

Mekke iç çevre yolu projesi : MIT - 2 tünelinin Jeoteknik incelenmesi

Makkah inner ring road project: .Geotechnical investigation of tunnel MIT-2

VEDAT DOYURAN Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

AHMET UĞURLU Tekar Limited Şirketi, Ankara

ALİ HARUT Tekar Limited Şirketi, Ankara

ÖZ: Mekke iç çevre yolu projesi, Kabe (Suudi Arabistan) etrafında dört tünel ve bunlar arasındaki karayolu bağlantılarından oluşmaktadır. Tünel at nalı kesitli ve çift tüplü olup değişik uzunluktadır.

Kabe'nin yaklaşık 1 km güneydoğusunda yer alan MIT-2 tüneli boyunca ana kaya Prekambriyen yaşlı kuvars diyoritlerden oluşmuştur. Ana kaya sık sık felsit ve dolerit dayakları ile kesilmiştir. Gerek ana kaya ve gerekse dayak kayaları yüksek ve çok yüksek dayanıma sahiptir.

Kuvars diyorit içinde gelişen eklemler kayaya yer yer iri ve çok iri bloklu yapı kazandırmıştır. Eklemler geniş aralıklı, açıklıkları sıkı ya da dar, yüzeyleri pürüzlü ve yer yer düzlemsel olup dolgu ve su içermezler.

Tünel desteği tasarımı yönünden kaya kütlesi niteliği, tünel ağzlarında «zayıf», diğer kısımlarda ise «iyi» olarak hesaplanmıştır. Tünel ağzlarında kaya düşmelerini önlemek amacı ile sistematik kaya bulonları, çelik hasır ve püskürtme beton, diğer kısımlarda ise rassal (random) kaya bulonları ve püskürtme beton önerilmiştir.

ABSTRACT: The Makkah inner ring road project involves construction of four-vehicular tunnels and connection roads around Holy Kabe in Saudi Arabia. The tunnels are horse-shoe shaped in cross section, double-tube, and of varying lengths.

Quartz diorite of Precambrian age constitutes the major bedrock along tunnel MIT-2, which is located approximately 1 km southeast of Kabe. The bedrock is frequently crossed by felsite and dolerite dykes. Both the bedrock and the dyke rocks are strong to very strong.

The joints developed within quartz diorite give rise to a large and/or very large blocky structure to the rock. The joints are generally widely spaced having tight and/or narrow apertures, and rough to planar surfaces. They contain neither infillings nor water.

In order to provide a basis for tunnel support design, the rock mass quality is determined as «weak» at the tunnel portals and «good» away from the portals. It is further recommended that at the tunnel portals rockfall and other similar incidents may be avoided by the application of systematic bolting, wire meshing, and shotcreting. Away from the portals random bolting and shotcrete application may be sufficient.

GİRİŞ

Suudi Arabistan'daki Mekke kenti hızla artan nüfus sorunu ile karşı karşıyadır, özellikle Hac zamanında, geçici bir süre için de olsa, yıl içinde doruk noktasına ulaşan nüfus, önemli ulaşım güçlüklerine de neden olmaktadır. Oldukça engebeli bir sahada kurulmuş olan kentin doğal yükseltiler arasında sıkışık düzende gelişmesi, geniş ve yaygın yol yapımına çok az olarak sağlamaktadır. Kentleşme özellikle Kabe çevresinde yoğunlaşmıştır. Bu nedenle ulaşım sorunları genelde burada hissedilmektedir.

Kent içi ulaşım güçlüklerini hafifletmek amacı ile Suudi Arabistan Ulaştırma Bakanlığı, Kabe etrafında bir çevre yolu yapımına karar vermiştir. «Mekke İç Çevre Yolu Projesi» olarak adlandırılan bu tasarım dört tünel (Mekke İç Çevre Yolu Tünelleri - MIT) ve bunlar arasındaki karayolu bağlantılarından oluşmaktadır. Burada, Kabe'nin (Al Haram) yaklaşık 1km güneydoğusunda yer alan MIT tünelinin jeoteknik incelemesi ele alınacaktır.

MIT - 2 tüneli birbirine paralel iki tüpten oluşmaktadır. Kuzey tüp (MIT-2A) ile güney tüp (MIT-2B) arası merkezden merkeze yaklaşık 40.00 m dir. Tünel kesitleri at nalı şeklinde olup, iç beton kaplamalarından sonra, 9.57 m

