

YERALTI KAZILARINDA (TÜNELLERDE) YERDEĞİŞTİRME VEKTÖRÜNÜN İZLENMESİ VE AYNA İLERİSİNDEKİ ORTAMLARIN TAHMİNİ

MONITORING OF THE DISPLACEMENT VECTOR IN UNDERGROUND OPENINGS (TUNNELS) AND ESTIMATION OF THE ENVIRONMENTS AHEAD OF THE TUNNEL FACE

Ahmet ÖZBEK

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 33343 Çiftlikköy / MERSİN

ÖZ: Ekonomik ve emniyetli bir tünelleme, kazı esnasında oluşan deformasyonların sistematik olarak ölçülmesi ve değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu çalışma, Kırkgeçit-1 (Pozantı-Adana) ve Kızlaç (Bahçe-Osmaniye) tünellerinde 3D optik deformasyon ölçüm sistemi kullanılarak elde edilen yerdeğiştirme vektörü ve yerdeğiştirme vektör yönelimi değerlerinden yararlanılarak tünel içerisinde oluşabilecek yerdeğiştirme miktarı ve kazı ilerisindeki kaya koşulları (zayıf kaya, sağlam kaya) hakkında önceden tahminlerin yapılmasını kapsamaktadır. Bu amaçla Yeni Avusturya Tünelleme Yöntemi kullanılarak açılan her iki tünelde yapılan deformasyon ölçümleri ile boyuna ve düşey yerdeğiştirme bileşenleri belirlenmiştir. Yerdeğiştirme bileşenleri belirli bir zaman periyodu göz önüne alınarak kümülatif olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu bileşenlerden yararlanılarak yerdeğiştirme vektörü ve yerdeğiştirme vektör yönelimi değerleri elde edilmiştir. Yerdeğiştirme vektör değeri Kırkgeçit-1 tüneline en yüksek 5.6 mm ve Kızlaç tüneline 8.4 mm olarak bulunmuştur. Yerdeğiştirme vektör yönelimi değerlerinden yararlanılarak her iki tünel için zayıf kaya-sağlam kaya, sağlam kaya-zayıf kaya geçişlerini gösteren eğilimler elde edilmiştir. Bu eğilimlerden yararlanılarak tünel kazısı ve ilerisindeki kaya koşulları hakkında önceden tahminler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon, Yerdeğiştirme vektörü, Vektör yönelimi

ABSTRACT: Economical and safety tunneling requires that systematical measurement and evaluation of the deformations evolved during the excavation. This study comprise a previously estimation of the rock conditions ahead of the excavation and amount of displacement inside tunnel with using the displacement vector and displacement vector orientations that were gained from the 3D optical deformation measurement system in the Kırkgeçit-1 (Pozantı-Adana) and Kızlaç (Bahçe-Osmaniye) Tunnels. For this purpose longitudinal and vertical displacement components were determined from the deformation measurements in both tunnels that opened with using the New Austrian Tunneling Method. Displacement components were separately calculated as cumulative for significant period of time. Displacement vector and displacement vector orientations were obtained with utilizing these components. Maximum displacement vector values were found as 5.6 mm in Kırkgeçit-1 Tunnel and 8.4 mm in the Kızlaç Tunnel. Trends that shows the transitions of weak rock to hard rock and hard rock to weak rock in both tunnels were get from the using of displacement vector orientations. Previous estimations of rock conditions in and ahead of the tunnel excavation were made with using these trends.

Key words: Deformation, Displacement vector, Vector orientation

GİRİŞ

Kaya kütlelerinin düşük dayanımı, yüksek deformasyona uğrama özelliği ve heterojenliği, tünel performansının tahminini zorlaştırır (Schubert ve Steindorfer, 1995). Tünelin içinde açıldığı kaya

kütellerindeki yersel özellikler, gerilmeler ve deformasyonlar tünel duraylılığını etkileyecektir.

Tünel inşasında tünel sıralı kazı adımları (üstüarı, altıarı ve invert) yapılırken tünel üzerine etkiyen gerilmeler oluşan yeni şartlara uygun olarak

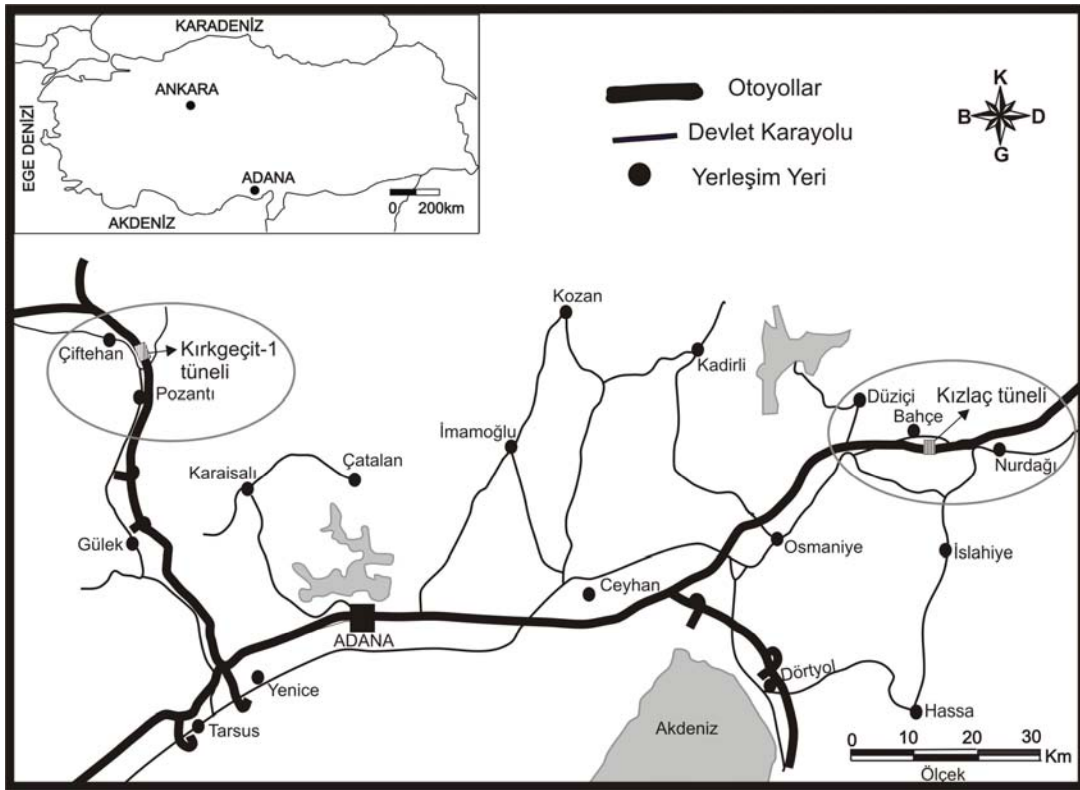
yeniden bir dağılım gösterecektir. Oluşan yeni gerilme koşullarında tünel içerisinde oluşacak deformasyonların hızlı ve doğru bir şekilde izlenmesi, ölçülmesi ve değerlendirilmesiyle tünel üzerine etkiyen deformasyon miktarı ile tünel kazısı ilerisindeki kaya koşullarının tahmini sağlanabilmektedir (Schubert ve Steindorfer, 1996b).

