

Bahçe-Nurdağ (Fevzipaşa) Varyantı Tünel Geçişi Yapısal Tasarımı İncelemesi

Ebru Erbeyoğlu, Sıddıka Nilay Keskin, Soner Uzundurukan, Recep Akan

Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geliş Tarihi: 24.08.2017 Kabul Tarihi: 15.12.2017

Özet

Osmaniye'nin Bahçe ve Gaziantep'in Nurdağ ilçelerini birbirine bağlayacak olan Bahçe - Nurdağ hattı Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları tarafından her biri 10 bin 200 metrelik uzunluğa sahip çift tüp demiryolu tüneli şeklinde inşa edilmektedir. Bu tünel Türkiye'nin en uzun demiryolu tüneli unvanına sahiptir. Tünel güzergâhındaki jeolojik durum ve yer altı suyu durumu nedeniyle tünelin 592 m'lik kısmı aç-kapa yöntemi, geri kalan kısmı TBM (Tunnel Boring Machine) yöntemiyle kazılmaktadır. Tünelin yapısal tasarımı için analiz yöntemi olarak ötelenme/ovalleşme(racking / ovaling) yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada Bahçe - Nurdağ hattı tünel geçişinin yapısal tasarımı incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Tünel açma makinesi;Tasarımsal inceleme;Aç-kapa yöntemi;Ötelenme/ovalleşme

Structural Design Review of the Bahce-Nurdag(Fevzipasa) Variant Tunnel Crossing

Abstract

Bahce - Nurdag line consists of 10200 m long twin-tube rail tunnel is under construction between the Bahce district of Osmaniye Province and the Nurdag district of Gaziantep Province by The State Railways of the Turkish Republic (TCDD). This tunnel has the title of the longest tunnel of Turkey. 592 m part of tunnel is dug by the method of 'Cut and Cover' and the rest by TBM (Tunnel Boring Machine) due to geological and groundwater conditions on the route line. Racking and Ovaling analyze method has been used for the structural design of the tunnel. In this study, structural design of Bahce - Nurdag line tunnel crossing was investigated.

Keywords : Tunnel Boring Machine;Design review;Cut and cover method;Racking / ovaling

1. Giriş

Tüneller; demiryolu, karayolu, yaya yolu, kanal vb. nakliye yolunun bir kısmının yeryüzünden geçirilmesinin teknik bakımdan imkânsız olduğu ya da ekonomik bakımdan uygun bulunmadığı yerlerde bu kısmın yeraltından geçirilmesi için başvurulmuş mühendislik yapılarıdır [1].

Tarihte ilk tünel yapıları, yeraltı suları ve deniz suyunun etkisi ile açılmış dehliz ve mağaraları insanların kendi ihtiyaçlarına göre büyütmesi ve ilerletmesiyle ortaya çıkmıştır.

İlk dönemlerde korunma ve sığınma gibi nedenlerle oluşturulan bu yapılar, sanayi devrimiyle birlikte ulaştırma uygulamalarında hızlı bir gelişim

kaydetmiştir. Dünya genelinde endüstride meydana gelen gelişmelerle birlikte artan nüfus ve kırsaldan kente göç şehirlerde gerek ulaşım gerekse altyapı hizmetlerinde tünel ihtiyacını arttırmıştır [2].

Bu kapsamda ilk dikkati çeken tünel projesi İngiltere'nin Londra şehrinde dönemin trafik sorununu rahatlatmak amacıyla yapılmış olan bir tünel projesidir. Bu tünel projesi doğrudan doğruya ilk silindirik kalkanlı tünel kazı tekniği 1818 yılında tasarlanmıştır. Daha sonraki yıllarda kaya delgi makinesi ile tasarım yöntemi gelişme göstermiştir. Bu tasarımla gerçekleştirilen projelerden en dikkat çeken 1857 yılında Fransa – İtalya arasında Alp sıra dağlarında gerçekleştirilen ve 12.8 km uzunluğuna

sahip Mont Cenis tüneline kullanılan tasarımdır [3].

ilerleyen süreçte tasarım yöntemleri gelişim göstermeye devam etmiş, döner bir kafaya ve tırnak keskilere sahip ilk yumuşak zemin tünel açma makinesi ile tasarım ise 1875 yılında gerçekleştirilmiştir [2].

Döner bir kesici kafaya ve bu kesici kafanın üstünde yer alan tırnaklardaki disk keskilere sahip ve sürekli kazı yapabilen bir tasarıma 1952 yılında Robbins firmasının tasarımında rastlanmıştır. Böylece uzun güzergâhlarda kazı yapmak mümkün hale gelmiştir [4].

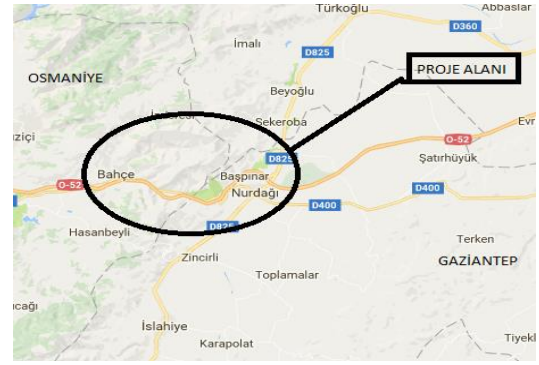
Günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntemler aç-kapa ve del-patlat' tır. Fakat bu yöntemlerle tünel inşası esnasında trafiğin aksaması, derinliğe bağlı olarak dayanım yapılarının maliyetlerinin artması ve şehir içinde titreşim yaparak diğer yapıların zarar görmesi gibi olumsuz durumlar oluşmaktadır. Bu nedenle TBM (Tunnel Boring Machine) yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen alternatif olarak kullanılabilir bir açık tünel açma yöntemidir [4].