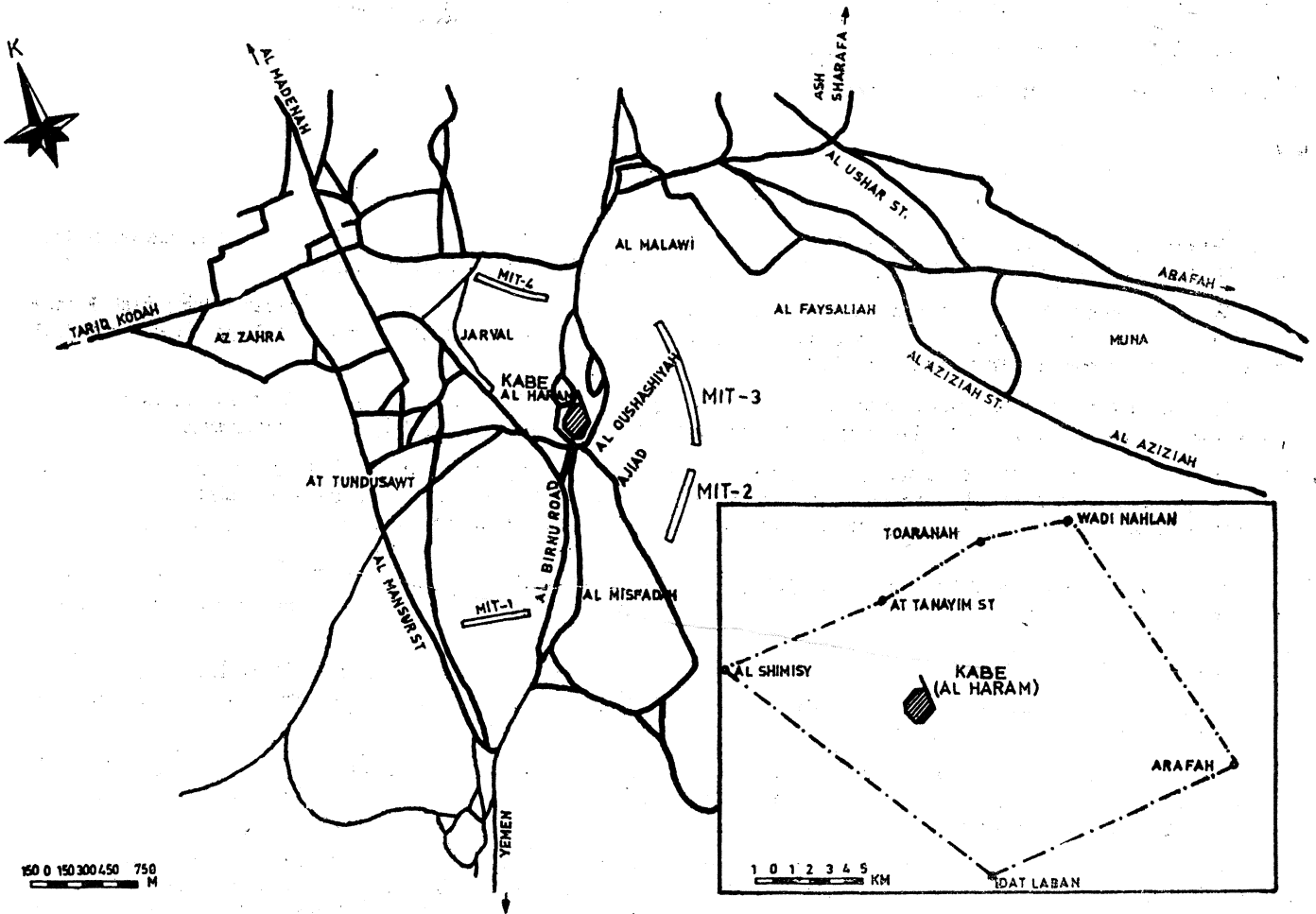
yükseklikte ve 15.48 m genişlikte planlanmıştır. Kuzeydoğu - güneybatı yönünde ve hafif bir kavis yaparak uzanan MIT - 2 tünelinin uzunluğu yaklaşık 500 m dir.

Tünel boyunca yürütülen jeoteknik incelemeler jeolojik harita alımını, sondaj çalışmalarını, süreksizlik ölçümlerini, yerinde ve laboratuvarda yapılan kaya mekaniği deneylerini içermektedir. Saha ve laboratuvar verilerinden yararlanılarak tünel boyunca ana kayayı oluşturan litolojik birimlerin kaya kütlesi nitelikleri saptanmış ve buna göre değişik tünel desteği seçenekleri belirlenmiştir.

KONUM, TOPOĞRAFYA VE İKLİM

MIT-2 tüneli Kabe'nin 1km güneydoğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Tünel giriş ve çıkış ağzlarında ve yakın çevresinde gecekondü türü konutlar bulunmaktadır.

Bölge sarp bir topoğrafyaya sahiptir. Tek tek konik tepeler yanı sıra yer yer sırtlar görülmektedir. Bu sırtlar, genellikle yağışlardan hemen sonra kısa süreli akışı olan akarsular tarafından zamanla kesilmiş ve dik şevli vadiler oluşumuna olanak sağlamıştır. Yamaç eteklerinde topoğrafik eğimler % 15 dolayında olup sırtlara doğru % 40 ve yer yer daha diktir.



Şekil 1 : Yer bulduru haritası

Figure 1 : Location map

Bölgede değişik akaçlama ağları görülmektedir. Süreksizliklerin etkin olduğu yerlerde trellis ağı, diğer kısımlarda ise dentritik ağ egemendir. Konik tepeler radyal ağ gelişimine olanak sağlamıştır.

Akarsu yatakları genellikle kuru olup sağanak yağışlar sonucu kısa süreli akışa sahiptir. Vadilerde belirgin bir alüvyon örtüsü gelişmemiştir.

Mekke kenti kurak bir bölgede kurulmuştur. Yaz mevsimi genellikle çok sıcak, kuru ve uzundur. Kış mevsimi sıcak ve zaman zaman sağanak şeklinde kısa süreli yağışlıdır. Doğal bitki örtüsü yok denecek kadar azdır. Yer yer bodur bitkiler görülebilmektedir.

BÖLGESEL JEOLJİ

Arap yarımadası, Afrika kıtasının doğal bir uzantısı olup bu kıtadan Kızıl Deniz, İran'dan Arap Körfezi ve Umman Körfezi ile ayrılmış, güneyde Arap Denizi ve Aden Körfezi ile çevrilmiştir.

Arap yarımadasının yapısal dokusu Prekambriyen zamanında Arap kalkanının duraylılık kazanması ile gerçekleşmiştir. Bu kalkanı oluşturan oldukça yaşlı kayalar kendi aralarında karmaşık ve hareketli bir tarihçeyi simgeler.

Arap yarımadası dört duraylı bölgeye ayrılmıştır. Bunlar Arap kalkanı, Arap yamacı (iç homoklin), İç düzlükler ve Basenlerdir (Kent, 1978) (Şekil 2). Genellikle Prekambriyen yaşlı mağmatik ve metamorfik karmaşıktan oluşan Arap kalkanı, batıda, yarımadanın üçte birini temsil eder. Arap kalkanı Tersiyer'e kadar Afrika kalkanının bir devamı olarak kalmış ancak zamanla Kızıl Deniz riftleşmesi ile ayrılmıştır.

