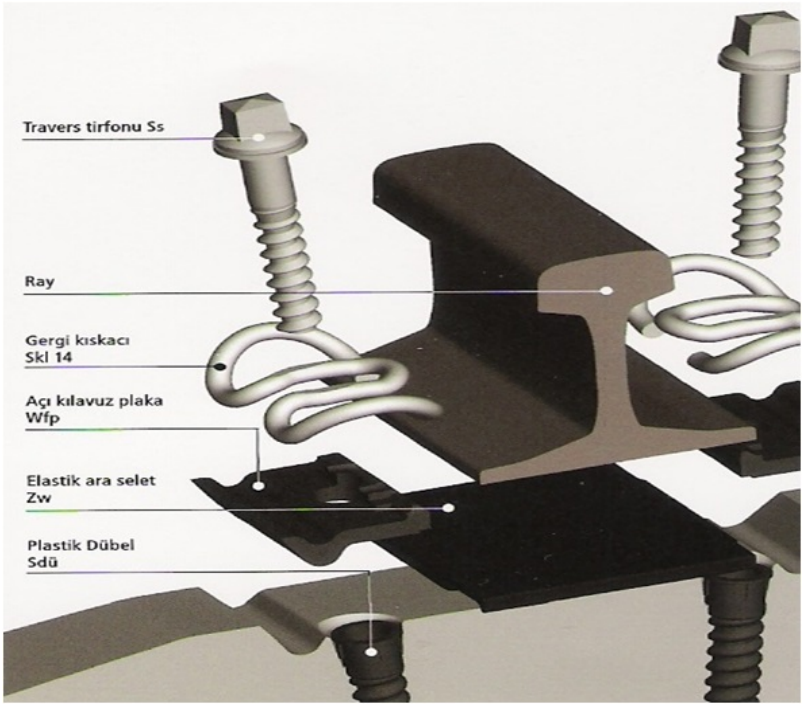
Ana hattın tamamında S49 sınıfı ray kullanılmış olup 800m'den küçük yarıçaplı kurplarda mantarları sertleştirilmiştir. Depo ve atölyede Ri 59 E2 oluklu ray mevcuttur. Enerji rijit katener ile sağlandığından üçüncü ray bulunmamaktadır.

4.2.4 Bağlantı Elemanları

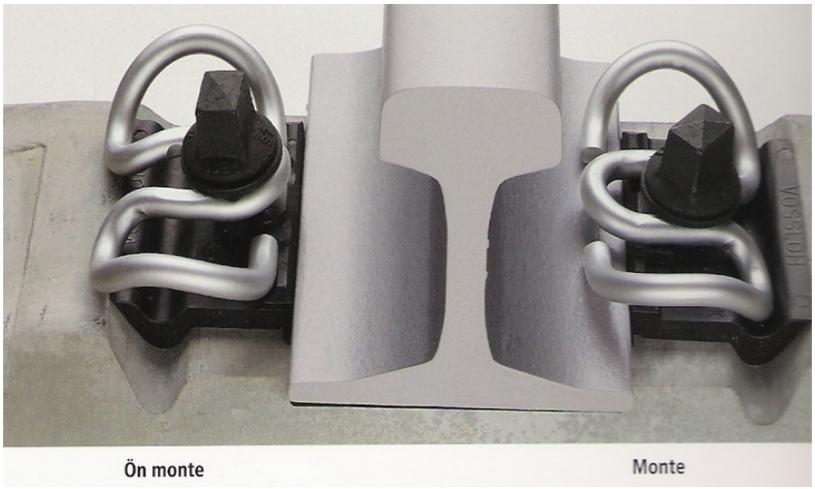
Hattın tamamında Vossloh ürünleri kullanılmıştır. Tip olarak System 336 Skl-12 ve System W14 Skl-14 kullanılmıştır. Skl-12 modeli bir önceki başlıkta tanıtılmış olup bu başlık altında sadece W14 Skl-14 modelinden bahsedilecektir.

Vossloh System W14 Skl-14

Bu seri beton traversler üzerinde kullanıma müsait olup daha az parçalı ve montajı kolay özelliktedir. M3 hattı depo sahasında kullanılmıştır. Şekil 4.47 ve 4.48'de sistem ile ilgili görseller bulunmaktadır.



Şekil 4.47: Vossloh W 14 Skl-14 bağlantı elemanı bileşenleri [33].

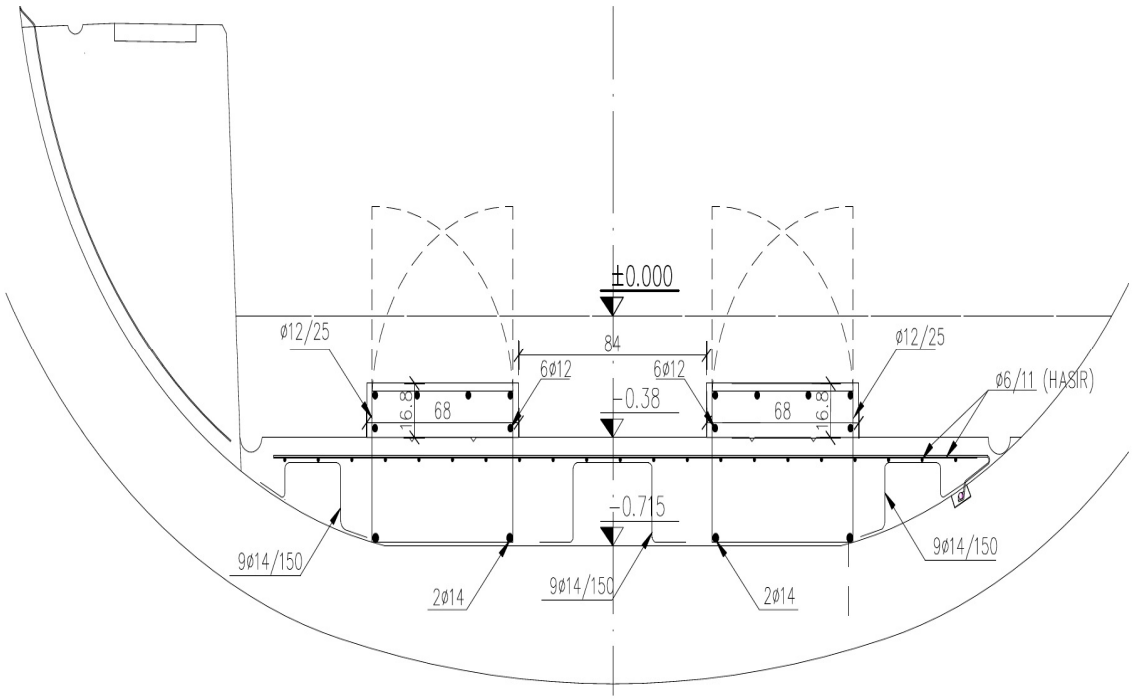


Şekil 4.48: Vossloh W14 Skl-14 bağlantı elemanı montajı [33].

4.3 M4 (Kadıköy-Kartal) Hattı

4.3.1 Yerinde Döküm Üstyapı

Üstyapı tasarımı M2 ve M3 hatlarına benzer şekilde yerinde dökme C20 sınıfı 1.faz betonu üzerinde C30 sınıfı 2.faz plint (kiriş) betonundan oluşmaktadır. Plint betonları 13 cm arayla 12 metre boyunda projelendirilmiştir. Daha önceki tasarımda yapılan rutin kontrollerde plint betonu ile 1.faz betonu arasında ayrılma ve belirgin çatlakların oluştuğu dikkate alınarak, şekil 4.49'da görülen hat tasarımında diğer hatlardan farklı olarak plint betonu yüksekliği azaltılarak genişlik arttırılmış, böylece kurplu bölgelerde oluşacak moment etkileri azaltılmıştır. Bunun yanında aynı durumdan yola çıkılarak, 1. ve 2. faz betonları arası aderans için gerekli donatı alanı, daha küçük çaplı ve düz donatıların, daha kısa aralıklarla dizilmesiyle karşılanmış, plint betonu dökümünden önce yüzey temizliğine itina gösterilmiştir.



Şekil 4.49: M4 hattı ana hat tünel kesiti.

Burada farklı olarak plint betonu dökümü öncesinde bağlantı elemanları yerine Şekil 4.50'deki geçici yapım seletleri raya monte edilerek ankraj bulonları dikey olarak sabitlenir.



Şekil 4.50: Geçici seletlerin ankraj çubuklarıyla birlikte hazırlanması.



Şekil 4.51: Plint betonu dökümü ve kuruması.

Beton prizini aldıktan sonra Şekil 4.51'deki gibi geçici seletler kaldırılarak gerçek bağlantı elemanları montajına geçilir.



Şekil 4.52: Betonun priz almasının ardından geçici seletlerin kaldırılması.

Şekil 4.52'de bağlantı elemanı montajına hazır haldeki sistemde uygulanan bu işlem bağlantı elemanlarının temizliği için ve kuru beton üzerinde çalışmanın kolaylığı açısından önem arzeder.

4.3.2 Raylar

Hattın genelinde S54 sınıf ray kullanılmış olup 800m'den küçük yarıçaplı kurplarda mantarı sertleştirilmiş ray kullanılmıştır. Maltepe'deki bakım atölyesinde Ri 59 oluklu ray bulunmaktadır. Çizelge 4.2'de S54 rayı kimyasal analiz bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.2: S54 rayı kimyasal analiz bilgileri [11].

KOSGEB LABORATUVARLARI

KİMYASAL ANALİZ RAPORU

NUMUNE (İşletme Beyanı)	No: 1	Ad: İTALYAN MALI 939705 NOLU RAY DEMİRİ

ANALİZ SONUÇLARI

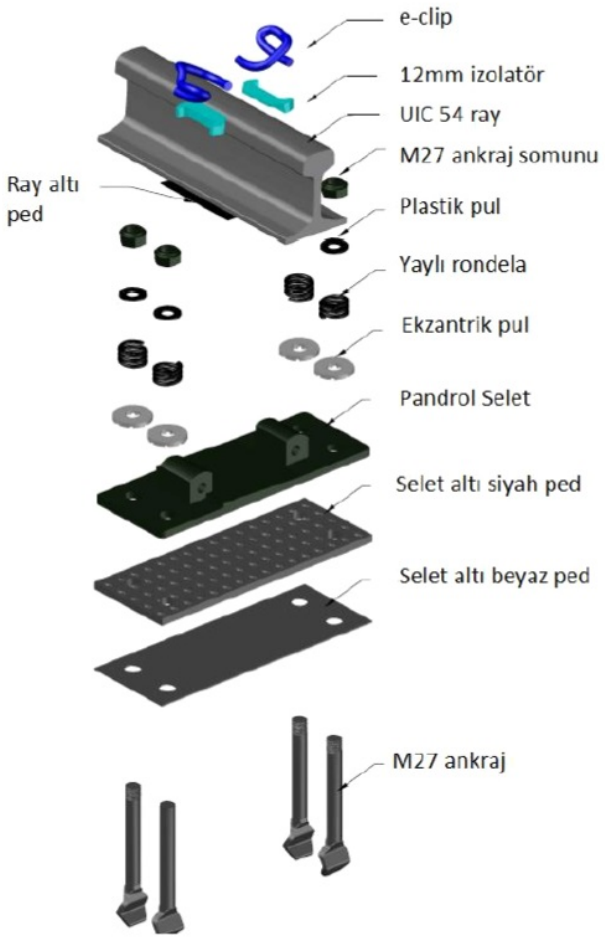
ELEMENT	%	ELEMENT	%	ELEMENT	%
Karbon (C)	0,69000	Silisyum (Si)	0,24800	Mangan (Mn)	0,99500
Fosfor (P)	0,02220	Kükürt (S)	0,00200	Krom (Cr)	0,03210
Molibden (Mo)	0,00100	Nikel (Ni)	0,01930	Alüminyum (Al)	0,00200
Kobalt (Co)	0,00528	Bakır (Cu)	0,01740	Niobyum (Nb)	0,00329
Titanyum (Ti)	0,00100	Vanadyum (V)	0,00100	Tungsten (W)	0,00500
Kurşun (Pb)	0,00200	Kalay (Sn)	0,02810	Antimon (Sb)	0,00200
		Demir (Fe)	Kalan		

4.3.3 Bağlantı Elemanları

Gelen teklifler kapsamında daha önceki projelerde ortaya çıkan problemler de göz önünde bulundurularak, alışıldık sistemler yerine yeni bir tecrübe edinmek adına bağlantı elemanı olarak Pandrol firmasının "e-clip" modeli tercih edilmiştir.

