

## KADIKÖY-KARTAL METRO GÜZERGÂHINDAKİ KAYAÇLARIN BASINÇ DAYANIMI İLE ELASTİSİTE MODÜLÜ ARASINDAKİ İLİŞKİ

### RELATIONSHIP BETWEEN COMPRESSIVE STRENGTH AND MODULUS OF ELASTICITY IN KADIKOY-KARTAL METRO LINE'S ROCKS

İbrahim OCAK

İBB, İETT Genel Müdürlüğü, Raylı Taşıma Daire Başkanlığı, Karaköy- İSTANBUL  
İ.Ü. Müh. Fak. Maden Müh. Böl., Misafir Öğr. Üyesi, 34320 Avcılar- İSTANBUL

**ÖZ :** Elastisite modülü (E) kaya malzemesini temsil etmede kullanılan önemli bir özelliktir. Elastisite modülü tünel kazıları, şevler gibi pek çok mühendislik projesinin dizaynında kullanılan önemli bir parametredir. Ancak elastisite modülünün doğrudan belirlenebilmesi hem zordur hem de deney için yüksek kalitede karotlar gerekmektedir. Bu nedenle elastisite modülünün tayini için yaygın olarak dolaylı yollara başvurulmaktadır. Ancak literatürde değişik korelasyon yöntemlerini kullanarak elastisite modülünü bulmayı amaçlayan bu yöntemlerin en önemli eksikliği az sayıda dataya dayanmalarındır. Bu çalışmada Kadıköy-Kartal Metro çalışmaları kapsamında yapılan sondajlardan elde edilen 139 adet data kullanılarak değişik litolojilerdeki kayaçların tek eksenli basınç dayanımları ( $\sigma_c$ ) ve elastisite modülü arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sonuçta, litolojisine göre değişmekle birlikte basınç direnci ile elastisite modülü arasında çok anlamlı ilişkiler olduğu ve çekme direncinin de kullanılması ile korelasyonun daha da kuvvetlendiği görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler :** Kadıköy-Kartal Metro, Tek eksenli basınç direnci, elastisite modülü, elastisite modülü kestirimi.

**ABSTRACT :** Modulus of elasticity (E) is an important feature for describing the rock material. Modulus of elasticity is an important parameter used for designing various engineering projects like tunnel excavations and slope stability. However, direct determination of modulus of elasticity is both difficult and requires high quality core samples for tests. Therefore, indirect methods have widely been used to predict modulus of elasticity. Depending on less number of detail is the most important weakness of these methods, which are using various correlation methods in literature. In this study, the relation between unconfined compressive strength ( $\sigma_c$ ) and modulus of elasticity of rock in various litology have been investigated using 139 number of data derived from the boreholes made within the scope of Kadikoy-Kartal Metro works. Consequently, although it varies as per the litology, it has been observed that there is a meaningful relation between the uniaxial compressive strength and modulus of elasticity and the relation can be strengthened by using tensile strength.

**Keywords:** Kadıköy-Kartal Metro, compressive strength, modulus of elasticity, modulus of elasticity prediction.

### GİRİŞ

Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi 3,3 kilometresi tünel, kalanı da hemzemin olmak üzere toplam 21,6 km olarak Şubat 2004'de İETT Genel Müdürlüğüne ihale edilmiştir. Ancak daha sonra bu haliyle projenin hem kapasite olarak yetersizliğinden, hem de E5 güzergahının ortasında yapılacak çalışmaların çevreye ve insanlara vereceği sıkıntılardan dolayı projenin tamamı yer altına alınmış ve metro standartlarında yapılmasına karar verilmiştir. Bu haliyle

proje tünel çapı 5,70 metre ve ikiz tünellerden oluşan bir metro sistemidir. Tünellerin yer yüzünden derinliği ortalama 30 metre ve iki tünel arası ortalama 32 metredir.

Metro tünellerinin ana hat tünelleri 2 adet TBM ve 2 adet EPBM makinesi ile kazılacaktır. Makas bölgeleri, geceleme hatları, istasyon platform tünelleri ve bağlantı tünelleri ise NATM yöntemiyle kazılmaktadır. Proje toplam 16 adet istasyonu içermekte

olup tek yönde 60 bin kişi taşıma kapasitesine sahip olacaktır.