Arap kalkanı kendi içinde Batı Arap kalkanı, Yemen - Aden düzlüğü ve Güney Arap-kalkanı olmak üzere üç yapısal bölgeye ayrılmaktadır. İnceleme sahası Batı Arap kal-

kantı içinde yer almaktadır:

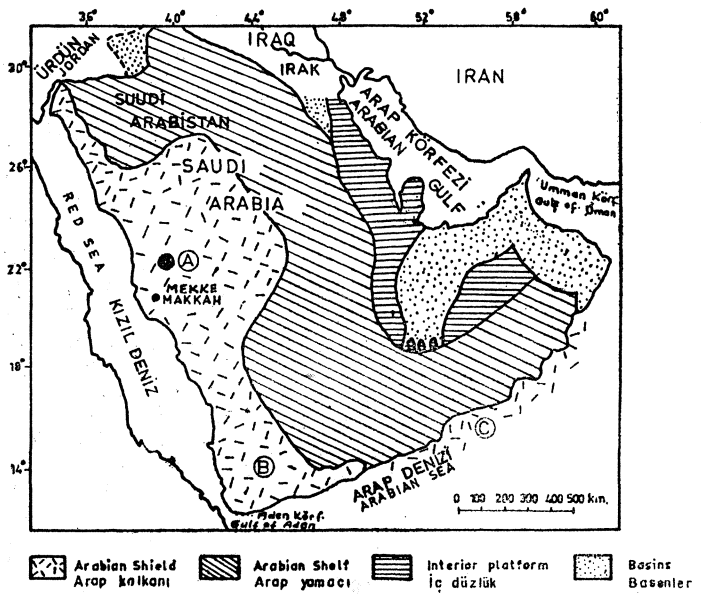
Brown'a (1972) göre temeli oluşturan gnayslar Arap kalkanının en yaşlı kayalarını simgelemektedir. Bunlar genellikle diyorit, kuvars diyorit, granodiyorit ve granit kökenli ortognayslar olup, genellikle amfibolit ve kısmen yeşilsit fasiyesinde metamorfizma gösterir. Mekke dolaylarında radyometrik yaş tayinleri sonucu saptanan en eski kayalar granodiyorit ve kuvars diyoritlerdir. Bu kayaların Rb - Sr yaşları ortalama bir milyar yıldır.

YEREL JEOLJİ

Tünel güzergâhı ve yakın dolaylarında miğmatit, kuvars diyorit, felsit ve dolerit (diabaz) yüzeylenmektedir (Şekil 3). Ancak, tünel boyunca kuvars diyorit, felsit ve dolerit kesilmekte olup (Şekil 4), miğmatit MIT-2 çıkıp ile MIT-3 girişi ortasından başlayarak MIT - 3 boyunca devam etmektedir. Aşağıda, tünel boyunca kesilen kayalar ve yüzeyde bunları yer yer örten yamaç molozlarının litolojik ve mühendislik özelliklerine değinilecektir. Kayaların mühendislik tanımları British Standards Institute (1981) göre yapılmıştır.

Kuvars Biyorit

Kuvars diyorit MIT - 2 tüneli boyunca ana kayayı oluşturmaktadır. Taze yüzeyleri gri, koyu gri olup bozuşma (weathering) etkisi ile yer yer açık kahverengiye dönüş-



- A) Western Arabian Shield - Batı Arap Kalkanı
 B) Yemen-Aden Plateau - Yemen-Aden düzlüğü
 C) Southern Arabian Shield - Güney Arap kalkanı

Şekil 2 : Arap yarımadasının yapısal bölgeleri (Kent, 1978'den değiştirilerek alınmıştır)
Figure 2 : Structural divisions of the Arabian Peninsula (Modified after Kent, 1978)

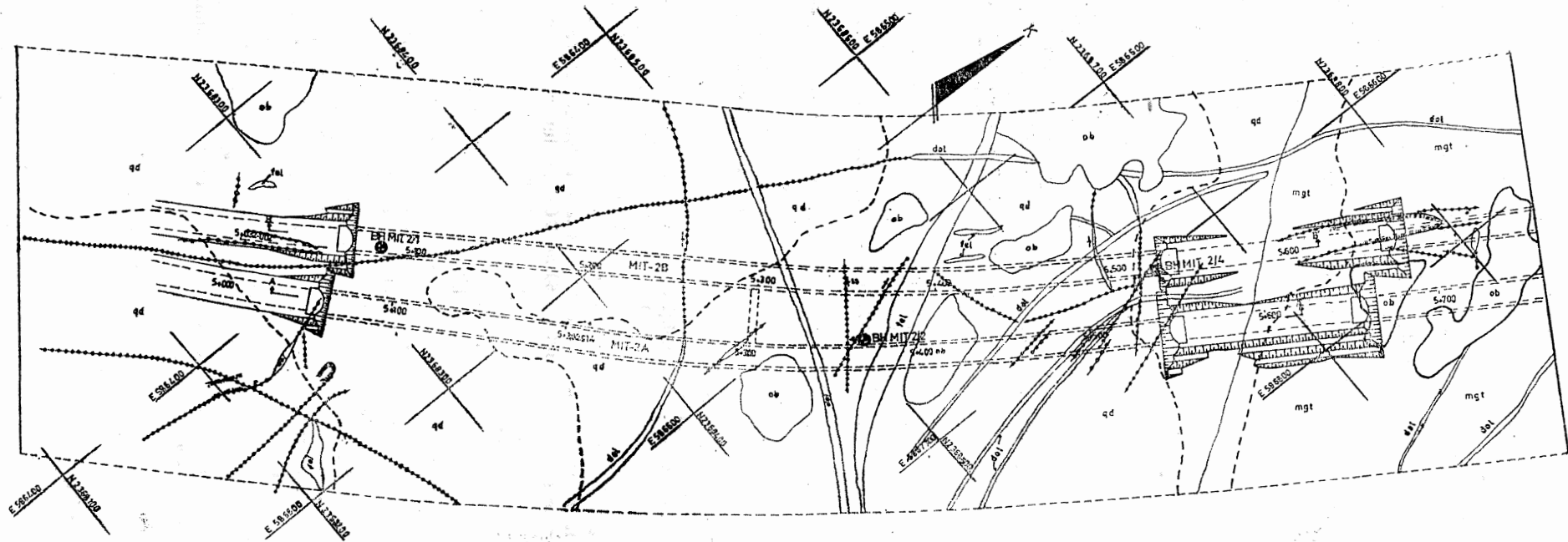
mektedir. Kayayı oluşturan mineraller orta iri boydadır. Genellikle holokristalin lepidiyomorfik doku egemendir. Başlıca mineralleri oluşturan plajiyoklas (andezin), hornblend ve kuvars yanı sıra biyotit, klorit ve epidot bulunmaktadır. Kuvars diyorit içinde gelişen eklemler çok geniş aralıklı (0.60 m -2.00 m) olup iri (0.2 - 8 m³) ve çok iri (>8m³) blokların oluşumuna neden olmaktadır. Yüzeyle yakın yerlerde, bozuşmanın da etkisi ile orta boy (0.008 - 0.2 m³) bloklar görülür. Ancak tünel kotunda kaya genellikle masif yada çok iri bloklu kabul edilebilir.