Son onbeş yıl içerisinde yeraltı kazı deformasyon izleme teknikleri önemli ölçüde gelişmiştir. Deformasyon ölçüm aletlerinin çoğu, tünel kazısı sırasındaki jeomekanik süreçlerin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlar. Tünel kazısı sırasındaki mutlak yerdeğiştirmelerin (boyuna, düşey ve yatay yerdeğiştirme) jeodetik yöntemlerle belirlenmesi, göreceli yerdeğiştirme (konverjan) ölçümlerinin yerini almıştır (Schubert ve diğ., 2002). Tünel eksenı boyunca düşey düzlemde yerdeğiştirme vektör yönelimi (boyuna ve düşey yerdeğiştirme bileşeni) tünel kazısı boyunca kaya kütle sertliğinin belirlenmesinde iyi bir göstergedir (Schubert ve Steindorfer, 1996a). Başarılı bir tünelticilik için, kaya kütle yapısının ve kalitesinin, aynanın ilerisinde ve kazı alanı dışında iyi ve kısa süreli tahminleri yapılmalıdır. Uygulama anındaki kararlarda, dizayn sırasındaki modellemeye ek olarak, kaya kütle davranışı ve destek yapısının sürekli olarak ve yeterli

izlenmesi, temel oluşturacaktır (Schubert ve Steindorfer, 1996b).

NATM (New Austrian Tunneling Method) tünel açımı sırasında deformasyonların ölçülmesi ve izlenmesini temel olarak kaya kütle davranışını ortaya koyan bir yöntemdir (Rabcewicz, 1964). Bu yöntemde sistematik izlemenin kullanılmasıyla, destek tipi ve miktarının belirlenmesi ve tünel duraylılığının kontrolü sağlanmaktadır. Tünel deformasyonların ölçülmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili olarak bugüne kadar bazı araştırmacılar tarafından Pacher (1977), Golser ve Mussger (1978), Sauer (1980), Hoek ve Brown (1980), Schubert ve Budil (1995), Schubert ve Steindorfer (1996a,b), Steindorfer ve Schubert (1997), Özbek (1999), Reidmüller ve Schubert (2000), Sellner ve Steindorfer (2000), Golser ve Steindorfer (2000), Schubert ve diğ. (2002), çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Çalışma alanı olarak TAG (Tarsus-Adana-Gaziantep) otoyolu kapsamında Bahçe-Kızılç vadisinin güney doğusunda yer alan 2760 m uzunluğundaki Kızılç (Bahçe) tüneli ile Ankara-Pozantı otoyolu kapsamında inşa edilen Pozantı-Çiftahan arasında yer alan 503 m uzunluğundaki Kırkgeçit-1 (Pozantı) tüneli seçilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1: Çalışma alanı yerbulduru haritası.

Figure 1: Location map of the study area

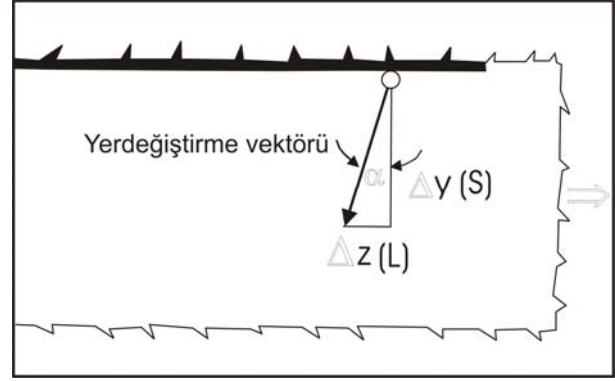
Kızlaç tüneli genel olarak kumtaşı, şeyl ve kumtaşı-şeyl ardalanması içerisinde açılırken, Kırkgeçit-1 tüneli mikrogabro ve kireçtaşı birimleri içerisinde açılmıştır. Her iki tünelde'de incelemeye konu olan kısımlar fay ve su sızıntısı nedeniyle yer yer bozunmalar ve ezik zonlar oluşmuştur. Bu çalışma ile Kızlaç ve Kırkgeçit-1 tünellerinde NATM'in temelini oluşturan deformasyonların sistematik olarak jeodetik aletlerle üç boyutlu izlenmesi ve ölçülmesi ile yatay, düşey ve boyuna yerdeğiştirme değerleri belirlenmiştir. Elde edilen boyuna ve düşey yerdeğiştirme arasındaki orana bağlı olarak yerdeğiştirme vektörü ve yerdeğiştirme vektör yönelimleri belirlenerek, oluşan yerdeğiştirme miktarı ile tünel ayna kazısı ilerisindeki kaya kütle koşulları hakkında önceden tahminlere gidilmesi amaçlanmıştır.

TÜNEL EKSENİ BOYUNCA YERDEĞİŞTİRME VEKTÖR YÖNELİMİ

Tünel deformasyonlarının belirlenmesindeki klasik yöntem ekstansiyometre yardımıyla yapılan konverjan ölçümlerdir. Konverjan ölçümler sadece iki nokta arasındaki göreceli yerdeğiştirmeler üzerine bilgi sağlar. Konverjans ölçümleri bileşenlerin hesaplanacağı şekilde düzenlenir. Ayrıca havalandırma tüpü, inşaat makineleri, ekipmanları ve diğer engellerden dolayı okumaların yapılması ya engellenir yada geçikmeli olarak yapılabilir. Tünel kazı deformasyonlarının belirlenmesinde diğer bir yöntem olan 3-D optik izleme yöntemi ile mutlak yerdeğiştirme bileşenleri (düşey, yatay ve boyuna yerdeğiştirme) ölçülebilmektedir. Boyuna ve düşey yerdeğiştirme bileşenleri kullanılarak yerdeğiştirme vektörü ve yerdeğiştirme vektör yönelimi hakkında önemli bilgiler elde edilmektedir.

Schubert ve Budil (1995) belirli değişikliklerin daha iyi gözlenebilmesi amacıyla, boyuna yerdeğiştirme (L) ve düşey yerdeğiştirme (mutlak oturma) (S) değerlerinden yola çıkılarak L/S oranını belirlemiştir. Bu oran düşey düzlemde yerdeğiştirme vektörü ve boyuna yerdeğiştirme ile mutlak oturma arasındaki açının tanjantı (α) ile temsil edilmektedir (Şekil 2). Yerdeğiştirme vektör yönlenmeleri ve zamana bağlı olarak değişimleri tünel eksenine dik bir düzlem içerisinde gösterilmektedir. Tünel eksenine boyunca, düşey düzlem içindeki yerdeğiştirme vektör yönelimi (oturma ve boyuna yerdeğiştirme bileşeni) aynanın oldukça ilerisindeki, kaya kütle sertliği içerisindeki değişiklikleri gösterir (Schubert ve Steindorfer, 1996b).

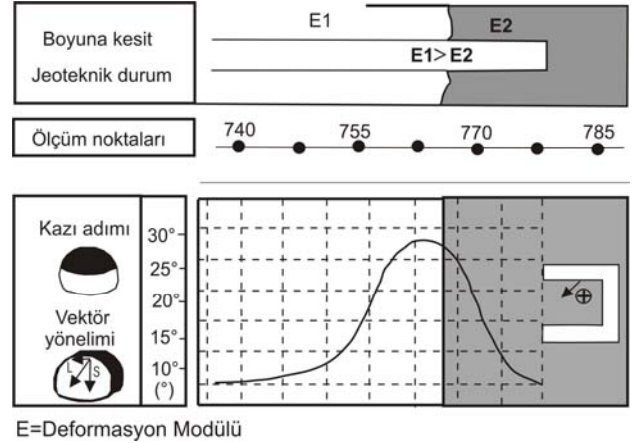
Uygun aralıktaki izleme kesitleri ile, tünel kazısı sırasında, kaya kütle sertliğindeki değişiklikler tünel kazı ayna çapının 1,5-2 katı kadar ilerisi önceden tahmin edilebilmektedir. Bu durum kaya kütle davranışında beklenen değişikliklere karşı kazıyı ve tahkimatı ayarlamaya zaman tanımaktadır (Golser ve Steindorfer, 2000).