Elastisite modülü, her türlü mühendislik yapısının kazı çalışması tasarımında birim hacim ağırlığı, kohezyon, poisson oranı ve içsel sürtünme açısı ile birlikte kullanılan önemli bir mekanik dayanım parametresidir. Fakat bu parametrenin doğrudan tespiti için yüksek kalitede karot örnekleri gerekmektedir. Ancak bazı kayalarda yüksek porosite, yüksek kil oranı ve sondaj kalitesinden kaynaklanan nedenlerle iyi kalitede karot alınması mümkün olamamaktadır. Ayrıca deney yapımındaki güçlükler de mühendislik problemlerinde elastisite modülünün dolaylı yollardan belirlenmesini gerektirebilmektedir.

Literatürde geçen ve dolaylı yollardan elastisite modülünü tespit etmeyi amaçlayan çalışmaların bir kısmında schmidt çekici (Deere ve Miller, 1966; Aufmuth, 1973; Sachpazis, 1990; Xu vd., 1990) kullanılmıştır. Daha fazla sayıda araştırmacı (Wuerker, 1959; Dhir ve Sangha, 1972; Lama ve Vutukari, 1978; Wilson, 1978; Dennis vd., 1982; Bell, 1983; Sachpazis, 1990; Rohde ve Feng, 1990; Arıoğlu ve Tokgöz, 1992; Tuğrul ve Zarif, 1999; Palchik, 1999; Lashkaripour ve Nakhaei, 2001) bu kestirim için tek eksenli basınç direncini kullanmışlardır.

İstatistiksel bir çalışmanın güvenilirliği kullanılan veri sayısına bağlıdır. Kullanılan veri sayısı ne kadar fazla ise ulaşılan değerler de o derece güvenilir olmaktadır. Ancak yukarıda arz edilen pek çok araştırmada, oldukça sınırlı sayıda veri kullanılmıştır. Bu araştırmaların diğer iki eksikliği de farklı litolojik birimlerden elde edilen verilerin birlikte değerlendirilmesi ve örnek boyutlarının dikkate alınmamasıdır (Grasso vd., 1992).

Bu çalışmada, yukarıda ifade edilen eksikliklerin giderilmesi için toplam 139 adet veri kullanılmıştır. Bu verilerin tamamı Kadıköy-Kartal Metro projesi çalışmaları sırasında Kadıköy ile Kartal arasındaki 21,6 km lik güzergahta yapılan 139 adet sondajdan elde edilmiştir. Farklı litolojiler hem ayrı ayrı, hem de birlikte değerlendirilmiştir. Ayrıca kullanılan veriler aynı boyutlu karotlar üzerinde yapılan deneylere dayanmaktadır.

## BÖLGENİN JEOLJİSİ

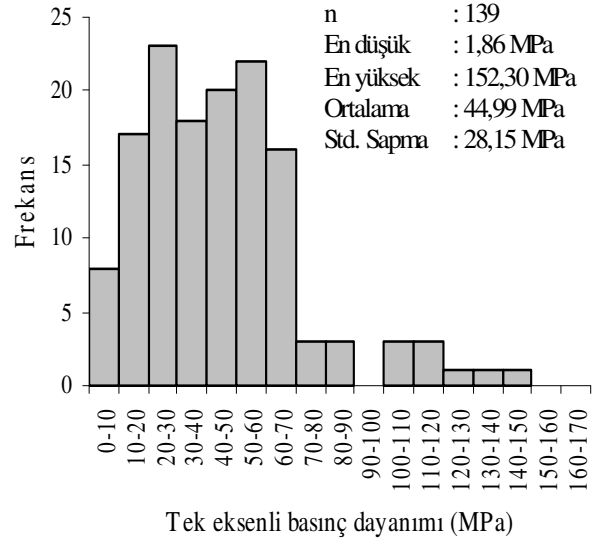
Kadıköy-Kartal Metro güzergâhı, büyük çoğunluğu itibariyle Kadıköy'den itibaren, Trakya formasyonu, Kartal formasyonu, Kurtköy formasyonu ve Dolayoba formasyonlarından oluşmaktadır. Yeşilimsi gri renkli, ayrıışmış zonlarında kahverengi, yerel mercekli çakıltaşı ve kumtaşı ara tabakalı Trakya formasyonu genelde ince tabakalı ve paralel laminalı