Pandrol E-clip

Vossloh' a göre daha pratik tasarıma sahip olan bu model Dubai Metrosu' ndaki kullanımı ve sağladığı memnuniyet ile dünya çapında tanınmışlık kazanmıştır. Montaj elemanları genel olarak Şekil 4.53'de gösterilmiştir.



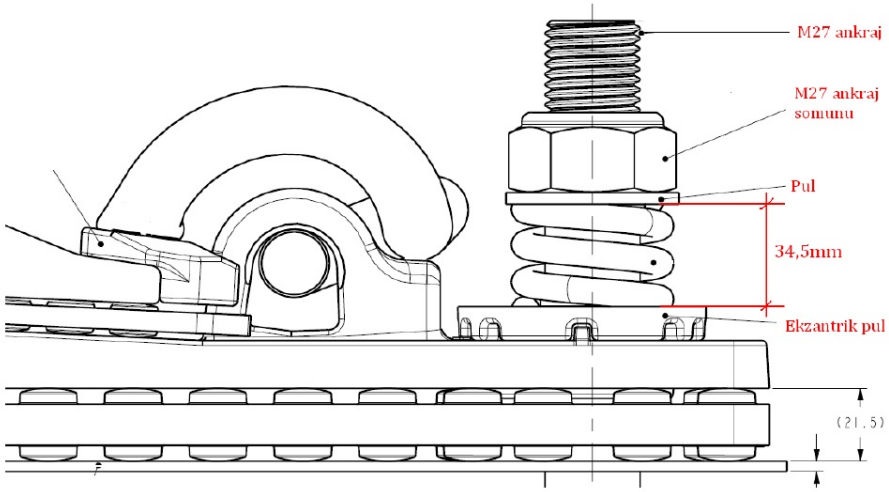
Şekil 4.53: Pandrol e-clip bileşenleri [11].

E-clip modeli İstanbul M4 hattı üzerinde firma tarafından belirlenen ana hat (14374), depo hattı (14800) ve yükseltilmiş bölüm (15031) için olmak üzere 3 farklı selet tipi ile uygulanmıştır. Üç tipte de bakım ve onarım amacıyla tamamen demonte edebilme ve yenileriyle değiştirme imkanı bulunmaktadır. Depo ve ana hat tiplerinde top-down ve bottom-up yöntemleri kullanılarak montaj yapılabilir. Selet betona yerinde geçmeler kullanılarak ankre edilebileceği gibi ankraj dübellerinin içine de harçla yerleştirilebilir. Kadıköy-Kartal projesinde ağırlıklı olarak kullanılan yöntem bu işe özel olarak tasarlanmış montaj plakası vasıtasıyla uygun konuma tutturulan ankraj dübelleri ile yukarıdan aşağıya (top-down) montaj yöntemidir. Montaj plakası işlemin ardından yeterli kuruma süresi geçtikten sonra yerinden çıkarılır.

Selet altı beyaz ped daha sonra cıvatalar üzerinden yerleştirilir, ardından selet altı siyah ped konur (Ana hatta 300 metreden düşük yarıçaplı kurplarda bu bileşenler daha kalın bir beyaz ped ve daha ince bir selet altı siyah ped ile değiştirilir.). Çelik

selet cıvataların üzerine yerleştirilerek uygun ekzantrik pullar takılır. İlk kurulumda siyah ekzantrik pul kullanılır ve üçgen işaretinin üstünde sıfır "0" konumuna ayarlanır.

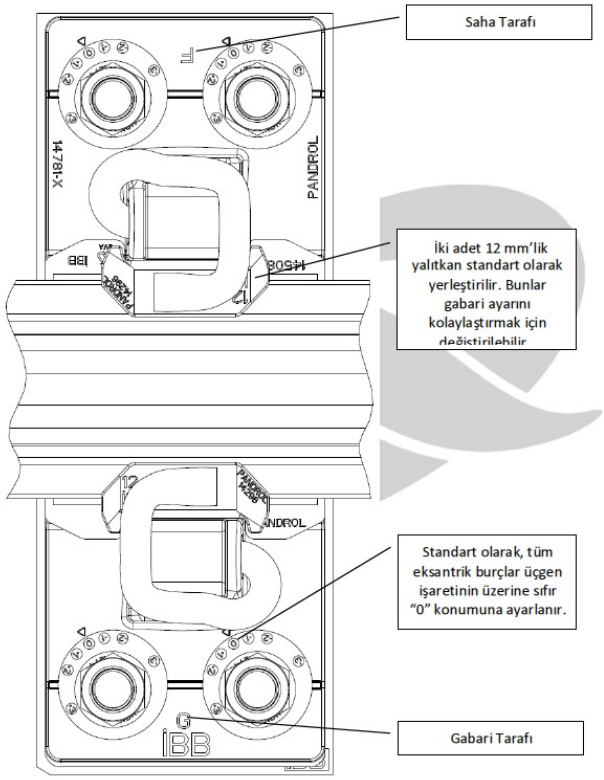
Her dübel üzerine bir sıkıştırma yayı ve bunun ardından bir plastik pul, son olarak da bir ankraj somunu takılır. Somunlar her bir sıkıştırma yayı ana hatlarda Şekil 4.54'de gösterildiği gibi 34,5 mm ± 0,5 mm dikey boyuta gelene kadar, depo hatlarında ise sonuna kadar sıkıştırılır. Somunların herhangi birinin sıkıştırılmasından önce betonun yeterli bir kürleme süresince bekletilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.54: E-clip somun sıkma prensibi [11].

Ray altı pedi selet üzerine yerleştirildikten sonra ray yerine konabilir. Daha sonra uygun izolatörler rayın herhangi bir tarafına kurulur. Başlangıç kurulumu gerçekleştirildikten sonra iki adet 12 mm' lik yeşil izolatör kullanılır. Eğer yanal ayarlama yapılmasına gerek duyulursa bu izolatörler değiştirilebilir.

Bu bileşenlerin tümü yerlerine yerleştirildikten sonra klipslerin kurulumuna geçilebilir. Şekil 4.55'de gösterilen, ekzantrik pullar üzerindeki referans ölçüleri sayesinde selet konumlarında deplase yapma imkanı daha fazla ve daha kolaydır [25].



Şekil 4.55: E-clip selet yapısı [25].

Klips montajı

1. Klips selet üzerindeki omzun içine klipsin topuğu yalıtkanın üzerinde kalacak şekilde takılmalıdır.
2. Kanca, Panpuller üzerindeki üst deliğe yerleştirilir.
3. Klipsin ana kemerinin üzerindeki kancayı Panpuller' ın ayağı taban plakasının üzerine gelecek şekilde omuza karşı yerleştirilir.
4. Şekil 4.56'daki gibi ilerlemeyene kadar nazik bir şekilde göğse doğru çekilir.



Şekil 4.56: Göğse doğru çekerek klipsin monte edilmesi [25].

Klips demontajı

1. Kanca Panpuller üzerindeki alt deliğe yerleştirilir.
2. Kanca küçük çentik omuz üstünde yer alan Panpuller' ın altında kalacak şekilde klipsin ana kemerinin üzerine yerleştirilir.
3. Bu işlem gerçekleştirilirken hemen arkada hiç kimsenin bulunmadığından emin olunduktan sonra klips yerinden çıkana kadar nazik bir şekilde göğse doğru çekilir.

Yükseltilmiş bölümlerde omuzlar selet kullanımının aksi yönünde doğrudan ana destek elemanlarına kaynak yapılır. Omuzlar gabari ve ray yatak genişliğinin kontrol edilmesini sağlamak üzere kalıcı olarak doğru konuma kaynak yapılır. Kauçuk ray altlığı ray kurulumu gerçekleştirilmeden önceki konumuna yerleştirilir. Daha sonra yeşil izolatörler rayın herhangi bir tarafındaki konumlarına yerleştirilir ve klipsler kurulur[25].

Hem anahat hem de depo seletleri her bir ray yatağı için yanal olarak gabari ayarının ±9 mm, toplamda ise ±18 mm sınırları içinde ayarlanabilmektedir. Bunun için ekzantrik pulların ayarlanması ve izolatörlerin değiştirilmesi olarak iki farklı yöntemin bir arada kullanılması gerekmektedir.

4.4 Makas ve Kruvazmanlar

Demiryolu araçlarının bir yoldan diğer bir yola geçmesini sağlayan tesise makas denir.

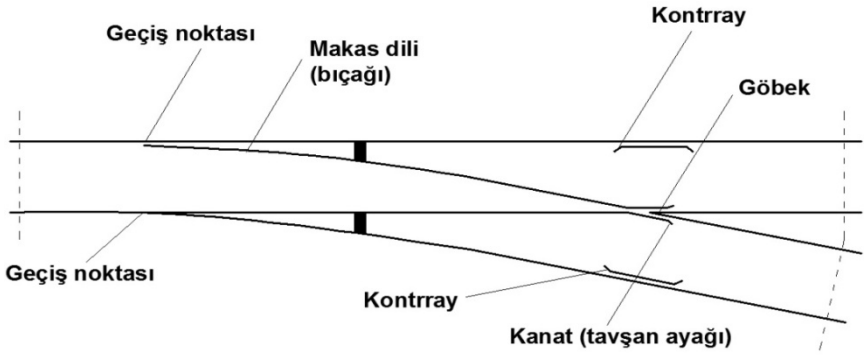
Demiryolu araçlarının karayolu araçlarından önemli bir farkı da dümenlerinin olmayışıdır. Bu sebeple demiryolu araçlarının yol değiştirmeleri de yine yollar üzerine döşenen makaslar vasıtasıyla olur. Basit bir makas 3 bölümden oluşur:

- Dil Takımı
- Ara Raylar
- Göbek ve Kontrraylar

Yapısal ve fonksiyonel açıdan birçok makas çeşidi mevcut olup İstanbul ağır metro hatlarında basit, çapraz s ve İngiliz olmak üzere 3 farklı tip makas kullanılmıştır.

4.4.1 Basit Makas

Araçların üzerinde bulundukları güzergahtan bir başka güzergaha ayrılmalarını sağlayan tek yönlü makaslardır. Şekil 4.57'de temel bileşenleri ve 4.58'de örnek bir uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 4.57: Makasın temel parçaları.

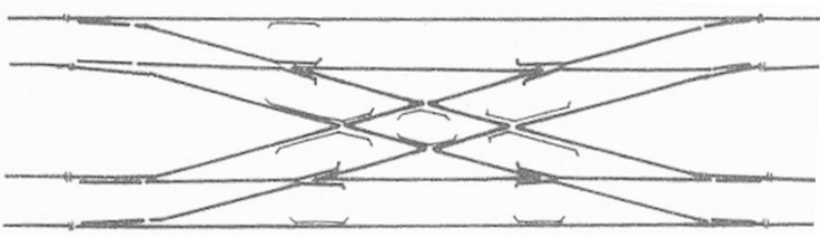


Şekil 4.58: Basit makas uygulaması.

Dış raylar sabit, iç raylar hareketlidir. Sağ kollu ve sol kollu olarak yönleri ifade edilir. Tüm makas tiplerinin temelini burada belirtilen parçalar oluşturur.

4.4.2 Çapraz S Makas (Kutrani)

Paralel iki hat arası 4 yönlü geçişin sağlanabildiği makas tipidir. 4 basit makas ve 1 kruvazmandan oluşur. Şekil 4.59 ve 4.60'da ilgili görseller bulunmaktadır.



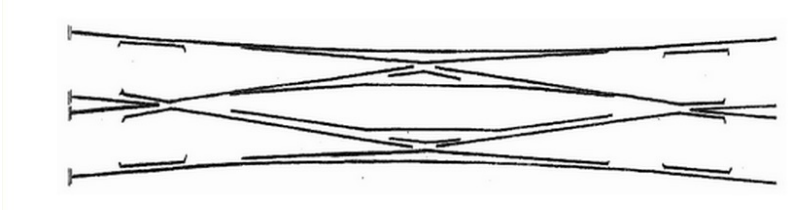
Şekil 4.59: Çapraz S makas şematik gösterimi [29].



Şekil 4.60: Çapraz S makas uygulaması.

4.4.3 İngiliz Makası (Tam çapraz makas)

Bu makas da kutrani makası işlevi görür. Araçların 4 yönlü hareket etmelerine imkan sunar. Çapraz S makastan farklı olarak daha kompleks bir yapıya sahip olup maliyeti yüksektir. Kruvazman ihtiyacı bulunmadığından dar alanlarda ve birbirine yakın platformlar arası geçişlerde büyük kolaylık sağlar. Şekil 4.61 ve 4.62'de ilgili görseller bulunmaktadır.