Şekil 2: Yerdeğiştirme vektörünün, boyuna ve düşey bileşenleri (Schubert ve Budil 1995).

Figure 2: Displacement vector vertical and longitudinal component (Schubert and Budil 1995).

Tünel kazısı daha zayıf kaya külesine yaklaştığında yerdeğiştirme vektör yönelimindeki değişiklikler Şekil 3'te gösterilmiştir. Kazı daha zayıf kaya külesine yaklaştığında, yerdeğiştirme vektör yönelimi kazı yönüne karşı artma eğilimi gösterir (pozitif yerdeğiştirme vektör yönelimi) (Schubert ve Steindorfer 1996b). Kazı zayıf kaya külesinden daha az deforme olmuş sağlam kaya külesine yaklaştığında tam tersi bir durum gözlenmektedir. Sağlam kaya külesi gerilmeleri çeker ve yerdeğiştirme vektör yönelimi kazı yönüne doğrudur.

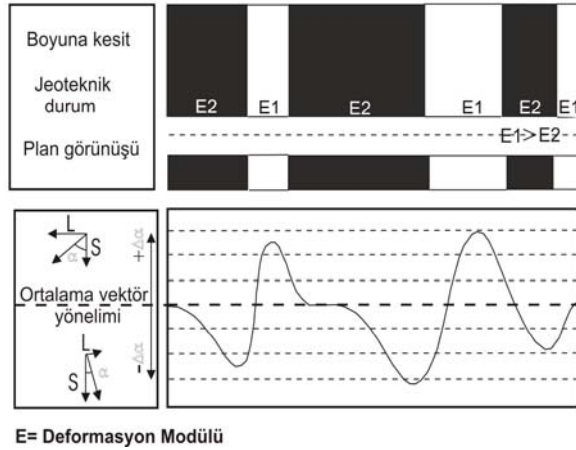


Şekil 3: Tünel kazısı deforme olmuş zayıf bölgeye yaklaştığında, yerdeğiştirme vektör yöneliminin eğilimini gösteren boyuna kesit (Schubert ve Steindorfer, 1996b).

Figure 3: Trend of displacement vector orientation when excavation approaches a zone of higher deformable ground (Schubert and Steindorfer, 1996b).

Değişebilir deformasyon özelliğine sahip kaya külesi içerisinde tünel açıldığında, ortalama

yerdeğiştirme vektör yöneliminin'deki sapmalar Şekil 4'teki gibi olur. Schubert ve Steindorfer (1996b) kısa mesafelerde çok sık değişen deformasyon özelliklerine sahip kayac kütlesinde açılan tünellerde, düşük elastisite modülüne sahip kısımda, gerilim yoğunluğu oluşacağını ve yerdeğişim vektör yönelimelerindeki değişiklikler, küçük mesafelerde geniş aralıkta olduğundan sandviç tipi kayac yapısına işaret edeceğini belirtmişlerdir.



Şekil 4: Sık sık sertliği değişen kaya kütlesi içerisinde tünel açıldığında oluşan yerdeğiştirme vektör yöneliminin değişimi (Schubert ve Steindorfer, 1996b).

Figure 4: Variation in vector orientation when tunneling through rock mass with frequently changing stiffness (Schubert and Steindorfer, 1996b).

KIRKGEÇİT-1 VE KIZLAÇ TÜNELLERİNDE YERDEĞİŞTİRME VEKTÖRLERİNİN ANALİZİ VE YORUMU

Her iki tünelin kazıları ve desteklemesi NATM felsefesine göre dizayn edilmiştir. Tünel kazıları, düzgün-kesme patlatma tekniği kullanılarak üst yarı ve alt yarı olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Destekleme elemanları olarak püskürtme beton, kaya bulonu, çelik iksa, enjeksiyonlu süren, çelik hasır ve mini kazıklar kullanılmıştır.

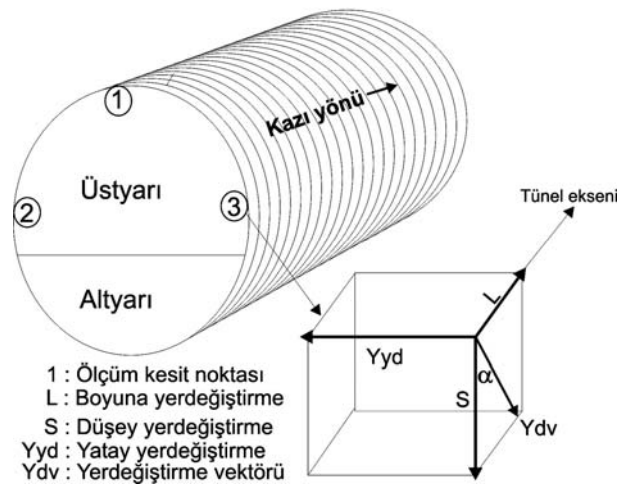
Deformasyon ölçümleri, tünellerin ilk desteklemesi (püskürtme beton, çelik hasır ve kaya bulonu) yapıldıktan sonra değişik kesit ve ölçüm noktalarında zemin ile püskürtme beton arasına monte edilmiş deformasyon pimlerinin ucuna takılan reflektörler ve jeodetik aletler kullanılarak yapılmıştır. Kırkgeçit-1 ve Kızlaç tünellerinde NATM kapsamında yapılan sistematik 3D optik deformasyon izleme yöntemi ile tünel kaya özelliklerine bağlı olarak değişen aralıklarda (5-20 m) ölçüm noktaları belirlenmiştir. 3-D optik deformasyon izleme yöntemiyle mutlak yerdeğiştirme bileşenlerinden düşey ve boyuna yerdeğiştirme değerleri ölçülmüştür. Tünel üst yarı desteklemesi tamamlandıktan sonra alt yarı kazısı

yapıldığından dolayı, tünel alt yarisında ölçülen yerdeğiştirme değerleri tünel üst yarisında ölçülen değerlerden oldukça düşük bulunmuştur. Bu nedenle değerlendirmelerde her iki tünel için alt yarıda ölçülen yerdeğiştirme değerleri ihmal edilerek, sadece tünel üst yarisında ölçülmüş olan düşey ve boyuna yerdeğiştirme değerleri kullanılmıştır. Üst yarı için her bir kesit ölçüm noktası 1, 2 ve 3 nolu noktalardan oluşmaktadır (Şekil 5). Her ölçümün o anki deformasyonu gösterdiği bilindiğinden, deformasyon ölçümleri her üç nokta için kümülatif olarak hesaplanmıştır. Yerdeğiştirme vektörü (Ydv) ve Yerdeğiştirme vektör yönelimi (Ydvy), boyuna ve düşey yerdeğiştirme bileşenlerine bağlı olarak belirlenmiştir.

$$Ydvy = \text{Atan} (L / S) * (180 / \pi) \quad \text{E.1.}$$

$$Ydv = \text{SQRT} ((L)^2 + (S)^2) \quad \text{E.2.}$$

Burada; L: Boyuna Yerdeğiştirme (mm), S: Düşey yerdeğiştirme (mm) bileşenleridir. Düşey yerdeğiştirmeler mutlak değer olarak alınmıştır. Kırkgeçit-1 tünelineki yerdeğiştirme ölçümleri yaklaşık 1 yıl süre ile, Kızlaç tünelineki yerdeğiştirme ölçümleri 1.5 yıl süre ile günlük ve haftalık olarak sistematik bir şekilde ölçülmüştür. Boyuna ve düşey yerdeğiştirme ölçüm verileri belli bir zaman periyodu boyunca kümülatif olarak hesaplanmıştır. Elde edilen yerdeğiştirme vektörü ve yerdeğiştirme vektör yönelimi değerlerinin, farklı zamanlara ait değerleri ölçüm noktalarına karşı işaretlenerek değerlendirmelere gidilmiştir.