şeyllerden oluşmaktadır (Kaya, 1978). Kartal Formasyonu sarımsı kahve-gri renkli, iyi yapraklanmalı, mercan ve bryozoa fosilli, seyrek siltaşı ile kumtaşı aratabakalı şeyllerden ve kireçtaşı seviyelerinden oluşmuştur (Önal, 1982). Kurtköy formasyonu mor renkli çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşur. Dolayoba formasyonu kuvars, arenit mercekli şeylleri ile girik, koyu mavi-mavimsi koyu gri renklerde ve çeşitli karbonat fasiyeslerinden oluşur (İETT, 2005).

Bölgede kayaç özelliklerinin tespiti için 139 adet sondaj yapılmıştır. Bu sondajlar üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucu elde edilmiş güzergâhı oluşturan kayaçlara ait ortalama fiziko-mekanik özellikler Çizelge 1'de görülmektedir.

## KULLANILAN VERİ TABANI ÖZELLİKLERİ

Kullanılan veri tabanı, Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi güzergâhını kapsamaktadır. Datalar, İETT Genel Müdürlüğüne yürütülen bu projedeki sondajlardan elde edilmiş laboratuvar deneylerine dayanmaktadır. Veri tabanının tek eksenli basınç dayanımı 1,86 MPa-152,30 MPa arasında,, Elastisite modülü 0,65 GPa-38,41 GPa arasında değişmektedir. Kullanılan veri tabanına ait istatistiksel özellikler Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmektedir.

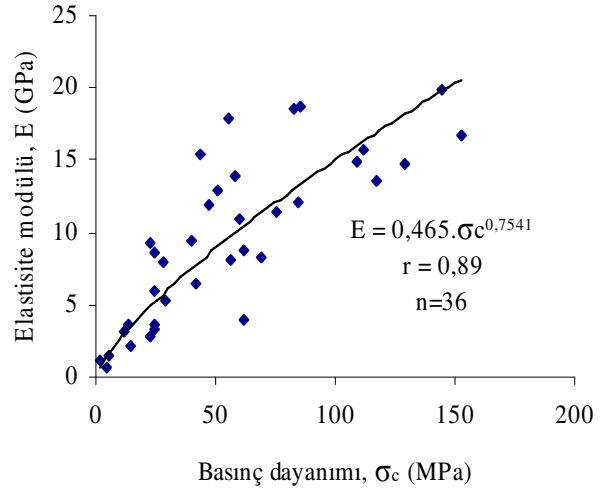
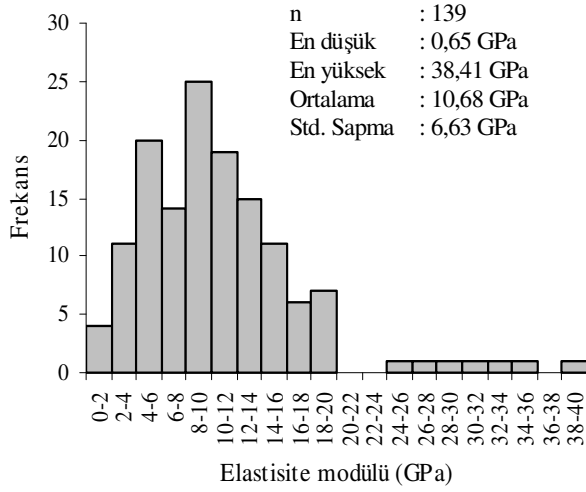


**Şekil 1:** Tek Eksenli Basınç Direnci Verilerinin İstatistiksel Analizi  
**Figure 1:** Statistical Analysis Evaluation of Unconfined Compressive Strength Data.

