

Kil Minerallerinin İlginci Dünyası

Belki birçoğumuz için hiç de çekici gelmeyen kile tarihin yazdığı en eski çağlardan itibaren mitolojide ve insanın sosyal yaşamında bir mücevher gibi paha biçilmiştir.

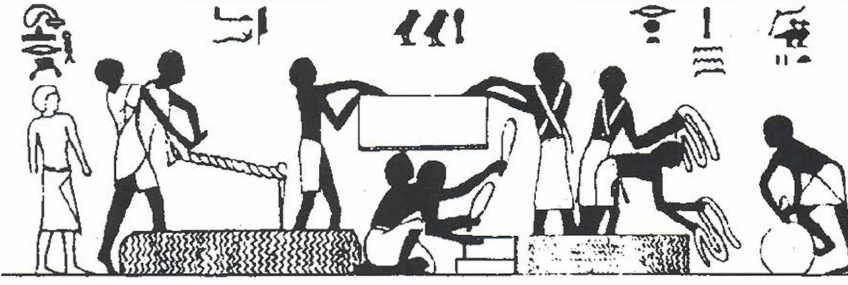
Üzerinde yaşadığımız Mavi Gezegenin kil mineralleri ile tanışıklığı büyük bir olasılıkla büyük patlamadan hemen sonra ilksel yer kabuğunu oluşturan bazaltın atmosferle etkileşmesi ile oldu. Düşüncelerimizin sınırlarını zorlayan milyarlarca yıl önceki bir jeolojik zaman diliminin başlangıcında yer alan bu olay çok yaşlı ama hala ilk günkü dinamizmini koruyan Gezegenimizde sonu gelmeyecek bir maceranın habercisiydi. Gerekli termodinamik mesajı alarak yüksek derecedeki yapısal organizasyonunu gerçekleştirebilen ilk kil minerali hayatı karakterize edercesine kop-yala-narak

kendine büyüleyici bir dünya yarattı.

İnsanoğlunun kille tanışıklığı elbette kı Mavi Gezegeninki kadar eski değildir. Ancak bu Gezegeni çok sonraları diğer canlılarla birlikte paylaşmaya başlayan insanoğlu akıllı, meraklı ve yaratıcı biri olarak daha ilk günlerinden kili keşfetmiş ve insanlığın hizmetine sunmuştur. Bu anlamda ilk bil-

giler zamanımıza kadar çeşitli yazı ve resimlerle ulaşmıştır. Yaklaşık 7000 yıl öncesinden başlayarak ve Eski Mısır'da (Şekil 1), Orta Doğu'da, Homer-Klasik Yunan ve Roma dönemlerinde çamaşırcı toprağı (Fuller's Earth) olarak da bilinen kil kullanılmaktaydı. Eski Mısır'da ana minerali montmorillonit olan Nil Çamuru bazen sodyum karbonatın (natron) yanında sabun yerine, bazen de günün modasına uyarak saçlarını uzatan Mısırlı kadınlar tarafından parfümle karıştırılarak şampuan olarak kul-





Şekil 1. Çamaşır toprağı ile dibekte tokmakla döverek çamaşır yıkayan, sıkan ve kumaşı sararak toplayan Eski Mısır'lı işçiler.

lanılmıştır.

Mineraloji ve kimya bilim tarihleri açısından önem taşıyan ve kayalar, endüstriyel mineraller ve bunlardan elde edilen ürünler hakkında yazılmış ilk bilimsel kitap (On Stones) Theophrastus tarafından İ.Ö. 315-314 tarihlerinde yazılmıştır. Doğadan elde edilen ve Melian, Kimolian ve Samian toprakları olarak tanımlanan malzemelerin çeşitli amaçlara yönelik kullanıldığı bu kitaptan öğreniyoruz. Melian toprağı ince kuvars içermekte olup resim boyası malzemesi olarak kullanılıyordu. Kırmızı ve beyaz renklerdeki Kimolian kil (Ca-montmorillonit) yatakları çamaşır kili üretiminde ve yaklaşık 2000 yıl boyunca ilaç yapımında değerlendirildi. Yağlı, yoğun ve kaygan karakterli Samian kaolen kili ise seramik üretiminde çoktan yerini almıştı. Belki birçoğumuz için hiç de çekici gelmeyen kile tarihin yazdığı en eski çağlardan itibaren mitolojide ve insanın sosyal yaşamında bir mücevher gibi paha biçilmiştir. Lemnos adasındaki yataktan yılda bir kere alınan Lemnos kili düzenlenen törenlerle Terra Sigillata diye bilinen küçük silindriker haline getirilip üzeri mühürlenir (Şekil 2) ve kurutulduktan sonra zehirli yılan ve böcek sokmalarına karşı ve diğer tedavi amaçlarıyla ticareti yapılırdı.