Bu çalışma kapsamında Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları tarafından Adana – Gaziantep - Malatya konvansiyonel hattı Bahçe - Nurdağ varyantı ve demiryolu tünel geçişi projesi kapsamında bulunan, Osmaniye'nin Bahçe ve Gaziantep'in Nurdağ ilçelerini bağlayacak olan, her biri 10 bin 200 metrelik Türkiye'nin en uzun demiryolu çift tüp geçidi yapısal tasarımı incelenecektir. Çukurova ve Güneydoğu Anadolu bölgesini birbirine bağlayacak olan demiryolu hattının 17 km kısalmasını sağlayacak bu tünelde Marmaray tüneline sonra ilk defa segment bloklu TBM kullanımı gerçekleştirilmiştir.

2. İnceleme Alanı Lokasyonu, Jeolojisi ve Depremselliği

2.1. İnceleme alanı lokasyonu

Proje sahası (KM: 3+053.12 ile KM: 13+453.00) Osmaniye ili Bahçe ilçesinin güneydoğusunda ve Nur dağlarının kuzey-batı bölümünün batı yamacında yer almaktadır.



Şekil 2.1. Proje alanının harita üzerindeki konumu

2.2. Jeolojik yapı

Bahçe – Nurdağ hattı KM: 3+050.0 ile başlayıp KM: 13+453.00' a kadar devam eden bir demiryolu hattıdır. Bu hat üzerinde güzergâhtan kaynaklı olarak KM: 3+050.00' den başlayıp hattın sonuna kadar tünel geçişi yapılacaktır. Zemin yapısı ve tünelin gideceği derinlik dolayısıyla ile hattın KM: 3+050 ile KM: 3+642.00 arası aç - kapa tünel yöntemi ile, KM: 3+652.00 ile KM: 13+453.0 arası TBM yöntemi ile inşa edilecektir.

Tünel güzergahı üzerinde en yaşlı birim; eski çalışmalara ve MTA taramasına göre orta ordovisyen yaşlı kızılçak formasyonudur. Tünel güzergahının Nurdağ çıkışı tarafına doğru bu formasyonu açılabilir uyumsuzlukla örten jura-kretase yaşlı Karadağ kireçtaşı ile bütün jeolojik birimleri örten güncel yamaç molozu ve alüvyonel çökeller görülmektedir [5].

Bölgenin zemin özelliklerini belirlemek amacı ile arazide ve laboratuvarında bir dizi deney yapılmıştır. Arazide yapılan sondajlar ile alınan numuneler ve arazide yapılan; kıvam limit deneyleri, tekrarlı kesme kutusu deneyi, dolaylı çekme dayanımı deneyi, nokta yük dayanımı deneyi, tek eksenli basınç dayanımı ve poisson oranı deneyleri sonucunda belirlenen zemin durumu, bazı mühendislik özellikleri ve yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) sırasıyla Tablo 2.1, 2.2. ve 2.3' te görülmektedir.

Tablo 2.1.Sondaj kuyularına ait bilgiler [5]

Sondaj No	KM	Sondaj Derinliği	Sondaj Kotu	X	Y
SK6A	3+340	60 m	646,5	4118058	553100
SK6B	3+424	67 m	631	4118153	553162
SK6C	3+353	84 m	658	4117972	553131
SK7	3+578	56 m	647	4118064	553272
SK7A	3+620	41 m	627	4118199	553448
SK8	3+665	40 m	630	4118140	553414
SK9	3+795	50 m	639	4118155	553544

Tablo 2.2.Güzergaha göre zemin durumu[4]

Km	Zemin
3+215- 3+580	Eski heyelan
3+580- 3+653	Alüvyonel çökeller
3+653- 6+000	Kızlaç formasyonuna ait meta çamurtaşı/metakumtaşı ar dalanması ve üzerinde yer yer yamaç molozu
6+000- 7+015	Kızlaç formasyonuna ait kuvarsit üyesi
7+015- 11+510	Kızlaç formasyonuna ait meta çamurtaşı / meta kumtaşı ar dalanması ve üzerinde yer yer yamaç molozu
11+510- 3+500	Karadağ kireçtaşı- şeyl-şist ar dalanması

Tablo2.3. Tasarım parametreleri [5]

Tanım	γ kN/m ³	C kPa	ϕ °	E MPa	ν
Kocadere alüvyonları	18/19	5	32	50	0,3
Yamaç molozu	18/19	5	25	15	0,3
Meta çamurtaşı- metakumtaşı	18/19	5-10	35	400	0,2

Tablo 2.4. Yer altı suyu seviyeleri [5]

Sondaj No	KM	Sondaj Kotu	YASS	YASS Kotu
SK6A	3+340	+646,5	20 m	+626.5
SK6B	3+424	+631	12 m	+619
SK6C	3+353	+658	-	-
SK7	3+578	+647	21 m	+626
SK7A	3+620	+627	0,0 m	+627
SK8	3+665	+630	4.5 m	+625.5
SK9	3+795	+639	3.4 m	+635.6

2.3. Depremsellik

Proje alanı Türkiye'nin en önemli aktif tektonik unsurlarından Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ)'nin kesişim noktasına 30 km uzaklıktadır. Proje alanı DAFZ' nin hemen batısında yer almakta olup T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yayınlanan Türkiye deprem haritasında 1. Derece Deprem Bölgesi içinde yer almaktadır [5].

Tasarım aşamasında 1. Derece Deprem Bölgesine ait kullanılması gereken parametreler aşağıdaki gibidir [4].

Tasarımda etkin yer ivme katsayısı : $A_0 = 0.4$

Yerel zemin sınıfı: Z4

Spektrum karakteristik periyotları:

$T_a = 0.2$ sn ve $T_b = 0.9$ sn.' dir.