**Çizelge 1:** Çalışma Bölgesinin Ortalama Kayaç Özellikleri (İETT, 2005).

**Table 1:** Average Rock Properties of the Study Area.

| Formasyon | Litoloji ve % si         | Birim hacim ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> ) | Poisson oranı | İçsel sürtünme açısı (°) | Kohezyon (MPa) | Basınç direnci (MPa) | Elastisite modülü (GPa) |
|-----------|--------------------------|---|---------------|--------------------------|----------------|----------------------|-------------------------|
| Trakya    | Kumtaşı-silttaşı-kiltaşı | 13,6                                      | 0,27          | 37,9                     | 13,9           | 56,18                | 9,70                    |
| Tuzla     | Şeyl                     | 1,2                                       | -             | 43,1                     | 6,4            | 26,83                | 8,60                    |
| Kartal    | Şeyl+çört                | 29,9                                      | 0,28          | 43,1                     | 18,6           | 33,02                | 7,40                    |
| Kurtköy   | Kumtaşı+konglemera       | 29,7                                      | 0,29          | 43,1                     | 19,5           | 53,33                | 10,31                   |
| Aydos     | Kuarsit-andezit          | 1,6                                       | 0,28          | 54,2                     | -              | 73,03                | 12,64                   |
| Dolayoba  | Kireçtaşı                | 17,5                                      | 0,30          | 49,4                     | 10,6           | 42,96                | 15,82                   |



**Şekil 2:** Elastisite Modülü Verilerinin İstatistiksel Analizi

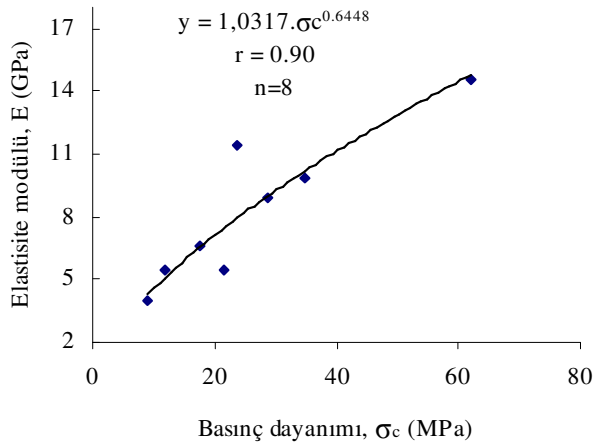
**Figure 2:** Statistical Analysis of Modulus of Elastisite Data.

**Şekil 3:** Trakya Formasyonu için  $\sigma_c$  ile E Arasındaki İlişki.

**Figure 3:** Relationship Between  $\sigma_c$  and E for Trakya Formation.

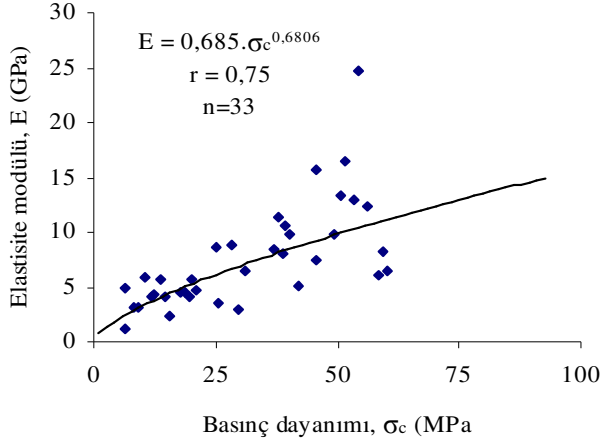
### TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI İLE ELASTİSİTE MODÜLÜ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi güzergâhını oluşturan formasyonların tek eksenli basınç direnci ile elastisite modülü arasındaki ilişki hem her bir formasyon için ayrı ayrı (Şekil 3-Şekil 8) hem de güzergâhı oluşturan tüm formasyonlar için incelenmiştir (Şekil 9).