Şekil 5: Tünel güzergahı boyunca ölçüm kesitlerinin gösterimi.

Figure 5: Measuring section view along the tunnel alignment

Yerdeğiştirme vektör yönelimlerinden yararlanılarak yapılan tahminler, kayaların yapısal ve litolojik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Tünel kazısı

sırasında karşılaşılan kayanın dayanım özellikleri, bozunma, ve diğer litolojik özelliklerle, kırık çatlak ve fay gibi yapısal unsurların konumu, yer yer ezik zonlar ve yeraltısuyu ve buna bağlı olarak oluşan bozunma özellikleri, kazılmamış ayna ilerisindeki kayanın benzer özellikleri göz önüne alınarak hangisinin diğerine göre daha az dayanımlı veya daha çok dayanımlı olduğu belirlenen yerdeğiştirme vektör yönelimi değerlerine bağlı olarak ortaya konmaktadır. Bu çalışmada yapılan deformasyon ölçümlerine ve yönelimlerine dayanılarak yapılan kazı ilerisi litoloji tahminlerinin ayna haritalarından yararlanılarak yapılan Jeolojik kesitle büyük oranda uyumlu olduğu gözlenmiştir.

KIRKGEÇİT-1 TÜNELİ

Kırkgeçit-1 tüneli Ankara-Pozantı Otoyolu Projesi kapsamında inşa edilmekte olup, Çifteh-Pozantı kesiminin Kırkgeçit deresi sağ yamacında, yaklaşık 503 m uzunluğundadır. Tünelin toplam enine kazı açıklığı 15 m olup 3 şeritli gidiş, 3 şeritli geliş olmak üzere çift tüplü olarak açılmıştır (Şekil 6). Geliş ve gidiş tüplerinin eksenleri arasındaki mesafe 30 m bırakılmıştır.

Tünel kazısı biyomikritik kireçtaşı ve mikrogabro birimleri içerisinde yapılmıştır. Mikrogabro yeşilimsi bir renk sunmakta, orta ve yer yer ileri derecede ayrışma gözlenmektedir.



Şekil 6: Kırkgeçit-1 tünelinin saha görünümü.

Figure 6: Field view of the Kırkgeçit-1 tunnel

Oldukça kırıklı ve çatlaklı bir yapı sunmaktadır. Deere ve Miller (1966)'ya göre orta dayanımlı kayalar olarak tanımlanmıştır. Tünelin kuzey girişinde yer alan Biyomikritik kireçtaşları bordo renkli ince-orta tabakalı ve dike yakın bir eğime sahiptir. Çok sayıda çatlak içermekte ve çatlaklar kalsit dolguludur. Biyomikritik kireçtaşları bol kırıklı ve çatlaklı yapısından dolayı yarı geçirgen ($k > 10^{-4}$) bir özellik taşımaktadır. Mikrogabronun bulunduğu kesim ise az geçirimsiz ($k > 10^{-5}$) özellik taşımaktadır. Deere ve Miller

(1966)'e göre mikrogabro ve kireçtaşları orta dayanımlı kayalar olarak tanımlanmıştır. Kırkgeçit-1 tünelinde NATM uygulaması ÖNORM B 2203 (1994)' e göre yapılmıştır. Buna göre tünel kazısı süresince kaya kütleleri genel olarak tünel hattı boyunca B3 (taneli) ve B2 (çok gevrek) kaya sınıflarına göre destekleme elemanları seçilerek gerekli destekleme uygulanmıştır. (Özbek 2004).

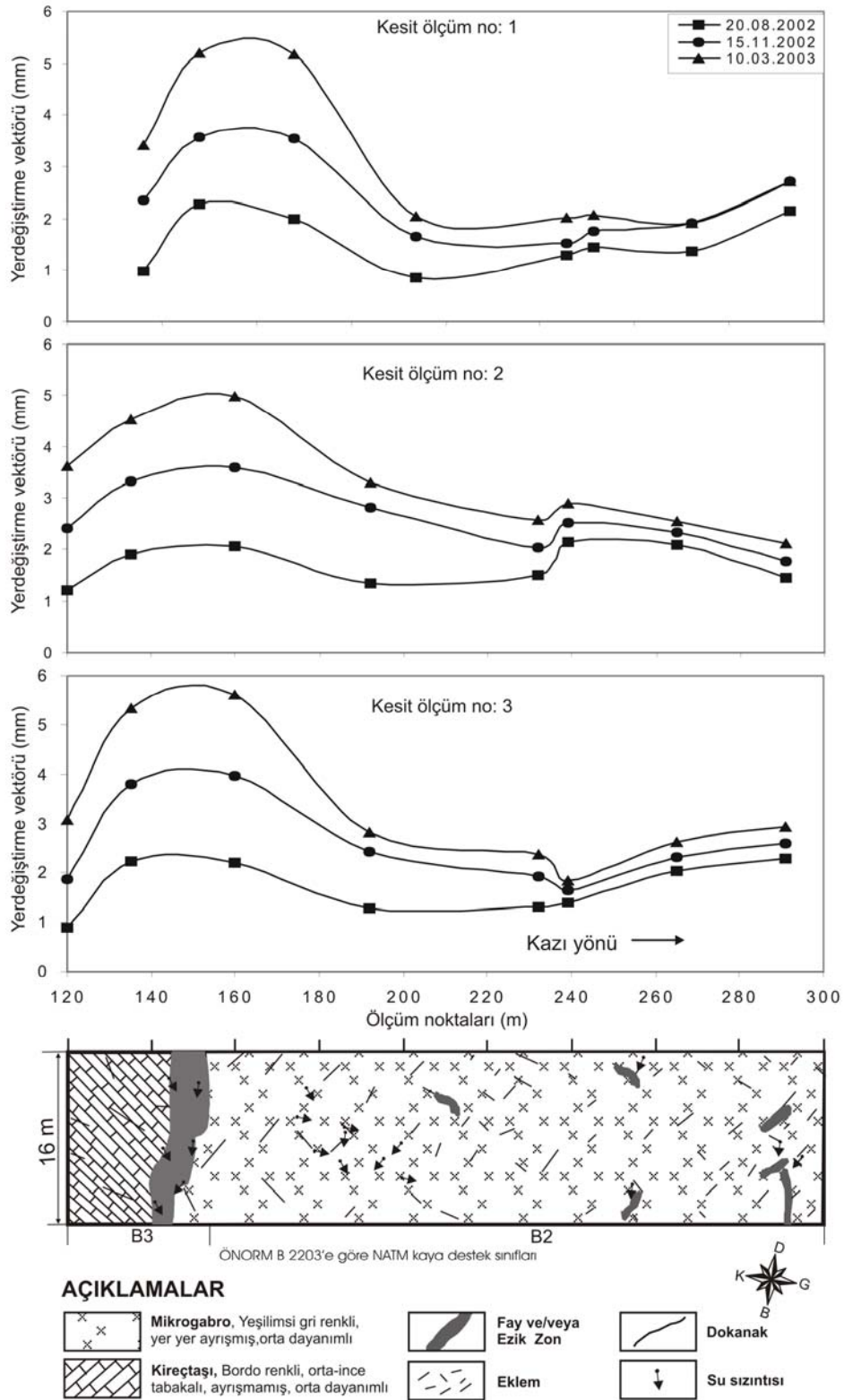
Tünel deformasyon değerlendirmeleri kireçtaşı, mikrogabro, ve ezik zonların bulunduğu yaklaşık 200 m'lik kısmı göz önüne alınarak yapılmıştır. Kırkgeçit-1 tüneli kazısı süresince 125-170 m'leri arasında fay ve/veya ezik zonlar ve biyomikritik kireçtaşı, 170- 300 m'leri arasında mikrogabro ve yer yer su sızıntısı ve ezik zonlar, gözlenmiştir (Şekil 7). En yüksek yerdeğiştirme vektör değeri fay zonu ve su sızıntısının bulunduğu 160. m'de 1 nolu kesit ölçüm noktası için 5.2 mm, 2 nolu kesit ölçüm noktası için 5 mm ve 3 nolu kesit ölçüm noktası için 5.6 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 7).