Şekil 4.61: İngiliz makası şematik gösterimi [29].



Şekil 4.62: İngiliz makası uygulaması-M3 Olimpiyat Parkı deposu.

İstanbul metrolarındaki tek örneği M3 hattı Olimpiyat Parkı depo sahasında bulunmaktadır.

4.4.4 Kruvazman

Kruvazmanlar iki farklı hattın kesişme noktası olup herhangi bir yön değiştirme fonksiyonları yoktur, araçlar mevcut istikametlerinde hareketlerine devam ederler. Kesişen hatlar kurplu ya da düz olabilir. Ekartman genişliklerinin aynı olması koşulu aranmaz. Şekil 4.63'de çeşitli uygulamaları mevcuttur.



Şekil 4.63: Farklı yapıda kruvazman uygulamaları.

Her makas güzergah koşulları ve işlevlerine göre farklı yarıçaplarda imal edilebilir. Taşıyıcı katmanların (travers, plint, prekast.. vs.) imalatı ve bağlantı elemanlarının seçiminde bu kriterler göz önüne alınmalıdır.

4.5 Araç Tipleri

İstanbul metrolarında kullanılan araç tipleri ve özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3: İstanbul metrolarında kullanılan araçlar.

	M2		M3	M4
	ALSTOM	HYUNDAI ROTEM	ALSTOM	CAF
Menşei	Fransa	Güney Kore	Fransa	İspanya
Model	1999	2008-2009	2009	2010-2011
Boş Ağırlık (t)	118,18	134,30	135,30	148,00
Boy (m)	85,92	86,28	86,20	89,71
Genişlik (m)	3,05	3,05	2,78	3,01
İç yükseklik (m)	2,08	2,12	2,105	2,10
Yolcu Kapasitesi*	936	950	966	1032
Motor Gücü (kW)	152	150	185	152
Besleme Voltajı (V)	750	750	1500/1800	1500
Min. Kurp Yarıçapı (m)	80	80	80	80
Max. Hız (km/h)	80	80	80	80
Hızlanma İvmesi (m/sn^2)	1,03	1,10	1,10	1,10
Frenleme İvmesi (m/sn^2)	1,04	1,10	1,04	1,10

**Ayaktaki yolcu sayısı 6 kişi/m2 alınmıştır.*

4.6 Hatların Birim İnşa Maliyetleri

Bu başlık altında İstanbul'daki 3 ağır metro hattının sözleşme kalemlerinde yer alan üstyapı birim inşa maliyetlerine yer verilecektir.

4.6.1 M2 hattı üstyapı birim inşa maliyetleri

M2 hattına ait 23.01.2002 onaylı, Stedef tipi ve yerinde döküm üstyapıya ait, belediye ve yüklenici firmalardan temin edilen birim fiyat analiz tabloları Ek Çizelge A.1-2-3'da belirtildiği gibidir. (sa/hr=saat/hour, gö/ls=götürü/lump-sum)

Hacıosman-4.Levent arası yerinde dökme olarak imal edilmesi müteahhit firmanın uygulama tercihi olup, fiyat analizinde değişikliğe gidilmemiştir.

Haliç geçişi ilk aşamada betonarme viyadük olarak projelendirildiği için, geçişin çelik köprü olarak değiştirilmesi ve çıkan tarihi kalıntılar sebebiyle Ek Çizelge A.4-5'de yer alan üstyapı tasarımı ve bağlantı elemanı pozunda revizyona gidilmiştir.

Yapılan revizyon sonrası çelik tabliye, viyadük ve tarihi eser alanında balastsız

üstyapı imalatı için Ek Çizelge A.6-7-8'de verilen ilave fiyat analizleri ile sözleşme yapılmıştır.

Taksim-Yenikapı arası kesime ait üstyapı inşaatı ile ilgili verilen fiyat analiz tablolarından çıkartılacak özetle Çizelge 4.4'de yer alan toplam birim fiyatlar tablosu oluşturulabilir.

Çizelge 4.4: M2 hattı üstyapısına ait toplam birim fiyatlar listesi.

Birim fiyat no	Analiz adı	Toplam birim fiyat ($/m)
803	1.faz betonu	*118,72*
805	Doğrudan tespitli yol yapılması	*280,71*
806 *(rev. öncesi)*	Köprüde doğrudan tespitli yol yapılması	*172,76*
807.A	Ray döşenmesi	*276,99*
807.B *(rev. öncesi)*	Köprüde ray döşenmesi	*395,88*
YFZ-124	Köprüde Vanguard kullanımı	*2628,69*
YFZ-125	Viyadükte Vanguard kullanımı	*1582,34*
YFZ-126	Antik bölgelerde Vanguard kullanımı	*1127,98*

Analiz tarihleri ve söz konusu tarihlerdeki enflasyon oranlarını göze alarak, ilk beş kalemi göze almaksızın, Vanguard kullanımı hakkındaki birim fiyatlara bakacak olduğumuzda çelik köprüde kullanılacak sistemin malzeme bedeli olarak diğerlerinin (viyadük, antik bölge) neredeyse iki katına mal olduğunu görüyoruz. Bu noktada çelik köprülerde ses ve titreşim izolasyonunun ne derece önem arz ettiğini fark etmek mümkündür.

4.6.2 M3 hattı üstyapı birim inşa maliyetleri

Bu hat üzerinde yerinde dökme ve prefabrik olmak üzere iki tip üstyapı tasarımı kullanılmıştır. Ek Çizelge A.9 ve A.10'da yerinde döküm ile inşa edilen kısma ait birim fiyatlar verilmiştir. 1.faz beton hesabı "Doğrudan tespitli yol yapılması" pozu dahilinde yapılmış olup ayrı fiyat analizi bulunmamaktadır. Sözleşme kapsamında prefabrik üstyapı imalatı, dolayısıyla da bunla ilgili fiyat analizi bulunmamakla birlikte yüklenici firmanın tercih ve inisiyatifi doğrultusunda Ek Çizelge A.11'de belirtilen 01.02.2005 onaylı birim fiyatlar ile yapılmıştır.

Bu fiyat ton bazında verildiğinden, metraj hesabı yapılırken 1 m rayın ağırlığı ile hesaplama yanılgısına düşülmemeli, 1 m yolda 2 m ray kullanıldığı unutulmamalıdır.

Fiyat analizlerinden anlaşılacağı üzere, yerinde döküm üstyapı birim metre maliyeti imalat yeri ve yüklenici kâr ilaveleri göz edilmeksizin 234.00 $ iken, prekast üst yapı

imalatı 2 katından daha yüksek bedel teşkil etmektedir. Prekast panelli üstyapılar çok daha kısa zamanda inşa imkanı sunmakta olduğundan, tasarım tipine karar verilirken işin istenilen tamamlanma süresi ile maliyet unsurları değerlendirmeden geçirilmelidir.

4.6.3 M4 hattı üstyapı birim inşa maliyetleri

Bu hatta üst yapı tasarımı tek tip olup yerinde dökme betonludur. Donatılandırma, bağlantı elemanı ve kiriş boyutları üzerinden farklılıkları bulunup, işlevsel açıdan aynı nitelikleri taşır. Ek Çizelge A.12-13-14'de üstyapıya ait 14.01.2008 onaylı birim fiyat analizleri bulunmaktadır.

Verilen çizelgelerden aynı başlığı taşıyanların arasında kıyaslama yapacak kişilerin, 5. başlık altında bahsedilecek faktörler de dahil olmak üzere her hattın birim fiyatlarının farklı yıllarda hazırlandığını unutmamaları gerekir. Ayrıca M3 hattına ait Ray Döşenmesi analizinde ölçü biriminin metre değil, ton olarak alındığına dikkat edilmelidir.

5. İNCELENEN HATLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

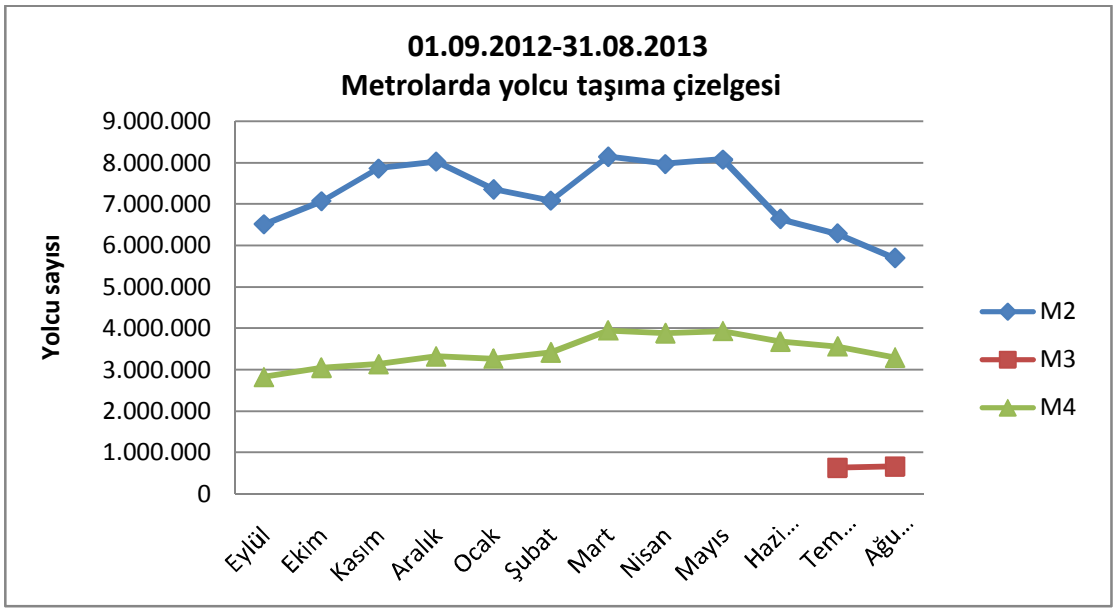
Bu bölümde İstanbul' daki 3 ana metro hattının farklı faktörler ele alınarak karşılaştırılması ve değerlendirilmesi yapılacaktır.

5.1 Taşımacılık

İstanbul'daki üç ağır metro hattı arasında yıllık en çok taşımacılığın yapıldığı hat M2 hattıdır. Bunda hat güzergahının bir çok kritik aktarma noktalarından, iş ve alışveriş merkezleri ile üniversitelerden geçmesinin rolü büyüktür. Bunun yanında eski ve alışıldık bir hat olmasının da katkısı olacaktır.

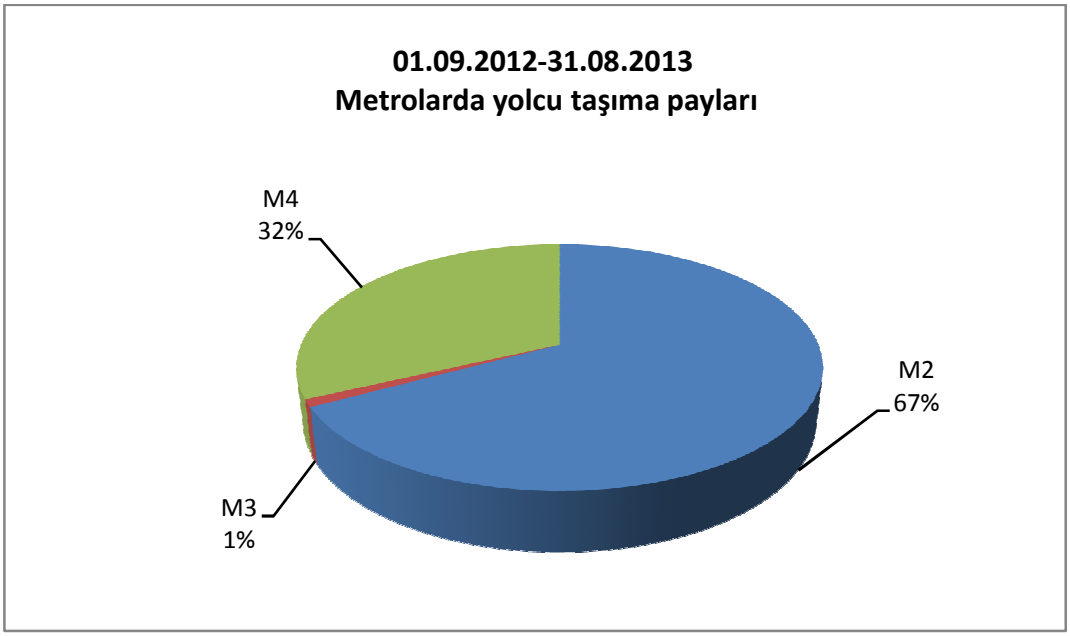
M4 hattı henüz yeni bir hat olmasının yanında Anadolu yakasındaki daha düşük iş merkezi ve üniversite yoğunluğunun da etkisiyle, daha düşük bir taşıma hacmine sahip olsa da henüz işletmede olmayan Ayrılıkçeşme istasyonundan Marmaray'a yapılacak entegrasyon sonrası bu hacmin belirgin şekilde artacağı şüphesizdir. Zira Marmaray aktarması ile Yenikapı feribot iskelesi, şehirler arası trenler, banliyo hatları ile M2 ve M1 hatlarına ve bu hatlardan yapılabilen diğer aktarmalara, dolayısıyla Avrupa yakasının birçok noktasına daha kısa sürede ve daha konforlu erişim mümkün hale gelecektir. Devam etmekte olan Pendik-Kaynarca uzatması ile devamında yapılması planlanan Tuzla uzatması ve Sabiha Gökçen Havaalanı-Pendik hattı da taşımacılığı arttıracak faktörlerdir.