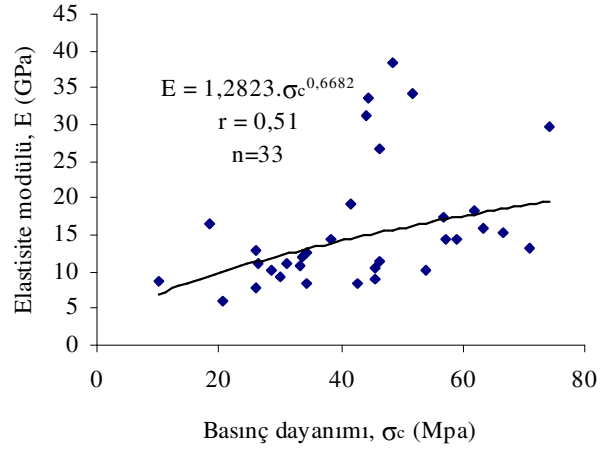


**Şekil 4:** Tuzla Formasyonu için  $\sigma_c$  ile E Arasındaki İlişki.

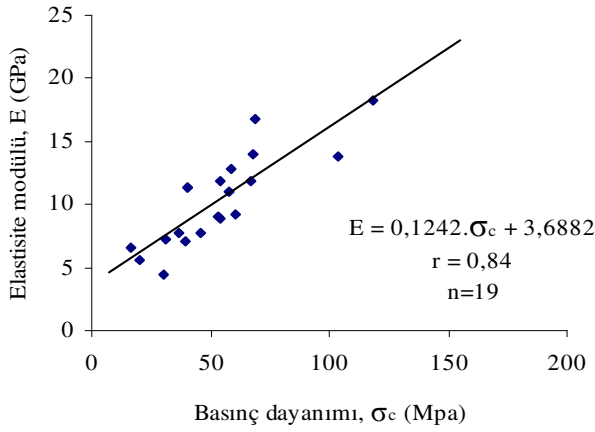
**Figure 4:** Relationship Between  $\sigma_c$  and E for Tuzla Formation.



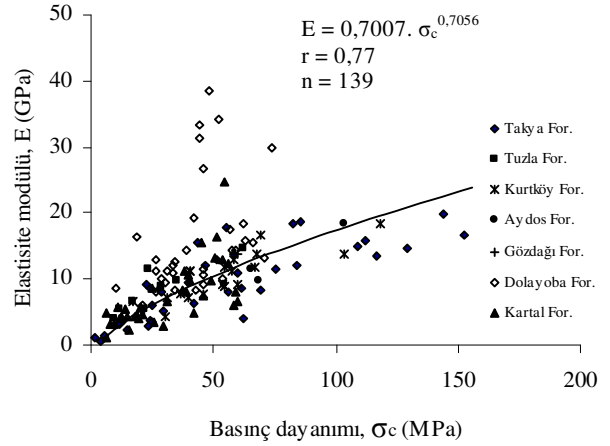
**Şekil 5:** Kartal Formasyonu için  $\sigma_c$  ile E Arasındaki İlişki.  
**Figure 5:** Relationship Between  $\sigma_c$  and E for Kartal Formation.



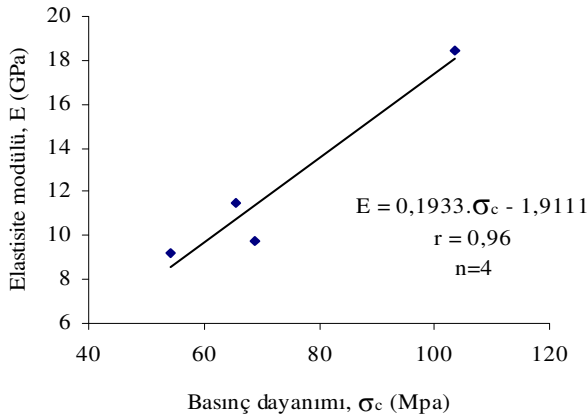
**Şekil 8:** Dolayoba Formasyonu için  $\sigma_c$  ile E Arasındaki İlişki.  
**Figure 8:** Relationship Between  $\sigma_c$  and E for Dolayoba Formation.



**Şekil 6:** Kurtköy Formasyonu için  $\sigma_c$  ile E Arasındaki İlişki.  
**Figure 6:** Relationship Between  $\sigma_c$  and E for Kurtköy Formation.