1900'lü yıllara gelene kadar kille ilgili araştırmalar klasik anlamda süregelmiştir. Bu konuda yazılmış jeoloji-mineraloji kitaplarının azlığı, killerin jeolojisinin

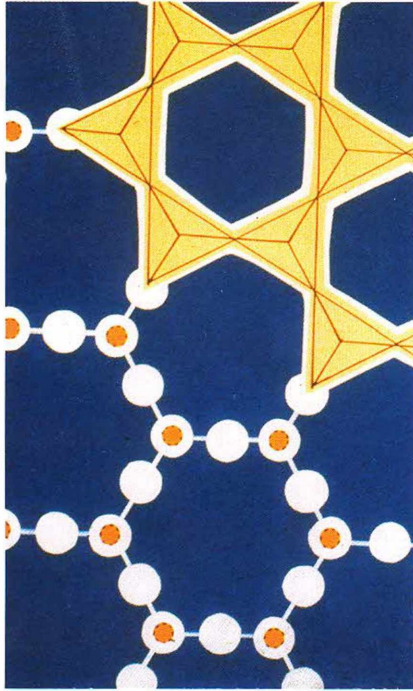
Mavi Gezegenimizin dinamik süreçlerindeki yerinin anlaşılmasını henüz geliştirmemesi ve bu yıllara kadar kimya ve fizikçilere ait olduğu düşünülen analitik tekniklere jeologlar tarafından ilgi gösterilmemesi gibi nedenlerle açıklanabilir. Bu yıllar, gözümüzün önündeki opak perdeyi yırtıp atan çok önemli bilimsel buluşlara damgasını vurmuş ve modern anlamda killerin insanlığın hizmetine sunulması için sadece jeoloji değil, diğer birçok disiplinde sonuç gelmeyecek gibi görünen bilimsel buluşlar ve uygulamalar zincirini oluşturmuştur.

Kil Minerali Kavramının Doğuşu: Klasikten Moderne

'Kil' sözcüğünün tanımı ilk defa Agricola tarafından 1554 yılında yapılmıştır. Bu tarihten itibaren birçok defa daha tanımlanmışsa da içeriğini oluşturan taneçiklerin boyutlarının 1/256 mm'den (kil boyutu) küçük olmasının gerektiği, plastik karakteri, ısıtıldığında sertleşmesi gibi özellikleri her tanımda vurgulanmıştır. 1920'lerden önce kil hakkında bilinenler kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile sınırlı kalmıştır. Genelde toprak alkali ve alkali elementlerince zengin sulu alüminyum silikatlardan oldukları, kolloidal süspansiyonlar oluşturdukları ve suyla karıştırıldıklarında şekil verilebildiği ve kurutulduklarında bu şekli korudukları anlaşılan killeri, seramik yapımı gibi klasik uygulama alanlarında yaygın olarak tüketildiler. Gerçek anlamda bir 'Kil Bilimi'nin temeli bu yıllarda yapılan çok önemli buluşlarla atılmıştır. 1925-1926 yıllarında C.S. Ross ve

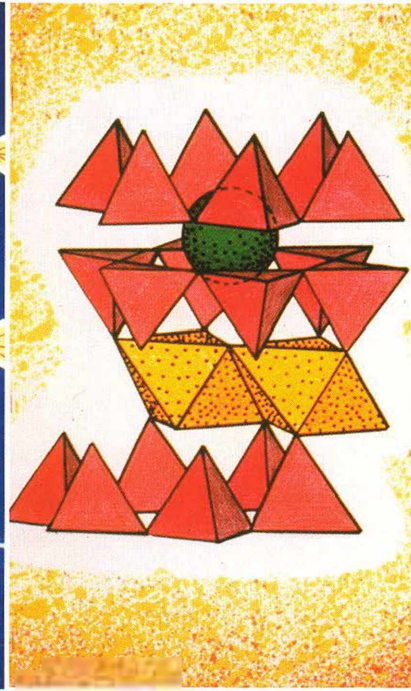


Şekil 2. Klasik dönemde Terra Sigillata için düzenlenen törenden bir an (Ressam: Robert A. Thom).