Tünel hattı boyunca 12+400 m' den KM: 13+450 m' ye kadar karşılaşılan mesozoik yaşlı Karadağ formasyonu oldukça kırıklı çatlaklıdır. Bu formasyon DAFZ' den etkilenmiştir ve bu bölgeden inşaatı etkileyecek miktarda su çıkması beklenmektedir. Karşılaşılabilecek teknik zorluklardan dolayı ve TBM tedariki için gereken zaman göz önüne alındığında 1050m' lik bu kısmın aç - kapa yöntemiyle açılması uygun görülmüştür. Projenin geri kalan kısmında ise TBM yöntemi kullanılmıştır [5].

3. Materyal ve Yöntem

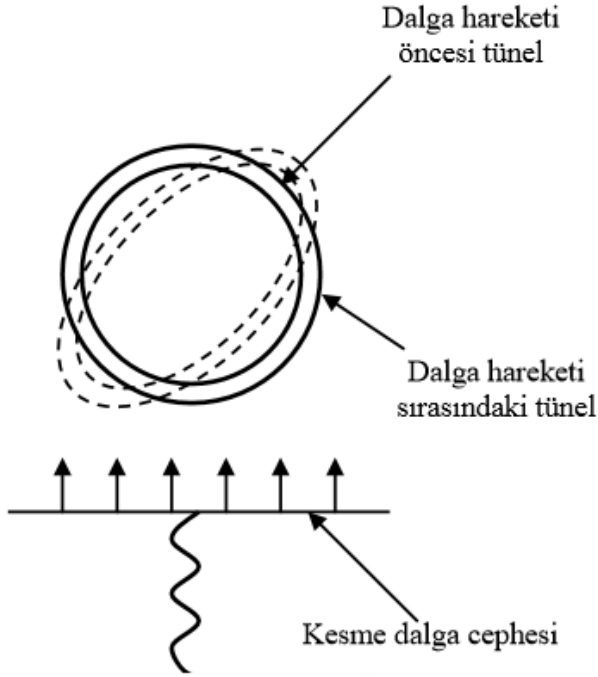
Tünel tipi, zemin içerisine gömülmüş yapıların dinamik analizi ve zemin üzerinde serbestçe yükselen yapıların titreşim ve spektrum temelli analizine göre farklılık gösterir. Yapının deprem sebebiyle yapacağı yanal hareket, içerisinde bulunduğu zemin tabakası sebebiyle serbest titreşim durumundaki yanal hareketine göre farklılık gösterir [7].

Yapı eksenine dik kayma dalgalarının zemine meydana getirdiği şekil değişiklikleri hesaplanarak, bu dalgaların yapı üzerindeki etkileri anlaşılabilir. Zeminde meydana gelen bu şekil değişiklikleri tünel en kesitinde eğilme oluşmasına neden olur.

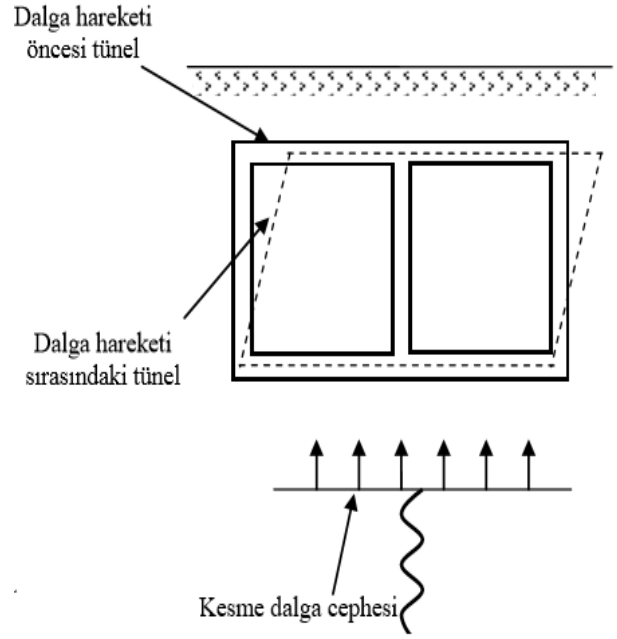
Kayma dalgası tünel eksenine normal ya da normale yakın şekilde yayıldığında tünel kesitindeki deformasyon, kesitin dairesel olduğu durum için Şekil 2.2' de gösterildiği gibi ovalleşme (ovaling) şeklinde, kesitin dikdörtgen olduğu durumlar için ise Şekil 2.3' te gösterildiği gibi ötelenme (racking) şeklinde meydana gelmektedir [8].

Bu projede, yapı ve zeminin deprem dalgaları altında birlikte yaptıkları deplasmanların belirlenmesi ve bu davranış esnasında meydana gelecek iç kuvvetlerin belirlenerek tasarım yapılabilmesi için ötelenme / ovalleşme analizi yapılmıştır.

Ötelenme / ovalleşme analizinde dairesel kesitli sistemler de ovalleşmeye sebep olan ve dikdörtgen kesitler ötelenmeye sebep olan birim kuvvetlerin yapıya yüklenmesi durumuna göre tasarım yapılmaktadır.



Şekil 2.2. Daire kesitte meydana gelen deformasyon [7]



Şekil 2.3. Dikdörtgen kesitte meydana gelen deformasyon [8]

Ötelenme / ovalleşme için uygulanacak birim deformasyon yapının alt ve üst noktalarının göreceli olarak şekil değişikliğine Denklem 1' de belirtilen formüle göre formülüne göre hesaplanır.

$$P_s = b \cdot G_s \cdot (\Delta A - \Delta B) / h \quad (1)$$

Burada;