**Şekil 9:** Tüm Formasyonlar İçin  $\sigma_c$  ile E Arasındaki İlişki.  
**Figure 9:** Relationship Between  $\sigma_c$  and E for All Formation.



**Şekil 7:** Aydos Formasyonu için  $\sigma_c$  ile E Arasındaki İlişki.  
**Figure 7:** Relationship Between  $\sigma_c$  and E for Aydos Formation.

Araştırılan tüm ilişkiler  $\alpha=0,05$  güven seviyesinde test edilmiş ve bu aralıkta güvenilir bulunmuştur. Yapılan bu çalışmalar sonucunda ortaya konulan ilişkilerin gerek "formasyon" gerekse "tüm güzergah" bazında elastisite modülü kestirimi düzeyini belirlemek üzere, Çizelge 2 çerçevesinde, "ölçülen" ve "hesaplanan" elastisite modülünün bir karşılaştırması verilmiştir. Çizelgeden de hemen fark edileceği üzere, ampirik bağıntılar sonucu "hesaplanan E" değerlerinin ölçülen E değerlerinden - % 3,55 ile + % 3,75 arasında farklı olduğu saptanmıştır. Bu mertebeler, önerilen ampirik bağıntılara dayanarak oldukça anlamlı sayılabilecek bir prezisyon ile elastisite modülünün kestirilebilirliğini göstermektedir.

**Çizelge 2:** “Ölçülen ( $E_0$ )” ve “Hesaplanan ( $E_H$ )” Elastisite Modülünün Değişimi.

**Table 2:** Difference between “Measurement ( $E_0$ )” and “Calculated ( $E_H$ )” Modulus of Elastisite Data.

| Formasyon adı | Ortalama ölçülen basınç dayanımı, $\sigma_c$ (MPa) | Ortalama ölçülen elastisite modülü, $E_0$ (GPa) | Hesaplanan ortalamaelastisite modülü, $E_H$ (GPa) | Fark<br>$\Delta = \frac{E_0 - E_H}{E_0} \times 100$ |                  |
|---------------|--|---|---|---|------------------|
|               |  |   |   | + $\Delta$ , (%)                                    | - $\Delta$ , (%) |
| Trakya        | 56,18  | 9,70  | 9,70  | 0,00  | -                |
| Tuzla         | 26,83  | 8,67  | 8,60  | 0,75  | -                |
| Kartal        | 33,02  | 7,50  | 7,40  | 1,30  | -                |
| Kurtköy       | 53,33  | 10,31   | 10,31   | -   | 0,02             |
| Aydos         | 73,03  | 12,21   | 12,64   | -   | 3,55             |
| Dolayoba      | 42,96  | 15,91   | 15,82   | 0,57  | -                |
| Tüm güzergah  | 44,99  | 10,68   | 10,28   | 3,75  | -                |

## SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Bu çalışmada, tünel, temel ve her türlü kazının projelendirilmesinde ana girdilerden birisi olan ve normal yollardan tespiti yüksek kalitede karot örnekleri gerektirdiği için güç olan elastisite modülünün dolaylı olarak nasıl elde edilebileceği üzerinde durulmuştur. Çalışma sonucunda, kayac örneğinin tek eksenli basınç direncine dayanarak elastisite modülünün  $\pm$  % 3,75-3,55 gibi oldukça anlamlı sayılabilecek bir kestirim elde edilmiştir. Diğer bir anlatımla; amprik bağıntılardan elde edilen bu kestirimler, uygulamadaki bir mühendise tasarım aşamasında  $\pm$  % 3,75-3,55 hata payları ile elastisite modülünün kestirimine imkan verebilmektedir..
- İstatistiksel analizlerdeki anlamlı ilişkiler, mekanik ve deformasyon özellikleri geniş bir aralıkta değişen farklı formasyonlara ait farklı kaya örneklerinden elde edilmiş geniş bir veri tabanının kullanılması ile elde edilmiştir.
- İstanbul’da yapılmış ve yapımı devam sürdürülen çalışmalarının büyük çoğunluğu araştırmaya da konu olan formasyonlar içerisinde yapılmaktadır. Dolayısıyla izleyen çalışmalarda, bu çalışmanın sonuçlarından yararlanılabilecektir.