Kırkgeçit-1 tünelinde yerdeğiştirme vektör yönelimi değişimlerine bağlı olarak tünel kazısı kaya kütlesi koşulları hakkında önceden tahminlere gidilmiştir. Bu tahminler ölçüsünde tünel ayna haritasından yararlanılarak çizilen jeolojik kesit ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda bu tahminlerin doğruluğunu kanıtlamak için zaman zaman kazı aynası boyunca 15-20 m'lik karotlu sondajlar yapılmıştır. 1, 2 ve 3 nolu kesit ölçüm noktalarında 125-175 m'leri arasında fay zonu, su sızıntısı ve ezik zonların gözlemlendiği bölgeden daha az deforme olmuş, daha sağlam mikrogabro biriminin yer aldığı bölgeye yaklaştığından dolayı kazı yönüne doğru bir yerdeğiştirme vektör yönelimi değeri gözlenmiştir (Şekil 8). 1 nolu kesit ölçüm noktasında 175-250 m'leri, 2 ve 3 nolu kesit ölçüm noktalarında 175-250 m'leri arasında ise daha sağlam olan mikrogabro biriminden yer yer ezik zonların ve su sızıntısının gözlemlendiği zona doğru yaklaşıldığından kazı yönüne karşı bir eğilim gözlenmiştir (Şekil 8).

KIZLAÇ TÜNELİ

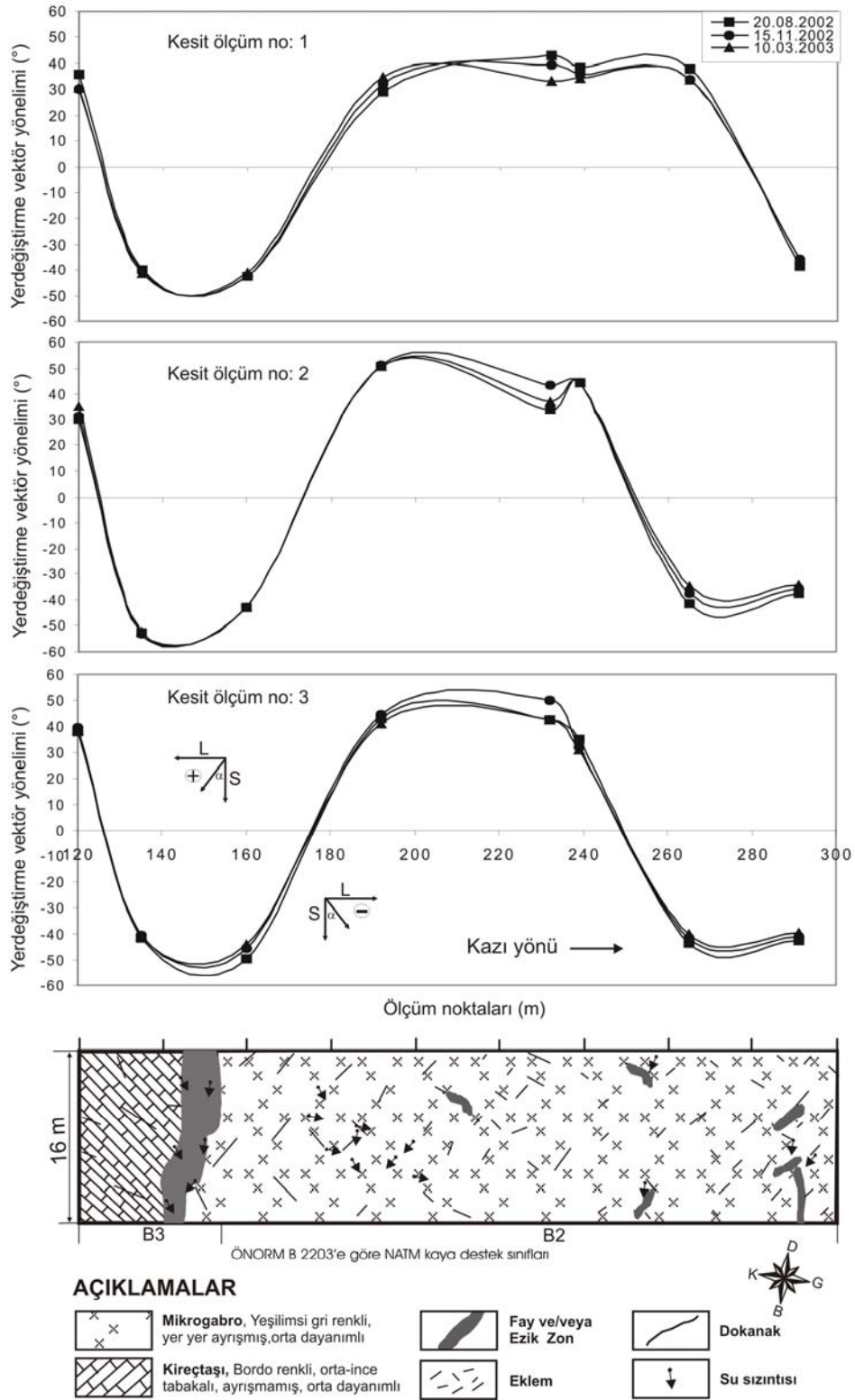
Tarsus-Adana-Gaziantep (TAG) otoyolu kapsamında inşa edilen yaklaşık 2760 m uzunluğundaki Kızlaç tüneli geliş ve gidiş olmak üzere çift tüplü olup, her tüp üç şeritlidir (Şekil 9). İki tüp arasındaki mesafe 15 m bırakılmıştır.