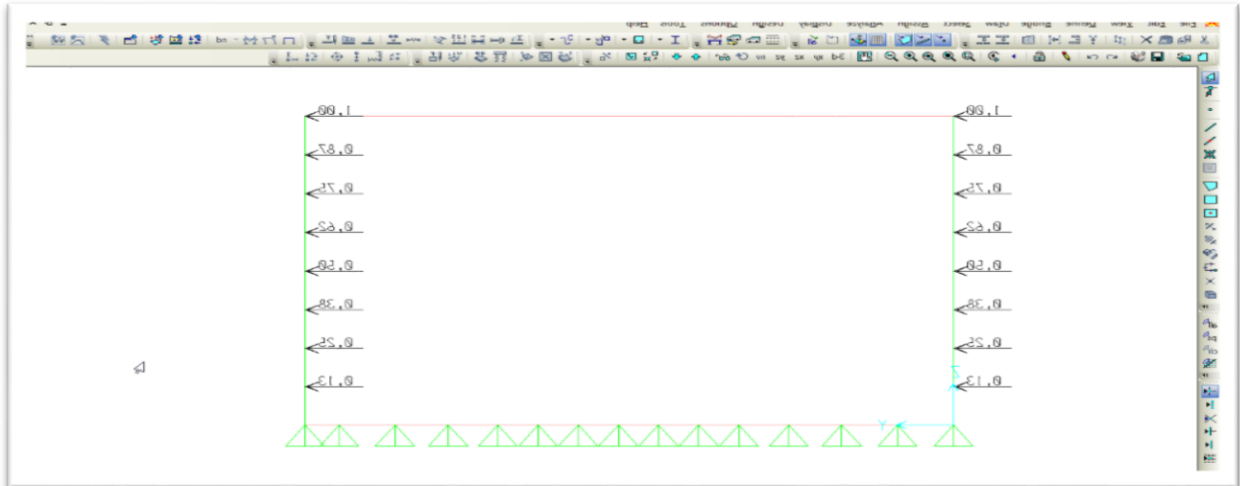
b : İki mesnet arasındaki mesafe

h : Yapının yüksekliği

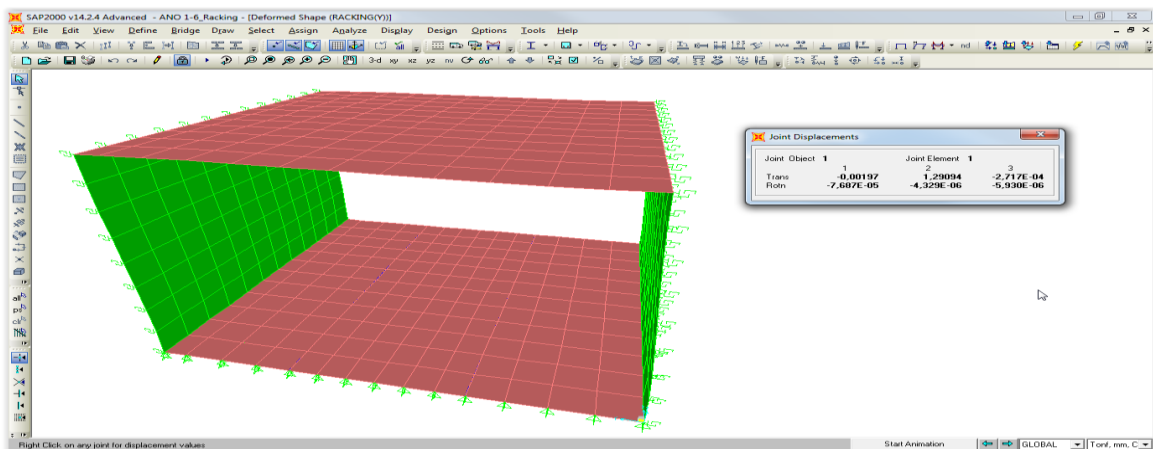
G_s: Yapı güvenlik faktörüdür.

	KALICI YÜKLER						DEĞİŞKEN YÜKLER				OLAĞANDIŞI YÜKLER			DEPREM			
	Zati Yük	Zemin Basıncı	Birincil Öngerme	İkincil Öngerme	Büzülme ve Sünme	Farklı Oturma	Tren Yük Grupları	Rüzgar	Aero-dinamik Etkiler	Düzgün Yayılı Isı	Değişken Isı	Raydan Çıkma	Araç Çarpması	Gemi Çarpması	(D1) Dep. Düzeyi	(D2) Dep. Düzeyi	(D3) Dep. Düzeyi
DAYANIM-I	Y_{E1}	Y_{E1}	-	$Y_{P1}^{(3)}$	0,5	1,2	$Y_{Gr}^{(1)}$	1,125	1,2	0,9	0	-	-	-	-	-	-
DAYANIM-II	Y_{E1}	Y_{E1}	-	$Y_{P1}^{(3)}$	0,5	1,2	$0,8Y_{Gr}^{(1)}$	1,5	1,2	0,9	0	-	-	-	-	-	-
DAYANIM-III	Y_{E1}	Y_{E1}	-	$Y_{P1}^{(3)}$	0,5	1,2	$0,8Y_{Gr}^{(1)}$	1,125	1,5	0,9	0	-	-	-	-	-	-
DENGE-I	Y_{E2}	Y_{E2}	-	$Y_{P2}^{(4)}$	0,0	0,0	$Y_{Gr}^{(5)}$	1,125	1,2	0	0	-	-	-	-	-	-
DENGE-II	Y_{E2}	Y_{E2}	-	$Y_{P2}^{(4)}$	0,0	0,0	$0,8Y_{Gr}^{(5)}$	1,5	1,2	0	0	-	-	-	-	-	-
DENGE-III	Y_{E2}	Y_{E2}	-	$Y_{P2}^{(4)}$	0,0	0,0	$0,8Y_{Gr}^{(5)}$	1,125	1,5	0	0	-	-	-	-	-	-
Day.+Dengel	Y_{E3}	Y_{E3}	-	$Y_{P3}^{(3)}$	0,5	1,2	$Y_{Gr}^{(5)}$	1,125	1,2	0,9	0	-	-	-	-	-	-
Day.+Dengell	Y_{E3}	Y_{E3}	-	$Y_{P3}^{(3)}$	0,5	1,2	$0,8Y_{Gr}^{(5)}$	1,5	1,2	0,9	0	-	-	-	-	-	-
Day.+Dengelll	Y_{E3}	Y_{E3}	-	$Y_{P3}^{(3)}$	0,5	1,2	$0,8Y_{Gr}^{(5)}$	1,125	1,5	0,9	0	-	-	-	-	-	-
Kullanım I	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00 ⁽¹¹⁾	0,75	0,8	0,6	0,6	-	-	-	-	-	-
Kullanım Ia	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	0,00	0,0	0,6	0,6	-	-	-	-	-	-
Kullanım II	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,00	0,8	0,6	0,6	-	-	-	-	-	-
Kullanım III	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,75	1,0	0,6	0,6	-	-	-	-	-	-
Yorulma	-	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kırılma	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	0,8/0,7/0,6 ⁽¹⁰⁾	-	-	1,0	1,0	-	-	-	-	-	-
Olağan Dışı I	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	$(0/0,7)^{(6)}Y_{Gr}$	0	0	0,5	0,5	1,00	-	-	-	-	-
Olağan Dışı II	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	$(0,8/0,7)^{(7)}Y_{Gr}$	0	0	0,5	0,5	-	1,00	-	-	-	-
Olağan Dışı III	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	$(0,8/0,7)^{(7)}Y_{Gr}$	0	0	0,5	0,5	-	-	1,00	-	-	-
Deprem I	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	$Y_{dep}^{(7)}$	0	0	0/0,5 ⁽⁸⁾	0/0,5 ⁽⁸⁾	-	-	-	1,00	-	-
Deprem II	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	$Y_{dep}^{(7)}$	0	0	0/0,5 ⁽⁸⁾	0/0,5 ⁽⁸⁾	-	-	-	-	1,00	-
Deprem III	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	$Y_{dep}^{(7)}$	0	0	0/0,5 ⁽⁸⁾	0/0,5 ⁽⁸⁾	-	-	-	-	-	1,00