Fiziksel ufalanmanın etkili olduğu yüzey ve yüzeye yakın kısımlarda bozuşma derecesi az¹ ya da orta² olarak tanımlanabilir. Bozuşma derine doğru etkisini giderek kaybeder ve tünel kotunda kaya genellikle tazedir. Yüzeyde yer yer az gelişmiş küresel bozuşma görülmektedir.

Basit saha deneyleri (nokta yükleme, Schmidt çekici, jeolog çekici gibi) kayanın yüksek (50-100MN/m²), ve çok yüksek (> 100 MN/m²) dayanımı olduğunu göstermektedir.

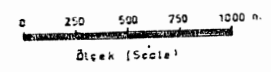
Kayanın gözenekliliği ve geçirimsizliği çok düşüktür. Tünel kotunda tümüyle geçirimsiz kabul edilebilir. Yapılan sondajlarda yeraltısuyla rastlanmamıştır.

- (1) Az Bozuşma: Renk değişimi (discoloration) yaygın olup, dayanımı taze kayaya kıyasla kısmen azalmıştır.
- (2) Orta Derecede Bozuşma: Kayanın yarısından azı kuma dönüşmüştür. Taze ya da renk değişimi gösteren kısımlar bozuşmuş kaya içinde çekirdek (corestone) şeklinde korunmuştur.



ACIKLAMA
(EXPLANATION)

- | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|--------------------------|----------------------|
| mgt | qd | fel | dol | ob | Dk | Yerleşim alanı | İnşaat alanı | Sondaj |
| Migmatit (Migmatite) | Kuvars diyorit (Q-Diorite) | Felsit (fel) (Felsite) | Dolerit (dol) (Dolerite) | Yerleşim alanı (Overburden) | Dokanak (Rn. boundary) | Yerleşim alanı Üst sınırı (Upper limit of settled area) | İnşaat alanı (Quarry) | Sondaj (Borehole) |



Şekil 3 : MIT-2 tünelleri çevresi jeolojik haritası
Figure 3 : Geological map of the region around the tunnels MIT - 2

Kuvars diyorit sık sık dolerit ve felsit daykları ile kesilmiştir. Ayrıca kaya içinde yer yer felsit damarlarından oluşan pitigmatik yapılar izlenmektedir.

Felsit

«Felsit» sözcüğü kuvars ve feldspatça zengin açık renkli kayaları içermektedir.

Ayrıca, kalınlığı birkaç santimetre dolayında ki kuvars damarları da felsitiere dahil edilmiştir. Felsit genellikle dayk şeklinde gözlenmektedir. Kalınlıkları birkaç santimetre ile birkaç metre arasında değişmektedir. Jeolojik haritada (Şekil 3) kalınlığı 0.20 m ve daha fazla olan dayklar gösterilmiştir.

Felsit bej, yer yer açık gri ve orta - iri tanelidir. Kuvars, K-feldspat, ve plajiyoklas (albit) egemen olup bir miktar hornblend, biyotit ve klorit içerir. Yer yer pegmatitik görünümüne sahiptir. Kayanın mineralojik bileşimi granitik kökeni simgelemektedir.

Kaya, içerdiği eklemler nedeniyle orta ve iri blokluyu kazanmıştır. Yüzeyde, bozuşmanın da etkisi ile blok boyu küçülür ve çekiç darbesiyle küçük parçalara ayrılır.

Bozuşma yüzeyde ve yüzeye yakın kısımlarda orta derecededir. Yer yer eklem ve çatlaklar boyunca yüzeyden 5 -10 m derine doğru renk değişimi görülmektedir.

Kaya yüksek ve çok yüksek dayanıma sahiptir. Gerek ilksel ve gerekse ikincil gözenekliliği ve geçirimsizliği çok azdır. Yeraltı suyu taşımaz.

Felsit daykları dolerit dayklarına kıyasla daha az süreklilik göstermektedir. Özellikle kalınlıkları sık sık değişmektedir. Yer yer dolerit daykları tarafından kesilmiştir.

Dolerit

Dayk şeklinde oluşan dolerit koyu gri yeşil, ince taneli ve holokristalin olup yeşilsit fasiyesinde metamorfizma gösterir. Daykların kalınlıkları birkaç santimetre ile birkaç metre arasında değişmektedir. Daykların yer yer ç-