Kızlaç tüneli şeyl, kumtaşı ve kumtaşı-şeyl araldanmasın'dan oluşan birimler içerisinde açılmıştır. Bu birimler kahverengiden gri renge kadar değişim göstermektedir. Deere ve Miller (1966)'ya göre kumtaşları genelde yüksek dayanımlı, şeyl birimi (özellikle fay zonu içindikiler) ise zayıf-orta kalitede kayalar olarak tanımlanmıştır. Kumtaşları yer yer kuvars



Şekil 7: Kırkgeçit-1 tünelinin 100-300 m'leri arası jeolojik boyuna kesiti ve 1, 2, 3 nolu kesit ölçüm noktalarında yerdeğiştirme vektörünün zamana bağlı değişimleri.

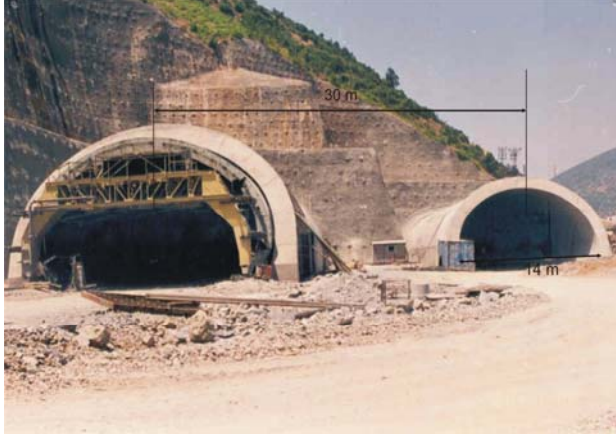
Figure 7: Geological longitudinal section of the Kırkgeçit-1 tunnel between 100-300 m, and the displacement vector changes depends on a time at 1, 2, 3 measuring section points.



Şekil 8: Kırkeçit-1 tünelinin 100-300 m'leri arası jeolojik boyuna kesiti ve 1, 2, 3 nolu kesit ölçüm noktalarında yerdeğiştirme vektör yöneliminin zamana bağlı değişimleri.

Figure 8: Geological longitudinal section of the Kırkeçit-1 tunnel between 100-300 m, and changes of the displacement vector orientation depends on a time at 1, 2, 3 measuring section points.

damarları içermektedir. Bu birimler özellikle tektonizma nedeniyle kıvrımlı bir yapı sunmaktadır. Kaya kütlesi sınıflaması ÖNORM B2203 (NATM) göre yapılmış olup, 300-360 m'leri arasında B2 (çok gevrek), 360-430 m'ler arasında C2 (baskılı), 430-500 m'ler arasında B3 (taneli), 500-525 m'leri arasında C2 (baskılı) kaya sınıflarına göre destekleme elemanları seçilerek gerekli destekleme uygulanmıştır (Özbek 1999).



Şekil 9: Kızlaç tünelinin saha görünümü.
Figure 9: Field view of the Kızlaç tunnel

Tünelin şeyl, kumtaşı, şeyl-kumtaşı ardalanması, ve ezik zonlardan oluşan yaklaşık 220 m'lik kısmının deformasyon ölçümleri göz önüne alınarak değerlendirmelere gidilmiştir. Yerdeğiştirme vektör değerleri fay, ezik zonlar ve su sızıntısının gözlemlendiği 350-420. m'leri arasında en yüksek yerdeğiştirme değerleri gözlenmiştir. 1 nolu kesit ölçüm noktasında 377. m'de 8 mm, 2 nolu kesit ölçüm noktasında 421. m'de 8.4 mm ve 3 nolu kesit ölçüm noktasında 370. m'de 8 mm'lik yerdeğiştirme vektör değeri belirlenmiştir. (Şekil 10). Bu bölgede oluşan yerdeğiştirmelerin kayaçların jeoteknik özellikleri, tabakalanma, su sızıntısı, yersel ve bölgesel tektonik kuvvetler etkisinden dolayı oluştuğu tahmin edilmektedir.

1 nolu kesit ölçüm noktasında 362-425, 475-510 m'leri, 2 nolu kesit ölçüm noktasında 350-425 m'leri, 3 nolu kesit ölçüm noktasında 350-400 m'leri arasında fay, ezik zonlar ve su sızıntısının gözlemlendiği zayıf zondan daha az tektonizma etkisinden kalmış şeyl, kumtaşı ve kumtaşı şeyl ardalanmasının gözlemlendiği daha sağlam bölgeye yaklaştığından kazı yönünde bir yerdeğiştirme vektör yönelim değeri gözlenmiştir (zayıf kayadan sağlam kaya yaklaşma) (Şekil 11). 1 nolu kesit ölçüm noktasında 310-360, 425-475 m'leri, 2 nolu kesit ölçüm noktasında 310-350, 425-510 m'leri, 3 nolu kesit ölçüm noktasında 310-350, 400-510 m'leri arasında sağlam zondan (kumtaşı, şeyl ve kumtaşı şeyl ardalanması) zayıf zona (fay, ezik zon ve su sızıntısı)

yaklaşıldığında kazı yönüne karşı bir yerdeğiştirme vektör yönelim değeri gözlenmiştir (Şekil 11).

SONUÇLAR

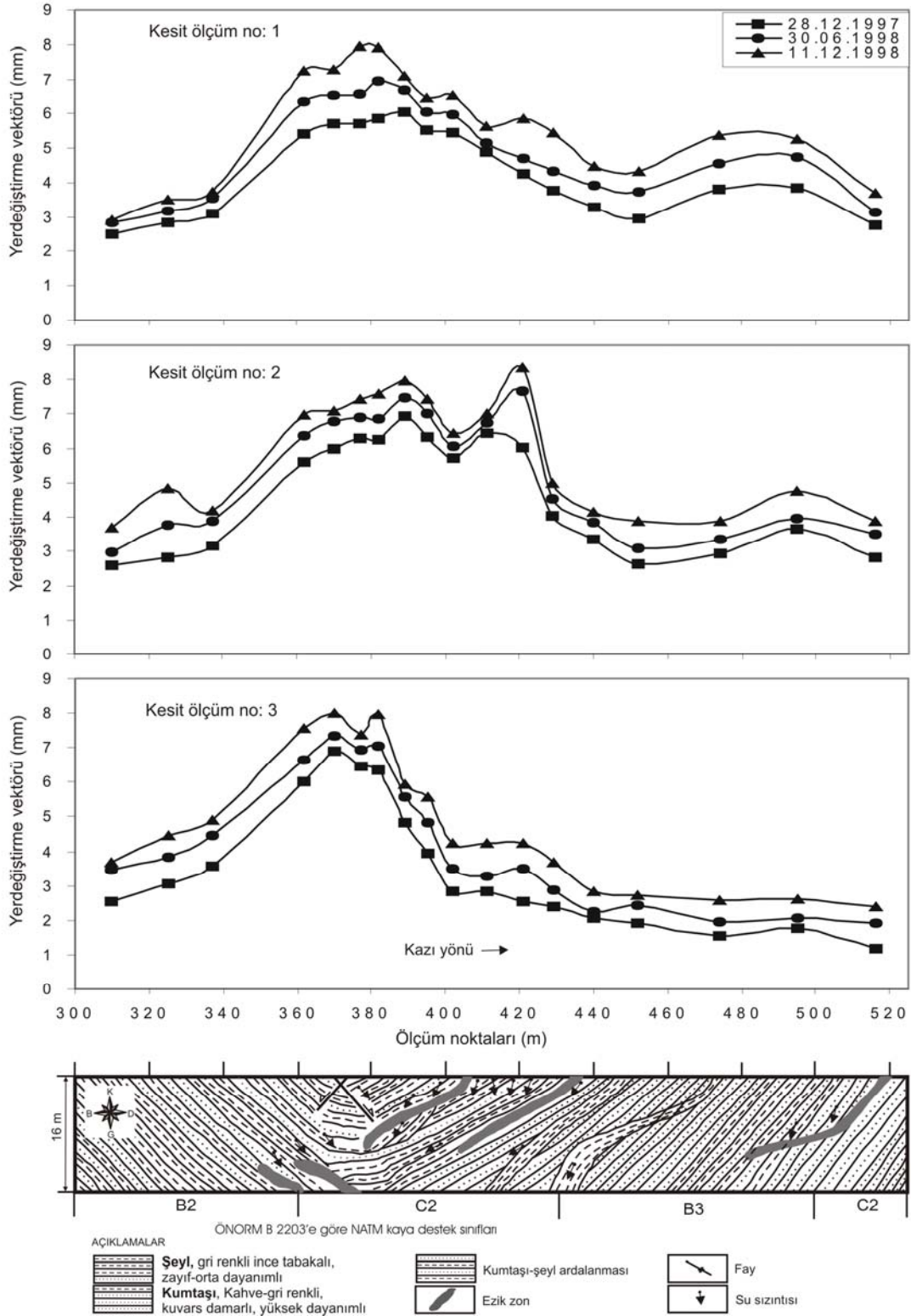
Kırkgeçit-1 tüneline en yüksek yerdeğiştirme vektör değeri 160. m'de 1 nolu kesit ölçüm noktası için 5.2 mm, 2 nolu kesit ölçüm noktası için 5 mm ve 3 nolu kesit ölçüm noktası için 5.6 mm olarak ölçülmüştür. Kızlaç tüneli için en yüksek yerdeğiştirme değeri 1 nolu kesit ölçüm noktasında 377. m'de 8 mm, 2 nolu kesit ölçüm noktasında 421. m'de 8.4 mm ve 3 nolu kesit ölçüm noktasında 370. m'de 8 mm olarak belirlenmiştir.