Tablo 3.1. T.C. Ulaştırma Bakanlığı Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaat Genel Müdürlüğü Demiryolları eki köprü tasarım esasları yük birleşimleri tablosu [11]



Şekil 2.5. Racking analizi için birim yükleme [6]



Şekil 2.6. Maksimum tepe deplasmanı 1. Jointte 1.291 mm olarak görüntülenmiştir [6]

3.1. Aç-Kapa tüneli tasarım parametreleri

Aç-Kapa Tüneli tasarımı Bahçe-Nurdağı hattının KM:3+050 m ile KM:3+642.47 m arasında yapılmıştır.

Aç – kapa tüneli 12.10 m' lik 49 anodan oluşmaktadır. Bu anolar farklı derinlikte olmalarından dolayı farklı yüklemelere maruz kalacaklardır. Bu nedenle tasarım 10 farklı kesite göre ayrı ayrı yapılmıştır.

Geoteknik rapor doğrultusunda KM: 3+050 m - 3+127 m arasında düşey yatak katsayısı 3000 t/m³, yatay yatak katsayısı 600 t/m³ ve KM: 3+125 m - 3+510 m arasında düşey yatak katsayısı 6000 t/m³, yanal yatak katsayısı 1200 t/m³ olarak alınmıştır. Tasarım drenajsız hale göre yapılmıştır.

Tünel kesitinde malzeme olarak C35 beton ve S420 donatı kullanılmıştır. Yük kombinasyonları ve malzeme birim ağırlıkları, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Kıyı Liman Yapıları ve Demiryolları Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü Demiryolları Eki Köprü Tasarım Esaslarından alınarak aşağıda Tablo 3.1' de gösterildiği gibi dikkate alınmıştır [6].

Yanal toprak itkisi hesapları durağan hal için üçgensel dağılım formunda etki ettirilmiştir.

Duvar dolgu ara kesitinin düşeyle yaptığı açısı: 0
Dolgunun içsel sürtünme açısı: $\Phi=30^\circ$
Şev açısı: 0
Etkin yer ivmesi: 0.6 g
Dolgunun birim hacim ağırlığı: 2 t/m³

Yapı genel anlamda bir kutu kesit gibidir. Doğal zemin üzerinde yapılacak iyileştirmelerden sonra kazıklı radye plağına oturacaktır.

Yapının tamamen dolgu altında kalacak olmasından dolayı yüzeye yakın bir tünel gibi ötelenme (racking) analizi gerçekleştirilmiştir [6].

Kayma deformasyonu kutu yapısının alt ve üst kısımlarındaki oluşan deformasyon farkıyla tanımlanmaktadır. Bu farklı deformasyon yukarıda Δs ile gösterilmektedir. Bütün adımların nihayetinde yapının üst kotunun yaptığı

deplasmanı bulup yapı rijitliği ile oranlayarak bu deformasyona sebep olan dış kuvvete göre yapının iç kuvvetlerinin tespitinin yapılması hedeflenmiştir [6].

Model, 3 yönde deplasman yapması engellenmiş ancak dönmeleri serbest bırakılmış halde itmeye maruz bırakılmıştır. İtme analizi için 3 boyutlu analiz modelinden yararlanmak yapının rijitliğini daha doğru belirlemek açısından tercih edilmiştir. Uygulanacak birim kuvvetler analiz modelinde 1' er metre aralıklarla noktalara Joint Force olarak Şekil 2.5' teki gibi uygulanmış ve Şekil 2.6' da elde edilen total deplasman toplam kuvvete bölünerek yapı rijitliği elde edilmiştir [6].

3.2. TBM tasarımı

TBM tünel tasarımı 3+652 ile 13+453 km' leri arasında çift tüp için hazırlanmıştır.