Şekil 5.1'de İstanbul Ulaşım A.Ş.'den temin edilen 1 yıllık yolcu taşıma verileri ile hazırlanmış grafik ve Şekil 5.2'de aynı veriler üzerinden yapılmış, hatların yıl içerisinde sahip oldukları taşımacılık oranları bulunmaktadır.



Şekil 5.1: Metro hatlarına ait 1 yıllık taşıma çizelgesi.

Çizelgeye göre M2 hattı Şubat ayı ve yaz döneminde yolcu sayısında düşüş olduğu gözlemlenmektedir. İstanbul Teknik Üniversitesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi gibi iki büyük öğrenci merkezinin hat üzerinde ve yakınında bulunması göz önünde bulundurulursa bu düşüşün sömestr ve yaz tatillerindeki öğrenci talebinin yokluğundan ya da azalmasından kaynaklanabileceği düşünülebilir.



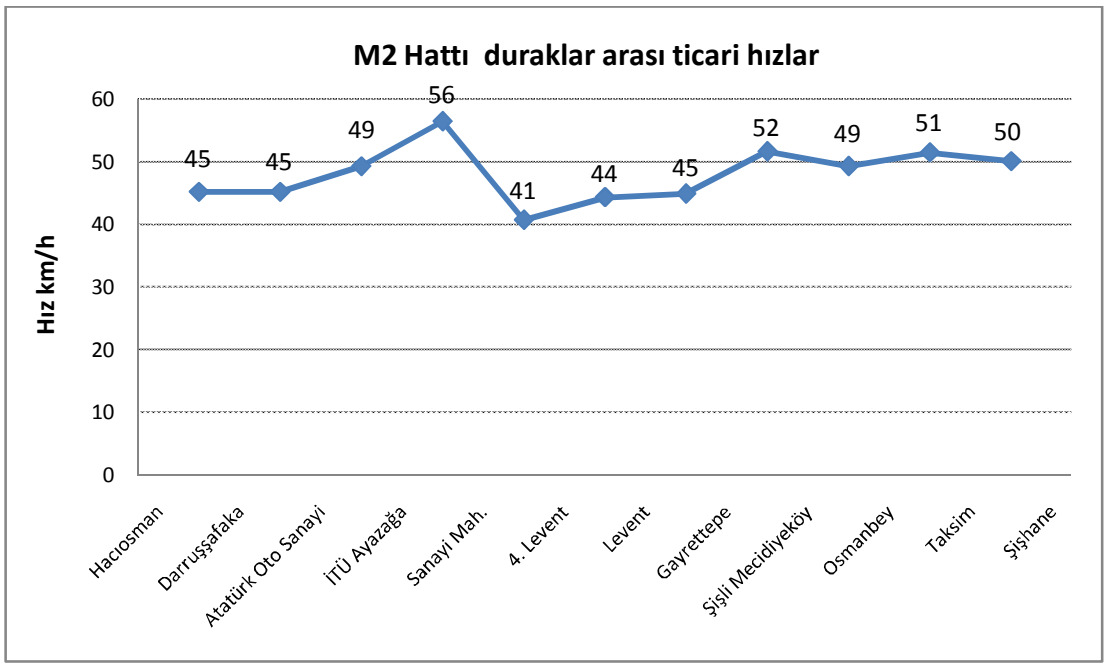
Şekil 5.2: Metro hatlarının taşımacılık payları.

M3 hattı henüz yeni açılmış bir hat olduğundan üzerinde durulabilecek bir taşımacılığa sahip olmasa da bu çalışmada yapılan oranlamaya dahil edilmiştir.

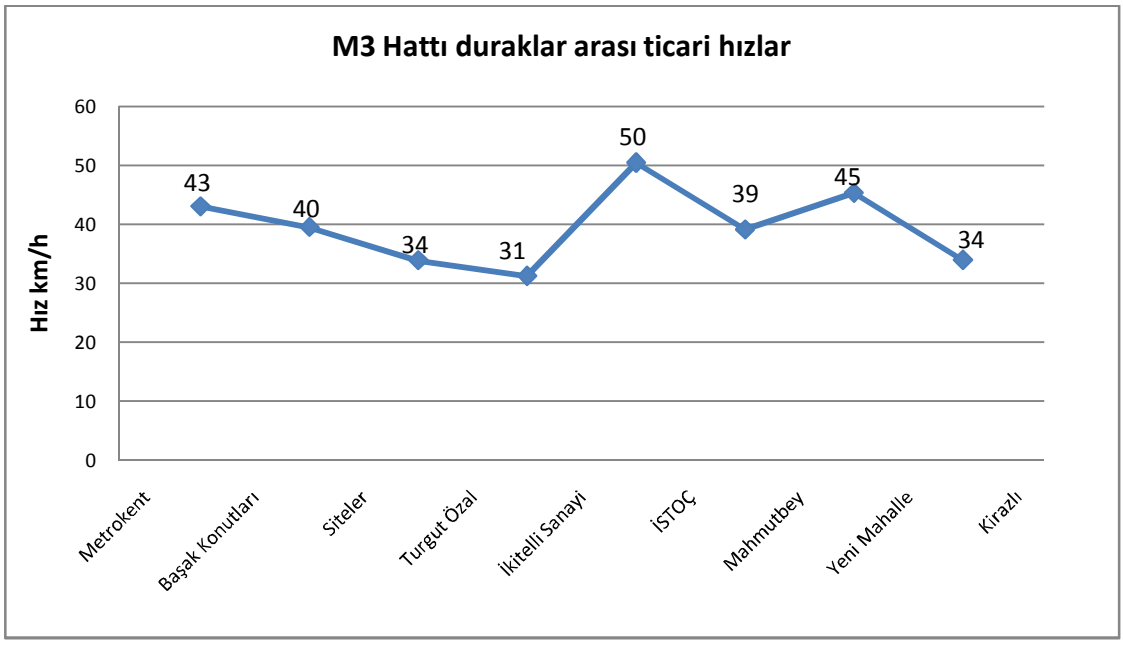
Kentleşmenin giderek arttığı ve otobüs ile ulaşımın zahmetli olduğu bir bölgeye ve geniş bir sanayi ağına erişimi sağlayan bu hattın gelecek yıllarda yüksek hacimli taşımacılık yapacağı bilinmektedir.

Araç ticari hızlarına bakılacak olursa tahmin edilebileceği gibi, maksimum hızda seyir süresinin uzadığı istasyon arası mesafeler ile doğru orantılı olarak hızlar da artış göstermektedir.

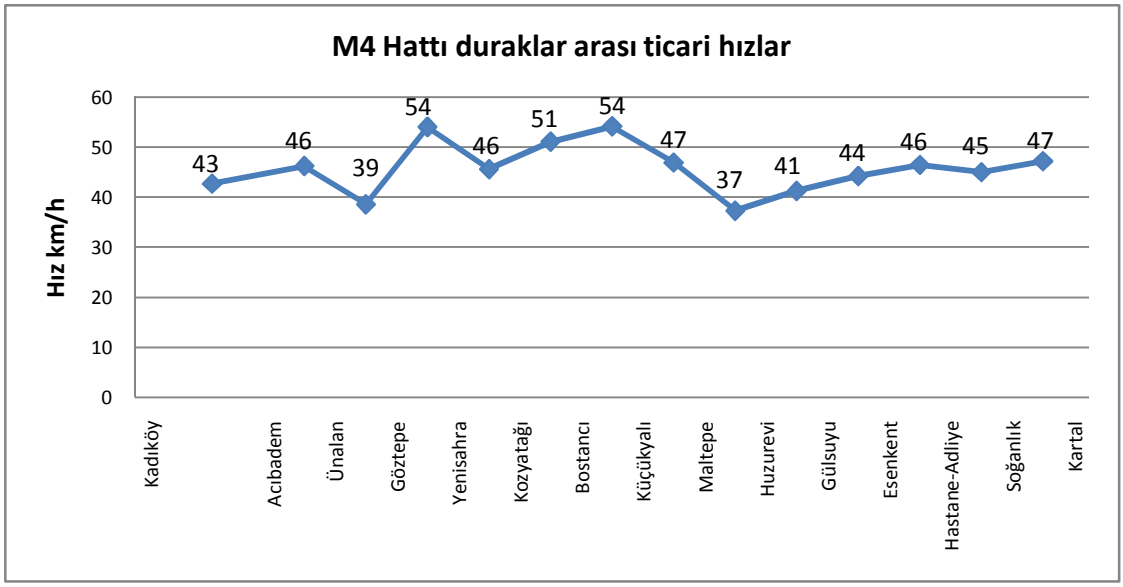
İstasyonların bilinen peron başı-peron sonu arası mesafeleri ile, günlük seyirde aracın hareket etmesi ve durması arasında geçen süreler kullanılarak hesaplanan ticari hızların grafikleri her hat için Şekil 5.3, 5.4 ve 5.5' de görüldüğü şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 5.3: M2 hattı istasyonlar arası ticari hızlar çizelgesi



Şekil 5.4: M3 hattı istasyonlar arası ticari hızlar çizelgesi



Şekil 5.5: M4 hattı istasyonlar arası ticari hızlar çizelgesi

Görüldüğü üzere maksimum ticari hızlar birbirine yakın olmakla birlikte, bu değerlerin ölçüldüğü istasyonlar arası mesafeler de hemen hemen aynıdır. Bu grafikler ile pratik olarak istasyonlar arası mesafenin ne kadar fazla/az olduğu tahmin edilebilir. Kadıköy-Acıbadem arası Ayrılıkçeşme istasyonu mevcutta pas geçilmesine rağmen ticari hızın düşük olduğu görülüyor. Bunun sebebi araçlara devam eden istasyon inşaatı kapsamında emniyet amacıyla hız kısıtlaması getirilmesidir.

5.2 İşletmedeki Hatların Sistem Özelliklerinin Karşılaştırması

Bahsi geçen 3 hattın temel özellikleri ile ilgili yapılan karşılaştırma Çizelge 5.1'deki gibidir.

Çizelge 5.1: İstanbul metro hatlarında kazı ve elektromekanik sistem özellikleri karşılaştırması.

		M2	**M3**	**M4**
Kazı	**İstasyonlar**	NATM, Aç-Kapa	NATM, Aç-Kapa, Top-down, TBM	NATM, Aç-Kapa, TBM
	Tüneller	NATM, Delme-Patlatma	NATM, TBM	NATM, TBM(EPBM başlığı dahil)
Elektrik	**Sistem**	3. ray	Rijit ve normal katener	Rijit katener
	Gerilim	750 V DC	1500 V DC	1500 V DC
	CER Trafo sayısı	16	10	16
	Giriş trafo sayısı	6	4	6
Sinyalizasyon	**Blok sistemi**	Hareketli	Sabit	Hareketli
	Kontrol	ATO	ATO	ATO
	Sürüş modu sayısı	3	3	3

Elektrifikasyon konusu genelde metro sistemlerinde gerilim bakımından 750 ya da 1500 V koşulu gerektirmemektedir. Hatta uygulanacak elektrifikasyon yöntemine idari ve yüklenici birimlerin tercihi doğrultusunda karar verilir. İki sistem de birbirine göre farklı avantaj ve dezavantaj sunmaktadır. Bu farklılıklara 3. başlık kapsamında değinilmiştir. M2 hattında kullanılan 3. ray sistemi özellikle görüntü ve gabari gereksinimi bazında olumlu sonuç verirken, M4 ve M3 hatlarında bulunan rijit katener sistemi daha az trafo gereksinimi ve daha yüksek can güvenliği ile öne çıkmaktadır.