Tünellerin çizilen boyuna jeolojik kesitleri ile Yerdeğiştirme vektör yönelimi grafikleri karşılaştırıldığında uyumlu bir değişim gözlenmiştir. Tünellerde yapılan deformasyon ölçümleri sonucunda hem Kızlaç hemde kırkgeçit-1 tünellerinde sağlam kaya kütlesinden zayıf kaya kütlesine, zayıf kaya kütlesinden sağlam kaya kütlesine geçişi karakterize eden yerdeğiştirme vektör yönelimi değerleri belirlenmiştir. Kırkgeçit-1 tüneline yerdeğiştirme vektör yönelimi 1, 2 ve 3 nolu kesit ölçüm noktalarında 125-175 m'leri arasında fay zonu, su sızıntısı ve ezik zonların gözlemlendiği bölgeden deforme olmamış daha sağlam olan mikrogabro biriminin yer aldığı bölgeye yaklaştığından kazı yönünde bir yerdeğiştirme vektör yönelimi değeri vermiştir. Benzer şekilde Kızlaç tüneline 1 nolu kesit ölçüm noktasında 362-425, 475-510 m'leri, 2 nolu kesit ölçüm noktasında 350-425 m'leri, 3 nolu kesit ölçüm noktasında 350-400 m'leri arasında fay, ezik zonlar ve su sızıntısının gözlemlendiği zayıf zondan şeyl, kumtaşı ve kumtaşı şeyl ardalanmasının gözlemlendiği daha sağlam bölgeye yaklaştığından kazı yönünde bir yerdeğiştirme vektör yönelim değeri gözlenmiştir. Her iki tünelin diğer kısımlarda ise tam tersi sağlam kayadan zayıf kayaya geçişlerin gözlemlendiği kazı yönüne karşı bir yerdeğiştirme değeri gözlenmiştir.

Bu verilerden yola çıkarak kazı yönünde bir yerdeğiştirme vektör yönelimi değeri gözlemlendiğinde sağlam kaya kütlesi koşullarına yaklaşıldığı, kazı yönüne karşı bir yerdeğiştirme vektör yönelimi değeri gözlemlendiğinde daha zayıf bir kaya kütlesi koşuluna yaklaşıldığı şeklinde bir ön tahminde bulunulabilmektedir. Yerdeğiştirme vektör yönelimleri ile tünel kazı aynasının ilerisindeki kaya koşulları tahmin edilerek tünel inşası sırasında yerinde ve zamanında destek elemanlarının seçilmesiyle zaman, para kaybı en aza indirilmektedir.