Şekil 3. Mika mineralindeki tetrahedrik tabakanın dilinim yüzeyine izdüşümü. Si atomu sarı renkli, O atomu beyaz renkli yuvarlaklardır.

arkadaşlarının bentonitlerin kimyasal ve optik özelliklerini inceledikleri özverili araştırmalarından, bu kiltaşının çoğunluğunu oluşturan kil boyutundaki taneçiklerin kristal yapıya sahip silikat mineralleri oldukları anlaşılmış ve bu mineraller ilk kez 'Kil Minerali' olarak adlandırılmıştır. Ancak kil minerallerinin çok küçük boyutlarda olmaları adı geçen teknik yöntemlerle kristal yapıları hakkında daha ayrıntılı bilgilerin elde edilmesine en büyük engeldi. Bu engelin aşılması 'Kil Bilimi'nin doğuşuna temel olan çalışmaların iki Nobel Ödülü sahibi bilim adamı Linus Pauling'ın 1929 yılında X-Işınları Toz Kırınımı (XRD) tekniğini kil minerallerine uygulaması ile gerçekleşti. Pauling, bu yöntemle incelediği fillosilikat mineral grubundan mika kristalinin yapı taşlarının tetrahedrik Si-O, ve oktahedrik Al(Mg)-O koordinasyon gruplarının olduklarını; bu grupların polimerizasyonu ile oluşan tabakaların ideal olarak hegzagonal



Şekil 4. Mika kristalinin birim hücrelerini oluşturan 2:1 katmanı ve iki katman arasındaki K⁺ iyonu. Tetrahedrik tabaka kırmızı, oktahedrik tabaka sarı, ve K iyonu yeşil renkle gösterilmiştir.

simetri gösterdiklerini (Şekil 3); bu tabakaların kristalografyanın kurallarına uygun bir şekilde sistematik olarak üst üste dizilmeleri sonucunda (örneğin 2:1 olarak özetlenen mika yapısındaki 2 tetrahedrik tabaka ve aralarında yer alan 1 oktahedrik tabaka) katmanların geliştiğini; yine üst üste dizilen bu katmanların ara boşluklarının ise değişebilir K⁺, Ca²⁺, Na⁺ iyonları, su molekülleri ve organik moleküllerle işgal edildiğini ispatlamıştır (Şekil 4). Bu şekilde oluşan mika kristalinin birim hücre kalınlığı 10 Angstrom'dur.

Kil minerallerinin ideal yapıları ve kimyasal bileşimleri ile ilgili temel kavramların oluşmasından sonra birçok disiplindeki araştırmacılar tarafından çeşitli teknikler kullanılarak yapılan çalışmalarla 'Kil Bilimi' büyük gelişmeler kaydetmiştir. Kil mineralleri kristal yapılarına ve kimyasal özelliklerine göre ayrıntılı bir şekilde sınıflandırılmış (Tablo 1) ve bunlara bağlı olarak gelişen fiziksel özellikleri

tanımlanmıştır. Günümüzde de devam etmekte olan bu tür temel araştırmaların sonuçları, insanoğlunun en önemli özelliklerinden biri olan yaratıcılığının ürünü olan icat ve uygulamalar için gerekli basamak taşlarıdır.

Kil Mineralojisi ve Çokyönlülük

Kil minerallerinin kristal yapıları, fiziksel-kimyasal özellikleri, değişik disiplinlerde uygulamaya yönelik çalışmalara konu olmaları ve araştırma teknikleri yönünden diğer makroskopik minerallerden farklı olması jeoloji, kimya, fizik, matematik, seramik, arkeoloji, inşaat, çevre, malzeme bilimi ve toprak gibi çeşitli disiplinlerdeki araştırmacıları biraraya getirmektedir. Bu birlikteliğin doğal bir sonucu olarak bilgi alışverişinin disiplinler arasındaki olası sınırları aşarak yayılması, kil ve kil minerallerinin ortak bir araştırma platformuna dönüşmesini sağlamıştır. Kil mineralojisindeki yeni bulgular uygulamalı çalışmaları yönlendiren en önemli etkenlerden biri olmuştur (Şekil 5).