M3 hattı için belirtilen normal katener sistemi sadece viyadük ile depo sahası içinde kullanılmıştır. Tünel içinde bulunan rijit katener sisteminin açık havada montaj imkanı sınırlı olduğundan bu yola başvurulmuştur.

İlk aşamada sabit blok olarak düzenlenen ve minimum 4 buçuk dakika minimum sefer aralığı süresi sunan M2 hattı sinyalizasyon sistemi, 2. aşamanın hizmete açılmasıyla artacak yolcu talebi göz önüne alınarak hareketli blok sistem olarak revize edilmiş, bu sayede minimum teorik sefer aralığı süresi 90 saniyeye inmiştir.

M3 hattı sinyal sistemi sabit bloklu olup bloklar 250 metre uzunluktadır. Proje 2005 yılında ihale edildiğinden o dönemde hareketli bloğa gerek duyulmamıştır. Bilindik sabit bloklu sistemlerden farklı olarak burada yol kenarı ışıklandırma yoktur ve blok araları kısa olduğundan 120 saniye minimum sefer aralığı süresine izin vermektedir. Yine de gelişen teknoloji ve artacak talep gereği ileriki yıllarda bu sistemin de hareketli blok sisteme dönüştürülmesi kaçınılmaz olacaktır.

Hatların sürücüsüz kullanıma olan elverişliliklerine değinecek olursak, M2 ve M3 hatlarının mevcut halleriyle sürücüsüz olarak kumanda edilmesinin mümkün olmadığını söyleyebiliriz. Özellikle M3 hattının sabit bloklu olmasından ötürü burada köklü bir sistem revizyonu gerekmektedir. M2 hattı hareketli blok sistemli olsa da yine sürücüsüz kumanda için elverişli düzeye sahip değildir. Bunun yanında her iki hattaki araçların da sürücüsüz kullanıma uygun olmadığını belirtmek gerekir. M4 hattına bakıldığında mevcut araçların sürücüsüz kullanıma müsait olduğunu, ancak yine de sinyalizasyon sistemi ile peron ve hat güvenliği üzerinden revizeye gidilmesi gerektiğini ve nihayetinde uzaktan kumandaya en yakın teknolojinin M4 hattında bulunduğunu söyleyebiliriz. 2015 yılında işletmeye açılması planlanan Üsküdar-Ümraniye hattı sürücüsüz kullanıma müsait olacak şekilde projelendirilmiştir.

5.3 Üstyapı Tasarımları

Bugüne dek İstanbul ağır metrolarında Çizelge 5.2'de belirtildiği üzere toplam 3 farklı tipte üstyapı uygulaması yapılmıştır. Benzer tipteki üstyapılar için her hatta farklı ölçülendirme ve donatılandırma mevcuttur.

Çizelge 5.2: İstanbul metrolarında üstyapı karşılaştırması.

HAT NO	***ÜSTYAPI TİPİ***
M2	Hattın 1. aşaması olan Taksim-4. Levent arası Stedef sistemiyle, diğer kesimleri ise yerinde döküm (plint) şeklinde imal edilmiştir.
M3	Hattın %46' sı prefabrik, %54' ü yerinde döküm şeklinde imal edilmiştir [17].
M4	Hattın tamamı yerinde döküm şeklinde imal edilmiştir

İncelenen hatların üstyapıları imalat açısından birbirleri arasında farklılık göstermekle birlikte Stedef ile plint betonlu tasarım arasında fonksiyonel olarak çok

ciddi farkların bulunmadığını, birbirine eşdeğer sistemler olduklarını söylemek doğru olacaktır. Stedef sistemi gövde yapısı itibarıyle ikiz blok traverslerin altındaki mikroselüler yastıklar sayesinde, rijit beton kirişlere göre çok daha elastik bir davranış sergilese de, bağlantı elemanlarının karakteristik özellikleri ile bu fark nötrize edilmektedir. Zira İstanbul'daki Stedef sistemiyle kullanılan Nabla bağlantı elemanı elastikliği oldukça düşük olup travers altı pedlerin üstünlüğünü bastırırken, daha yüksek elastisiteli Vossloh bağlantı elemanı beton kirişlerin rijit etkisinin önüne geçer.

M2 hattı birim fiyat analizlerine bakıldığında doğrudan tespitli yol yapılması pozu için belirlenen birim fiyatın Stedef tasarımına yönelik olmasına karşın, 4.Levent-Hacıosman arasındaki kesime yerinde döküm yöntemi ile devam edilmiştir. Bu durum mali yönden farklılığın bulunmadığı ya da yerinde döküm yönteminin daha düşük maliyete yol açabileceği yönünde yorumlanmaya açıktır. Tasarım yöntemi değişikliğine gidilmesinde Nabla bağlantı elemanlarında karşılaşılan problemlerin de etkisinin olmuş olabileceği düşünülebilir.

Kullanım ömrü bazında, edinilen tecrübeler doğrultusunda Stedef ve yerinde döküm üstyapı sistemlerinin yine eşdeğerlik sağladığı görülmüştür.

M3 hattı esasen ihale kapsamında plint betonlu olarak projelendirilse de müteahhitin tercihi ve belediyenin onayı doğrultusunda bir kısmı prefabrik panelli olarak inşa edilmiştir. İmalat şekli 2. başlık altında bahsedilen Bögl tipi üstyapınınkine benzer. Olumsuz açıdan yüksek maliyeti, imalat prosedürü ve nakliyesinin zahmetli oluşu ile öne çıkan bu sistem yüklenici şirketlere özellikle zaman bazında fayda sağlamaktadır. Daha az kalifiye eleman sayısı ile, demir ve detaylı kalıp işçiliği gerektirmeksizin, sadece alt ve yan boşluklara akıcı beton dökülmesi ile seri şekilde üretim sağlanır. Fabrika koşullarında üretildiklerinden yüksek mukavemet ve drenaja daha elverişli pürüzsüz yüzey sunar, daha estetik görünüm sağlar. Herhangi bir deformasyon durumunda gerekirse paneli kaldırarak yenisiyle değiştirme imkanı mevcuttur.

M4 hattı da yine bilindik ve an itibarıyle daha iyi tecrübelerin kazanıldığı yerinde döküm beton üstyapı ile inşa edilmiştir. Bu hatta özellikle M2 hattı üstyapısında karşılaşılan problemler göz önünde bulundurularak plint betonlarının boyutlarında değişikliğe gidilmiştir. Özellikle kurplu bölgelerde yanal kuvvetlerin oluşturacağı

momentleri azaltmak amacıyla plint betonlarının yükseklikleri düşürülmüştür. Bu sayede gerekli kesit alanını sağlamak için artan genişlik sayesinde sürtünme alanında da artış meydana gelmiştir. Plint betonunun geleceği yüzeyin temizliğine itina göstermek suretiyle olası ayrışmaların önüne geçilmiştir. Plint betonu yüksekliğine ilaveten 1.faz betonu yüksekliğinde de yapılan azaltma sayesinde rijit katener sisteminin gerektireceği gabari artışının kısmen önüne geçilmiştir.

Yine edinilen tecrübeler neticesinde, 1. faz betonu ile tutunmayı sağlayacak etriye nitelikli donatılar bu projede U profilinde değil, düz filizler halinde bırakılarak, plint betonu dökümü öncesine kadarki süreçte gerçekleşecek kırılma-bükülme gibi deformasyonların önüne geçilmiştir. Kullanılan donatı çapı düşürülüp, sıklıkları arttırılarak çatlak oluşturma riski azaltılmıştır.

Daha önceki projelerde söz konusu kesme donatıları 1.faz içerisinde yer alan kaçak akım toplama donatılarından bağımsızken, bu projede hem nispeten de olsa tutunmayı sağlamak, hem de kaçak akımın daha iyi iletilmesini sağlamak için birbirlerine bağlanmışlardır.

Bitirilen her proje, bir sonraki projeye referans teşkil etmiş, edinilen tecrübeler sayesinde daha verimli tasarımlara, daha pratik imalatlara vesile olmuştur.

5.4 Üstyapı İnşa Maliyeti

4. başlık altında incelendiği üzere üstyapı inşaatı 3 kalemde ele alınmıştır. M2 hattında yer alan Haliç geçişi farklı bir üstyapı teşkil ettiğinden bu hat için ilave birim fiyatlar belirlenmiştir.

Hatlar için hazırlanan fiyat analiz tabloları için, aynı analiz adına sahip çizelgelerdeki kalemler farklı gözükse de, yapılan iş aynı olduğundan esasen kullanılan ekipman ve malzemeler ile çalışan işçi sayısı da benzer niteliktedir. Burada dikkate alınan unsur genel toplamda yer alan birim fiyat olup, kalemleri belirtmek yüklenici firmaların elindedir. Açıklamaların yeterli görülmediği takdirde daha ayrıntılı şekilde yeniden düzenleme yapılması belediye tarafından istenecektir. Örnek olarak 1.faz betonunda drenaj amaçlı pvc borular her halükarda kullanılmasına rağmen Ek Çizelge A1'de bu malzemeler belirtilirken, diğer hatlara ait analizlerde belirtilmemiştir. Ancak bu, o hatta kullanılmadığı anlamına gelmemektedir, yüklenici firmanın bu malzemelere ait bedeli, diğer elemanlar kapsamında ele alarak sunmasının sonucudur.

Buna rağmen doğrudan tespitli yol analizlerinde görülen farklılıklar yorumlanırken, tasarlanan üstyapı tipinin farklılığı gözden kaçmamalıdır.

Bu çalışmada farklı yıllarda hazırlanan birim fiyatlar ile karşılaştırma yapılabilmesi açısından, ait oldukları yıllar üzerinden tek bir tarihe odaklı değerleri hesaplanmıştır. Bu tarih, en son yapılan ve köprüde yapılacak üstyapı çalışmalarını kapsayan ihalenin tarihi olan 31.12.2012 olarak alınmıştır. Çizelge 5.3'de her hat için farklı yıllarda biçilen birim fiyatların 31.12.2012 tarihli kur ve enflasyon değerleri kapsamındaki karşılıkları belirtilmiştir.

Çizelge 5.3: Metro hatları üstyapı birim fiyat değerlerinin dönüşümü.

	M2*	**M3**	**M4**
Fiyat onay tarihleri	23.01.2002	01.02.2005	14.01.2008
	31.12.2012 tarihli birim fiyat değer karşılıkları (TL/m)		
1. faz betonu	478,78	-	456,64
Doğrudan tespitli yol yapımı	1.132,00	754,51	543,54
Ray döşenmesi	1.117,00	247,10**	488,23
TOPLAM	***2727,78***	***1001,61***	***1488,41***

**Yenikapı-Taksim hattı ihalesine ait birim fiyatlardır.*
*** ton-m dönşümü yapılmıştır.*

Tabloda görülen değerler, Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB) resmi sitesinde yer alan geçmiş yıllara ait günlük döviz kurları ve enflasyon hesaplayıcısı [30] kullanılarak elde edilmiştir. İlgililerin fikir edinmesi amaçlı olup kesin değerler teşkil etmemektedir. Birim fiyatlar üç hatta da aynı pozlar için belirlenmiş olmasına rağmen birbirleriyle orantısızlık içinde oldukları aşikardır. Her ne kadar kesin değerleri teşkil etmediklerini belirtmiş olsak da bu orantısızlık sadece yapılan dönüşüm ile ilgili değil, yıllar arası değişen dolar ve euro pariteleri, satın alınan malzemelerin piyasa değerlerindeki değişimler ve yüklenici firmaların metraj artışı öngörülerine bağlı teklif politikaları ile de alakalı bir durumdur.

Yüklenici firmalar ihale girişimleri öncesi şirketlerinin maddi potansiyelleri ile mevcuttaki ve alabilecekleri iş hacimlerine bağlı olarak, bir çok değişkeni göz önünde bulundurmak suretiyle birim fiyatlarını oluştururlar. Sadece piyasa değerleri

değil, kendi iç hesaplarını da değerlendirirler.

Bunun yanında yine yüklenici firmaların kâr elde etme stratejileri de farklı olabilmektedir. Bu yüzden toplam ihale fiyatında değişiklik yapmadan, kâr payını farklı kalemler üzerine odaklayabilirler.