3.3. Segman blok tasarımı

Az sayıda segman kullanımı iş gücünü azaltacak ve imalat hızını artıracak olmasına rağmen, sayının azalmasıyla birlikte blokların ağırlıklarının artacak olması tasarım aşamasında zorluklara sebep olacağından bu projede segman adedi 5+1, genişliği 1.5 m ve kalınlığı 35 cm olarak belirlenmiştir. Her bir segman halkası 5 adet 67.5° ve 1 adet 22.5° anahtar segmandan oluşmaktadır. Tünel iç çapı 7 m dir.

3.4. Geoteknik tasarım parametreleri

Geomekanik sınıflama deneyleri yapılmış ve bu deneyler sonucunda RMR (rock mass rating) kaya kütlesi değeri zayıf kaya değerleri olan 21-41 arasında bir değer olan 37 bulunmuştur.

Zemin Yay sabitleri

Bahçe Nurdağı geçiş tüneli KM: 3+653 m ile KM: 4+900 m arasında meta çamurtaşı - meta kumtaşı birimleri kesilerek imal edilecektir. Ölçümler neticesinde güzergaha ait tasarım parametreleri Tablo 3.2' de gösterilmiştir [9].

Tablo 3.2. Tasarım parametreleri [10]

KM:3+363-4+900			KM:4+900-12+380			KM.:12+380-13+450		
Em	4462	Mpa	Em	14270	Mpa	Em	963	Mpa
B	7350	mm	B	7350	mm	B	7350	mm
Wr	0.25		Wr	0.25		Wr	0.25	
Es	36000	Mpa	Es	36000	Mpa	Es	36000	Mpa
Is	4,73E+13	mm ⁴	Is	4,73E+13	mm ⁴	Is	4,73E+13	mm ⁴
kh	50835.97	ton/m ³	kh	179118.3	ton/m ³	kh	9.655.525	ton/m ³
Kh	3.736.443.837	ton/m ³	Kh	1316520	ton/m ³	Kh	70968.11	ton/m ³

Doğal su basıncının 30 bar olmasına rağmen, tünelin işletim sistemi boyunca su basıncının 10 bar seviyesinde kalması için gerekli drenaj şartları sağlanmıştır. Yer altı su seviyesi düşürücü önlemler ve sağlanan drenaj sayesinde tünel kaplaması için segman tasarım değeri 10 bar (100t/m²) alınmıştır.

3.5. Tasarım Yüklemeleri

3.5.1. Ölü yükler

Jet fan yükü tünel eksenine yaklaşık 1.8 m uzaklıkta olacak şekilde tekil yük olarak yüklenmiştir.

Tipik kesitlere göre balast tabakasının altına 15 cm tesviye betonu tabakası öngörülmüştür. Birim hacim ağırlığı 2.5 t/m³ olarak alınan tesviye betonundan gelecek ölü yük kesitin her iki tarafından 2.15 m genişlikte uygulanmıştır. Tesviye betonunun altında ise 112 cm x 94 cm ebatlarında ortalama 75 cm kalınlığında betonarme tabaka hesaba dahil edilmiştir.

Balast tabaka 60 cm. tipik kesitlerde verilmiş, 20-26 kN/m³ birim hacim ağırlık göz önünde tutularak kesitin her iki tarafından 2.15 m genişlikte ölü yük olarak uygulanmıştır.

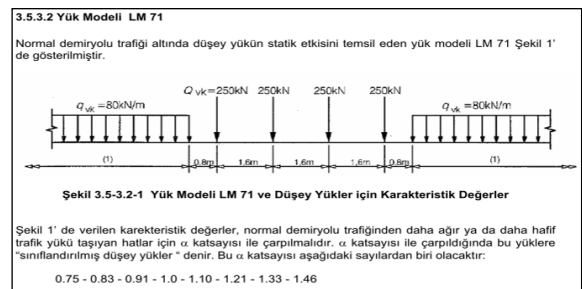
T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü Demiryolları Eki Köprü Tasarım Esasları malzeme birim ağırlıklarına göre 2 adet UIC 60 ray 1.2 kN/m², raya tespitleme araçları ile birlikte ön gerilmeli beton traversler 4.8 kN/m² olarak alınmış ve kesitin her iki tarafından 2.15 m genişlikte ölü yük olarak uygulanmıştır. Bu yüklemeler Tablo 3.3' te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Malzeme birim ağırlıkları [11]

Malzeme Cinsi	Yoğunluk	Birim
Alüminyum Alaşımları	27.5	kN/m ³
Bitümlü kaplama yüzeyleri	22.1	kN/m ³
Dökme demir	70.6	kN/m ³
Odun külü il dolgu	9.4	kN/m ³
Sıkıştırılmış kum, silt veya kil	18.9	kN/m ³
Beton	17.4	1775 kN/m ³
	18.9	1925 kN/m ³
	23.5	2400 kN/m ³
Gevşek silt, kum veya çakıl	15.7	kN/m ³
Yumuşak killi zemin	15.7	kN/m ³
Silindirenmiş kum, makadam veya balast	22.1	kN/m ³
Çelik	77	kN/m ³
Alüminyum Alaşımları	27	kN/m ³
Demir, Dökme	71	kN/m ³
Demir, biçimlendirilebilir	76	kN/m ³
Kurşun	112	kN/m ³
Doğal Taş Duvar	26.7	kN/m ³
Ahşap Sert	9.4	kN/m ³
Ahşap Yumuşak	7.8	kN/m ³
Su Tatlı Su	9.8	kN/m ³
Su Tuzlu Su	10.1	kN/m ³
Demiryolu Köprülerinin Kaplaması		
Koruyucu Beton Kaplama	25	kN/m ³
Noral Blasat(Granit, Gnays vb.)	20	kN/m ³
Bazaltik Balast	26	kN/m ³
	Birim Yatak uzunluğu ağırlığı	Birim
Balast ile yataklanmış yapılar		
2 adet UIC 60ray	1.2	kN/m ³
Raya Tespitleme elemanları ile birlikte ön gerilmeli beton traversleri	4.8	kN/m ³