## SUMMARY

The modulus of elasticity of intact rocks is an important parameter and widely used in many rock engineering projects such as tunnels, slopes, foundations etc. In rock mechanics literature, some empirical relations exist between the modulus of elasticity, and some geomechanical and physical properties of rocks. In this study, the relation between compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity of rock in various litology have been investigated using 139 number of data derived from the boreholes made within

the scope of Kadikoy-Kartal Metro works. Consequently, although it varies as per the litology, it has been observed that there is a meaningful relation between the compressive strength and modulus of elasticity and the correlation can be strengthened by using tensile strength.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Arıoğlu, E., Tokgöz, N., 1992.** Tortul Kayaçalarda Elastisite Modülü İle Basınç Dayanımı Arasında Çıkarılan Regresyon İfadeleri, Kaya Mekaniği Bülteni, No. 7, s: 5-15. Ankara,
- Aufmuth R.E., 1973,** A systematic determination of engineering 20 criteria for rock. Bull. of Assoc. of Eng. Geol. 11: 235-245.
- Bell, F.G., 1983,** Engineering Properties of Soil and Rocks, London
- Deere D.V. ve Miller R.L., 1966,** Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock. Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana. 90-101.
- Dennis, R. D., Horing, F.G., Hooker, E. V., 1982,** Mechanical Properties of oil Shale and Overlying Strata, Naval Oil Shale Reserve, Anvil Points, colo. pp: 1-43 Co1 o. ISBM RI: 8608, pp: 1-43
- Dhir, R.K., Sangha, C.M., 1972,** Rock Strength, Colliery Guardian, pp: 525-256
- Grasso P. Xu S. ve Mahtab A., 1992,** Problems and Promises of Index Testing of Rock. Rock Mechanics. 879-888.
- İETT Genel Müdürlüğü, 2005,** İstanbul Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi, Mühendislik Jeolojisi Raporu.
- Kaya, O., 1978,** İstanbul Ordovisiyeni ve Silüriyeni, H.Ü. Yerbilimleri Enstitüsü Yayını, Cilt:4, s.1-2.
- Lama, R. D., Vutukari, 1978,** Handbook and Mechanical Properties of Rock Trans. Tech. Publ., Amsterdamsdorf, Switzerland, Vol: 2, 1978, pp:481

- Lashkaripour G.R. ve Nakhaei M., 2001**, A Statistical Investigation on Mudrocks Characteristics. Rock Mechanics. 131-136.
- Önalın, M., 1982**, Pendik Bölgesi ile Adaların Jeolojisi ve Sedimanter Özellikleri, Yayınlanmamış, İ.Ü. Müh. Fak. Doçentlik Tezi, İstanbul.
- Palchik V., 1999**, Influence of Porosity and Elastic Modulus on Uniaxial Compressive Strength in Soft Brittle Porous Sandstones. Rock Mech. Rock Engn. 32(4): 303-309.
- Rohde, J., Feng, H., 1990**, Analysis of the Variability of Unconfined Compression Tests of Rock, Rock Mech. and Rock Eng., 23, pp: 231 -236
- Sachpazis C.I., 1990**, Correlating Schmidt Hardness With Compressive Strength and Young's Modulus of Carbonate Rocks. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.
- Tuğrul A. ve Zarif I.H., 1999**, Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties o Selected Granitic Rock from Turkey, Engineering Geology 51: 303-317.
- Wilson, A.H., 1980**, Stability of Underground Working in the Soft Rocks of Coal Measures, Ph.D. Thesis, University of Nottingham
- Wuerker, R.G., 1959**, The Shear Stergth of Rocks, Mining Engineering, October, pp: 1022-1026
- Xu S., Grasso, P. ve Mahtab A., 1990**, Use of Schmidt Hammer for Estimating Mechanical Properties of Weak Rock. 6th International IAEG Congress. 511-519.

**Yayına Geliş - Received** : 12.06.2006

**Yayına Kabul - Accepted** : 19.12.2006