Çizelge 5.3'de görülen değerler de bilgi vermenin yanında, bir açıdan bu farklı stratejiler için bir örnek teşkil etmektedir. Örneğin 2002 yılında hazırlanan M2 ihale teklifinde üstyapı inşaatından edilecek kâra ağırlık verilmişken, M3 ve M4 hattında bu kârın geri planda tutulduğu görülebilmektedir. Dolayısıyla bu hatlarda kâr oranının diğer kalemlerde (kazı, tünel, elektro-mekanik işler, istasyon inşaatları vs..) yüksek tutulmuş olabileceği düşünülmelidir. M3 hattında dikkat çeken Ray Döşenmesi birim fiyatının düşüklüğü; bu pozun hazırlanışında kâr güdülmediği, diğer kalemlerden daha fazla kâr edebilmek için kârsız kalındığı ya da hata yapıldığı ihtimallerini akla getirebilmekle birlikte saydığımız diğer etkenler üzerinden de çeşitli yorumlarda bulunmak mümkündür.

Tüm bunlar düşünülecek olduğunda doğru ve verimli bir birim fiyat analizi yapılmak istendiğinde başlı başına kapsamlı bir çalışma yapılarak, hatlar ile ilgili yapılan bir ya da birden fazla her ihalenin detaylı olarak ele alınması, her ihaleye farklı şirketlerden alınan tekliflerin de değerlendirmeye katılması ve her kaleminin ayrı ayrı analiz edilerek değerlendirilmesi gerektiği sonucu çıkarılmalıdır. Bunun yanında herhangi bir poz maliyeti hakkında ön fikir edinebilmek için yakın zamanlı ihalelerden faydalanılması daha doğru olacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Balastsız ve doğrudan tespitli tipteki üstyapılar ülkemizde henüz şehirler arası hatlarda kullanılmasa da ray taşlama haricinde bakım gerektirmemesi ya da zorunlu bakımların düşük maliyetli olması, kolay işçiliği, tünelli kesimlerde düşük gabari gereksinimi, karayolu araçlarının geçişine izin vermesi, daha büyük deverleri dolayısıyla daha küçük yarıçaplı kurpları mümkün kılması gibi avantajlarıyla şehir içi toplu taşıma hatlarında yaygın hale gelmiştir.

Ülkemizde 2000li yılların başlarında Ankara ve İstanbul'da kullanılmaya başlayan balastsız üstyapılar, zaman içerisinde gerek merak gerekse edinilen tecrübeler sonucu doğan ihtiyaç neticesinde farklı tasarımlar ile yeni ya da mevcut hatlarda yapılan uzatmalarda uygulanmıştır.

Tez kapsamında bugüne kadar, farklı ülkelerde geliştirilmiş çeşitli malzeme ve karakteristik özelliklere sahip balastsız üstyapı tasarımları ile metro hatları projelerinde kullanılan kazı yöntemleri, elektrifikasyon ve sinyalizasyon sistemleri, kullanılan ray bağlantı elemanları araştırılmış, İstanbul'daki üç ağır metro hattı örnekleri üzerinden karşılaştırmalar yapılmış, ayrıca İstanbul'daki ağır metro hatlarının taşımacılık ve üstyapı maliyetleri açısından değerlendirmelerde bulunulmuştur;

-Balastsız üstyapılardaki geniş inşa yöntemi yelpazesi sayesinde, kullanım amacı, iklim koşulları, zemin yapısı, işin süresel ve maddi boyutları göz önünde bulundurularak optimum tasarımların gerçekleştirilmesi mümkündür.

-Çalışma kapsamında tanımlamaları yer alan üstyapı tiplerinin çoğu henüz ülkemizde kullanılmasa da ileriki yıllarda denenecek olması muhtemeldir.

-Şuan ülkemizdeki mevcut uygulamalarda hem tasarım hem de imalat konusunda yeterli tecrübe edinilmiş ve verim alınmış bir sistem olan yerinde dökme kirişli (plinth) üstyapı yaygın olarak tercih edilmektedir.

-Çalışmaya konu İstanbul metrolarına bakıldığında kazı yöntemi ve elektromekanik sistem özellikleri olarak da mevcut üç hat kapsamında, farklı metotlar için imalatlar gerçekleştirilerek hem tecrübe edinme hem de günün ihtiyaçlarına ayak uydurma konusunda önemli yol katedilmiştir.

-İstanbul'da yer alan üç ağır metro hattında kullanılan farklı tipteki üstyapılar ile farklı hatlarda kullanılan aynı tip üstyapılarda da bir öncekinden edinilen tecrübelerin etkileri mevcuttur. Benzer durum bağlantı elemanları için de söz konusudur. Değişen üstyapı tipleri, yüklenicilerin birlikte çalıştığı firmaların farklılığı vesilesiyle İsanbul metrolarında birçok bağlantı elemanı modeli tecrübe edilmiştir.

-Özellikle yerinde dökme betonlu üstyapıda tecrübe edilen, plint betonu ile ilgili yaşanan problemler, bir sonraki projede kesit ölçüleri ve donatılandırma şekli değişikliğine neden olmuştur. Haliç geçiş köprüsü ve viyadükler ile tarihi yapıların

gerektirdiği titreşim sönümlemesinin sağlanması için daha gelişmiş özellikli bağlantı elemanı arayışına gidilerek bu konuda da dolaylı yoldan gelişme sağlanmıştır.

-TBM metodunun tünel çapı ve uzunluğuna göre belli bir noktadan sonra delme ve patlatma yöntemlerine kıyasla daha ekonomik olduğu düşünüldüğünde, İstanbul dahil ülkemizde bu metot kullanımının sadece metro projeleriyle sınırlı kalmaması gerektiği görülmelidir.

-Elektrifikasyon sistemleri ile ilgili edinilen yeterli tecrübe, bundan sonraki projelerde daha başarılı sonuçlar almaya vesile olacaktır.

-Taşımacılıkta elde edilen yıllık yolcu sayıları doğrultusunda hazırlanan grafikler, talebin hat güzergahları ile sağladıkları entegrasyon imkanlarına, güzergah üzerindeki eğitim ve iş sahası yoğunluğuna bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. M4 ve M2 hattı arasındaki fark bunun en bariz göstergesidir. M3 hattı henüz yeni bir hat olduğundan taşımacılık üzerinden değerlendirme yapmak için yeterli veri bulunmamakla birlikte, diğer hatlardaki değerleri yakalayabileceği henüz düşünülmemektedir. Giderek artan yapılaşma ve Marmaray hattının devreye girmesi ile özellikle M4 olmak üzere hatlardaki günlük taşımacılığın daha da artacağı kesindir.

-Sinyalizasyon hususunda yetkili merciler özellikle İstanbul'daki nüfus artış ivmesinin ciddiyetini unutmaksızın raylı sistemlerdeki mevcut teknolojileri daha ileri seviyelere taşıma eğilimini elden bırakmamalıdırlar.

-Sürücüsüz kumanda merkezi kontrollü sistemlerin projelendirilmesi ise pratik işletim ve vatman maliyetinden sağlanacak kâr ile yolcuların duyacağı güvenlik endişesi ve bu doğrultuda oluşabilecek talep azalmasına meydan vermeme arasında yapılacak tercihe kalmıştır.

-Hatlara ait ihaleler neredeyse aynı pozlardan ibaret olsa da, üstyapıya ait pozlar incelendiğinde her hat için farklı kalemlerin bulunduğu, ilaveten ihale tarihleri arasında enflasyon ve kur değerleri ile uyarlamalar yapıldığında bile aynı pozlara ait bedellerin birbirinden uzak değerlerde olduğu görülmüştür. Karşılaşılan bu tutarsızlık sonucu farklı hatlara ait üstyapılar için biçilen bedellerin birbiriyle kıyaslanarak değerlendirilmesi mümkün olmamıştır.

İhale tutarları ve birim maliyetler arası analiz yapacak kişiler için yüklenici firmaların farklı kâr stratejileri doğrultusunda her poz üzerinden farklı fiyatlandırma yapabilecekleri akılda bulundurularak, ihaleyi kazanan yüklenici yetkilileri ile görüşmelerde bulunulması, söz konusu ihalelere ait tüm pozların ve ihaleye verilen diğer tekliflerin detaylı incelenmesi, öngörü edinmek için yapılacak değerlendirmelerde ağırlıklı olarak yakın tarihli ihalelerin ele alınması tavsiye edilir.

KAYNAKLAR

[1] Z. Öztürk ve T. Öztürk,2004, Kentiçi Demiryolunda Balastsız Üstyapı Tasarımları ve Uygulama Esasları.

[2] B. Lichtberger, 2005, Track Compendium, Linz.

[3] C. Esveld, 2001, Modern Railway Track, Second Edition, Delft University of Technology, Netherlands.

[4] M.N. Demirdağ, 2007, Kentiçi Raylı Sistemlerde Hat Bakımı ve Maliyeti, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, FBE, İstanbul.

[5] Yapıray A.Ş., 2013, 15. Yıl Bülteni.

[6] G. Michas, 2012, Slab Track Systems for High-Speed Railways, Master Degree Project, KTH Royal Institue of Technology, School of Architecture and the Built Environment, Stockholm, Sweden.

[7] http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/raylisistemler (Ekim,2013)

[8] İstanbul Ulaşım A.Ş., Hatlara ait alınan bilgi ve dokümanlar.

[9] İ. Avşar, 2012, Haliç Metro Köprüsü Projesinin Tasarım ve Yapım Sürecinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, BAÜ, FBE, İstanbul.

[10] Ş. Günoral, 2012, İstanbul Metrosu Otogar-Kirazlı-İkitelli ve İkitelli-Olimpiyat Stadı Betona Doğrudan Tespitli Üstyapı Montajı Yapım Metodu, Uzka İnşaat, İstanbul.

[11] Avrasya Metro Grubu, Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi, Hat İşletme ve Bakım Talimatnamesi.

[12] M. Çınar, C. Ferudunoğlu, Tünel Açma Makineleri.

[13] H.H. Erkaya, Raylı Sistemlerin Temelleri.

[14] Z. Öztürk, 2013, Yüksek Hızlı Demiryolları ders notları, İTÜ, İnşaat Müh. ABD, İstanbul.

[15] Yüksel Proje A.Ş.,654654, İstanbul Metrosu Taksim Yenikapı Arası Elektro-Mekanik Sistemleri Temin Montaj ve İşletmeye Alma İşleri, Plint ve Yürüme Yolu Hesap Raporu.

[17] Ö.F. Öztürk, 2012, Prefabrik Döşemeli ve Yerinde Döküm Kirişli Balastsız Üstyapıların Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, BAÜ, FBE, İstanbul.

[18] İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Raylı Sistemler Müdürlüğü, 2008, İstanbul Metrosu Haliç Metro Geçiş Köprüsü Eğik Askılı ve Açılır-Kapanır Köprü Statik Tasarım-Tasarım Kriterleri Raporu.

[19] http://www.academia.edu/3685810/RAY_odev (Kasım 2013)

[20] İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Raylı Sistemler Müdürlüğü, İstanbul Metrosu Taksim-Yenikapı Arası Ray Bağlantı Sistemi Eğitim Manueli.

[21] http://www.vossloh-fastening-systems.com/media/downloads/pdfs/prospekte/System336_336SD_GB.pdf

[22] Pandrol Track Systems, 2013, Pandrol Vanguard Installation, Inspection and Maintenance Manual fort he Golden Horn Bridge Project, İstanbul, Turkey.

[23] İstanbul Büyükşehir Belediyesi İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2006, Metro Plinth Betonu Hesapları.

[24] İstanbul Büyükşehir Belediyesi İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2008, Metro Tünel İçi Prefabrik Rayaltı Döşeme Statik Hesap Raporu.

[25] Pandrol Hat Sistemleri, 2010, Kullanım ve Bakım Klavuzları, Kadıköy-Kartal, İstanbul.

[26] H.Kalebozan, Pandrol for Kadıköy Kartal, Dan Sapsford, Pandrol Ltd.

[27] B. Berksoy, 1995, Demiryollarında Balastsız Yollar, Yapı Merkezi, İstanbul

[28] C.Esveld, 1997 C. Esveld. Innovations in Railway Track. Conferntie Railtech. Delft University of Technology.

[29] karaca.tr.gg/Makaslar.htm (Kasım,2013).

[30] http://www3.tcmb.gov.tr/enflasyon/enflasyon_anayeni.php (Aralık,2013).

[31] H. Türedi, İstanbul Metrosu 1. Aşama İnşaatı Metro Güzergahında Tünellerde Yapılan Kontrollü Patlatmalar, www.maden.org.tr (Ekim 2013).