3.5.2. Hareketli yükler

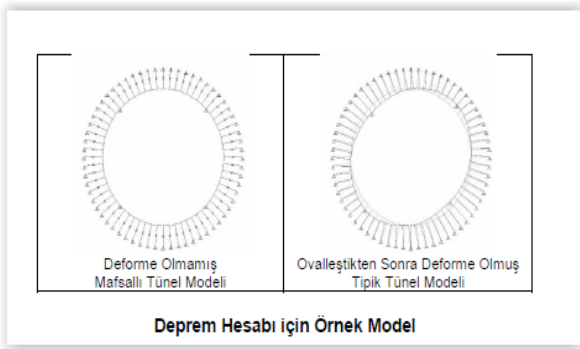
Trenin üzerinde ilerlediği kısımlarda Şekil 2.8' de gösterildiği gibi 'Eurocode-1 Part 2 Actions on Structures' şartnamesi madde 6.3.2. load model 71, katar yüklemesi kabul edilmiştir [8].

**Şekil 2.8.** LM-71 yüklemesi için karakteristik değerler

[11]

3.4.4. Dizayn yaklaşımı

Şekil değiştirme temelli analizde öncelikle aksel ve eğilme şekil değiştirmelerinin toplamının kesitte meydana getirdiği iç kuvvetler bulunmuştur. Tünel yapısının içerisinde bulunduğu kayaç zeminin sağlamlığı nedeniyle yapı zemin etkileşimi göz önüne alınmamış ve formülasyonlar bu duruma uygun olarak değiştirilmiştir. Aynı zamanda bu analiz yönteminde betonarme halka kesitin şekil değiştirmeye karşı koymadığı, zeminin yaptığı şekil değiştirmenin kesit tarafından da yapıldığı ve elastik sınırlar içinde kaldığı varsayılmıştır [9].

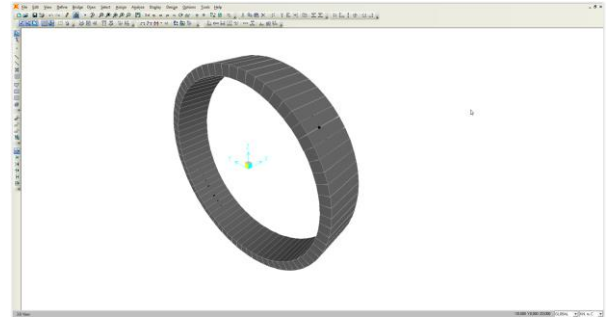


Şekil 2.7. Deprem hesabı için örnek model

3.4.5. Deformasyon metodu

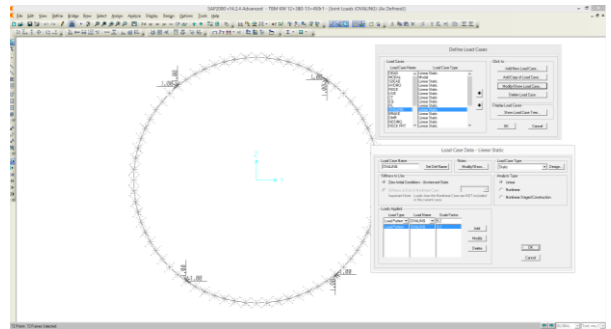
Kaplamanın yapısal tepkisinin hesaplanması için deformasyon metoduna göre deprem durumunda oluşacak nihai kaplama sehimi tünel kesitine SAP2000 analizinde (1.47 mm) olarak girilmiştir [9].

Deprem durumunda tünel kaplama ringinin oval şekle ulaştığı düşünülerek oluşturulan modelin gerçeğe daha yakın olması için deplasman analizinde radyal birleşimlerin rijitliği ring üzerindeki segman birleşim noktalarında mafsallı tanımlanarak sıfıra düşürülmüş, zemin-segman etkileşimini temsil etmek için kullanılan zemin yay sabitleri de 10'da 1'e düşürülmüştür. Tünel zemine gömülü olduğu ve zeminden bağımsız hareket edemediği için zemin hareketi tünel deformasyonunu belirlemektedir.



Şekil 2.9. 3 Boyutlu analiz modeli [9]

Deprem yükü olarak hesaplanan sehimler SAP2000 programında tünel kesitinde 4 noktaya istenilen deplasman verecek şekilde yüklemeler modellenmiştir.



Şekil 2.10. Ovaling için girilen birim kuvvetler [9]

Deplasman modelinde okunan sonuçlar KM: 12+380 m - 13+450 m arası için oluşturulan modelde zemin modelinden okunan sonuçlarla (zemin ve yer altı suyu) süperpoze edilmiştir. Bu şekilde her iki modelde okunan sonuçlar toplanarak deprem davranışında tünel kaplamasında oluşacak nihai kesitler belirlenmiştir.

3.4. TBM seçimi

TBM metodunda kesici uçlarının adedi, basınç miktarı TBM' nin ilerleme hızı gibi parametrelerin belirlenmesi güzergâh ve güzergâhın geçeceği zemin türlerine bağlıdır. KM: 12+400 m' den KM: 4+850 m' ye kadar olan kısımda, ara katmanlı meta kumtaşı ve meta çamurtaşından oluşan yüksek dayanım ve aşındırıcılık özelliğine sahip orta ordoviyen yaşlı kızılçak formasyonu mevcuttur. Burası için tek veya çift kalkanlı sert kaya TBM' lerinin kullanılması önerilmiştir [10].

Kesilecek kayanın çok aşındırıcı ve yüksek dayanımlı olması sebebi ile sisteme 48.26 cm (19 inch) çapında 53 adet diske ilave olarak köşe

kesici olarak 3 adet disk daha eklenmesi önerilmiştir. Kesici kafa dönüş hızı 0-6 rpm olarak seçilmiştir. Arına itme kuvvetinin TBM kapalı modda EPB (Earth Pressure Balance) olarak çalışırken 52490 kN, açık modda çalışırken 27715 kN olarak alınmasının yeterli olacağı kanaatine varılmıştır [10].