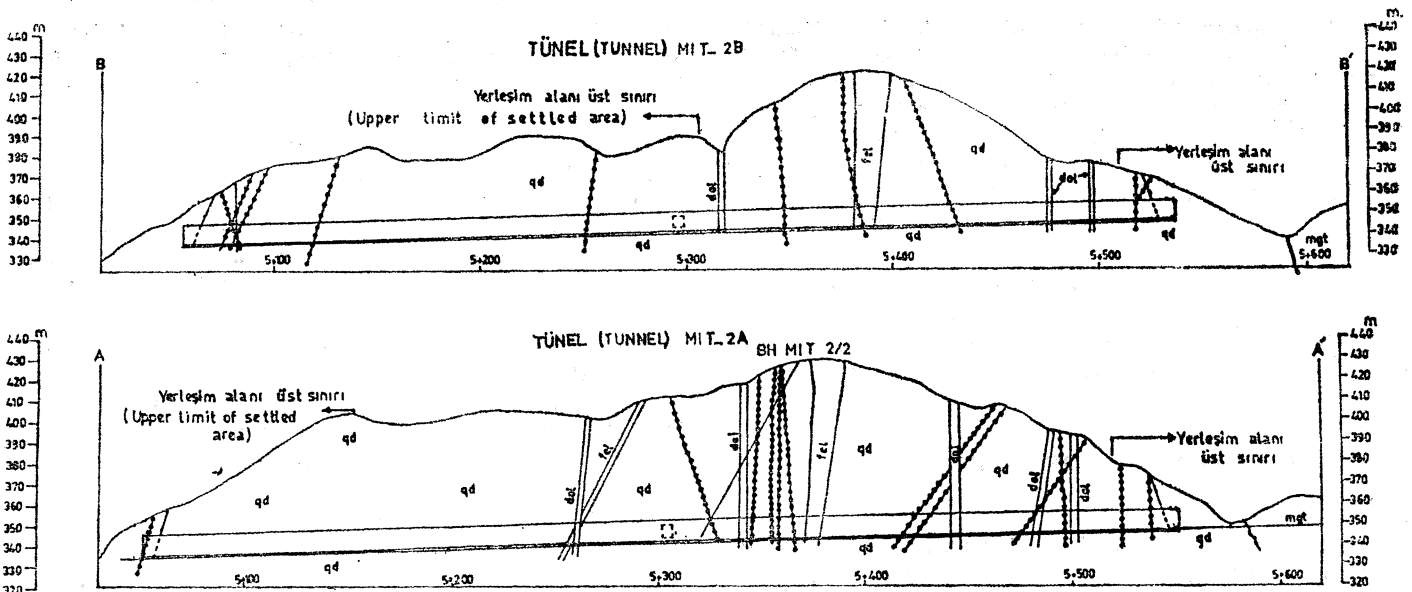
tallaştığı ve başka bir dolerit daykı ile kesildiği de görülmektedir.

Dolerit orta ve iri blokluyu bir yapıya sahiptir. Bölgede beton agregası olarak kullanılan başlıca kaya olması nedeniyle, özellikle genişliği 0.50 m ve daha fazla olan dayklar boyunca taşocakları açılmıştır. Bu ocaklarda yapılan incelemelerde doleritin yüzeyden yaklaşık 5.00 m aşağıda genellikle taze ve iri, yer yer çok iri blokluyu olduğu anlaşılmaktadır. Kaya yüksek ve çok yüksek dayanıma sahiptir. Gözenekliliği ve geçirimsizliği çok düşüktür.

Dayklar uzun mesafelerde sürekliliklerini korumaktadır. Kalınlıkları ve eğimleri, sık sık değişmez. Bununla beraber bazı daykların uzantıları boyunca incip kalınlığı da gözlenmiştir. Doleritin ana kayayı oluşturan kuvars diyorit ile dokanağı oldukça kesindir. Dokanak boyunca çok ince (1-3 mm) bir ayrışma zonu vardır. Killeşme ve kloritleşmenin görüldüğü bu zon, dokanak yüzeyine pürüzsüz ve kaygan bir özellik kazandırır. Bu nedenle dolerit, taşocaklarındaki dayklar boyunca kuvars diyoritten hafif bir çekiç darbesi ile ayrılabilir. Dayk ve ana kaya dokanağındaki bu zayıf bağlantı tünellilik yönünden olumsuz karşılanmaktadır. Nitekim bu incelemenin yapıldığı sürelerde halen açılmakta olan diğer bazı tünellerde dolerit daykları boyunca yer yer kayma ve aşırı sökme (overbreak) sorunları gözlenmiştir.

Yamaç Molozu

Tünel boyunca gerek ana kayayı ve gerekse daykları yer yer örten yamaç molozları siltli ve kumlu bir hamur içinde çakıl ve bloklardan oluşmuştur. Bloklar 15-20 cm çapında veya daha büyüktür. Genellikle kötü boyanmalı, köşeli çakıllı ve gevşektir. Kalınlıkları 2.00 m den azdır. Yüzeyde ince bir yerel örtü şeklinde oldukları için tünellilik yönünden sakıncalı görülmemektedir. Ancak, tünel yaklaşım hafriyatları sırasında yamaç molozları içindeki bloklar yuvarlanarak tehdit arzederler.



Şekil 4 : MIT-2A ve MIT-2B tünelleri boyunca jeolojik kesitler

Figure 4 : Geological cross sections through MIT-2A and MIT-2B tunnels

EKLEMLER

Saha çalışmaları sırasında sistematik eklem ölçümleri özellikle tünel ağızlarında yoğunlaştırılmıştır.

Ayrıca yönlendirilmiş karotlardan da yararlanılmıştır. Tünel güzergahında bazı yüzlelerde rassal (random) ölçümler alınmıştır. Eklem özelliklerine ilişkinanımlamalar Anon (1977) ye göre yapılmıştır.

MIT - 2 Giriş Ağızı

Tünel giriş afesinde yaklaşık 450 ölçüm elde edilmiş ve Schmidt diyagramından şu eklem takımları belirlenmiştir: K30° B/90° (Smax); K-G/72° B (Smax₁); K80° D/ 30° KB (Smax₂) Eklem aralıkları geniş ve çok geniştir (0.50-1.50m). Eklem genişliği sıkı ve yer yer dardır (0.1 cm-2 cm). Yanal uzantıları genellikle 5.00 m den azdır. Bazı dar eklem, yüzeye yakın yerlerde silt dolgusu içerir. Eklem yüzeyleri genellikle pürüzsüz, yer yer dalgalı ve pürüzlüdür. Eklem boyunca su sızıntısı yada nemlilik görülmemektedir.

Tünel giriş ağızı dolaylarında açılan MIT - 2/1 ve MIT - 2/2 nolu sondaj kuyularının tünel tavan kotuna yakın yerlerinden elde edilen yönlendirilmiş karot örneklerinde şu takımlar belirlenmiştir:

MIT-2/1: K50°D/10.KB; K25D/16°GD; K15D/40°KB; K - G/75°B

MIT-2/2: K70°D/30°KB; K14°D/15°KB; K15°B/76°KD

Eklem genişlikleri çok sıkı ve yüzeyleri pürüzlü (%50), düzlemsel (%40) ve dalgalıdır (%10). Bazı eklem boyunca çok az mineral dolgu ve yüzey renklenmesi görülmektedir.