[32] İ. Ocak, 2007, Metro Kazılarında Zor Zemin Şartlarında Şaft İnşası; Kadıköy-Kartal Metrosu Örneği, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi.

[33] Ş. Günoral, İstanbul Metrosu Otogar-Kirazlı-İkitelli ve İkitelli-Olimpiyat Stadı Betona Doğrudan Tespitli Üstyapı Bağlantı Malzemeleri tanıtım sunumu, UZKA.

[34] İhaleleri kazanan yüklenici firmalara ait idare onaylı birim fiyat analizleri.

[35] R. Sabharwal, Use of NATM (New Austrian Tunneling Method) in Tunelling, Dy CE/Doub/Jammu, Course No 823.

EKLER

EK A: Hatlara ait maliyet analiz tabloları [34]

Çizelge A.1:M2 hattı 1.faz betonu fiyat analizi.

Birim Fiyat No	**Analizin adı**						
803	**Birinci faz betonu**						
Gereç no	**Cinsi**	**Kat sayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
	Malzeme (İthal)						
	Malzeme (Yerli)						
04.0431	BS 20 beton harcı	1,05	m^3	1,100	38,81	44,82	
803-YM-1	ø50 PVC boru	1,00	m	0,300	2,70	0,81	
803-YM-2	ø100 PVC boru	1,00	m	0,150	5,40	0,81	
803-YM-3	ø200 PVC boru	1,00	m	0,150	9,45	1,42	
806-YM-4	Çelik kalıp	1,00	kg	0,051	2,70	0,14	
806-YM-5	Gömülü eleman	1,00	kg	1,64	2,70	4,43	
							54,42
	Makine						
03.517	Kompresör	1,10	sa/hr	0,500	17,05	9,37	
03.527	Vibratör	1,10	sa/hr	0,250	1,74	0,48	
805-M-1	Jeneratör ve aydınlatma cihazı	1,00	sa/hr	0,500	27,00	13,50	
							23,35
	İşçilik						
01.409	Formen	1,50	sa/hr	1,000	2,33	3,49	
01.502	Erbap işçi	1,50	sa/hr	2,500	1,15	4,30	
01.501	Düz işçi	1,50	sa/hr	4,000	1,06	6,37	
							14,16
	Nakliye						
	1.Toplam						**89,94**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	1,10	*	89,94			**98,93**

Çizelge A.1(devam): M2 hattı 1.faz betonu fiyat analizi

	2.Toplam				**98,93**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	%20	*	98,93	**19,79**
	GENEL TOPLAM ($)				**118,72**

.

Çizelge A.2: M2 hattı doğrudan tespitli yol yapılması fiyat analizi.

Birim Fiyat No	**Analizin adı**						
805	**Doğrudan tespitli yol yapılması**						
Gereç no	**Cinsi**	**Kat sayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
	Malzeme (İthal)						
805-IM-1	Beton ped+çelik profil, mikroselüler yastık, elastik pabuçlu elastomerli destek	1,00	tk/set	1,333	114,41	152,51	
							152,51
	Malzeme (Yerli)						
04.045	BS 30 beton harcı	1,1	m^3	0,510	43,46	23,27	
806-YM-1	Çelik kalıp	1,00	kg	0,055	2,70	0,15	
806-YM-2	Gömülü eleman	1,00	kg	1,640	2,70	4,43	
							27,85
	Makine						
03.517	Kompresör	1,10	sa/hr	0,400	17,05	7,50	
03.503	Vinç	1,10	sa/hr	0,400	12,78	5,62	
804-M-1	Jeneratör ve aydınlatma cihazı	1,00	sa/hr	0,400	27,00	10,80	
							23,92
	İşçilik						
01.409	Formen	1,50	sa/hr	0,500	2,33	1,74	
01.502	Erbap işçi	1,50	sa/hr	2,000	1,15	3,44	
01.501	Düz işçi	1,50	sa/hr	2	1,06	3,18	
							8,37
	Nakliye						
	1.Toplam						**212,66**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	1,10	*	212,66			**233,93**
	2.Toplam						**233,93**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	%20	*	233,93			**46,79**
	GENEL TOPLAM ($)						**280,71**

Çizelge A.3: M2 hattı ray döşenme fiyat analizi.

Birim Fiyat No	Analizin adı						
807.A	**Ray Döşenmesi**						
Gereç no	**Cinsi**	**Katsayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
	Malzeme (İthal)						
807A-IM-1	Ray (S49)	1,00	m	2,040	44,95	91,71	
807A-IM-2	Ray bağlantı elemanı	1,00	tk/set	2,670	33,95	90,65	
807A-IM-3	Kaynak malzemesi	1,00	adet	0,120	63,91	7,67	
							190,02
	Malzeme (Yerli)						
	Makine						
03.517	Kompresör	1,10	sa/hr	0,133	17,05	2,49	
807A-M-1	Hidr. Montaj vinci	1,00	sa/hr	0,133	27,00	3,59	
807A-M-2	Jen. ve ayd. cihazı	1,00	sa/hr	0,133	27,00	3,59	
807A-M-3	Vinç (harici taşıma)	1,00	gö/ls	1,000	1,35	1,35	
							11,03
	İşçilik						
01.409	Formen	1,50	sa/hr	0,500	2,33	1,74	
01.502	Erbap işçi	1,50	sa/hr	1,000	1,15	1,72	
01.501	Düz işçi	1,50	sa/hr	2,500	1,06	3,98	
							7,45
	Nakliye						
	Tır ile harici nakliye	1,00	gö/ls	1,000	1,35	1,35	
							1,35
	1.Toplam						**209,84**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	1,10	*	209,84			**230,82**
	2.Toplam						**230,82**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	%20	*	230,82			**46,16**
	GENEL TOPLAM ($)						**276,99**

Çizelge A.4: M2 hattı köprüde balastsız üstyapı fiyat analizi.

Birim Fiyat No	**Analizin adı**						
806	**Köprüde doğrudan tespitli yol yapılması**						
Gereç no	**Cinsi**	**Kat sayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
	Malzeme (İthal)						
	Malzeme (Yerli)						
04.045	BS 30 beton harcı	1,05	m^3	0,550	43,46	25,10	
04.2511	Demir	1,05	ton	0,050	201,50	10,58	
04.109	Mazot(kür için)	1,10	kg	3,000	0,67	2,23	
806-YM-1	Çelik kalıp	1,00	kg	0,970	2,70	2,62	
806-YM-2	Gömülü eleman	1,00	kg	16,400	2,70	44,28	
							84,80
	Makine						
03.517	Kompresör	1,10	sa/hr	0,400	17,05	7,50	
805-M-1	Jeneratör ve aydınlatma cihazı	1,00	sa/hr	0,400	27,00	10,80	
							18,30
	İşçilik						
01.409	Formen	1,50	sa/hr	0,500	2,33	1,74	
01.502	Erbap işçi	1,50	sa/hr	2,000	1,15	3,44	
01.501	Düz işçi	1,50	sa/hr	4,000	1,06	6,37	
01.019	Soğuk demir ustası	1,50	sa/hr	2,250	1,62	5,47	
01.219	Soğ. dem. usta yard.	1,50	sa/hr	5,400	1,15	9,30	
							26,32
	Nakliye						
SABİTNAK-20	Her çeşit b.arme ve profil demir	1,10	ton	0,050	26,45	1,45	
							1,45
	1.Toplam						**130,88**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	1,10	*	130,88			**143,97**
	2.Toplam						**143,97**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	%20	*	143,97			**28,79**
	GENEL TOPLAM ($)						**172,76**

Çizelge A.5: M2 hattı köprüde ray döşeme fiyat analizi.

Birim Fiyat No	**Analizin adı**						
807.B	**Köprüde Ray Döşenmesi**						
Gereç no	**Cinsi**	**Kat sayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
	Malzeme (İthal)						
807A-IM-1	Ray (S49)	1,00	m	2,040	44,95	91,71	
807A-IM-2	Ray bağlantı elemanı	1,00	tk/set	2,670	61,51	164,23	
807A-IM-3	Kaynak malzemesi	1,00	adet	0,120	63,91	7,67	
807A-IM-4	Epoksi	1,00	kg	2,23	7,39	16,48	
							280,09
	Malzeme (Yerli)						
	Makine						
03.517	Kompresör	1,10	sa/hr	0,133	17,05	2,49	
807A-M-1	Hidr. Montaj vinci	1,00	sa/hr	0,133	27,00	3,59	
807A-M-2	Jen. ve ayd. cihazı	1,00	sa/hr	0,133	27,00	3,59	
807A-M-3	Vinç (harici taşıma)	1,00	gö/ls	1,000	1,35	1,35	
							11,03
	İşçilik						
01.409	Formen	1,50	sa/hr	0,500	2,33	1,74	
01.502	Erbap işçi	1,50	sa/hr	1,000	1,15	1,72	
01.501	Düz işçi	1,50	sa/hr	2,500	1,06	3,98	
							7,45
	Nakliye						
	Tır ile harici nakliye	1,00	gö/ls	1,000	1,35	1,35	
							1,35
	1.Toplam						**299,91**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	1,10	*	299,91			**329,90**
	2.Toplam						**329,90**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	%20	*	329,90			**65,98**
	GENEL TOPLAM ($)						**395,88**

Çizelge A.6: M2 hattı köprüde bağlantı elemanı fiyat analizi.

Birim Fiyat No	**Analizin adı**						
YFZ-124	**Haliç Eğik Askılı ve Döner Açılır Çelik Köprü Kesimleri için Yüksek Titreşim Sönümleme ve Gürültü Seviyesini Düşürücü Özel Ray Bağlantı Sistemi**						
Gereç no	**Cinsi**	**Kat sayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
Açıklama	Fiyatın belirlenmesinde 807.B "Köprüde Ray Döşenmesi" pozundan yararlanılmıştır						
	Malzeme (İthal)						
YFZ-124/IM-2	Ray bağlantı elemanı	1,00	hat	1,000	1963,93	1963,93	
807B-IM-3	Kaynak malzemesi	1,00	adet	0,120	63,91	7,67	
							1971,60
	Malzeme (Yerli)						
	Makine						
03.517	Kompresör	1,10	sa/hr	0,133	17,05	2,49	
807B-M-1	Hidr. Montaj vinci	1,00	sa/hr	0,133	27,00	3,59	
807B-M-2	Jen. ve ayd. cihazı	1,00	sa/hr	0,133	27,00	3,59	
807B-M-3	Vinç (harici taşıma)	1,00	gö/ls	1,000	1,35	1,35	
							11,03
	İşçilik						
01.409	Formen	1,50	sa/hr	0,500	2,33	1,75	
01.502	Erbap işçi	1,50	sa/hr	1,000	1,15	1,73	
01.501	Düz işçi	1,50	sa/hr	2,500	1,06	3,98	
							7,45
	Nakliye						
	Tır ile harici nakliye	1,00	gö/ls	1,000	1,35	1,35	
							1,35
	1.Toplam						**1991,43**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	1,10	*	1991,43			**2190,57**
	2.Toplam						**2190,57**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	%20	*	2190,57			**438,11**
	GENEL TOPLAM ($)						**2628,69**

Çizelge A.7: M2 hattı viyadükte bağlantı elemanı fiyat analizi.

Birim Fiyat No	**Analizin adı**						
YFZ-125	**Haliç Köprü Betonarme Viyadükleri İçin Yüksek Ttitreşim Sönümleme ve Gürültü Seviyesini Düşürücü Özel Ray Bağlantı Sistemi**						
Gereç no	**Cinsi**	**Katsayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
Açıklama	Fiyatın belirlenmesinde 806 "Köprüde Doğrudan Tespitli Yol Yapılması" ve 807.B "Köprüde Ray Döşenmesi" pozundan yararlanılmıştır						
	Malzeme (İthal)						
YFZ-125/IM-2	Ray bağlantı elemanı	1,00	hat	1,000	1040,35	1040,35	
807B-IM-3	Kaynak malzemesi	1,00	adet	0,120	63,91	7,67	
							1048,02
	Malzeme (Yerli)						
04.045	BS30 Beton harcı	1,05	m^3	0,550	43,46	25,10	
04.2511	Demir	1,05	ton	0,050	201,50	10,58	
04.109	Mazot (Kür için)	1,10	kg	3,000	0,67	2,23	
806-YM-1	Çelik Kalıp	1,00	kg	0,970	2,70	2,62	
806-YM-2	Gömülü eleman	1,00	kg	16,400	2,70	44,28	
							84,80
	Makine						
03.517	Kompresör	1,10	sa/hr	0,533	17,050	9,996	
805-M-1+ 807B-M-2	Jen. ve ayd. cihazı	1,00	sa/hr	0,533	27,000	14,391	
807B-M-1	Hidr. Montaj vinci	1,00	sa/hr	0,133	27,00	3,591	
807B-M-3	Vinç (harici taşıma)	1,00	gö/ls	1,000	1,350	1,350	
							29,33
	İşçilik						
01.409	Formen	1,50	sa/hr	1,000	2,330	3,496	
01.502	Erbap işçi	1,50	sa/hr	3,000	1,15	5,175	
01.501	Düz işçi	1,50	sa/hr	6,500	1,06	10,335	
01.019	Soğuk demir ustası	1,50	sa/hr	2,250	1,62	5,468	
01.219	Soğuk demir usta yrd.	1,50	sa/hr	5,400	1,15	9,315	
							33,79
	Nakliye						
SABİTNAK-20	Her çeşit betonarme ve profil demir	1,10	tn	0,050	26,45	1,455	
807B-N-1	Tır ile harici nakliye	1,00	gö/ls	1,000	1,35	1,350	
							2,80

Çizelge A.7(devam): M2 hattı viyadükte bağlantı elemanı fiyat analizi.