4. Sonuçlar

Yapılan incelemeler neticesinde 17 km' lik hattın zemin etüd raporuna göre KM: 3+215 m - 3+580 m' leri arasında eski heyelan, KM: 3+580 m - 3+653 m' leri arasında alüvyonel çökeller, KM: 3+653 m - 6+000 m' leri arasında kızlaç formasyonuna ait meta çamurtaşı /meta kumtaşı ardalanması, KM: 6+000 m -7+015 m' leri arasında kızlaç formasyonuna ait kuvarsit üyesi, KM: 7+015 m - 11+510 m' leri arasında kızlaç formasyonuna ait meta çamurtaşı / meta kumtaşı ardalanması ve yamaç molozu bulunmaktadır.

Tünel kesitini deprem dalgaları altında oluşan deplasman ve bu deplasman oluşurken meydana gelen iç kuvvetlere göre tasarlayabilmek için ötelenme/ovalleşme (racking/ovaling) analiz yöntemi kullanılmıştır.

Tünel hattı boyunca karşılaşılan zemin durumu ve depremsellik dolayısıyla bu bölgeden önemli miktarda su çıkması beklenmekte ve aynı zamanda TBM tedariki için gereken zaman göz önüne alındığında inşaatın hem ekonomik olması hem de yapımının daha hızlı tamamlanabilmesi amacıyla tünel hattının KM: 3+050 m – KM: 3+642.47 m arasındaki 592 m' lik kısmın aç-kapa yöntemiyle açılması uygun görülmüştür. Farklı derinlikler nedeniyle kesitlerde farklı yükler etkiyeceğinden dolayı tasarım 10 farklı kesite göre tasarlanmıştır.

Tünelin geri kalan kısmının, hem zemin yapısı hem de bulunduğu derinlik dolayısıyla TBM yöntemiyle açılmasının daha uygun olacağına karar verilmiştir. Yapılan tasarımlar neticesinde 7 m çapındaki tünel için 1.5 m genişliğinde ve 35 cm kalınlığında segman tasarımı yapılmıştır.

Kesilecek kayanın çok aşındırıcı ve yüksek dayanımlı olması sebebi ile sisteme 48.26 cm (19

inch) çapında 53 adet diske ilave olarak köşe kesici olarak 3 adet disk daha eklenmesi önerilmiştir

Osmaniye'nin Bahçe ilçesini ve Gaziantep'in Nurdağ ilçesini, aynı zamanda da Güneydoğu Anadolu ile Çukurova bölgesini birbirine bağlayan bu demiryolu hattı ticaretin lojistik kısmında yaşanan zorlukları daha aza indirgeyecek ve bölgeler arasında turistik olarak yapılacak gezilerde kolay ulaşım sağlayacaktır. Böylece bölge halkı sosyal ve ekonomik anlamda gelişecektir. Bu durumlar göz önüne alındığında hattın 17 km kısalmasını sağlayacak bu tünellerin bu bölge için çok önemli bir proje olduğu söylenebilir.

Coğrafi ve jeolojik durum göz önüne alındığında bölgenin önemli faylarından etkilenmesi, coğrafi koşullardan dolayı bölgede bulunan karayolu, otoyol ve petrol hatlarının bu bölgeden geçiyor olması gibi nedenlerden dolayı zorlu bir güzergâh olan bu hat için aç-kapa ve TBM gibi iki farklı tünel açma yöntemi kullanılması projeyi mühendislik anlamında uygulanabilir kılmıştır. Her iki yöntemin tasarımında da deformasyon modeli olarak ötelenme/ ovalleşme (racking/ovaling) kabulünün yapılması, kesit tasarımında kullanılan analizlerin gerçeğe en yakın sonuçları vermesini sağlamıştır.

Kaynaklar

- [1] Bozkurt, M., "Tüneller Ders Notları," İTÜ Talebe Cemiyeti Yayını No:5,1970, İstanbul.
- [2] Maild B., Schmid, L, Ritz, W. ve Herrenknecht, M., "Hard Rock Tunnel Boring Machines," Ernst&Sohn, Berlin, 2008.
- [3] King J., "A Century of Tunneling and Where We Go Now," British Tunnel Society, the 2000 Harding Lecture, Tunnels and Tunneling International, 2000.
- [4] Öztürk, H., "Tüneller ve Tasarım İlkesi," Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 2007.
- [5] "Bahçe-Nurdağ (Fevzipaşa) Varyantı Altyapı İşleri KM: 1+550 ile KM: 3+510 Arası Ripaj Kesimi Proje Raporu," Nisan 2015.

- [6] “Bahçe-Nurdağı (Fevzipaşa) Varyantı Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları KM: 2+800 - 3+510 Aç-kapa Tüneli Yapısal Tasarım Raporu,” DKE Mühendislik Danışmanlık, Temmuz 2015.
- [7] Teke, N.,“Tünellerde Avrupa Birliđi Standartları ve Kağıthane Piyalepaşa Tüneli,” T.C. Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 2012.
- [8] Ariođlu S., “Tünel Açma Makinelerinin (TBM) Performansına Etki Eden Etkenler ve Kadıköy Kartal Tünelinde Kullanılan TBM’ in Performansının Arazi Penetrasyon İndisi ile Kestirilmesi,” İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- [9] “Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları KM: 3+652,62 - 13+453,04 Arası TBM Tüneli Yapısal Tasarım Raporu,” DKE Mühendislik Danışmanlık, Ocak 2016.
- [10] Bilgin, N.,“Bahçe-Nurdağı Tüneli için TBM Seçimi ve Performansı Tahmini,” İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 2004.
- [11] “T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü Demiryolları Eki Köprü Tasarım Esasları,”.