Bozuşma etkisiyle eklem yüzeyde daha belirgin ve aralıkları daha sıkıdır. Ancak eklem aralıkları derinlikle artmaktadır. Yataya yakın eklem nedeni ile patlatma sonucu aşırı sökme sorunları beklenebilir.

MIT-2 Çıkış Ağızı

Bu kısımdan elde edilen yaklaşık 390 eklem ölçümünden şu takımlar belirlenmiştir: K40° B/80°KD (Smax); K30° D/80°KB (Smax₁; K10°B/20°GB (Smax₂). Eklem aralıkları 0.05 m-1.00 m arasında değişmektedir. Eklem genişlikleri genellikle sıkı ve dardır. Yanal uzantıları ise bir kaç metre dolayındadır. Eklem yüzeyleri düzgün ve kısmen pürüzlüdür. Bazı dar eklem boyunca siltli dolgu görülmektedir. Eklem boyunca herhangi bir su sızıntısı görülmemektedir.

MIT-2/4 nolu sondajdan elde edilen yönlendirilmiş karotlarda K20°D/15°KB; K50°B/16°GB ve K85°B/12° KD eklem saptanmıştır. Eklem aralıkları geniş-çok geniş (0.10 m - 0.80 m), açıklıkları 0.1 cm-2 cm olup bazı dar eklem siltli dolgu içerir.

SAHA VE LABORATUVAR DENEYLERİ

Saha Deneyleri

Basınçlı Su Deneyi: Tünel boyunca açılan sondaj kuyularında (şekil 3) tek ve çift lastikli, basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Deneyler sırasında basınç aralıkları 1/3P, 2/3P, 1 IP, 2/3P, — olarak seçilmiştir. Burada (P) tünel üzerindeki örtü kaya kütesinin basıncını simgelemektedir. Kuvars diyorit içinde yapılan basınçlı su deney sonuçları Çizelge 1'de özetlenmiştir. Çizelge 1'de görüldüğü gibi kuvars diyorit pratik olarak geçirimsiz kabul edilebilir.

Çizelge 1. Basınçlı su deney sonuçları

| Sondaj kuyu No. | Deney Aralığı (m - m) | Hidrolik İletkenlik (Lugeon) | Hidrolik İletkenlik (m/sn) |
|-----------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|
| MIT - 2/1 | 20.75 - 22.75 | 0.24 | 0.24 × 10 ⁻⁷ |
| MIT - 2/1 | 32.00 - 34.50 | 3.17 | 3.17 × 10 ⁻⁷ |
| MIT - 2/2 | 82.30 - 84.30 | 0.05 | 0.5 × 10 ⁻⁸ |
| MIT - 2/2 | 93.70 - 96.70 | 0.04 | 0.4 × 10 ⁻⁸ |
| MIT - 2/4 | 12.00 - 15.00 | 4.73 | 4.73 × 10 ⁻⁷ |
| MIT - 2/4 | 22.50 - 25.00 | 0.38 | 0.38 × 10 ⁻⁷ |

Schmidt Çekici Deneyi. Bu deney için L - tipi çekiç kullanılmış olup darbe enerjisi 0.073 mkg dir. Deneyler için düzgün yüzeyli kayalar seçilmiş, bazı pürüzlü karborandum taşı ile giderilmiştir. Her deney yerinde en az oniki okuma elde edilmiş ve bunların ortalaması alınmıştır. Gerekli düzeltmelerden sonra elde edilen değerler aşağıdaki bağıntı ile basma dayanımına dönüştürülmüştür :

$$\sigma_a (\text{ult}) = 1,246 R - 34,890 (\text{psi})$$

Burada, (R) Schmidt sertliğini (L-tipi) simgelemektedir. Deney sonuçları Çizelge 2. de verilmiştir.

Çizelge 2. Schmidt çekici deney sonuçları

| Yer | Kaya Tipi | Schmidt Sertliği (R) | Tek Eksenli Basma Dayanımı (MN/m ²) |
|----------------------|----------------|----------------------|---|
| MIT - 2A, Km : 5+390 | Felsit daykı | 47.4 | 166.6 |
| MIT - 2A, Km : 5+360 | Kuvars diyorit | 52.8 | 213.0 |
| MIT - 2B, Km : 4+090 | Kuvars diyorit | 51.6 | 202.7 |
| MIT - 2B, Km : 5+020 | Kuvars diyorit | 54 | 223.3 |
| MIT - 2A, Km : 5+000 | Felsit daykı | 52.8 | 213.0 |
| MIT - 2A, Km : 5+000 | Kuvars diyorit | 54.6 | 228.5 |
| MIT - 2A, Km : 5+560 | Kuvars diyorit | 53.5 | 219.0 |
| MIT - 2A, Km : 5+540 | Dolerit | 52.5 | 210.4 |

Nokta Yükleme Deneyi: Bu deney için Soil Test, Model RM - 730 tipi cihaz kullanılmış olup hidrolik pompanın maksimum kapasitesi 5000 kg - f ve uç alanı 2.23 inç karedir. Deney sırasında sivri uçlar arasındaki uzaklık (D) ve örneği kırmak için uygulanan kuvvet (P) ölçülerek (P/D²) oranından nokta yükleme indisi (I) bulunmuştur (I.S.R.M, 1972). Nokta yükleme indisi ile tek eksenli basma dayanımı (S_n) arasındaki bağıntı Broch ve Franklin (1972) tarafından S_n=24.1, şeklinde belirlenmiştir.

Saha deneyleri sonucu değişik kaya türleri için elde edilen ortalama basma dayanımı değerleri Çizelge 3 de verilmiştir.