	1.Toplam				**1198,74**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	1,10	*	1198,74	**1318,61**
	2.Toplam				**1318,61**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	%20	*	1318,61	**263,72**
	GENEL TOPLAM ($)				**1582,34**

Çizelge A.8: M2 hattı antik bölgelerde bağlantı elemanı fiyat analizi.

Birim Fiyat No	**Analizin adı**						
YFZ-126	**Yaklaşım Tünelleri, Tarihi Binalar ve Antik Ceneviz Sur Geçişi Bölgesi için Yüksek Titreşim Sönümleme ve Gürültü Seviyesini Düşürücü Özel Ray Bağlantı Sistemi**						
Gereç no	**Cinsi**	**Kat sayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
Açıklama	Fiyatın belirlenmesinde 805 "Köprüde Doğrudan Tespitli Yol Yapılması" ve 807.A "Ray Döşenmesi" pozundan yararlanılmıştır						
	Malzeme (İthal)						
YFZ-126/IM-2	Ray bağlantı elemanı	1,00	hat	1,000	766,88	766,88	
807A-IM-3	Kaynak malzemesi	1,00	adet	0,120	63,91	7,67	**774,55**
	Malzeme (Yerli)						
04.045	BS30 Beton harcı	1,05	m^3	0,510	43,46	23,27	
805-YM-1	Çelik Kalıp	1,00	kg	0,055	2,70	0,15	
805-YM-2	Gömülü eleman	1,00	kg	1,640	2,70	4,43	**27,85**
	Makine						
03.517	Kompresör	1,10	sa/hr	0,533	17,05	10,00	
03.503	Vinç	1,10	sa/hr	0,400	12,78	5,62	
804B-M-1+ 807A-M-2	Jen. ve ayd. cihazı	1,00	sa/hr	0,533	27,00	14,39	
807A-M-1	Hidr. Montaj vinci	1,00	sa/hr	0,133	27,00	3,59	
807B-M-3	Vinç (harici taşıma)	1,00	gö/ls	1,000	1,35	1,35	**34,95**
	İşçilik						
01.409	Formen	1,50	sa/hr	1,000	2,330	3,495	
01.502	Erbap işçi	1,50	sa/hr	3,000	1,15	5,175	
01.501	Düz işçi	1,50	sa/hr	4,500	1,06	7,155	**15,83**
	Nakliye						
807A-N-1	Tır ile harici nakliye	1,00	gö/ls	1,000	1,35	1,350	**1,35**
	1.Toplam						**854,53**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	1,10	*	854,53			**939,98**
	2.Toplam						**939,98**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	%20	*	939,98			**188,00**
	GENEL TOPLAM ($)						**1127,98**

Çizelge A.9: M3 hattı doğrudan tespitli yol yapılması fiyat analizi.

Birim Fiyat No	Analizin adı						Ölçü Birimi
D.2 C6.1.2	**Doğrudan tespitli yol yapılması**						mt
Gereç no	**Cinsi**	**Katsayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
	Malzeme (İthal)						
	Ray Bağlantı El. (2 boltlu)	1,07	adet	2,81	34,87	104,84	
	Ray Bağlantı El. (4 boltlu)	1,07	adet	0,49	47,27	24,78	
							129,62
	Malzeme (Yerli)						
04.031	Su	1,25	m3	0,40	1,11	0,56	
04.045	BS 30 beton harcı	1,25	m3	0,75	30,32	28,43	
04.109	Mazot (Motorin)	1,30	kg	3,00	0,64	2,50	
04.152	Çam kerestesi (2. sınıf)	1,30	m3	0,025	208,22	6,77	
04.270	Çivi	1,02	kg	5,00	0,31	1,58	
04.253	Beton çelik çubuğu nervürlü (BÇ IIIa)	1,02	kg	5,00	0,19	0,97	
04.254	Beton çelik çubuğu nervürlü (BÇ IIIa)	1,02	kg	30,00	0,19	5,81	
							46,62
	Makine						
03.5271	Vibratör	1,30	ka	1,00	0,10	0,13	
							0,13
	İşçilik						
01.501	Düz işçi	1,25	sa	15,00	0,75	14,06	
01.018	Sıcak demirci usta	1,25	sa	15,00	1,15	21,56	
01.409	Formen	1,25	sa	10,00	1,65	20,63	
							56,25
	Nakliye						
SNBF-21	Her çeşit nervürlü çelik nakliyesi İzmir'den	1,30	ton	0,035	30,26	1,38	
							1,38
	1.Toplam						**234,00**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	0,04	*	(1.Toplam)			**9,36**
	2.Toplam						**243,36**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	0,25	*	(2.Toplam)			**60,84**
	GENEL TOPLAM ($)						**304,20**

Çizelge A.10: M3 hattı ray döşeme fiyat analizi.

Birim Fiyat No	Analizin adı						Ölçü Birimi
D.1 C6.1.1	**S49 ray temini ve yerlerine konması**						ton
Gereç no	**Cinsi**	**Katsayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
	Malzeme (İthal)						
	S49 Mantarı sertleştirilmiş ray	1,07	ton	0,21	614,25	138,02	
	S49 Ray	1,07	ton	0,84	561,60	504,77	
	İzole cebire	1,07	takım	0,005	971,10	5,20	
	Voest Alpine Proforma No 3210411226						
	VAE Proforma No 20510748						
							647,99
	Malzeme (Yerli)						
	Makine						
03.5032	Vinç	1,30	ka	6,00	5,72	44,62	
							44,62
	İşçilik						
01.501	Düz işçi	1,25	sa	20,00	0,75	18,75	
01.018	Sıcak demirci usta	1,25	sa	20,00	1,15	28,75	
01.409	Formen	1,25	sa	17,00	1,65	35,06	
							82,56
	Nakliye						
	1.Toplam						**775,17**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	0,04	*	(1.Toplam)			**31,01**
	2.Toplam						**806,18**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	0,25	*	(2.Toplam)			**201,55**
	GENEL TOPLAM ($)						**1007,73**

Çizelge A.11: M3 hattı prefabrik üstyapı fiyat analizi.

TANIM	MALİYET ($/m)	AÇIKLAMA
Ray altı prekast panel üretimi	217	Hadımköy fabrikasında üretim
Demiryolu taşeron bedeli	161	Nakliye, tünel içi nakliye, prekast montaj, bağlantı elemanı montaj, ayar, taşlama
Bağlantı elemanı temini	136	Yurt dışı alım (Vossloh)
TOPLAM	**514 $/m**	

Çizelge A.12: M4 hattı 1.faz betonu fiyat analizi.

Birim Fiyat No	**Analizin adı**						**Ölçü Birimi**
803	**Birinci faz betonu**				80.246,00		m^3
Gereç no	**Cinsi**	**Katsayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
	Malzeme (İthal)						
	Malzeme (Yerli)						
018B	Demirsiz BS20 Beton İmali ve Dökülmesi	1,00	m3	1,05	83,00	87,15	
015	Kalıp	1,00	ton	0,40	20,01	8,00	
							95,15 YTL
	İşçilik						
01.103	Düz işçi	1	Saat	7,00	7,50	52,50	
01.104	Vasıflı İşçi	1	Saat	9,30	8,70	80,91	
							133,41 YTL
	Nakliye						
	Yabancı Para Birimi Top. (€)						
	Yerli Para Birimi Top. (YTL)						**228,56**
	1.Toplam (€)						**133,97**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	1,097					**146,96**
	2.Toplam (€)						**146,96**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	%25					**19,79**
	GENEL TOPLAM (€)						**183,70**

Çizelge A.13: M4 hattı doğrudan tespitli yol yapılması fiyat analizi.

Birim Fiyat No	**Analizin adı**						**Ölçü Birimi**
806	**Doğrudan Tespitli Yol Yapılması**					45.250,00	m
Gereç no	**Cinsi**	**Kat sayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
	Malzeme (İthal)						
806A.1	Doğrudan tespitli bağlantı malzemesi	1,00	ad	2,6667	45,00	120,00	
							120,00 €
	Malzeme (Yerli)						
ybf-30	Demirli BS30 Beton İmali ve Dökülmesi	1,00	m3	0,05	94,35	4,72	
0009C	Aç-Kapa Yapılarda Nervürlü Demir BÇ IIIa	1	ton	0,04	1077,56	43,10	
015	Kalıp	1	ton	0,10	20,01	2,00	
							49,82 YTL
	Montaj ve İşletmeye Alma						
	Makine						
	İşçilik						
	Formen		saat	0,15	7,38	1,11	
	Topoğraf		saat	0,30	5,50	1,65	
	Birinci sınıf usta		saat	1,00	5,00	5,00	
	Erbab işçi		saat	1,00	3,69	3,69	
	Düz işçi(inşaat işçisi		saat	1,761	3,44	6,05	
							17,50 YTL
	Nakliye						
	Yabancı Para Birimi Top. (€)						**120,00**
	Yerli Para Birimi Top. (YTL)						**67,32**
	1.Toplam (€)						**159,46**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	1,097					**174,92**
	2.Toplam (€)						**174,92**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	%25					**43,73**
	GENEL TOPLAM (€)						**218,66**

Çizelge A.14: M4 hattı ray döşeme fiyat analizi.

Birim Fiyat No	Analizin adı						Ölçü Birimi
807	**Ray Döşenmesi**					45.250,00	m
Gereç no	**Cinsi**	**Katsayı**	**Ölçü Birimi**	**Miktar**	**Birim Fiyat**	**Tutar**	**Bölüm Toplamı**
	Malzeme (İthal)						
807A.1	UIC54 Ray	1	metre	1,374	45,31	62,25	
807A.2	UIC54 Özel sertleştrilimiş ray	1	metre	0,646	51,19	33,07	
807A.4	Ray kaynak malzemesi	1	Set	0,13	100,00	13,00	
							108,32 €
	Malzeme (Yerli)						
	Montaj ve İşletmeye Alma						
	Makine						
	İşçilik						
01.111	Ekip Başı		saat	0,25	14,90	3,73	
01.115	Topoğraf		saat	0,42	20,00	8,40	
01.108	Çelik Ustası-Kaynakçı		saat	1,75	10,90	19,08	
01.103	Düz işçi		saat	1,75	7,50	13,13	
01.104	Vasıflı işçi		saat	1,75	8,70	15,23	
							59,57 YTL
	Nakliye						
	Yabancı Para Birimi Top. (€)						**108,32**
	Yerli Para Birimi Top. (YTL)						**59,57**
	1.Toplam (€)						**143,24**
	İmalat yeri ve türü ile ilgili fark	1,097					**157,13**
	2.Toplam (€)						**157,13**
	Yüklenici kârı ve genel giderler	%25					**39,28**
	GENEL TOPLAM (€)						**196,41**

ÖZGEÇMİŞ

1985 Tekirdağ doğumluyum. Çerkezköy H.F.Z. Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra Ç.O.M.Ü. M.Y.O. İnşaat Programından 2006 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne geçiş yaptım. 2009 yılında buradaki eğitimimi tamamlayarak 2 sene resmi bir kurumda sözleşmeli olarak çalıştıktan sonra özel bir inşaat firmasında saha mühendisi pozisyonunda çalışmaya paralel olarak 2011 yılında yüksek lisans eğitimime başladım.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

- Z. Öztürk, M. Uluç, Balastsız Üstyapılarda Aralıklı Desteklenmiş Raylı Sistemlerin İncelenmesi, 2. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'13), 9-11 Ekim 2013, Karabük, Türkiye