Killerin Jeolojisi

Mavi Gezegenin çok iyi bilinen sedimanter-diyajenetik-metamorfik-magmatik kayalık çevrimi, kil mineralojisinin geçmişteki jeolojik olayların anlaşılması için uygulandığı önemli bir çalışma alanıdır. Örnek olarak (1) topraktaki kil minerallerinin duraylı izotop analizleri kıtaların hareketlerinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır, (2) diyajenez sırasında bentonitleşen tüflerin (Şekil 6) tefrakronolojide kullanılması başlıbaşına bir araştırma konusudur, (3) çeşitli jeolojik süreçler ile oluşan ekonomik kil yataklarının kökeninin anlaşılmasına yönelik araştırmalar endüstriyel hammaddeye dayanan sektörler tarafından desteklenmektedir ve (4) kil minerallerinin laboratuvarlarda

sentezlenmesi doğadaki jeolojik süreçlerin anlaşılmasına ve ayrıca malzeme biliminin gereksinimini duyduğu saflıktaki minerallerin elde edilmesine imkan sağlamaktadır.

Güneş Sisteminde Killer

Moleküler biyoloji dalında yapılan araştırmalara göre gezegenimiz üzerinde hayatın başlamasında nükleik asit ve protein önemli rol oynamıştır. 1966 yılında Glasgow Üniversitesi kimya profesörlerinden A.G. Cairns-Smith kil minerallerinin organik moleküllere olan benzerliğine dikkatleri çekerek farklı bir öneri getirmiş, ve bu minerallerin canlı yaşamı başlatan reaksiyonlarda sadece katalizör olmayıp ilk organizmanın kopyalanmasında, mutasyonunda ve gelişmesinde önemli rol üstlendiğini ileri sürmüştür. İnsanoğlunun uzayın derinliklerine meraklı gözler ve yaratıcı düşünceler yönelttiği çağımızda, güneş sistemimizdeki diğer gezegenlerdeki mineral oluşumlarına da ilgi duymanın bazı nedenleri de hayatın kökenine yönelik bu teorilerdir.

Tablo 1. Düzlemsel morfolojideki kil minerallerin basitleştirilmiş sınıflandırılması

Katman Tipi	Tabaka arası karakter	Grup	Oktahedrik karakter	Mineral örneği
1:1	Bo° veya sadece H ₂ O (x ≈ 0)	Serpantin Kaolen	Trioktahedrik Dioktahedrik	Lizardit Kaolinit, dikit
2:1	Bo° (x ≈ 0)	Talk Pirofillit	Trioktahedrik Dioktahedrik	Talk Pirofillit
	Hidrate değişebilir kation (x ≈ 0.2-0.6)	Simektit	Trioktahedrik Dioktahedrik	Saponit Montmorillonit
	Hidrate değişebilir kation (x ≈ 0.6-0.9)	Vermikülit	Trioktahedrik Dioktahedrik	Vermikülit Vermikülit
	Hidrate olmayan tek değerlikli kation (x ≈ 0.6-1.0)	Gerçek mika (bükülebilir)	Trioktahedrik Dioktahedrik	Biyotit Muskovit, illit
	Hidrate olmayan çift değerlikli kation (x ≈ 1.8-2.0)	Mika (kırılğan)	Trioktahedrik Dioktahedrik	Klintonit Margarit
	Hidroksit tabakası (x=değişken)	Klorit	Trioktahedrik Dioktahedrik Di-trioktahedrik	Klimoklor Donbasit Sudyoit
2:1	Düzenli karışık katmanlı (x=değişken)	Deği°ken	Trioktahedrik Dioktahedrik	Korrensit Rektorit