Çizelge 3. Tünel boyunca yüzeylenen kayaların ortalama basma dayanımı.

| Kaya tipi | Ortalama Basma Dayanımı (MN/m ²) |
|----------------|--|
| Kuvars Diyorit | 207.5 |
| Dolerit | 183.7 |
| Felsit | 190.0 |

Çizelge 4. Laboratuvar deney sonuçları

| Yer | Tek Eksenli Basma Dayanımı (MN/m ²) | Tanjant Elastik Modülü (MN/m ²) × 10 ⁴ | Poisson Oranı | Birim Hacim Ağırlığı (Ton/m ³) | Nemlilik Oranı (%) | Etkin Gözeneklilik (%) |
|------------------------------|---|---|---------------|--|--------------------|------------------------|
| MIT - 2/1 (21.20 - 21.85) | 133 | 6.67 | 0.178 | 2.88 | 0.13 | 0.37 |
| MIT - 2/2 (82.50 - 82.85) | 205 | 9.50 | 0.190 | 2.84 | 0.36 | 1.04 |
| MIT - 2/4 (11.45 - 11.70) | 180 | 10.50 | 0.150 | 2.90 | 0.24 | 0.69 |

Laboratuvar Deneyleri

Tünel tavan kotuna karşılık olan sondaj karotları üzerinde tek eksenli basma dayanımı, tanjant elastik modülü, poisson oranı, birim hacim ağırlığı, nemlilik oranı ve etkin gözeneklilik deneyleri yapılmıştır. Deneyler I.S.R.M. (1979 a ve b) ye göre yürütülmüştür. Deney sonuçları çizelge 4'de verilmiştir.

Gerek saha ve gerekse laboratuvar sonuçları tünel boyunca yeralan kayaların dayanımlarının çok yüksek olduğunu göstermektedir.

KAYA KÜTLELERİNİN MÜHENDİSLİK SINIFLAMASI

Jeoteknik incelemelerin başlıca hedefi tünel desteği tasarımına esas olacak verilerin elde edilmesidir. Bu veriler kaya kütesinin sınıflandırılması yönünden de gereklidir. Bu incelemede Barton ve diğerleri (1974) tarafından geliştirilen sınıflama kullanılmıştır. Kaya kütesi niteliği (Q) şu şekilde tanımlanmıştır :

$$Q = (RQB/J_n) \cdot (J_r/J_a) \cdot (J_w/SRF)$$

Burada;

RQD = Kaya niteliği belirteci (Deere, 1963'e göre)

J_n = Eklem takımı sayısı

J_r = Eklem yüzeyi pürüzlülük sayısı

J_a = Eklem yüzeyi ayrışma sayısı

J_w = Eklem suyu azalma faktörü

SRF = Gerilme azalma faktörü

Barton ve diğerleri (1974) tarafından her parametre için hazırlanan tablolar kullanılarak elde edilen kaya kütesi nitelikleri çizelge 5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Kaya kütesi niteliklerinin saptanması

| Yer | RQD | J _n | J _r | J _a | J _w | SRF | Q | Sınıf |
|-----------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|----|-------|
| MIT - 2/1 | 100 | 6 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 2.5 | 10 | 4 - 5 |
| MIT - 2/2 | 100 | 6 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 25 | 4 |
| MIT - 2/4 | 100 | 9 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 2.5 | 7 | 5 |

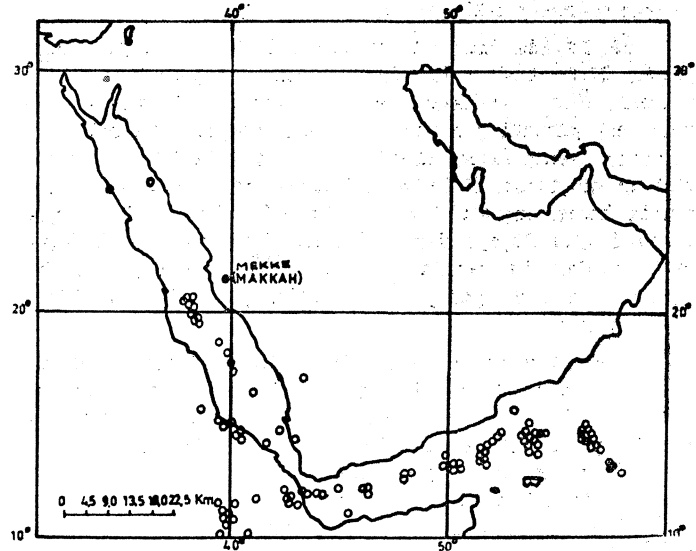
Yukarıdaki sınıflamaya göre kaya kütesi niteliği tünel ağızlarında «orta», MIT-2/2 dolaylarında ise «iyi» olarak belirlenmiştir. Ancak tünel ağızlarının tünelcilik yönünden kritik kısımları oluşturmaları nedeniyle bu gibi yer-

lerde güvenilirlik katsayısının genelde bir miktar artırılması yeğlenmektedir.

Ayrıca, tünel ağzına yakın kısımlarda topoğrafyanın alçak yani tünel üzerindeki kaya kütesinin ince olması nedeniyle, bu gibi kısımlarda bozuşmanın etkisi daha fazla hissedilecektir. Bu nedenle bu gibi yerlerde kaya kütesi niteliğini sınıf 6 (zayıf) olarak kabullemek daha güvenilir tünel desteği tasarımına olanak sağlayacaktır.

SİSMİSİTE

Batı Arap yarımadasına ilişkin sismisite çalışmaları genellikle Kızıl Deniz'de yoğunlaşmıştır. Özellikle Rothé (1954), Girdler (1964), Drake ve Girdler (1964), Sykes ve Landisman (1964) ve Fairhead ve Girdler (1970) bu konuda önemli incelemelerde bulunmuşlardır.



Şekil 3 : Kızıl Deniz, Aden Körfezi ve Afar çöküntüsü için Ocak 1953 Aralık 1968 arası episantır dağılım haritası (Fairhead ve Girdler, 1970'den).

Figure 5 : Epicenters for the Red Sea; Gulf of Aden, and Afar depression for the period January 1953 through December 1968 (After Fairhead and Girdler, 1970).