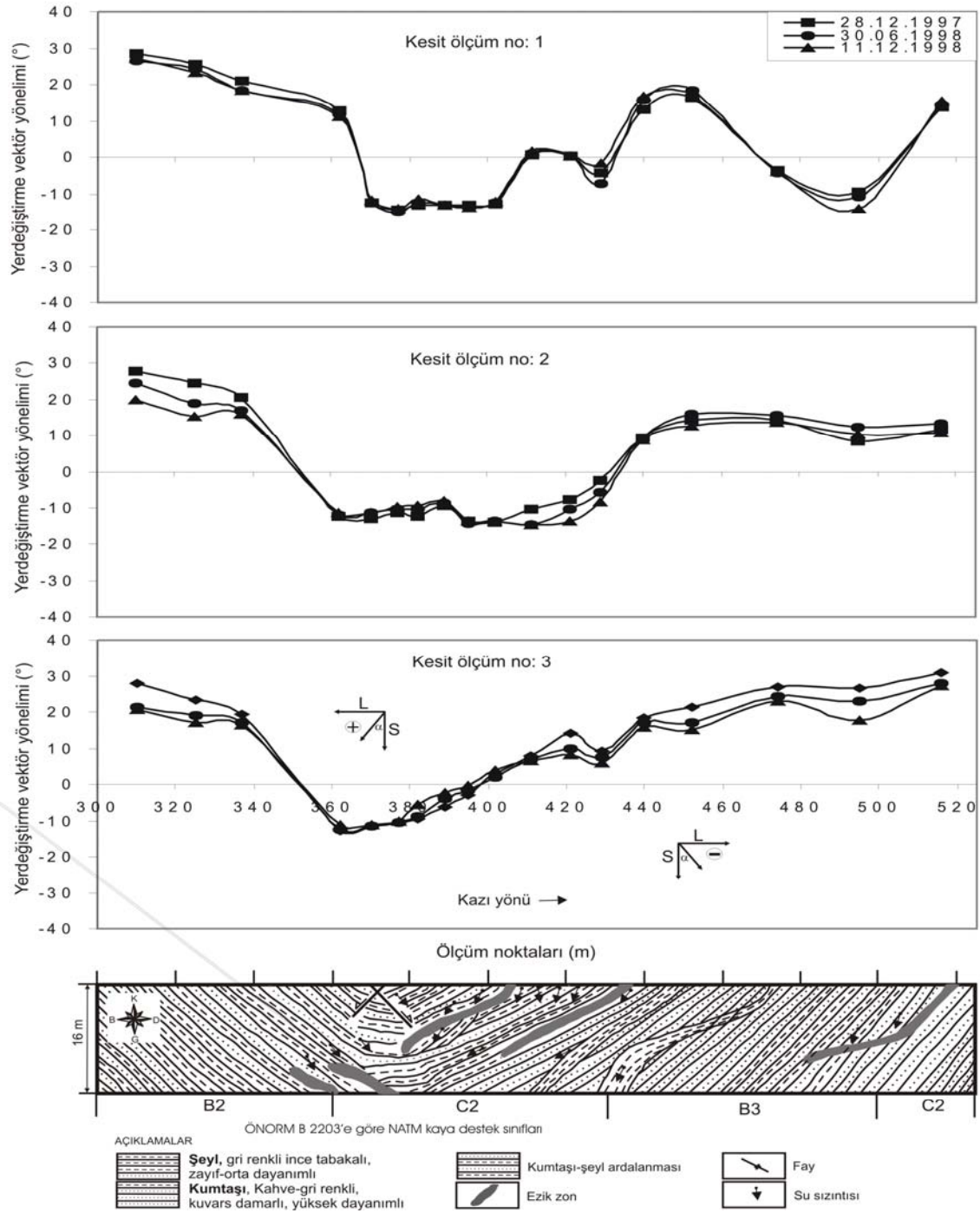
SUMMARY

This study comprise a previously estimation of the rock conditions ahead of the excavation and amount of displacement inside the tunnel with using the displacement vector and displacement vector orientations that were gained from the 3D optical deformation measurement with using a geodetic device



Şekil 10: Kızılçak tünelinin 300-520 m'leri arası jeolojik boyuna kesiti ve 1, 2, 3 nolu kesit ölçüm noktalarında yerdeğiştirme vektörünün zamana bağlı değişimleri.

Figure 10: Geological longitudinal section of Kızılçak tunnel between 300-520 m, and the displacement vector changes depends on a time at 1, 2, 3 measuring section points.



Şekil 11: Kızlaç tünelinin 300-520 m'leri arası jeolojik boyuna kesiti ve 1, 2, 3 nolu kesit ölçüm noktalarında yerdeğiştirme vektör yöneliminin zamana bağlı değişimleri.

Figure 11: Geological longitudinal section of the Kızlaç tunnel between 300-520 m, and changes of the displacement vector orientation depends on a time at 1, 2, 3 measuring section points.

in Kırkgeçit-1 (Pozantı-Adana) and Kızlaç (Bahçe-Osmaniye) Tunnels. Deformations measurements between the 100-300 m of the Kırkgeçit-1 Tunnel (503 m) and in between 300-525 m of the Kızlaç Tunnel

(1200 m) were selected as a subject of this study. Displacement vector and displacement vector orientations were determined with using the vertical and longitudinal displacement components in selected parts

of the Kırkgeçit-1 and Kızlaç Tunnels. Deformation measurement period were 1.5 year in Kızlaç Tunnel and 1 year in Kırkgeçit-1 Tunnel. Displacement values cumulatively calculated and graphs of it drawn to represent different time interval. Kırkgeçit-1 tunnel was opened in microgabro, limestone, gauge zone and fault zone, while Kızlaç tunnel opened in the shale, sandstone, sandstone-shale alternations, gauge zone and fault zone. Longitudinal geologic sections were prepared for both tunnel and used during the evaluations of the displacement vector and displacement vector orientations.

Maximum displacement values at 160 m in the Kırkgeçit-1 Tunnel are 5.2 mm in the 1 measuring section points, 5.0 mm in the 2 measuring section points and 5.6 mm in the 3 measuring section points. Maximum displacement values of the Kızlaç Tunnel are 8.0 mm at the 377 m in 1 measuring section points, 8.4 mm at the 421 m in 2 measuring section points and 8.0 mm at the 377 m in 3 measuring section points.

Displacement vector orientation of the 1, 2 and 3 measurement section points in the Kırkgeçit-1 Tunnel shows a orientation in the direction of the excavation that indicates the approaching from the weak zone (includes fault zone, water leakage and gauge zones) to hard rock (includes microgabro) in between the 125-175 m. Displacement vector orientation of the Kızlaç Tunnel in the direction of the excavation in between 362-425 m and in between 475-510 m at the 1 measurement section points, in between 350-425 m and at the 2 measurement section points and in between 350-400 m and 3 measurement section points indicates the approaching from weak zone (includes fault zone, gauge zone and water leaked zone) to hard rock (includes shale, sandstone and sandstone-shale alternations).

DEĞİNİLEN BELGELER

- Dere, D.U and Miller RP., 1966**, Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock. Technical Report no AFWL-TR -65-116. Air Force Weapons Lab, Kirkland Air Force Base, 308 pp.
- Golser J. and Mussger K., 1978**, The New Austrian Tunneling Method (NATM), Contractual Aspects, Tunneling in Difficult Ground, I Kitamura, ed. Pergamon Press. Oxford. Pp. 387-392.
- Golser H., and Steindorfer A., 2000**, Displacement Vector Orientations in Tunneling-What do they tell?. Felsbau 18, no: 2, 16-21.
- Hoek E., and Brown E.T., 1980**, Underground Excavations in Rock, IMM. London.

- Özbek, A., 1999**, Yeraltı Kazılarında Jeodetik Deformasyon Ölçümlerinin Sayısal Yöntemlerle Çözümlemesi ve Grafıksel Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü, Mersin, 84s. (Yayınlanmamış).
- Özbek, A., 2004**, Tünel Kazı Deformasyonlarının Modellenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ADANA, 206s.(Yayınlanmamış).
- Pacher, F., 1977**, Session 3-Underground Openings and Tunnels-Review and Comments. Design Methods in Rock Mechanics, proceedings 16th US Symposium on Rock Mechanics, C. Fairhurst and S L. Crouch eds. ASCE. Pp. 223-234.
- Rabcewicz, L., 1964**, The New Austrian Tunneling Method. Water Power, 453-457.
- Riedmüller G., and Schubert W. 2000**, Tunneling in Fault Zones-Innovative Approaches. Pasific Rocks 2000, 113-124.
- Sauer G., 1980**, Tunnel Instrumentation and In Situ Observations, Tunneling and Geology, W.M. Braun. Ed. King's College, London, pp. 11-17.
- Schubert, W. and Budil, A., 1995**, The Importance of Longitudinal Deformation in Tunnel Excavation, Proc. 8th Int. Congress on Rock Mechanics (ISRM), Balkema, Rotterdam, 3, 1411-1414.
- Schubert, W. and Steindorfer, A., 1995**, Advanced Monitoring Data Evaluation For Tunnels in Poor Rock. 8th Congress On Rock Mechanics, A.A. Balkema, Tokyo 1420-1424.
- Schubert, W. and Steindorfer, A., 1996a**, Selective Displacement Monitoring During Tunnel Excavation. Felsbau 14, (2), 93 – 97.
- Schubert, W. and Steindorfer, A., 1996b**, Advance Monitoring Data Evaluation in Poor Rock. In G. Barla (ed.) Proc. ISRM International Symposium EUROCK 96: Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering, Torino, Italy, 2-5 September 1996; Rotterdam. Balkema, vol. 2, 1041-1045.
- Schubert, W., Steindorfer, A., and Button, A.E., 2002**. Displacement Monitoring in Tunneling-an Overview. Felsbau, 20 (2), pp.7-15.
- Sellner, P., and Steindorfer, A., 2000**, Prediction of Displacement in Tunneling. Felsbau, 18 (2), 22-26.
- Steindorfer, A. and Schubert, W., 1997**, Application of New Methods of Monitoring Data Analysis for Short Term Prediction in tunneling. Tunnels for People, World Tunnel Kongress, J. A. A. Balkema, Vienna, 65-69