X: Birim formüldeki net katı yükü

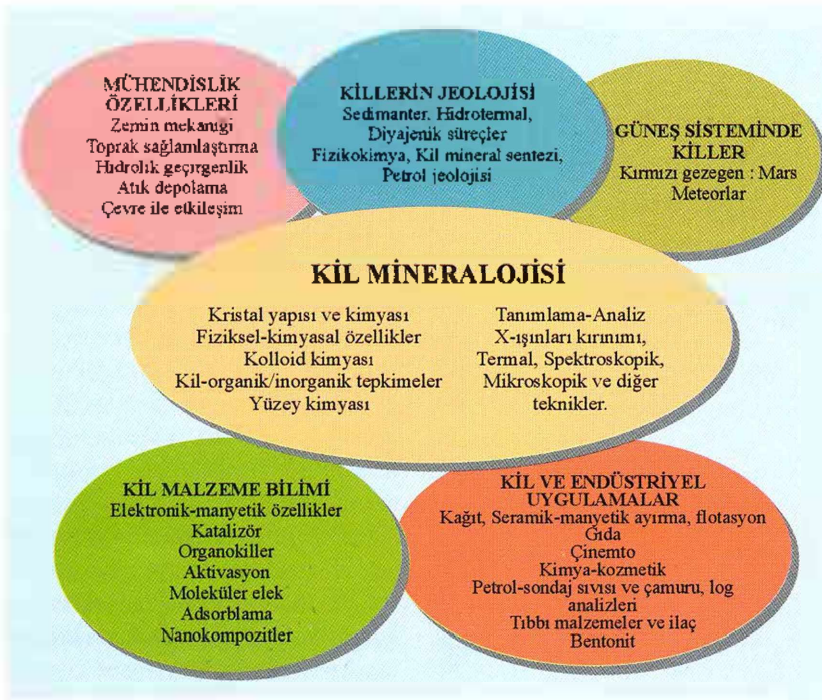
Kırmızı Gezegen adı verilen Mars'ta Fe-simektit mineralinin bol olması bu gezegende suyun ve hayatın var olabileceğinin bir işareti

olarak algılanmaktadır. Meteorlarda Fe-simektite rastlanılmış olması aynı nedenlerle önem kazanmaktadır. Özellikle karbonca zengin meteorların organik molekülleri içermeleri kil-organik ilişkilerini konu alan araştırmalara önem katmaktadır.

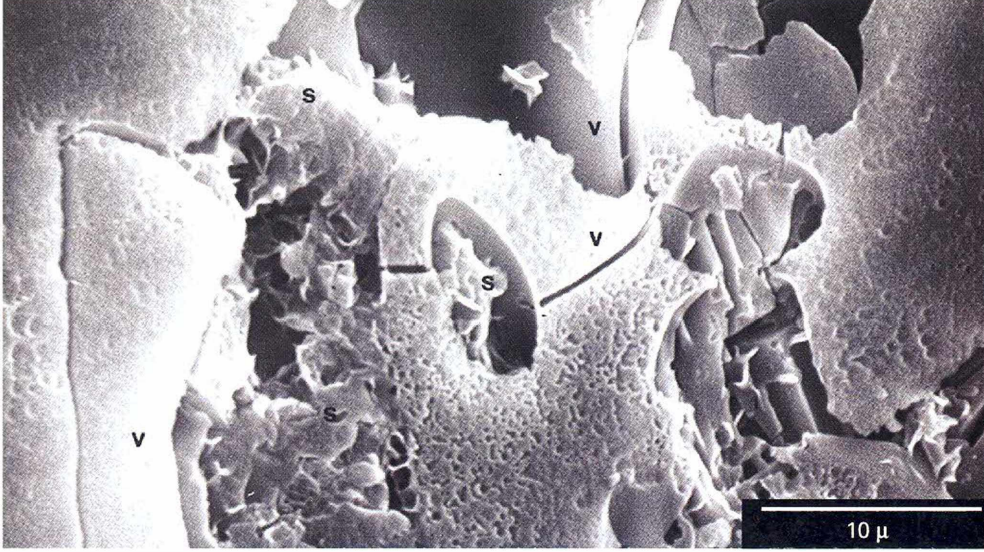
Killerin Mühendislik Özellikleri

En eski arkeolojik dönemlerden itibaren şehirler kurma eyleminde olan insanoğlu giderek daha karmaşık sistemler yaratmakta ve bu eyleminde doğa ile uyumlu olmanın gerekliliğini bazen göz ardı etmektedir. Mavi Gezegenimizin bize sunduğu her türlü zenginliğin ve insanlığa mal olmuş kültür miraslarımızın gelecek nesillere zarar vermeden aktarılmasını sağlayarak sürekli bir şekilde kalkınmanın gerçekleştirilmesinde kil ve kil minerallerinin rolü ne olabilir?

Jeoloji-inşaat ve çevre mühendisliklerinin kesişme noktasındaki



Şekil 5. Kil ve kil mineralojisinin çokyönlülüğü.