Drake ve Girdler (1964)'e göre Kızıl Deniz ve Aden Körfezi, Arabistan'ın Miyosen zamanında (Kabbani, 1970) Afrika kıtasından ayrılması sonucu oluşmuştur. Bu ayrılma sırasında normal faylarda sınırlanmış bir eksenel çöküntü meydana gelmiştir. Kızıl Deniz dolaylarında oluşan bir çok depremin episantrları bu kenar fayları boyunca sıralanmaktadır. Şığ depremlerin yoğun oluşu, Arabistan - Afrika kıtalarının ayrılması nedeniyle Kızıl Deniz boyunca deniz tabanı yayılması ve burada yeni bir okyanusal kabuk oluşumu görüşünü desteklemektedir.

Kızıl Deniz'in orta kısımlarında (17°K-25°K; 32°D-44°D) Ocak 1953 - Aralık 1963 tarihleri arasında yaklaşık 35 deprem kaydedilmiştir (Fairhead ve Girdler, 1970). Bu depremlerin magnitüdüleri 41-5.8 arasında değişmektedir. Deprem episantr dağılımları şekil 5'de gösterilmiştir.

Mekke dolayları için sismik veriler oldukça yetersizdir. Mekke'nin yer aldığı Batı Arap Kalkanı genelde tektonik yönden oldukça duraylı kabul edilmektedir. Bu nedenle Mekke ve yakın dolaylarında önemli sismik aktivite beklenmemektedir.

SONUÇLAR

MIT - 2 tüneli boyunca ana kayayı yer yer felsit ve dolerit daykları tarafından kesilen kuvars diyoritler oluşturmaktadır.

Gerek ana kaya ve gerekse daykları oluşturan kayalar yüksek ve çok yüksek dayanıma sahiptirler. Ancak kuvars diyorit - dolerit dokanağı boyunca oluşan çok ince bir killi ve kloritli ayrışma zonu bu dokanağı zayıf kılmaktadır. Tünelcilik sırasında özellikle tavanda görülebilecek düşeye yakın dolerit dayklarından blok kaymaları ve aşırı sökmeler beklenbilir.

Ana kayada ikisi düşeye yakın biri de yataya yakın olmak üzere başlıca üç eklem takımı gelişmiştir. Tünel kotunda eklem aralıkları geniş, açıklıkları sıkı ya da dar, yüzeyleri pürüzlü yer yer düzlemsel, dolgunuz ve eklem kurudur. Geniş eklem aralıkları ana kayada iri ve çok iri bloklar oluşturur. Kabe dolaylarında, saha çalışmaları sırasında halen inşaatı devam eden diğer tünellerde de görüldüğü gibi düşeye yakın eklem boyunca önemli kayma sorunları ile karşılaşılmanın ancak yataya yakın, eklem tavanda yer yer aşırı sökmeye neden oldukları anlaşılmıştır.

Tünel ağzlarında kaya kütlesi niteliği 5 olarak (orta) hesaplanmıştır. Ancak bu kısımlarda bozuşma etkisinin daha hissedilir olması nedeniyle sınıf 6 (zayıf) önerilmiştir. Buralarda, kaya düşmelerini önlemek amacı ile sistematik kaya bulonları, çelik hasır ve püskürtme beton önerilmektedir. Diğer kısımlarda ana kaya iyi bir kemerleme özelliğine sahiptir. Yer yer beklenilecek kaya düşme olasılıklarına karşı kaya bulonlar ve püskürtme beton uygulaması yeterli olacaktır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu incelemenin gerçekleşmesine olanak sağlayan Artec - Bimhol J.V. ve Tekar Limited Şirketi yetkililerine teşekkürü bir borç bilir.

Yazının ilk geliş tarihi: Mart 1982
Yayına verildiği tarih: Ekim 1982

DEĞİNİLEN BELGELER

- Anon, 1977, The description of rock masses for engineering purposes : Q. J. Engr. Geol., 10, 355 - 388.
- Barton, N., Lien, R., ve Lunde, J., 1974, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support : Norwegian Geotechnical Institute, Pub. 106,88 s.
- British Standards Institute, 1981, Code of practice for site investigation - BS 5930 : BSI, London, 147 s.
- Broch, E., ve Franklin, J.A., 1972, The point load strength test : Intl. J. Rock Mechanics and Mining Sciences, 9,669 - 697.
- Brown, G.F., 1972, Tectonic map of the Arabian Peninsula: Kingdom of Saudi Arabia, Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Directorate General of Mineral Resources, Map AP. 2.
- Deere, D.H., 1963, Technical description of rock masses for engineering purposes : Felsmechanik und Ingenieurgeologie, 1,1,16-22.
- Drake, C.L., ve Girdler, R.W., 1964, A geophysical study of the Red Sea : Geophys. J.R. Astr. Soc., 8, 473-495.
- Fairhead, J.J.D., ve Girdler, R.W., 1970, The seismicity of the Red Sea, Gulf of Aden and Afar triangle : Trans. Roy. Soc. London, A. 267,49 - 74.
- Girdler, R.W., 1964, Geophysical studies of rift valleys : Phys. Chem. Earth, 5,121 -156.
- I.S.R.M., 1972, Suggested methods for determining the point load strength index for rock materials : ISRM Committee on Standardisation of Laboratory Tests, Document No. 1,8-13.
- I.S.R.M., 1979 a, Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., 16,135 -140.
- I.S.R.M., 1979 b, Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties : Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., 16,141 -156.
- Kabbani, F.K., 1970, Geophysical and structural aspects of the central Red Sea rift valley : Trans. Roy. Soc. London, A. 267,89 - 97.
- Kent, P.E., 1978, Middle East - The geological background, in proceedings of the conference on Engineering Problems Associated with Ground Conditions in the Middle East : Q. J. Engr. Geol., 11,2 - 7.
- Rothâ, J.P., 1954, La zone sismique m^diane Indo - Atlantique : Proc. Roy. Soc. London, A 222, 387-397.
- Sykes, L.B., ve Landisman, M., 1964, The seismicity of East Africa, The Gulf of Aden and the Arabian and Red Seas : Bull. Seism. Soc. Amer., 54, 1927-1940.