Şekil 6. Tüfteki volkanik camın (v) diyajenez sırasında bozunması ile oluşan smektit grubu kil minerali(s).

araştırmalar zemin mekaniği, zemin iyileştirme, katı ve radyoaktif atıkların depolanması gibi başlıklarda yapılan akademik ve mühendislik çalışmalarını içermekte, kil-lerin mineralojik ve fizikokimyasal özelliklerine dayanarak kil-çevre etkileşmesinin önemini vurgulamaktadır.

Kil Malzeme Bilimi

Doğanın insanın öğretmeni olduğunu Kil Malzeme Bilimi kanıtlamaktadır. Kil minerallerinin çağdaş tekniklerle incelenmesi bu mineraller hakkında daha çok bil-

giler edinmemizi sağlamakta ve uygulama alanlarının genişlemesine yol açmaktadır. Örneğin, kil minerallerinin yüzey özelliklerinin Nobel ödüllü AFM (Atomik Force Microscope) ile incelenmesi yüzey kimyalarının daha iyi anlaşılmasını sağlamış ve bu bilgilerle desteklenen uygulama alanlarının genişlemesine yol açmıştır. Eski Mısır'da ve klasik çağlarda çamaşırıcı kili olarak, ilaç ve seramik yapımında kullanılan kil zamanımızda moleküler elek, nanokompozit, absorban, katalizör ve bunlar gibi çok çeşitli uygulama alanlarında yerini almıştır.

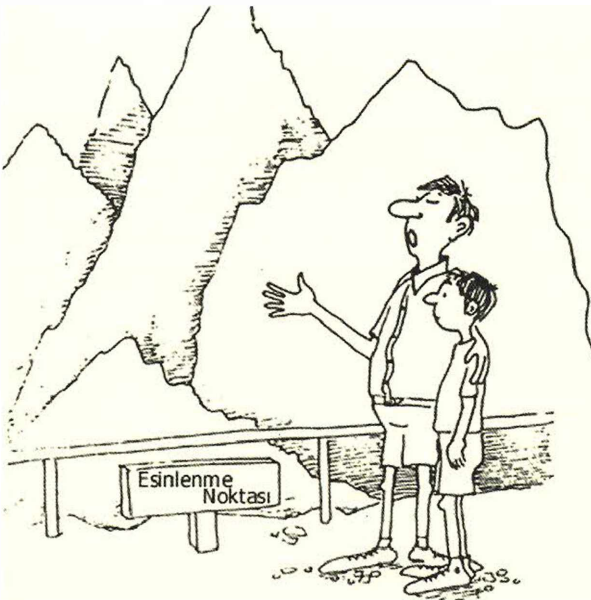
Kil ve Endüstriyel Uygulamalar

Şekil 5'te bu başlık altında toplanan konulardan bentoniti bir örnek olarak verebiliriz. Bentonit, simektit grubu kil minerallerince zengin bir kil olup başlıca Na- veya Ca-montmorillonit, daha az oranlarda ise hektorit (Li) ve saponit (Mg) içermektedir. Bu kimyasal ve mineralojik farklılaşmalar bentonite farklı fizik-

sel özellikler kazandırır. Bentonitlerin sondaj çamuru, ağartıcı kil, yağ absorbanı, deterjan, kağıt ve seramik yapımında ve katalizör olarak kullanılması, sanayide aranan bir doğal malzeme olması bu özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak kil-ler ve kil minerallerinin büyüleyici ve ilginç dünyası insan-oğlunun merakını kışkırtıcı bir şekilde çekmeye devam ede-

cektir. Bızlere düşen görev, doğanın sunduğu bu zenginliği en iyi şekilde değerlendirmektir. Türkiye'de 1991 yılında faaliyete başlayan Kil Bilimleri Türk Millî Komitesi Ülkemizdeki kille ilgili araştırma ve uygulama çalışmalarını için çok disiplinli bilimsel bir platformu başarılı bir şekilde oluşturmuştur. 1983 yılından beri düzenlenen Ulusal Kil Sempozyumları kil konusundaki araştırma ve uygulama çalışmalarının diğer ülkelerdeki kadar iddialı ve başarılı olduğunu göstermektedir.



- Birgün, sevgili oğlum, bütün bunlar kil olacak ...

Asuman G. Türkmenoğlu

Doç. Dr., O.D.T.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Kil Bilimleri Türk Millî Komitesi Başkanı
asuman@metu.edu.tr